

Faszinierende Experimente zum Themenfeld Lithium-Ionen-Akkumulatoren

von Matthias Ducci und Marco Oetken

Versuch 1: Der Dual-carbon-Akkumulator

Geräte und Chemikalien:

Kunststoff-Dose (8 cm x 4,5 cm x 2 cm), Lüsterklemmen (passend für Graphitminen, d = 3,15 mm), Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Schraubendreher, Spannungsquelle/Netzgerät, Krokodilklemmen, zwei Graphitminen (Faber Castell®, d = 3,15 mm, Härtegrad 6B, Länge ca. 13 cm; Bezugsquelle: <http://www.faber-castell.de>), Glockenankermotor (Anlaufspannung 0,08 Volt, Leerlaufstrom 1,5 mA: LEMO-SOLAR; Bezugsquelle <http://www.lemo-solar.de/shop/shopsuche.php>), ausgebauter Verbraucher aus einer Glückwunschkarte mit Sound (optional), Magnetrührer, Lithiumperchlorat (Xn, gesundheitsschädlich; O, brandfördernd), Ethylencarbonat (EC), (Xi, reizend), Dimethylcarbonat (DMC), (F, leichtentzündlich), Paraffin (optional). Über die Lehrmittelfirma können alle erforderlichen Chemikalien bezogen werden.

Herstellung der Elektrolytlösung:

Es wird eine ca. 1 molare Elektrolyt-Lösung hergestellt, indem 10,6 g Lithiumperchlorat zu 100 ml eines Gemisches aus 50 ml Ethylencarbonat (EC) und 50 ml Dimethylcarbonat (DMC) hinzugegeben werden. Anschließend wird solange mit dem Magnetrührer gerührt, bis das Lithiumperchlorat vollständig gelöst ist (ca. 20-30 Minuten). Hinweis: Ethylencarbonat ist bei Zimmertemperatur fest und muss zur Herstellung des Elektrolyten erst in den flüssigen Aggregatzustand überführt werden. Eine 500 g-Flasche Ethylencarbonat kann dazu ca. 5-6 Minuten in ein mit ca. 60 °C heißem Wasser gefülltes Becherglas gestellt werden. So ergibt sich eine Mindestmenge flüssigen Ethylencarbonats von 50 ml.

Durchführung:

Zunächst wird die Elektrolytlösung ca. 4 cm (entspricht ca. 40 ml der Elektrolytlösung) hoch in die Kunststoff-Dose gefüllt (Es sollte darauf geachtet werden, dass das Kunststoffgefäß nicht umfällt! Zur besseren Fixierung kann die Dose auch mit Hilfe eines kleinen Streifens doppelseitigen Klebebandes auf dem Tisch oder mit Hilfe eines Stativs befestigt werden). Der Versuch wird entsprechend der Abbildung 1 aufgebaut. Die beiden Graphitminen werden als + Pol bzw. - Pol geschaltet und tauchen dabei ca. 3,5 cm tief in den Elektrolyten ein. Es wird ca. sechs Minuten bei einer Spannung von etwa 4,80 V geladen. Zur Reduktion von Wassereintrag durch Luftfeuchtigkeit kann der Elektrolyt optional mit flüssigem Paraffin vorsichtig überschichtet werden. Das Paraffin ist ausreichend, wenn es eine ca. 1 cm dicke Schicht oberhalb des Elektrolyten ergibt (entspricht einem Volumen von ca. 10 ml). Das Paraffin sollte aber erst eingefüllt werden, nachdem die Elektroden in den Elektrolyten eingetaucht wurden, da sonst die Elektroden die Paraffinschicht durchstechen und so, zumindest kurzzeitig, mit Paraffin „ummantelt“ werden. Anschließend wird der Akkumulator mit dem Glockenankermotor (kleiner Gleichstrommotor mit Dauermagnetstator innen und eisenlosen, hohlen Läufer außen) entladen (optional: Entladen mit einem aus einer Glückwunschkarte ausgebauten Summer bzw. mit einer LED). Es können mehrere Ladevorgänge durchgeführt werden.

