

18. JULI 2013

Inhalt

Zweigbibliothek Chemie der
Universitäts- u. Landesbibliothek
Corrensstraße 40, Tel. 0251/833333 00
D-48149 Münster (Germany)

Online Ergänzungen

Batteriesysteme

Herausgeber:
Prof. Dr. Jens Friedrich
Prof. Dr. Marco Oetken

Schriftleiter:
Prof. Dr. Jens Friedrich
und Prof. Dr. Marco Oetken, Freiburg

Herausgeber:
Prof. Dr. Matthias Ducci, Karlsruhe
apl. Prof. Dr. Brigitte Duvinage, Potsdam
Prof. Dr. Jens Friedrich, Freiburg
Peter Heinzerling, Hannover
Dr. Erhard Imer, Göttingen
Prof. Dr. Annette Marohn, Münster
Prof. Dr. Marco Oetken, Freiburg
Prof. Dr. Michael W. Tausch, Syke

**Der Inhalt dieser Hefte
wird sorgfältig erarbeitet.**

Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber, Redakteur, Herstellung und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. Bei allen Substanzen, die in Experimenten eingesetzt werden sollen, sind die entsprechenden Gefahrenhinweise angegeben; z.B. Natrium (leichtentzündlich, F; ätzend, C).

Die Herausgeber wollen damit den Lesern einen zusätzlichen Service anbieten. Jeder Experimentator ist aber selbst gehalten, sich genauestens über das Gefährdungspotenzial der verwendeten Stoffe zu informieren, mit entsprechender Vorsicht zu experimentieren und hinterher alles ordnungsgemäß zu entsorgen. Dabei sind die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (einschließlich R-, S- und E-Sätze) in deren aktuellster Fassung sowie die Dienstvorschriften der Schulbehörden zu beachten!

Vorwort	
J. Friedrich und M. Oetken	4
Die Brennstoffzelle aus fachwissenschaftlicher Sicht – Was ist eine Brennstoffzelle?	
P. Pioch	5
DMFC: Direkt-Methanol-Brennstoffzellen – Ein Vorschlag für Einführung, Experimente und mögliche Reaktionen	
J. Enßle, B. Grau und P. Menzel	9
Messungen an Brennstoffzellen	
A. Habekost	13
Chemie und Energie – Elektrochemische Speichersysteme für die Zukunft – Experimente zum Themenfeld Lithium-Ionen-Akkumulatoren für die Schule und Hochschule – Teil 1: Theoretische Grundlagen	
M. Hasselmann und M. Oetken	19
Akku leer? Licht an! Photoelektrochemische Lichtenergiekonversion und -speicherung	
M. W. Tausch, C. Bohrmann-Linde, F. Posala und D. Nietz	25
Salzsäureelektrolyse mit der Sauerstoffverzehrkathode	
P. Fischer, M. Busker und W. Jansen	32
Die Zitronenbatterie – Ein einfacher elektrochemischer Versuch?	
L. Bröll, J. Friedrich und M. Oetken	36
Einfache Schülerversuche zu klassischen Batterien und Akkus – Ein schüleraktivierendes Unterrichtsmaterial für die gymnasiale Oberstufe aus einer Unterrichtsreihe nach „Chemie im Kontext“	
M. Raida und M. Sina	43
Microscale Gasreaktion in Spritzen	
P. Schwarz und N. Poppe	47
Vorschau/Impressum	50

www.aulis.de

www.aulis.de

www.aulis.de



Microscale Gasreaktionen in Spritzen

P. Schwarz und N. Poppe

Viktor Obendrauf gewidmet

Vorgestellt wird eine modifizierte Apparatur zur Herstellung von Gasen im Kleinstmaßstab. Anhand von Beispielen zur Herstellung von Sauer- sowie Wasserstoff wird der sichere und schüleraktive Einsatz dargestellt. In einem Pipetten-Eudiometer werden die beiden Gase im Volumenverhältnis 2 : 1 mit Hilfe eines No-Cost-Zündfunktengengebers zur Reaktion gebracht.

Stichwörter: Microscale, Gasherstellung, Einmalspritze, Pipetten-Eudiometer, No-Cost-Zündfunktengengeber

1 Einleitung

Experimente gehören zu den fundamentalen Denk- und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften [1]. Aus diesem Grund sollte der naturwissenschaftliche Unterricht ebenfalls nicht auf Experimente verzichten. In Klassen mit einer hohen Schülerzahl entsteht beim Experimentieren schnell ein hoher finanzieller Aufwand: Die Anschaffung des Equipments sowie die Beschaffung und Entsorgung von Chemikalien sind oftmals auf lange Sicht mit hohen Kosten verbunden.

Microscale-Chemie bedeutet Reduktion der verwendeten Ausgangsstoffe auf eine Menge, mit der Experimente wirksam

durchführbar sind [2]. Für Reaktionen von Flüssigkeiten reichen oft einzelne Tropfen ($\sim 0,05$ mL) [3].

Der österreichische Nobelpreisträger Fritz Pregl experimentierte bereits vor 100 Jahren im Kleinstmaßstab, indem er die für die Liebig'sche Elementaranalyse benötigte Masse organischer Verbindung auf weniger als 20 mg reduzierte [4]. Voraussetzung dazu war eine hochempfindliche Waage. Die Minimierung der Apparaturen (Microscale) in Verbindung mit dem Einsatz kostengünstiger Materialien ermöglicht ein doppeltes Einsparpotenzial und erhöht die Möglichkeiten eines häufigeren und flexibleren Einsatzes. Dementsprechend eignet sich dieses Konzept hervorragend, ein schüleraktives Experimentieren und Lernen in den Naturwissenschaften zu fördern [5, 6].

Viktor Obendrauf entwickelte hierzu Microscale-Experimente zur kontinuierlichen Gasentwicklung, die inzwischen im chemischen Alltagsunterricht etabliert sind. Die Ausgangsstoffe werden dabei in ein Reagenzglas gegeben, das über einen Stopfen mit einer 20-mL-Spritze zum Auffangen der entwickelten Gase und einer zweiten kleineren Spritze für die Zufuhr eines flüssigen Ausgangsstoffes verbunden ist. Mattson [7] verwendet 60-mL-Spritzen als Reaktionsgefäße. Die Gase werden in derselben Spritze erzeugt und aufgefangen. Najdoski und Ibanez verbinden zur volumetrischen Gasreaktion zwei 1-mL-Spritzen über ein kurzes Schlauchstück [8].

Die in der folgenden Arbeit vorgestellten Versuche modifizieren die Mattson-Methode:

1. Der eine Ausgangsstoff wird gewogen bzw. sein Volumen bestimmt. In Milligramm-Mengen kommt er direkt auf den Boden der Spritze.
2. Die 60-mL-Spritze wird durch eine 5-mL- oder eine 20-mL-Spritze ersetzt.

3. Die Zufuhr des flüssigen Reaktionspartners erfolgt aus einer zweiten 5 mL Spritze (Versuch 1) oder über eine Insulinspritze (Versuch 2).

Ein Teil der Experimente wurde 2012 gemeinsam in einem Workshop auf der SAlS (Student Active Learning in Science) Konferenz in Tiflis/Georgien erprobt.

2 Experimentelle Untersuchungen

2.1 Volumetrische Erzeugung von Wasserstoff aus abgewogenem Calcium

Materialien: Experimentiertablett, Schutzbrille, Handschuhe, zwei Hämmer, Toilettenpapier, hochempfindliche digitale Taschenwaage (Votcraft Plus), zwei 5-mL-Spritzen Soft-Inject® Luer®, 2 cm Silikonschlauch (D/d 4/2 mm), kleines Calciumkorn, (Riedel-de-Haen, D = 2–3 mm), Wasser.

