



# Der Lithium-Ionen-Akku

Florian Spieler, WS 10/11; Kilian Hack, WS 15/16

## Gliederung

1	Die Lithium-Ionen-Zelle von außen nach innen .....	2
2	Die Lithium-Ionen-Zelle chemisch betrachtet .....	3
2.1	Laden/Entladen .....	3
2.2	Die Kohlenstoff-Elektrode .....	3
2.3	Die $\text{Li}_x\text{MO}_2$ -Elektrode .....	3
2.4	Überhitzung/Überladung .....	3
3	Einsatz-Möglichkeiten der Lithium-Ionen-Akku-Technik .....	3

### **Einstieg 1:** Gefahren ausgereifter Technik

Experiment im Film: Überhitzung eines Lithium-Ionen-Akkus: [Lithium-Ionen-Akku-Movie](#)

(sollte Ihr Player die Datei nicht abspielen: [VLC Media-Player](#))

**Zeitbedarf:** 20 Minuten

**Ziel:** Erhitzen eines Lithium-Ionen-Akkus mit Beobachtung der Reaktion

**Material:**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizplatte</li> <li>• Kupfer-Blech</li> <li>• Lithium-Ionen-Akku (entladen)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrarot-Thermometer</li> <li>• Abzug</li> </ul> |
|---|---|

**Durchführung:** Das Kupfer-Blech wird an den Seiten hochgebogen, so dass es eine Art Schale ergibt. Diese wird dann auf die Heizplatte (unter dem Abzug) gestellt, die auf 90°C aufgeheizt wird. Die Temperatur kann mit dem Infrarot-Thermometer überprüft werden. Hat man die 90°C erreicht, legt man den Lithium-Ionen-Akku in die Kupfer-Schale.

**Beobachtung:** Nach etwa sieben Minuten beginnt sich der Akku zu wölben. Nach 10 Minuten bildet sich Rauch und nach etwa 13 Minuten beginnt der Akku zu brennen.

**Deutung:** Der Separator zwischen Kathoden- und Anoden-Raum ist geschmolzen. Es kommt zur Kurzschluss-Reaktion, die einen Brand des Akkus zur Folge hat.

**Entsorgung:** Batterie-Entsorgung nach vollständiger Abkühlung

**Quelle:** Eigen-Konzeption

## Einstieg 2: Ersetzen von Nickel-Cadmium-Akkus durch Lithium-Ionen-Akkus

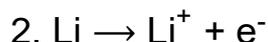
Nickel-Cadmium-Akkus werden abgeschafft bzw. je nach Cadmium-Gehalt verboten. Gründe dafür liegen auf der Hand: Cadmium ist ein giftiges Schwermetall und die Akkus weisen eine hohe Selbst-Entladung auf. Als Ersatz werden vor allem Akkus auf Lithium-Ionen-Basis eingeführt. Wie solche Lithium-Ionen-Akkus funktionieren und warum sie einen so hohen Stellenwert besitzen, soll in diesem Vortrag geklärt werden.

### 1 Die Lithium-Ionen-Zelle von außen nach innen

Der Lithium-Ionen-Akku besteht, von außen nach innen, aus einer Kunststoff-Ummantelung, die eine lithiumstabile Elektrolyt-Lösung, die entweder ein aprotisches Lösemittel oder ein Polymer ist, umschließt. Als Transfermittel für die  $\text{Li}^+$ -Ionen werden zusätzlich Leitsalze (z. B.  $\text{LiClO}_4$  oder  $\text{LiPF}_6$ ) eingesetzt. [1]

Als Separator zwischen dem Kathoden- und dem Anoden-Raum diente früher ein Gewebe aus Papier oder Stoff. Heutzutage wird eine keramikbeschichtete Membran verwendet. Die erste Elektrode (linke Halbzelle in Abb. 1) ist aus einer Schicht-Struktur des Typs  $\text{Li}_x\text{MO}_2$  (mit  $\text{M} = \text{Co}^{4+(-x)}, \text{Ni}^{4+(-x)}, \text{Mn}^{4+(-x)}$ ) aufgebaut, bei der sich  $\text{O}-\text{M}-\text{O}-\text{Li}-\text{O}$ -Schichten abwechseln. [4] Diese Struktur kann reversibel  $\text{Li}^+$ -Ionen einlagern.