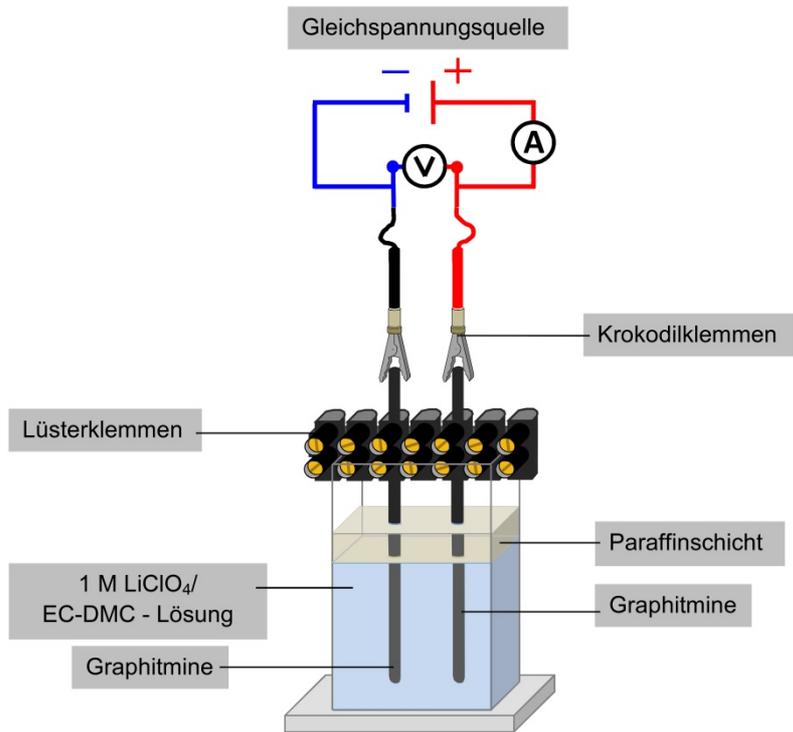


Abb. 1: Versuchsaufbau eines dual-carbon-Akkumulators mit herkömmlichen Graphitminen als Elektrodenmaterial.

Beobachtung:

Das Spannungsmessgerät zeigt nach Beendigung des Ladevorganges eine beachtlich hohe Spannung von etwa 4,6 V an, die innerhalb einer Minute auf ca. 4,4 V abfällt. Schon ca. zwei Minuten nach Beginn des Ladevorgangs ist an der mit dem Minuspol der elektrischen Spannungsquelle verbundenen Graphitelektrode eine zunächst schwach rötliche und schließlich eine goldene Verfärbung erkennbar (siehe Abb. 2). Während des Entladevorganges ist die Elektrodenverfärbung von gold über rot in umgekehrter Richtung erkennbar.

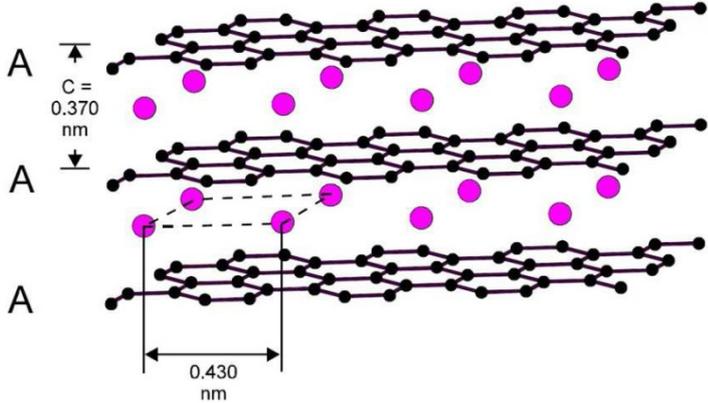
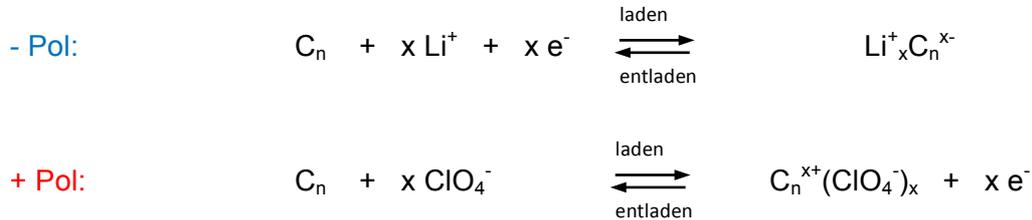


Abb. 2a/b: Links: Goldfarbene, maximal mit Lithium-Ionen besetzte Graphitelektrode in EC/DMC (1:1). Rechts: Struktur von LiC_6 in der Schichtdarstellung.