Vorbereitung: Die Calciumkörner müssen mit Hilfe eines Hammers so bearbeitet werden, dass dünne Scheiben entstehen. Die Lehrperson sollte dies vor dem Unterricht vorbereiten, um die Lärmbelästigung während des Praktikums gering zu halten. Für die Durchführung des nachfolgenden Experiments genügt je nach Größe der Körner eine Hälfte oder ein Drittel der Calciumscheibe.

Experiment:

1. Wiege eine Calciumscheibe und notiere das Gewicht.
2. Entferne den Kolben aus der 5-mL-Spritze und lege das Calciumstück auf den Boden des Spritzenzylinders.
3. Drücke den Spritzenkolben vollständig in den Zylinder.
4. Fülle die zweite Spritze luftblasenfrei mit 1 mL Wasser.
5. Verbinde die beiden Spritzen mit einem Schlauchstück (Abb. 2).

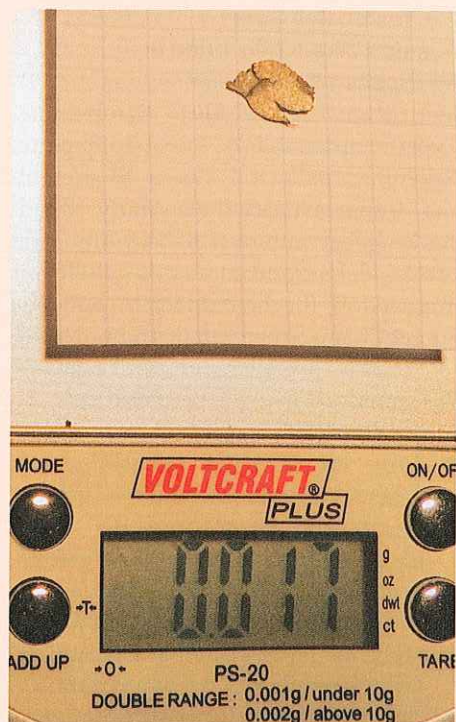


Abb. 1: Wiegen der Calciumscheibe von Versuch 1



Abb. 2: Apparatur nach Abschluss der Reaktion



Abb. 3: Apparatur nach Abschluss der Gasentwicklung und Abkühlung

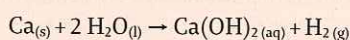
6. Bringe das Wasser aus der einen Spritze zu dem Calciumstück in der anderen.
7. Warte bis zum Ende der Reaktion.
8. Bewahre die Apparatur für V3 auf.

Anmerkung: Zum Wiegen der Calciumscheibe sind auch eine Zweisohlenwaage aus Ägypten [9] oder eine der Lehrmittel-Firma CVK hervorragend geeignet.

Beobachtungen: Das Calciumstück ($m(\text{Ca}) \approx 10 \text{ mg}$) reagiert mit dem Wasser unter Freisetzung von Gasblasen zu etwa 4 mL Gas (Abb. 2).

Dieser Versuch ist zusammen mit bilinguaem Text dargestellt unter <http://youtu.be/KuOFyYumetU>.

Erklärung:



Unter Normalbedingungen reagieren 1 mmol Calcium (40 mg) unter Freisetzung von 22,4 mL Wasserstoff. Theoretisch werden bei der Reaktion von 10 mg Calcium also 5,6 mL Wasserstoff gebildet. Ursache für die Abweichungen des gefundenen Volumens vom theoretischen Wert sind Messungenauigkeiten und Abweichungen von den Normalbedingungen.

2.2 Volumetrische Erzeugung von Sauerstoff aus Wasserstoffperoxid

Materialien: Schutzbrille, Handschuhe, Experimentiertablett, 1-mL-Spritze Luer, 20-mL-Spritze Luer Once®, 2 cm Silikon-schlauch (D/d 4/2 mm), Trinkhalm spatel, Aluminiumbecher von einem Teelicht, Hefe, 10%ige Wasserstoffperoxidlösung (gesundheitsschädlich).

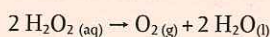
Experiment

1. Entferne den Kolben aus der 20-mL-Spritze.
2. Gib etwas Hefe mit Hilfe des Trinkhalm spatels in den Zylinder der Spritze und drücke den Spritzenkolben vollständig in den Zylinder.
3. Ziehe 0,5 mL 10%ige Wasserstoffperoxidlösung luftblasenfrei in die 1-mL-Spritze.
4. Verbinde die Spritzen über das Schlauchstück fest miteinander.
5. Übertrage die Lösung aus der kleinen in die große Spritze.
6. Warte, bis die Gasentwicklung beendet ist.
7. Fülle die Sedimente aus der 20-mL-Spritze zum Entsorgen in einen Aluminiumbecher und bewahre die gefüllte Spritze für V3 auf.

Ein ähnlicher Versuch ist zusammen mit bilinguaem Text unter <http://youtu.be/zMT3VvM9DPg> dargestellt.

Beobachtungen: In der 20-mL-Spritze bilden sich je nach Qualität der Wasserstoffperoxidlösung 14–18 mL Gas (Abb. 3). Das Gemisch in der großen Spritze erwärmt sich dabei.

Erklärung: Wasserstoffperoxid wird zer-setzt, wobei Sauerstoff und Wasser entstehen. Das Enzym Katalase, das in der Hefe vorkommt, katalysiert diese Reaktion.



Theoretisch wird dabei unter Normalbedingungen 18 mL Sauerstoff gebildet. Durch diese Modifizierung der Mattson-

Methode ist also eine gute Ausbeute möglich.

Anmerkung: Die Zersetzung von Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff kann auch durch frische Hefe oder Braunstein katalysiert werden. Durch eine Redoxreaktion mit Kaliumpermanganat als Oxidationsmittel können ebenfalls Wasser und Sauerstoff aus Wasserstoffperoxid gebildet werden.

Die in Versuch 1 und 2 gebildeten Gase werden in einem dritten Experiment getestet.

2.3 Testen der Gase aus den Versuchen 1 und 2 im Pipetten-Eudiometer

Materialien: Schutzbrille, Handschuhe, Experimentiertablett, Kunststoffpipette, Schere, Ampulle voll Wasser, Stopfen einer Infusionsflasche als Stativ, Zündfunktgeber mit zwei Kabeln und zwei Stecknadeln, Spritzen aus V1 gefüllt mit Wasserstoff (hochentzündlich) und aus V2 gefüllt mit Sauerstoff (brandfördernd).

Experiment

Vorbereitung der Pipette

1. Kürze ihr Röhrchen mit Hilfe einer Schere um 5 cm.
2. Tauche die Pipette mit der Spitze nach unten in die mit Wasser gefüllte Ampulle.
3. Fülle die Pipette vollständig mit Wasser.
4. Stelle die Pipette in die mit Wasser gefüllte Ampulle.
5. Durchstich den Pipettenkopf mit zwei Stecknadeln.
6. Verbinde sie mit dem Zündfunktgeber.

