



*Roger Deuber, Kanti Badsen
rdeuber@gmail.ch*

Bau einer Aluminium-Luft-Batterie aus Alltagsgegenständen - ein Schülerpraktikum

Als ich vor zwei Jahren begann, beim MINT Lernzentrum der ETH zu arbeiten, übernahm ich als erstes Projekt die Ausarbeitung einer Unterrichtseinheit zum Thema „Mobile Energiequellen“ – d.h. Batterien, Akkus, Brennstoffzellen.

Eines der wichtigsten Anliegen bei der Entwicklung der Einheit waren mir neben der Verwendung von besonders lernwirksamen Unterrichtsformen der empirischen Lehr- und Lernforschung auch einfache, aber eindrückliche Experimente. Insbesondere ging es mir um den Bau einer einfachen Batterie, die das Wesen der chemischen Stromproduktion den Schüler/innen möglichst eindrücklich aufzeigen kann, und auch genügend Leistung hat, um die Erzeugung von elektrischer Energie erlebbar zu machen.

Kritisch für die Leistungsfähigkeit ist dabei in der Regel nicht die elektrische Spannung, sondern eine genügend hohe Stromstärke.

Der übliche Weg zur Einführung in die Funktion der Batterie mithilfe zweier Halbzellen – beispielsweise mit Hilfe des Daniell-Elementes – hat meiner Ansicht nach entscheidende Nachteile:

- Bei der Kombination zweier Halbzellen wie im Daniell-Element wird der didaktische Fokus auf die Gleichgewichtsreaktion in den beiden Halbzellen gelenkt, statt auf die Ursachen der unterschiedlichen Redoxpotentiale des beteiligten Oxidators (Cu^{2+} -Ionen) und Reduktors (metallisches Zn^0).
- Bei der Besprechung von alltäglichen Batterien wie z.B der Alkali-Mangan-Zelle sind Schüler/innen irritiert, warum am Minuspol nur Metallisches Zink vorhanden ist (und nicht das Redoxpaar $\text{Zn}^0/\text{Zn}^{+II}$), und am Pluspol lediglich Mn^{IV} (und nicht das Redoxpaar $\text{Mn}^{III}/\text{Mn}^{IV}$).



Wählt man hingegen als Ausgangspunkt für das Thema Batterien eine einfache Redoxreaktion (z.B. die Oxidation von Aluminium mit Sauerstoff), ermöglicht eine kontrastierende Betrachtung der direkten Oxidation mit dem Aufbau einer Batterie, bei der die Elektronen nicht direkt, sondern in einem externen Leiter von Reduktor zum Oxidator fließen, einen einfacheren didaktischen Weg. Die Funktion von zentralen Begriffen wie Ladungsausgleich oder geschlossener Stromkreis können dabei auf einfache und verständliche Weise vermittelt werden.

Das im Folgenden besprochene Praktikum dient in der Unterrichtseinheit „Mobile Energiequellen“ als Vertiefung des zuvor erarbeiteten Konzepts der Funktion

einer Batterie, damit die Schüler/innen das Gelernte selber erfahren und anwenden können. Didaktisch entscheidend ist dabei, dass es sich um dieselbe chemische Reaktion zwischen Aluminium und Sauerstoff handelt.

Da der Bau der Batterie sehr einfach ist, und lediglich ungiftige Alltagsgegenstände verwendet werden, kann das Praktikum auch mit der ganzen Klasse im normalen Schulzimmer durchgeführt werden. Die von den Lernenden erstellten Alu-Luft-Batterien sind aber doch so leistungsstark, dass damit ein kleiner Motor über längere Zeit zum Drehen gebracht werden kann.

Vorbereitungen vor dem Praktikum

*a) Minuspol (Anode):
Bereitstellen von Aluminium-
folie und gesättigter Koch-
salzlösung als Elektrolyt*

Aluminium reagiert an der Luft sehr schnell mit dem Luftsauerstoff und bildet eine hauchdünne, durchsichtige und fest haftende Oxidschicht auf dem Aluminium.

Diese Oxidschicht schützt das darunter liegende unedle Metall vor dem Kontakt mit anderen Stoffen, z.B. mit Sauerstoff, so dass Aluminium trotz seines unedlen Charakters als Werkmetall verwendet werden kann.

Wird Aluminium als Reduktor für eine Batterie verwendet, wird der Stromfluss dadurch zwar nicht

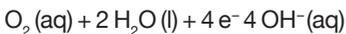


gestört, d.h. die Elektronen können problemlos die Oxidschicht durchdringen. Problematisch ist die Oxidschicht allerdings trotzdem, indem sie das Wegdiffundieren der entstehenden Aluminium-Ionen, und somit den Ladungsausgleich verhindert, was den Stromfluss unterbricht. Zudem wird dadurch auch die unerwünschte Rückreaktion ermöglicht.