Auswertung:

Die gemessene Spannung kann durch die elektrochemisch bedingte Interkalation von Lithium-Ionen bzw. von Perchlorat-Ionen in die jeweilige Graphitelektrode erklärt werden. Die Elektrodenreaktionen können wie folgt formuliert werden:



Bei Ladespannungen von fast 5 Volt erreicht man in diesem Elektrolyten den oben beschriebenen maximalen Interkalationsgrad an Lithium-Ionen, der stöchiometrisch als LiC_6 beschrieben werden kann. Wird der in Abbildung 2 gezeigte Interkalationsgrad erreicht, vollzieht das als –Pol geschaltete Elektrodenmaterial quasi eine elektrochemische Metamorphose. Der Graphit erscheint plötzlich in goldener Farbe und weist nun diametral zur farblichen Assoziation ein Potential von fast - 3 Volt (gegen NHE) auf. Bezug nehmend auf das Elektronengasmodell von *Drude* und *Lorenz* hat man gewissermaßen eine Lithium-Ionen Elektrode im negativ geladenen "goldenen" Kohlenstoffgewand erzeugt.

Versuch 2: Der Lithium-Ionen-Power Pack

Nachdem mit dem Versuch 1 die grundsätzliche Funktionalität eines dual-carbon-Akkumulators gezeigt wurde, soll mit dem folgenden Experiment die Leistungsfähigkeit dieser ungewöhnlichen elektrochemischen Zelle optimiert werden.

Geräte und Chemikalien:

Spannungsquelle, Verbindungskabel, Messwerterfassungssystem, Krokodilklemmen, zwei Stative, fünf Elektromotoren (z. B. Solarmotor RF 300 mit Luftschraube; Anlaufspannung 0,4 Volt, Spannungsbereich 0,4 - 5,9 Volt, Anlaufstrom 25 mA; Bezugsquelle: <http://kids-and-science.tradoria.de>), Filterpapier (Bezugsquelle: z.B. Zitt Thoma GmbH, Best.-Nr. FT-2-303-580580), durchsichtiger Paketklebeband, Laborboy, Glasküvette (ca. 1cm x 10 cm x 10 cm), Graphitfolie Keratherm® (Bezugsquelle: <http://www.conrad.de>; 1 x Folie 19 cm x 19 cm, 4,32 €), Elektrolytlösung wie in Versuch 1. Über die Lehrmittelfirma können alle erforderlichen Chemikalien bezogen werden.

Vorbereitung:

Zunächst werden zwei ca. 9 x 12 cm große Graphitfolienstücke (siehe Abb. 3) zurechtgeschnitten. Danach wird bei jedem Folienstück ein 3 x 6 cm großes Rechteck herausgeschnitten, sodass eine kleine Anschlusslasche von ca. 3 x 3 cm absteht. Nun werden diese Folienstücke (das Elektrodenmaterial) in Filterpapier eingepackt. Dazu wird ein Filterpapier von ca 11 x 45 cm zugeschnitten und zweimal gefaltet, damit eine zierharmonikaartige Struktur entsteht (siehe Abb. 3). Die beiden Graphitfolienstücke werden einmal hinter die erste und einmal hinter die zweite 9 x 11 cm große Filterpapierfaltfläche gelegt und anschließend zusammengeklappt (siehe roter gestrichelter Pfeil A in Abb. 3). Mit der verbleibenden Filterpapierrestfläche werden die Elektroden abschließend umwickelt (siehe roter gestrichelter Pfeil B in Abb. 3). Sobald das Filterpapier herumgewickelt wurde,

muss es mit einem Klebestreifen fixiert werden (Streifen A in Abb. 4). Dazu wird der Klebestreifen A einmal um das gesamte gefaltete Filterpapier gewickelt bzw. geklebt. Am unteren Rand muss das Filterpapier ca. 1 cm breit umgeklappt und ebenfalls mit einem Klebestreifen (Streifen B in Abb. 4) vollständig umklebt werden. Als letzten Schritt gilt es noch, einen Klebestreifen anzubringen, der zwischen den beiden Anschlusslaschen für die Krokodilklemmen die Vorder- und Rückseite zusammenhält (Streifen C in Abb. 4).