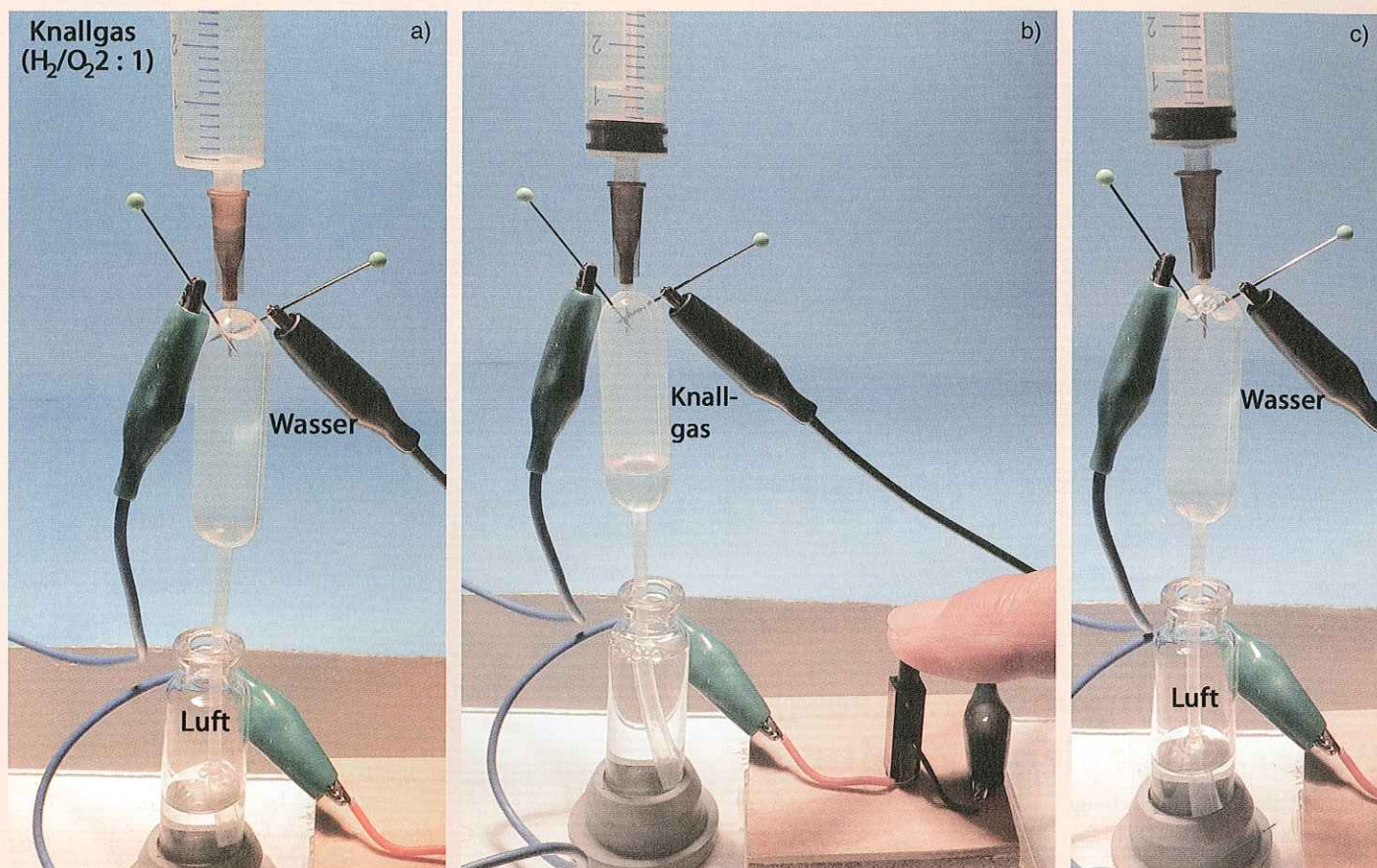


Abb. 4: Stadien der Reaktion des stöchiometrischen Wasserstoff/Sauerstoff-Gemischs aus V1 + V2. a) vor dem Füllen mit 3 mL Knallgas, b) und c) vor und nach dem Zünden

Vorbereitung einer 5-mL-Spritze mit Knallgas

7. Trenne die 5-mL-Spritze voll Wasserstoff aus V1 von der zweiten Spritze.
8. Halte sie mit der Öffnung nach unten.
9. Drücke die Flüssigkeit und so viel Wasserstoff heraus, dass nur noch 2 mL Gas in dieser Spritze bleiben.
10. Verbinde sie in senkrechter Position über das Stück Silikonschlauch fest mit der 20-mL-Spritze aus V2.
11. Mische zu den 2 mL Wasserstoff aus der großen Spritze 1 mL Sauerstoff.
12. Trenne die mit dem Gasgemisch gefüllte Spritze vom Schlauch und setze eine Kanüle auf.

Füllen des Pipetten-Eudiometers mit 3 mL Knallgas (Abb. 4 a), Zündung (Abb. 4 b)

13. Durchstich den Pipettenkopf von oben.
14. Injiziere das Gasgemisch vorsichtig in die Pipette.
15. Betätige den Zündfunktgeber.

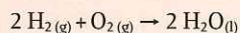
Beobachtungen

Es kommt zu einer heftigen Reaktion:

- Knall
- grelles Licht
- Kollabieren des Pipettenkopfs
- „Springbrunnen“: Vollsaugen des Pipettenkopfs mit Wasser aus der Ampulle (Abb. 4 c).

Dieser Versuch ist zusammen mit bilingualen Text unter <http://youtu.be/wu4D-0HuuAXc> dargestellt, die Herstellung eines No-Cost-Zündfunktgebers unter [11] zu finden.

Erklärung: Zwei Volumenteile Wasserstoff und ein Volumenteil Sauerstoff reagieren unter Freisetzung von Lichtenergie zu einem vernachlässigbar kleinem Volumen an Wasser.



Literatur

- [1] I. Eilks, I. Fischer, M. Hammann, B. Neuhäus, J. Petri, B. Ralle, et al., Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In: H. Bayrhuber, Konsequenzen aus Pisa. Perspektiven der Fachdidaktiken. Studienverlag, Wien 2004, S. 197–216.
- [2] www.microscale.org/about.asp (National Microscale Chemistry Centre, 25.09.2012)
- [3] M. M. Singh, Z. Szafran, Chemie im Maßstab: Labortechnik mit Zukunft. PdN-Ch 49/5, S. 7–11 (2000)
- [4] V. Obendrauf, Chlor in der Schule (1). Chemie & Schule 4/9, S. 2–6 (1994)
- [5] V. Obendrauf, Toxisches Chlor vernünftig dosiert. NiU-Che 81, S. 22–27 (2004)
- [6] E. Joling, Einführung von microscale Chemie in den Niederlanden. In: P. Schwarz,

M. Livneh, M. Hugerat (Hrsg.), Microscale Chemie – Experimente für jedes Alter. (bilinguale DVD mit 36 Videoclips). microcol@gmx.de, (Lauterbach 2012, Preis 10 €)

- [7] B. Mattson, A. Rajani, V. Obendrauf, R. Vaitkus, Microscale Gas Chemistry. Experiments with Carbon Monoxide. Chem 13 News 12, S. 274 (1999)
- [8] M. Najdoski, J. G. Ibanez, Microscale Determination of Oxygen in Air; Chem. Educator 15, S. 215–217 (2010)
- [9] www.microscale.jimdo.com/salis-tiblisi/calcium-water-2/ (P. Schwarz, N. Poppe, Quantitative reactions of Calcium in syringes., 03.07.2012)
- [10] M. K. El Marsafy, P. Schwarz, Understand Chemistry by Doing Chemistry, Eigenverlag Kairo 1996, S. 12
- Siehe auch <http://www.microcol.com/materialien/waagen/> (07.09.2012)
- [11] <http://microcol.de/materialien-für-experimente/zündfunktgeber/> (P. Schwarz, Zündfunktgeber aus leerem Einwegfeuerzeug bauen (und nutzen), 04.02.2012)