Wird als Elektrolyt allerdings eine gesättigte Kochsalzlösung verwendet, bilden die darin enthaltenen Chlorid-Ionen mit den Aluminium-Ionen einen löslichen Komplex, der einerseits zur Auflösung der Oxidschicht führt, und andererseits deren Neubildung verhindert.

b) Pluspol (Kathode): Ausglühen von Bleistiftminen

Als Oxidator der Alu-Luft-Batterie dient Sauerstoff:



Da die Aktivierungsenergie dieser Reaktion hoch ist, muss die Reaktionsgeschwindigkeit katalytisch erhöht werden, damit genügend hohe Stromstärken erreicht werden können. Dazu ist die Oberfläche von Graphit geeignet. Im Handel

erhältliche Bleistiftminen enthalten allerdings meist Palmöl, um den gleitenden Bleistift-Strich zu ermöglichen.

Damit das Graphit für die Reduktion von Sauerstoff katalytisch wirken kann, muss das Fett durch Erhitzen entfernt, und die Minen anschliessend ausgeglüht werden. Dazu werden die Bleistiftminen – sehr gut bewährt haben sich sog. Fallstift-Minen mit einem Durchmesser von 2 mm – über dem Bunsenbrenner erhitzt, wobei das Öl aus der Mine tropft und teilweise verbrennt. Da das Erhitzen zu Spannungen im Bleistift führen kann, was die Mine sprengen kann, wird dies in der Kapelle durchgeführt.

Nachdem das Öl entfernt ist, werden die Minen noch für einige Sekunden weiter zur Rotglut erhitzt, worauf man sie abkühlen lässt.

Um eine genügend grosse Festigkeit und Oberfläche zu erreichen, werden jeweils etwa 5-6 solche Minen vereinigt, und bilden so den Pluspol der Batterie, wo sich die Sauerstoffatome die Elektronen holen.

Durch die poröse Struktur der Graphitelektrode gelangt stetig

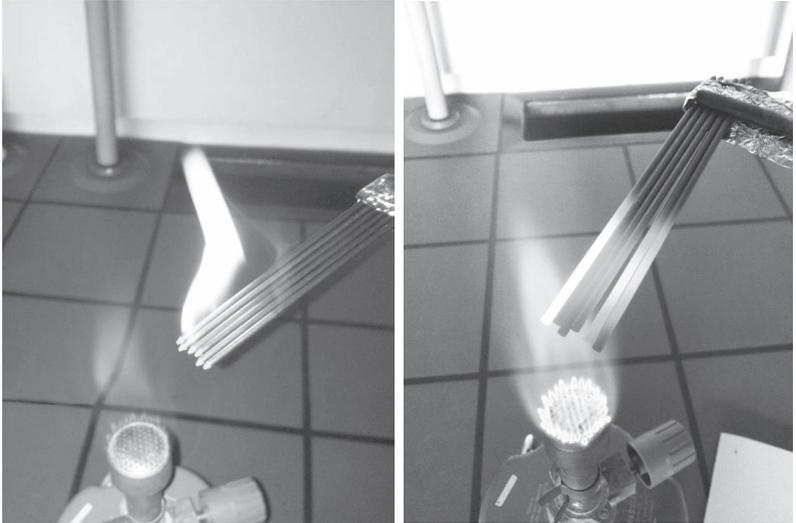


Abb.1: Ausglühen der Bleistiftminen

neuer Luftsauerstoff zur Graphit-Oberfläche, sodass kein Sauerstoffmangel auftritt.

Die bei der Reaktion der entstehenden Oxidationen mit Wasser entstehenden Hydroxidionen führen zu einem Ansteigen des pH-Werts.

c) Küchenpapier als Separator

Um die beiden Pole der Batterie zu trennen, aber trotzdem den Ionenfluss zu gewährleisten, kann handelsübliches Küchenpapier verwendet werden. Bewährt hat sich eine Größe von 9 x 12 cm.

d) Kleinmotor für den Nachweis der Elektrizität

Die Batterie erreicht eine Spannung von ca. 0.8 Volt, und eine Stromstärke von ca. 30-50 mA. Damit kann ein kleiner Solarmotor über längere Zeit betrieben werden.

Bewährt hat sich z.B. der Solarmotor RF 300 mit Luftschraube beim online-Versand <http://kids-and-science.tradoria.de>. (Anlaufspannung 0,4 Volt, Spannungsbereich 0,4 – 5,9 Volt, Anlaufstrom 25 mA).