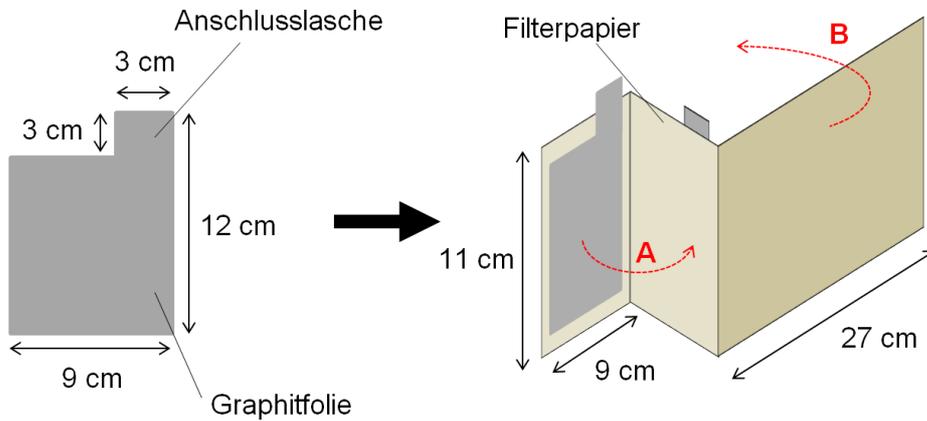


Abb. 3: Zuschneiden der Graphitfolie und Einpacken des Elektrodenmaterials in Filterpapier.

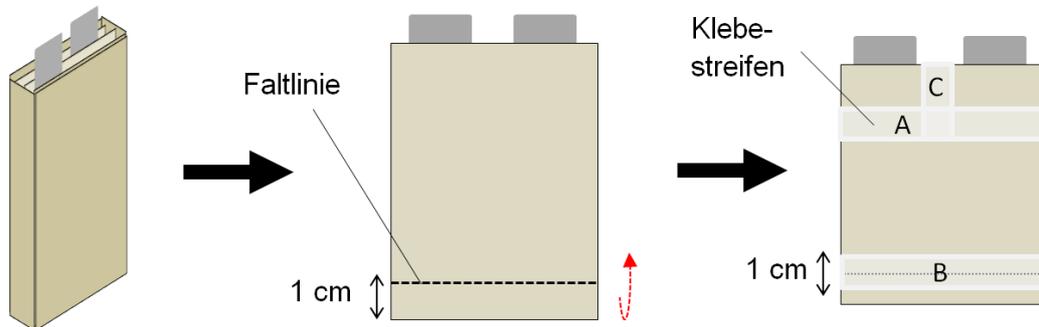


Abb. 4: Fertiges Elektrodenmaterial, das mit Klebestreifen fixiert wird.