Anschrift der Verfasser

Dr. Peter Schwarz, Alexander-von-Humboldt-Schule, Gymnasium Lauterbach, 36341 Lauterbach und M. Ed. Nicole Poppe, Universität Bremen, Institut der Didaktik der Naturwissenschaften, 28359 Bremen

Einfache Schülerversuche zu klassischen Batterien und Akkus

Ein schüleraktivierendes Unterrichtsmaterial für die gymnasiale Oberstufe aus einer Unterrichtsreihe nach „Chemie im Kontext“

M. Raida und M. Sina

Stichwörter: Batterien, Akkumulatoren, Lernstraße, Stationenlernen

1 Vorbemerkungen

In der Arbeitsgruppe „Chemie im Kontext“ im „Kölner Modell“ haben wir in den Jahren 2004–2006 eine Unterrichtsreihe zum Themenfeld Elektrochemie mit dem Titel „Wenn der Strom nicht aus der Steckdose kommt – mobile Energiespeicher“ entwickelt (in dieser Zeitschrift 2007 bereits veröffentlicht, vgl. unter [1]). Bestandteil dieser Unterrichtsreihe sind für die Vertiefungsphase Unterrichtsmaterialien mit Modellexperimenten zu wichtigen und bekannten Batterien und Akkumulatoren, die hier vorgestellt werden.

Unser Ziel bei den hier vorgestellten Experimenten ist es, einen schüleraktivierenden Zugang zu Batterien und Akkumulatoren zu ermöglichen. Es sollen an diesem Material die bis dahin erarbeiteten Grundlagen der Elektrochemie angewendet, vertieft und gesichert werden. Die Experimente sind so angelegt, dass sie entweder als Schülerversuche durchgeführt oder aber als Lehrerdemonstrationsversuche problemlos mehrfach wiederholt werden können. Alle Versuchsaufbauten sind so gewählt, dass sie mit minimalen Mitteln die in den Batterien stattfindenden Reaktionen abbilden.

Mit dem vorliegenden Material (Online-Ergänzung) sind verschiedene methodisch-didaktische Settings möglich: es kann je nach Kurs und zur Verfügung stehender Zeit sowohl als arbeitsteilige Gruppenarbeit mit Kurzreferaten oder als Stationenlernen angeboten werden. Da die einzelnen Stationen völlig unabhängig voneinander bearbeitbar sind, können dem Material einzelne Stationen entnommen werden. Andere können beispielsweise als Materialgrundlage für Klausuraufgaben Verwendung finden.

Wir stellen hier jeweils drei klassische Batterien und Akkumulatoren vor, die alle in der Technikgeschichte ihren bedeutenden Platz haben:

- die Volta'sche Säule,
- das Leclanché-Element,
- die Alkali-Mangan-Batterie,
- den Blei-Akkumulator,
- den Nickel-Cadmium-Akkumulator und
- den Nickel-Metallhydrid-Akkumulator.

Im Material fehlen Informationen und Experimente zu moderneren Elementen wie der Lithium-Batterie und dem Lithium-Ionen-Akkumulator. Als Modellexperiment für die Lithium-Batterie bietet sich der Versuchsaufbau an, wie er in Chemie 2000+, Band 2 [2] vorgeschlagen wird. Für den Lithium-Ionen Akku verweisen wir auf die Veröffentlichungen von Oetken in dieser Ausgabe der Praxis der Naturwissenschaften bzw. [3].

2 Die Volta'sche Säule

Um das Jahr 1800 herum entwickelte Alessandro Volta seine berühmte Batterie, die im 19. Jahrhundert wegen ihrer Robustheit und dem einfachen Aufbau als elektrische Stromquelle große Bedeutung hatte (Abb. 1). Sie bestand aus einer Abfolge von Kupfer- und Zinkplättchen, die durch Leder oder Pappe als Separator voneinander getrennt waren und mit Kochsalzlösung oder Lauge als Elektrolyt getränkt wurden. Dabei konnten durch die Menge der hintereinander geschalteten Einzelelemente Spannungen von mehreren hundert Volt erreicht werden. Diese Erfindung ermöglichte neben den bekannten Salonerperimenten unter anderem die Darstellung der Alkalimetalle durch Humphrey Davy ab 1807.

Im Schülerexperiment wird die Volta'sche Säule aus 5-Cent-Stücken und Aluminiumfolie aufgebaut (Abb. 2). Als Separator dienen kleine Stücke aus einem Bierdeckel, wie er in jeder Kneipe verwendet wird. Elektrolyt ist Haushaltssessig. Damit der Stapel nicht zusammenfällt, wird er mit einer Laborklemme fixiert. Zwischen der Münze an einem Ende der Säule und der Aluminiumfolie am ande-

ren Ende kann eine Spannung von wenigen Volt gemessen werden.

Der von uns vorgeschlagene Versuch besticht durch seine Einfachheit und die Verwendung von Alltagsgegenständen, so dass er auch gefahrlos zu Hause durchgeführt werden kann. Nachteilig ist hierbei, dass die erreichbare Spannung weit hinter den Erwartungen zurückbleibt.

Ein interessantes Phänomen lässt sich aber hier beobachten, wenn man angelaufene Münzen verwendet (oder Kupferbleche, die man vor dem Experiment kurz in einer Brennerflamme zur leichten Rotglut erhitzt und wieder abkühlen lässt): die Spannung ist zunächst höher, sinkt dann aber relativ schnell ab. Die Erklärung hierfür ist, dass zunächst tatsächlich eine Batterie aus einer Kupfer- und einer Aluminiumhalbzelle entsteht, nach Reduktion der Kupfer-Ionen aber das eigentlich

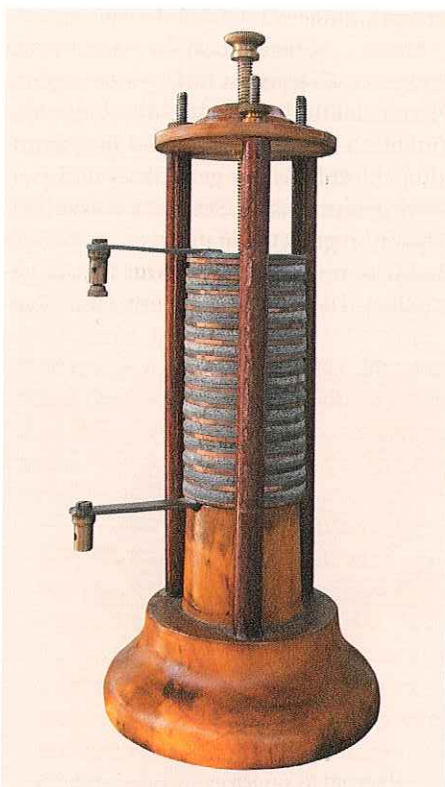


Abb. 1: Historischer Aufbau der Volta'schen Säule

Foto: Luigi Chiesa, lizenziert unter cc-by-sa-3.0

zu erwartende elektrochemische Element aus einer Wasserstoff- und einer Aluminiumhalbzelle mit einer deutlich geringeren Potentialdifferenz vorliegt.

Historisch war die Oxidation des Kupfers zum Kupferoxid durch Luftsauerstoff die Voraussetzung dafür, dass eine Zellspannung von 1,1 V erreicht werden konnte. Ohne Luftsauerstoff beträgt die Zellspannung nur zwischen 0,39 V und 0,75 V, je nach pH-Wert.