Durchführung des Praktikums

Wie in der Abb. 2 ersichtlich wird die Batterie in folgenden Teilschritten zusammengebaut:

1. Die ausgeglühten Bleistiftminen werden eng mit einem Stück Küchenpapier 9 x 12 cm umwickelt, so dass noch etwa 1-2 cm der Graphitminen frei bleiben.
2. Nun werden die mit Küchenpapier umwickelten Graphitminen mit einem Stück Aluminiumfolie der Grösse 15 x 15 cm umwickelt, sodass noch etwa 1 cm des Küchenpapiers frei bleibt.
3. Die so umwickelten Graphitminen werden nun vollständig in die gesättigte NaCl-Lösung getaucht, bis das Papier vollständig getränkt ist.

Abb.2: Bestandteile der Alu-Luft-Batterie und zusammengebaute Version

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Verankerung: Alu-Luft-Batterie als Mini-Praktikum





4. Anschliessend holt man die Batterie mit einer Pinzette aus der Kochsalzlösung, und lässt die überschüssige Lösung abtropfen. Nun ist die Batterie betriebsbereit.

Verbindet man nun einen oben beschriebenen Solarmotor mit Hilfe von zwei Krokodilklemmen einerseits mit den Bleistiftminen, andererseits mit der Alufolie, wird sich der Motor mehrere Minuten drehen.

Als Alternative kann auch eine LED zum Leuchten gebracht werden, wenn zusätzlich eine einfache elektrische Schaltung verwendet wird, um die erforderliche Spannung von 2-3 Volt zu erreichen (sog. „Joule-Thief“)

Es hat sich bewährt, den Lernenden den Vorgang zuerst als Demonstration zeigen, worauf sie dann die Batterien gruppenweise selber zusammenbauen können.

Der Versuch ist auch für ein grösseres Schülerpraktikum geeignet. Im Folgenden einige Anregungen zu weiteren experimentellen Untersuchungen durch die Schülerinnen und Schüler:

- Ausmessen der Leistungsfähigkeit der hergestellten Batterie: Messung des Spannungsverlaufs mit einem Multimeter oder mit automatischer Aufzeichnung der Messwerte – z.B. mit IT-gestützten Messwerterfassungssystemen von Vernier.
- Experimentelles Überprüfen der chemischen Einflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit:
 - Grösse der Batterie
 - Abnahme der Sauerstoffkonzentration beim Betreiben der Batterie
 - Änderung des pH-Wertes durch die Bildung der Aluminiumkomplexe
- Veränderung der Leistungsfähigkeit durch die Verwendung von mehreren Batterien in Serie- oder paralleler Schaltung



Weiterbildungsangebot des MINT-Lernzentrums der ETH

Dieses Praktikum wurde am MINT-Lernzentrum der ETH Zürich entwickelt und ist Bestandteil der Unterrichtseinheit „Mobile Energiequellen“.

Die nächste Weiterbildung der gesamten Unterrichtseinheit „Mobile Energiequellen“ findet statt am 25./26. Oktober 2013 an der ETH in Zürich.

Anmelden können Sie sich via Website des MINT Lernzentrums, wo es auch detailliertere Informationen zu weiteren Weiterbildungen gibt:

www.educ.ethz.ch/mint/fort

Roger Deuber

Das Ziel des MINT-Lernzentrums an der ETH Zürich besteht in der nachhaltigen Optimierung von schulischen Lernangeboten in den MINT-Bereichen. "MINT" steht für Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Das MINT-Lernzentrum wurde im Herbst 2009 als Teil des ETH-Kompetenzzentrums für Lehren und Lernen: EducETH, gegründet.

Im MINT-Lernzentrum entwickeln Lehr- und Lernforscher gemeinsam mit erfahrenen Gymnasiallehrpersonen Unterrichtseinheiten zu zentralen Themen der Schulfächer Chemie, Mathematik und Physik, um die naturwissenschaftliche Allgemeinbildung zu verbessern. Diese Unterrichtseinheiten zeichnen sich durch den Transfer von der empirischen Lehr- und Lernforschung in die schulische Praxis aus. Naturwissenschaftliche und mathematische Themen werden mit Lernformen unterrichtet, die sich in experimentellen Vergleichsstudien als besonders lernwirksam erwiesen haben, indem sie das Verstehen und die Konstruktion von intelligentem Wissen fördern.

Weitere Informationen finden Sie auf unseren Webseiten:

<http://www.educ.ethz.ch/mint>