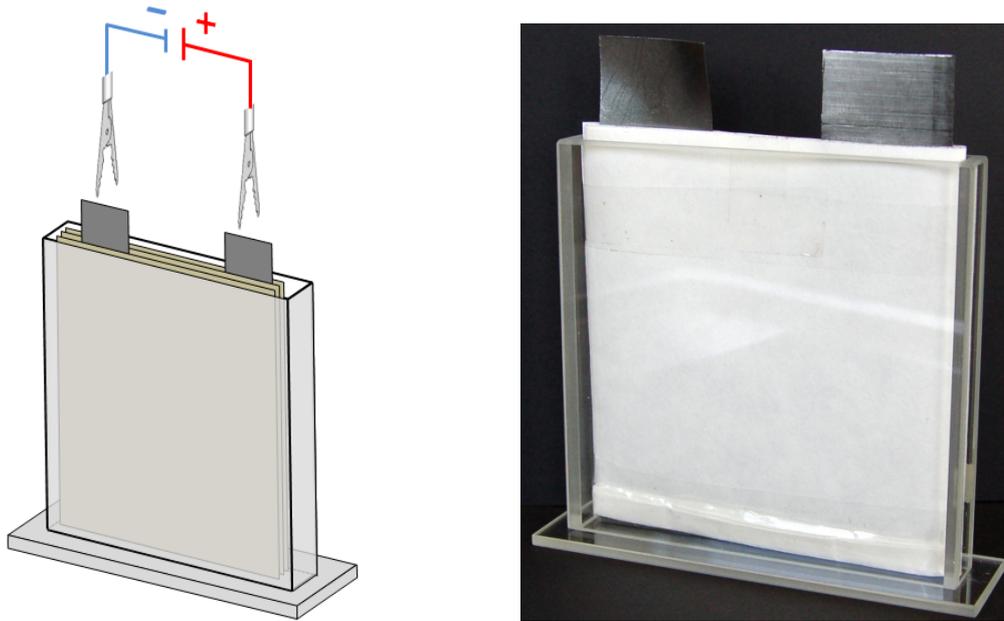


Abb. 5: Fertiger "Lithium-Ionen-Power Pack" in einer Glasküvette.

Durchführung:

Das vorbereitete Elektrodenmaterial wird in die Glasküvette gestellt und anschließend wird die Küvette bis ca. 1 cm unterhalb der Öffnung mit etwa 40 ml Elektrolytlösung befüllt (es ist auch möglich weniger Elektrolyt einzufüllen, allerdings muss dann einige Zeit gewartet werden, bis das Filterpapier vollständig mit Elektrolyt getränkt ist). Dann werden die Anschlusslaschen mit Hilfe von Krokodilklemmen und Verbindungskabeln mit dem Netzgerät für den Ladevorgang verbunden. Der so konstruierte Lithium-Ionen-Power-Pack wird 20 Minuten bei etwa 4,9 V geladen und anschließend mit Hilfe von fünf in Reihe geschalteten Elektromotoren (siehe Abb. 6) entladen.

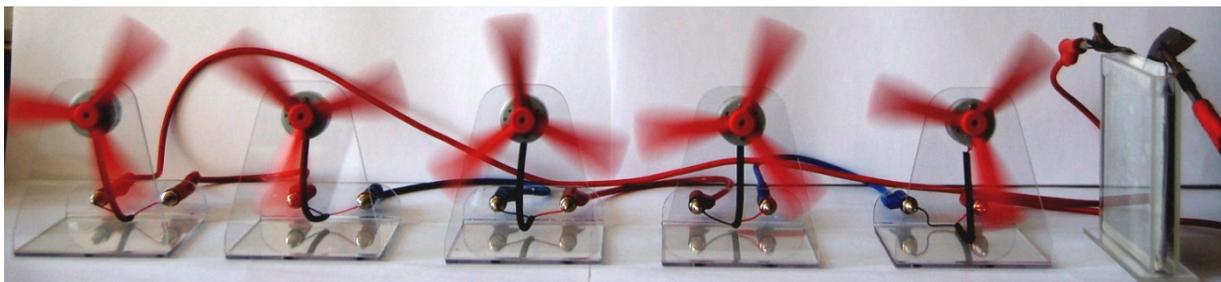


Abb. 6: Entladevorgang des "Lithium-Ionen-Power-Packs" mit fünf in Reihe geschalteten Motoren.

Auswertung:

Die zugrunde liegenden Reaktionsgleichungen sind bereits in Versuch 1 ausführlich beschrieben worden. Der in diesem Versuch konstruierte Lithium-Ionen-Akkumulator zeigt nach Beendigung des Ladevorganges eine sehr hohe Zellspannung von ca. 4,6 V, Tendenz fallend, da im Elektrolyten ein gewisser Anteil von Wasser bei den hier vorliegenden Herstellungsbedingungen nicht verhindert werden kann. Nach einer nur zwanzigminütigen Ladezeit lassen sich fünf Motoren ca. 45 Minuten betreiben! Es wird deutlich, dass die

verwendete Graphitfolie ein ausgezeichnetes Interkalationsmedium darstellt und sich daher optimal für die Konstruktion eines Akkumulators eignet.

Hinweis!

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojektes sind zwei Experimentierkästen entwickelt worden und können ab sofort bei der Firma Hedinger bestellt werden.

Nähere Informationen zum Experimentierkasten **Lithium⁺** finden Sie unter:

http://www.der-hedinger.de/produkte/neuheiten-im-programm/artikel/LAS_110.html

Nähere Informationen zum Experimentierkasten **Lithium^{POWER}** finden Sie unter:

http://www.der-hedinger.de/produkte/neuheiten-im-programm/artikel/LAS_200.html

Über die Lehrmittelfirma können auch alle erforderlichen Chemikalien bezogen werden.