3 Das Leclanché-Element

Das von Georges Leclanché 1860 entwickelte Element stellt den Beginn der modernen Batterie-Entwicklung dar. Die Kathode des Leclanché-Elements besteht aus Zink, die Anode aus Mangandioxid (Braunstein), als Elektrolyt dient eine gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung. Die Zink-Kathode wurde in Form eines Bechers in die Batterie eingebaut. Das aufgrund der Elektrolyt-Lösung „nasse“ Element war sehr erfolgreich. Wesentliche Verbesserungen wurden erzielt, indem der Elektrolyt mit Weizenstärke geliert wurde. Nachteile blieben jedoch, dass der Zinkbecher im Laufe der Stromentnahme abgebaut und damit undicht wurde und der Zinkbecher durch Amalgamieren vor der Oxidation geschützt werden musste. Die Leclanché-Zelle ist immer noch im Handel erhältlich und, da quecksilberfrei, auch problemlos z. B. mit einer Metallsäge zu öffnen, um den Aufbau selbstständig zu ergründen.

Unser Aufbau besteht aus einer Zinkblech-Elektrode und einer Kohle-Plattenelektrode (Abb. 3). Auf die Zinkblech-Elektrode wird ein in Ammoniumchlorid-Lösung getränktes und passend geschnittenes Stück Bierdeckel als Separator gelegt, darauf eine Paste aus Braunstein, Weizenstärke und Wasser gestrichen. Der Stapel wird mit einer Rea-

genzglasklammer fixiert. An den beiden Elektroden kann nun eine Spannung abgegriffen werden. Man nimmt eine Entladekurve auf oder betreibt einen kleinen Solarmotor mit der Batterie.

Für das Leclanché-Element existieren geeignete Modellexperimente, die die Batterie in einem Becherglas nachstellen. Die Ähnlichkeit zum käuflichen Leclanché-Element springt damit sofort ins Auge, der Verbrauch an Chemikalien ist jedoch relativ hoch. Bei unserer Variante mit der Zinkblech- und Kohle-Plattenelektroden ist der Chemikalienverbrauch deutlich geringer und dennoch lässt sich der Solarmotor eine ganze Zeit lang betreiben. Die Einfachheit und geringe Größe des Aufbaus beeindruckt Schülerinnen und Schüler, allerdings ist die Ähnlichkeit zu den bekannten Batterien in diesem Modell-experiment nur noch wenig ausgeprägt.

4 Die Alkali-Mangan-Batterie

Die Alkali-Mangan-Batterie ist eine Weiterentwicklung des Leclanché-Elements. Auch hier werden Zink und Mangandioxid als Elektrodenmaterial verwendet. Zink wird allerdings nicht als Zinkblech, sondern als Zinkflitter eingesetzt, Elektrolyt ist Kalilauge. Die Konstruktion der Alkali-Mangan-Batterie wurde im Vergleich zum Leclanché-Element umgekehrt: Das Anodenmaterial befindet sich hier in gepresster Form im Inneren der Batterie. Die Stromableitung wird durch einen Messing- oder Kupfer-Stab gewährleistet. Um die Anode herum befindet sich das Kathodenmaterial, Mangandioxid. Die Alkali-Mangan-Batterie liefert aufgrund des gleichen Materials die gleiche Ruhespannung wie das Leclanché-Element, kann aber aufgrund der größeren Oberfläche des Zinkflitters und der höheren Leitfähigkeit des Elektrolyts mit einer deutlich höheren Stromstärke belastet werden.

Der Aufbau des von uns entwickelten Modellexperiments zur Alkali-Mangan-Batterie ähnelt dem des Leclanché-Elements. Als Elektroden dienen eine Zinkplatten-elektrode und eine Plattenelektrode aus Eisen, der Elektrolyt ist Kalilauge. Als Separator wurde der Bierdeckel durch eine vierfache Lage aus einem Papierhandtuch ersetzt. Die Qualität der Ergebnisse hängt nach unserer Erfahrung sehr davon ab, wie gut die Platten aufeinandergepresst werden und wie gleichmäßig die Paste verteilt wird. Die Paste muss zunächst etwas zu flüssig sein, da das Papier zunächst Feuchtigkeit aufsaugt. Es lohnt sich, hier einige Versuche durchzuführen, da durch-aus Spannungen, die der Literatur entsprechen, gemessen werden können!

Zur Alkali-Mangan-Zelle gibt es eine interessante Folge der „Sendung mit der Maus“, die sich gut im Unterricht einsetzen lässt.

5 Der Blei-Akkumulator

Zeitgleich mit dem Leclanché-Element wurde um 1860 der Bleiakкумулятор entwickelt. Dieser ist in den heute verwendeten Bauformen immer noch einer der leistungsfähigsten Akkumulatoren mit einer spezifischen Energie von bis zu 30 Wh/kg.

Als Inbegriff des Akkumulators darf er bei Experimenten zu Batterien und Akkumulatoren nicht fehlen. Der Siegeszug des Blei-Akkumulators als Starterbatterie für Autos ist verständlich, wenn man seine Vorteile betrachtet. Er ist zuverlässig und erträgt hunderte oder tausende von Lade-Entlade-Zyklen. Bei verschlossener und gasdichter Konstruktion ist er zudem wartungsfrei. Allerdings schränkt die relativ geringe Energiedichte den Einsatz des Blei-Akkumulators als Traktionsbatterie deutlich ein.

Im Experiment, welches in dieser Form vielen Leserinnen und Lesern sicher vertraut ist, besteht der Blei-Akkumulator aus zwei Bleiplatten, die berührungsfrei in einem kleinen Becherglas stehen. An die Platten wird eine Gleichspannung angelegt. Nach mehreren Lade- und Entladezyklen kann mit dem Aufbau ein kleiner Solarmotor betrieben werden. Das Experiment kann auch als Schülerexperiment durchgeführt werden, wenn dafür gesorgt wird, dass die Bleiplatten nicht mit der Hand angefasst werden. Die Platten dürfen selbstverständlich auch nicht geschmirgelt werden. Die verwendete Schwefelsäure wird hierbei zwar in geringem Maße durch Blei-Ionen verunreinigt, kann für das Experiment aber immer wieder verwendet werden.

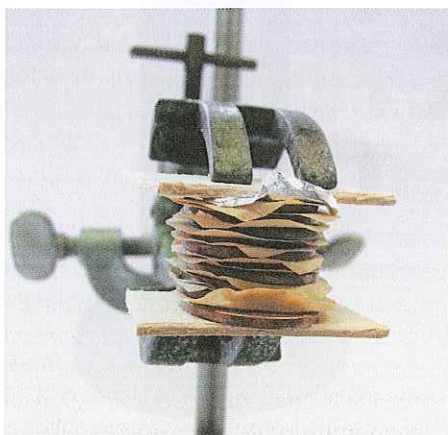


Abb. 2: Experimenteller Aufbau der Volta'schen Säule



Abb. 3: Experimenteller Aufbau des Leclanché-Elementes

6 Der Nickel-Cadmium-Akkumulator

Der Nickel-Cadmium-Akkumulator war bis zur Entwicklung des Lithium-Ionen-Akkumulators, der endlich kommerziell nutzbar die magische Grenze von 100 Wh/kg spezifischer Energie überschreiten konnte, mit einer spezifischen Energie von 50 Wh/kg lange Zeit der beste Akkumulator.

Als Ersatz für die zylindrischen kleinen Batterien z. B. der Baugrößen AA und AAA war der Nickel-Cadmium-Akkumulator nahezu ubiquitär. Er liefert mit einer Ruhespannung von 1,2 V zwar eine etwas niedrigere Spannung als eine Zink-Braunstein-Zelle, dies stellt für die meisten Geräte jedoch kein Problem dar. Der Nickel-Cadmium-Akkumulator überzeugt durch Robustheit und Belastbarkeit [2]. Er kann bis zu 2000 mal wieder aufgeladen werden und auch eine vollständige Entladung schadet ihm nicht. Wegen des Cadmiums ist seit 2009 das Inverkehrbringen des Nickel-Cadmium-Akkumulators mit Ausnahme für Not- oder Alarmsysteme, Notbeleuchtung, medizinische Ausrüstung und schnurlose Elektrowerkzeuge verboten. Aufgrund der großen Verbreitung des Nickel-Cadmium-Akkumulators haben wir uns dennoch entschlossen, ihn in die Reihe der Experimente aufzunehmen. Dabei ist besonders beeindruckend, welche Leistung dieser sehr einfache Aufbau bereits ermöglicht.

Im Modellexperiment besteht der Nickel-Cadmium-Akkumulator aus einer Nickel- und einer Cadmium-Elektrode, die berührungsfrei in einem kleinen Becherglas mit Kalilauge ($c = 5 \text{ mol/L}$) stehen. Der Akkumulator wird aufgeladen, indem die Nickel-Elektrode mit dem Plus-Pol und die Cadmium-Elektrode mit dem Minus-Pol einer Spannungsquelle verbunden werden und etwa 2 Minuten lang eine Spannung von 2 V angelegt wird. Dabei bilden sich am Minus-Pol Cadmium und am Plus-Pol Nickeloxid-Hydroxid. Beim Entladevorgang entstehen an beiden Elektroden die entsprechenden Hydroxide.

Auch bei diesem Experiment dürfen die Cadmium-Platten selbstverständlich weder mit den Händen angefasst noch geschmirgelt werden. Sinnvoll ist es, sie aus dem Aufbewahrungsgefäß direkt mit den zu verwendenden Krokodilklemmen zu entnehmen. Aufgrund des sehr geringen Löslichkeitsproduktes von Cadmiumhydroxid ($K_L(\text{Cd}(\text{OH})_2) = 2,3 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$) ist die Konzentration von Cadmium-Ionen in der Kalilauge sehr gering ($c(\text{Cd}^{2+}) = 9,2 \cdot 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Dennoch muss die Kalilauge im Abfall für schwermetallhaltige

Lösungen entsorgt oder besser noch für weitere Versuche aufbewahrt werden.

7 Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator

Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator konnte den schwermetallhaltigen Nickel-Cadmium-Akku für einige Zeit ablösen. Im Nickel-Metallhydrid-Akkumulator ist die Cadmium-Elektrode durch eine wasserstoffspeichernde Legierung ersetzt (Abb. 4). Besitzt die wasserstoffspeichernde Legierung das gleiche Potenzial wie die Cadmium-Elektrode, ist der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator ein idealer Ersatz für den Nickel-Cadmium-Akku, da er über eine größere Kapazität und eine längere Lebensdauer verfügt. Beim Laden des Nickel-Metallhydrid-Akkus wird an der Kathode Wasserstoff erzeugt, der sofort in das Metallgitter aufgenommen wird. Beim Entladen wird der Wasserstoff an der Elektrode wieder oxidiert. An der Nickel-Elektrode finden die gleichen Reaktionen statt wie beim Nickel-Cadmium-Akkumulator.

Die höhere Leistung des Nickel-Metallhydrid-Akkus wird nur durch einen ungleich komplizierteren Aufbau erreicht. Dies schlägt sich auch in dem von uns vorgeschlagenen Versuch nieder: Hier wird der Wasserstoff an der Platinelektrode entwickelt, der Wasserstoff geht am Platin in Lösung. Zwischen der Platin- und der Nickel-Elektrode ist eine Spannungsmessung ermöglicht, aber schon beim Betrieb des Solarmotors ist der aufgebaute Akku überfordert ist → der Solarmotor zuckt nur kurz!

Da den Schülerinnen und Schülern aus der vorangegangenen Unterrichtsreihe zur Elektrochemie die Wasserstoff-Elektrode bekannt ist, bereitet das Verständnis des Versuchsaufbaus in der Regel keine Schwierigkeiten. Probleme entstehen für die Lernenden häufig bei der wasserstoffspeichernden Legierung.

8 Experimente

Experiment 1: Die Volta'sche Säule

Geräte: Filterpapier, Bierdeckel, Messgerät, Kabel, Klemme

Chemikalien: Aluminiumfolie, 5-Cent-Stücke, Haushaltsessig (5% c(Essigsäure) entsprechend ca. $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

Durchführung:

1. Aus der Aluminiumfolie und dem Filterpapier werden so viele Kreise ausgeschnitten, wie Münzen vorhanden sind. Die Kreise aus Filterpapier sollten etwas größer sein als die 5-Cent-Stücke. Aus dem Bierdeckel werden zwei Kreise geschnitten.

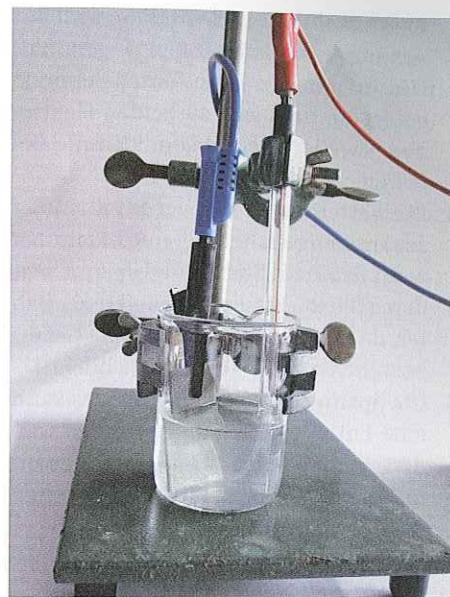


Abb. 4: Experimenteller Aufbau des Nickel-Metallhydrid-Akkumulators

2. Nun wird gestapelt: ein Bierdeckel-Kreis, dann immer Münze/Filterpapier/Alufolie usw., als Abschluss wieder ein Bierdeckel-Kreis. Der ganze Stapel wird in einer Klemme fixiert und etwas zusammengepresst.
3. Die gesamte Säule wird mit Essig übergossen, so dass die Filterpapiere alle getränkt sind.
4. Zwischen der Münze am einen Ende der Säule und der Aluminiumfolie am anderen Ende wird die Spannung gemessen.

Weitere Sicherheitshinweise: Kupferacetat: Die Münzen sollten nach der Durchführung des Versuches abgespült werden, damit sich kein Kupferacetat bildet.

Entsorgung: Hausmüll

Experiment 2: Das Leclanché-Element

Geräte: Stativ mit Klemme und Muffe, 2 kleine Bechergläser, Reagenzglasklammer, Solarmotor, Messgerät, Kabel, Krokodilklemmen, Bierdeckel

Chemikalien: Aluminiumchlorid, Mangan-dioxid (Xn , gesundheitsschädlich), Zinkblech-Elektrode, Kohle-Plattenelektrode, Stärke

Durchführung:

1. Die Elektroden werden blank geschmirgelt, aus dem Bierdeckel wird eine Platte geschnitten, die etwas kürzer ist als die Elektroden.
2. Es wird eine Mischung aus Mangan-dioxid, Wasser und Stärke angerührt, so dass eine zähe Paste entsteht, im zweiten Becherglas wird eine gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung hergestellt.
3. Die Kohlelektrode wird mit der Mischung bestrichen, darauf wird die

zu erwartende elektrochemische Element aus einer Wasserstoff- und einer Aluminiumhalbzelle mit einer deutlich geringeren Potentialdifferenz vorliegt.

Historisch war die Oxidation des Kupfers zum Kupferoxid durch Luftsauerstoff die Voraussetzung dafür, dass eine Zellspannung von 1,1 V erreicht werden konnte. Ohne Luftsauerstoff beträgt die Zellspannung nur zwischen 0,39 V und 0,75 V, je nach pH-Wert.

3 Das Leclanché-Element

Das von Georges Leclanché 1860 entwickelte Element stellt den Beginn der modernen Batterie-Entwicklung dar. Die Kathode des Leclanché-Elements besteht aus Zink, die Anode aus Mangandioxid (Braunstein), als Elektrolyt dient eine gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung. Die Zink-Kathode wurde in Form eines Bechers in die Batterie eingebaut. Das aufgrund der Elektrolyt-Lösung „nasse“ Element war sehr erfolgreich. Wesentliche Verbesserungen wurden erzielt, indem der Elektrolyt mit Weizenstärke geliert wurde. Nachteile blieben jedoch, dass der Zinkbecher im Laufe der Stromentnahme abgebaut und damit undicht wurde und der Zinkbecher durch Amalgieren vor der Oxidation geschützt werden musste. Die Leclanché-Zelle ist immer noch im Handel erhältlich und, da quecksilberfrei, auch problemlos z. B. mit einer Metallsäge zu öffnen, um den Aufbau selbstständig zu ergründen.

Unser Aufbau besteht aus einer Zinkblech-Elektrode und einer Kohle-Plattenelektrode (Abb. 3). Auf die Zinkblech-Elektrode wird ein in Ammoniumchlorid-Lösung getränktes und passend geschnittenes Stück Bierdeckel als Separator gelegt, darauf eine Paste aus Braunstein, Weizenstärke und Wasser gestrichen. Der Stapel wird mit einer Rea-

genzglasklammer fixiert. An den beiden Elektroden kann nun eine Spannung abgegriffen werden. Man nimmt eine Entladekurve auf oder betreibt einen kleinen Solarmotor mit der Batterie.

Für das Leclanché-Element existieren geeignete Modellexperimente, die die Batterie in einem Becherglas nachstellen. Die Ähnlichkeit zum käuflichen Leclanché-Element springt damit sofort ins Auge, der Verbrauch an Chemikalien ist jedoch relativ hoch. Bei unserer Variante mit der Zinkblech- und Kohle-Plattenelektroden ist der Chemikalienverbrauch deutlich geringer und dennoch lässt sich der Solarmotor eine ganze Zeit lang betreiben. Die Einfachheit und geringe Größe des Aufbaus beeindruckt Schülerinnen und Schüler, allerdings ist die Ähnlichkeit zu den bekannten Batterien in diesem Modell-experiment nur noch wenig ausgeprägt.

4 Die Alkali-Mangan-Batterie

Die Alkali-Mangan-Batterie ist eine Weiterentwicklung des Leclanché-Elements. Auch hier werden Zink und Mangandioxid als Elektrodenmaterial verwendet. Zink wird allerdings nicht als Zinkblech, sondern als Zinkflitter eingesetzt, Elektrolyt ist Kalilauge. Die Konstruktion der Alkali-Mangan-Batterie wurde im Vergleich zum Leclanché-Element umgekehrt: Das Anodenmaterial befindet sich hier in gepresster Form im Inneren der Batterie. Die Stromableitung wird durch einen Messing- oder Kupfer-Stab gewährleistet. Um die Anode herum befindet sich das Kathodenmaterial, Mangandioxid. Die Alkali-Mangan-Batterie liefert aufgrund des gleichen Materials die gleiche Ruhespannung wie das Leclanché-Element, kann aber aufgrund der größeren Oberfläche des Zinkflitters und der höheren Leitfähigkeit des Elektrolyts mit einer deutlich höheren Stromstärke belastet werden.

Der Aufbau des von uns entwickelten Modellexperiments zur Alkali-Mangan-Batterie ähnelt dem des Leclanché-Elements. Als Elektroden dienen eine Zinkplattenelektrode und eine Plattenelektrode aus Eisen, der Elektrolyt ist Kalilauge. Als Separator wurde der Bierdeckel durch eine vierfache Lage aus einem Papierhandtuch ersetzt. Die Qualität der Ergebnisse hängt nach unserer Erfahrung sehr davon ab, wie gut die Platten aufeinandergepresst werden und wie gleichmäßig die Paste verteilt wird. Die Paste muss zunächst etwas zu flüssig sein, da das Papier zunächst Feuchtigkeit aufsaugt. Es lohnt sich, hier einige Versuche durchzuführen, da durchaus Spannungen, die der Literatur entsprechen, gemessen werden können!

Zur Alkali-Mangan-Zelle gibt es eine interessante Folge der „Sendung mit der Maus“, die sich gut im Unterricht einsetzen lässt.

5 Der Blei-Akkumulator

Zeitgleich mit dem Leclanché-Element wurde um 1860 der Bleiakкумулятор entwickelt. Dieser ist in den heute verwendeten Bauformen immer noch einer der leistungsfähigsten Akkumulatoren mit einer spezifischen Energie von bis zu 30 Wh/kg.

Als Inbegriff des Akkumulators darf er bei Experimenten zu Batterien und Akkumulatoren nicht fehlen. Der Siegeszug des Blei-Akkumulators als Starterbatterie für Autos ist verständlich, wenn man seine Vorteile betrachtet. Er ist zuverlässig und erträgt hunderte oder tausende von Lade-Entlade-Zyklen. Bei verschlossener und gasdichter Konstruktion ist er zudem wartungsfrei. Allerdings schränkt die relativ geringe Energiedichte den Einsatz des Blei-Akkumulators als Traktionsbatterie deutlich ein.

Im Experiment, welches in dieser Form vielen Leserinnen und Lesern sicher vertraut ist, besteht der Blei-Akkumulator aus zwei Bleiplatten, die berührungsfrei in einem kleinen Becherglas stehen. An die Platten wird eine Gleichspannung angelegt. Nach mehreren Lade- und Entladezyklen kann mit dem Aufbau ein kleiner Solarmotor betrieben werden. Das Experiment kann auch als Schülerexperiment durchgeführt werden, wenn dafür gesorgt wird, dass die Bleiplatten nicht mit der Hand angefasst werden. Die Platten dürfen selbstverständlich auch nicht geschmirgelt werden. Die verwendete Schwefelsäure wird hierbei zwar in geringem Maße durch Blei-Ionen verunreinigt, kann für das Experiment aber immer wieder verwendet werden.



Abb. 2: Experimenteller Aufbau der Volta'schen Säule



Abb. 3: Experimenteller Aufbau des Leclanché-Elementes

6 Der Nickel-Cadmium-Akkumulator

Der Nickel-Cadmium-Akkumulator war bis zur Entwicklung des Lithium-Ionen-Akkumulators, der endlich kommerziell nutzbar die magische Grenze von 100 Wh/kg spezifische Energie überschreiten konnte, mit einer spezifischen Energie von 50 Wh/kg lange Zeit der beste Akkumulator.

Als Ersatz für die zylindrischen kleinen Batterien z. B. der Baugrößen AA und AAA war der Nickel-Cadmium-Akkumulator nahezu ubiquitär. Er liefert mit einer Ruhespannung von 1,2 V zwar eine etwas niedrigere Spannung als eine Zink-Braunstein-Zelle, dies stellt für die meisten Geräte jedoch kein Problem dar. Der Nickel-Cadmium-Akkumulator überzeugt durch Robustheit und Belastbarkeit [2]. Er kann bis zu 2000 mal wieder aufgeladen werden und auch eine vollständige Entladung schadet ihm nicht. Wegen des Cadmiums ist seit 2009 das Inverkehrbringen des Nickel-Cadmium-Akkumulators mit Ausnahme für Not- oder Alarmsysteme, Notbeleuchtung, medizinische Ausrüstung und schnurlose Elektrowerkzeuge verboten. Aufgrund der großen Verbreitung des Nickel-Cadmium-Akkumulators haben wir uns dennoch entschlossen, ihn in die Reihe der Experimente aufzunehmen. Dabei ist besonders beeindruckend, welche Leistung dieser sehr einfache Aufbau bereits ermöglicht.

Im Modellexperiment besteht der Nickel-Cadmium-Akkumulator aus einer Nickel- und einer Cadmium-Elektrode, die berührungsfrei in einem kleinen Becherglas mit Kalilauge ($c = 5 \text{ mol/L}$) stehen. Der Akkumulator wird aufgeladen, indem die Nickel-Elektrode mit dem Plus-Pol und die Cadmium-Elektrode mit dem Minus-Pol einer Spannungsquelle verbunden werden und etwa 2 Minuten lang eine Spannung von 2 V angelegt wird. Dabei bilden sich am Minus-Pol Cadmium und am Plus-Pol Nickeloxid-Hydroxid. Beim Entladevorgang entstehen an beiden Elektroden die entsprechenden Hydroxide.

Auch bei diesem Experiment dürfen die Cadmium-Platten selbstverständlich weder mit den Händen angefasst noch geschmirgelt werden. Sinnvoll ist es, sie aus dem Aufbewahrungsgefäß direkt mit den zu verwendenden Krokodilklemmen zu entnehmen. Aufgrund des sehr geringen Löslichkeitsproduktes von Cadmiumhydroxid ($K_L(\text{Cd}(\text{OH})_2) = 2,3 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$) ist die Konzentration von Cadmium-Ionen in der Kalilauge sehr gering ($c(\text{Cd}^{2+}) = 9,2 \cdot 10^{-16} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Dennoch muss die Kalilauge im Abfall für schwermetallhaltige

Lösungen entsorgt oder besser noch für weitere Versuche aufbewahrt werden.

7 Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator

Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator konnte den schwermetallhaltigen Nickel-Cadmium-Akku für einige Zeit ablösen. Im Nickel-Metallhydrid-Akkumulator ist die Cadmium-Elektrode durch eine wasserstoffspeichernde Legierung ersetzt (Abb. 4). Besitzt die wasserstoffspeichernde Legierung das gleiche Potenzial wie die Cadmium-Elektrode, ist der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator ein idealer Ersatz für den Nickel-Cadmium-Akku, da er über eine größere Kapazität und eine längere Lebensdauer verfügt. Beim Laden des Nickel-Metallhydrid-Akkus wird an der Kathode Wasserstoff erzeugt, der sofort in das Metallgitter aufgenommen wird. Beim Entladen wird der Wasserstoff an der Elektrode wieder oxidiert. An der Nickel-Elektrode finden die gleichen Reaktionen statt wie beim Nickel-Cadmium-Akkumulator.

Die höhere Leistung des Nickel-Metallhydrid-Akkus wird nur durch einen ungleich komplizierteren Aufbau erreicht. Dies schlägt sich auch in dem von uns vorgeschlagenen Versuch nieder: Hier wird der Wasserstoff an der Platinelektrode entwickelt, der Wasserstoff geht am Platin in Lösung. Zwischen der Platin- und der Nickel-Elektrode ist eine Spannungsmessung ermöglicht, aber schon beim Betrieb des Solarmotors ist der aufgebaute Akku überfordert ist → der Solarmotor zuckt nur kurz!

Da den Schülerinnen und Schülern aus der vorangegangenen Unterrichtsreihe zur Elektrochemie die Wasserstoff-Elektrode bekannt ist, bereitet das Verständnis des Versuchsaufbaus in der Regel keine Schwierigkeiten. Probleme entstehen für die Lernenden häufig bei der wasserstoffspeichernden Legierung.

8 Experimente

Experiment 1: Die Volta'sche Säule

Geräte: Filterpapier, Bierdeckel, Messgerät, Kabel, Klemme

Chemikalien: Aluminiumfolie, 5-Cent-Stücke, Haushaltssessig (5% c(Essigsäure) entsprechend ca. $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

Durchführung:

1. Aus der Aluminiumfolie und dem Filterpapier werden so viele Kreise ausgeschnitten, wie Münzen vorhanden sind. Die Kreise aus Filterpapier sollten etwas größer sein als die 5-Cent-Stücke. Aus dem Bierdeckel werden zwei Kreise geschnitten.

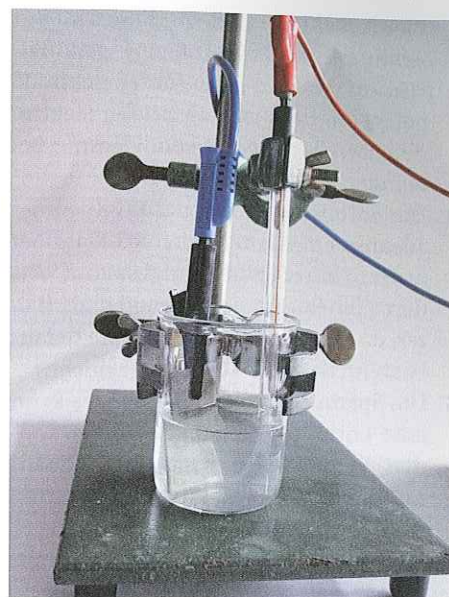


Abb. 4: Experimenteller Aufbau des Nickel-Metallhydrid-Akkumulators

2. Nun wird gestapelt: ein Bierdeckel-Kreis, dann immer Münze/Filterpapier/Alufolie usw., als Abschluss wieder ein Bierdeckel-Kreis. Der ganze Stapel wird in einer Klemme fixiert und etwas zusammengepresst.
3. Die gesamte Säule wird mit Essig übergossen, so dass die Filterpapiere alle getränkt sind.
4. Zwischen der Münze am einen Ende der Säule und der Aluminiumfolie am anderen Ende wird die Spannung gemessen.

Weitere Sicherheitshinweise: Kupferacetat: Die Münzen sollten nach der Durchführung des Versuches abgespült werden, damit sich kein Kupferacetat bildet.

Entsorgung: Hausmüll

Experiment 2: Das Leclanché-Element

Geräte: Stativ mit Klemme und Muffe, 2 kleine Bechergläser, Reagenzglasklammer, Solarmotor, Messgerät, Kabel, Krokodilklemmen, Bierdeckel

Chemikalien: Aluminiumchlorid, Mangandioxid (Xn , gesundheitsschädlich), Zinkblech-Elektrode, Kohle-Plattenelektrode, Stärke

Durchführung:

1. Die Elektroden werden blank geschmirgelt, aus dem Bierdeckel wird eine Platte geschnitten, die etwas kürzer ist als die Elektroden.
2. Es wird eine Mischung aus Mangandioxid, Wasser und Stärke angerührt, so dass eine zähe Paste entsteht, im zweiten Becherglas wird eine gesättigte Ammoniumchlorid-Lösung hergestellt.
3. Die Kohlelektrode wird mit der Mischung bestrichen, darauf wird die