Die zweite Elektrode (rechte Halbzelle in Abb. 1) bezeichnet man als „Wirtsgitter“. Sie kann aus verschiedenen Materialien aufgebaut sein. Zu nennen sind dabei nanokristallines, amorphes Silizium, Lithium-Titan-Oxide ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ), Lithium-Aluminium ( $\text{LiAl}$ ) und Lithium-Zinn ( $\text{Li}_{22}\text{Sn}_5$ ). Das am häufigsten verwendete Material ist allerdings Graphit ( $\text{LiC}_6$ ) [3]. Dabei findet beim Einlagern von Li, dem Ladevorgang, die Reaktion 1 und beim Auslagern, dem Entlade-Vorgang, Reaktion 2 statt.



Egal um welches Wirtsgitter-Material es sich handelt, die Einlagerung von Lithium wird immer als „Intercalation“ bezeichnet. [4]

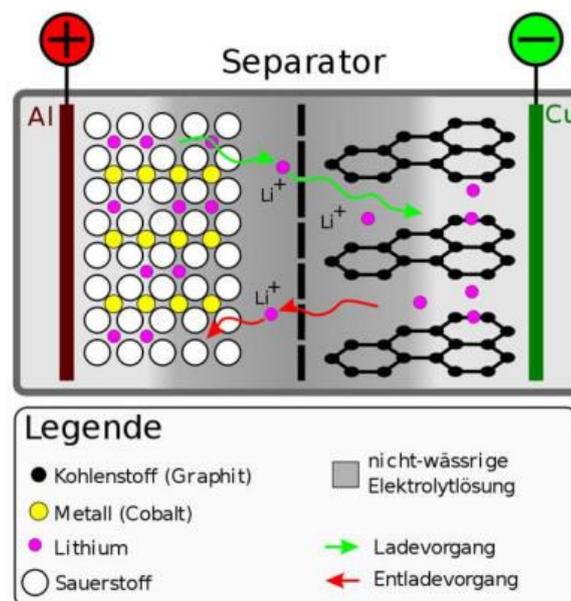


Abb. 1: schematischer Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus [5]

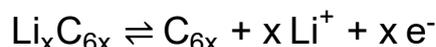
## 2 Die Lithium-Ionen-Zelle chemisch betrachtet

### 2.1 Laden/Entladen

Der Lade- bzw. Entlade-Vorgang kann als Animation unter [1 Entladen](#) bzw. [2 Laden](#) abgerufen werden.

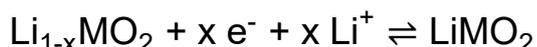
### 2.2 Die Kohlenstoff-Elektrode

An der Kohlenstoff-Elektrode herrscht das folgende chemische Gleichgewicht vor:



### 2.3 Die $\text{Li}_x\text{MO}_2$ -Elektrode

An der  $\text{Li}_x\text{MO}_2$ -Elektrode liegt das folgende chemische Gleichgewicht vor:



Zwischen den beiden Elektroden findet also ein reversibler Austausch von Lithium-Ionen statt. [3]

### 2.4 Überhitzung/Überladung

Bei der Überhitzung kommt es, aufgrund der extern zugeführten Wärme-Energie, zum Schmelzen des Separators. Dies führt zu einem Kurzschluss zwischen dem Kathoden- und dem Anoden-Raum und kann das Entzünden des Akkus zur Folge haben. Als Animation ist der Ablauf unter [3 Überhitzung](#) zu betrachten. Spricht man bei einem Lithium-Ionen-Akku von „Überladung“, so basiert das auf den folgenden chemischen Prozessen: Es kommt zur Ablagerung von metallischem Lithium an der Graphit-Elektrode. Dadurch wird die  $\text{MO}_2$ -Elektrode zum oxidierenden Element. Die Übergangsmetalle werden in eine Oxidationsstufe nahe +4 gesetzt, was zum Stabilitätsverlust der Zelle führt. Diese beginnt sich aufzuheizen, es kann zum Entzünden kommen (Animation: [4 Überladung](#)).

## 3 Einsatz-Möglichkeiten der Lithium-Ionen-Akku-Technik

Die Lithium-Ionen-Akku-Technologie ist die am häufigsten verbreitete Akku-Technologie weltweit. Mehr als 98% aller Geräte mit Akku-Technologie enthalten einen Lithium-Ionen-Akku. [2] Von der Digital-Kamera, über Handy, Laptop bis hin zum Auto, die Technologie findet sich auf einem breiten Anwendungsgebiet wieder. Es stellt sich die Frage nach dem „Warum“? Lithium-Ionen-Akkus haben zum einen keinen Memory-Effekt. Das bedeutet, dass man sie vor dem erneuten Laden nicht immer vollständig entladen muss, da es, wie bei alten Nickel-Cadmium-Akkus, sonst zur Reduktion der Leistung und Lebensdauer kommen würde. Des Weiteren liegt ihre Nennspannung höher als die der herkömmlichen Akkumulatoren. Während alte Nickel-Cadmium-Akkus eine Nennspannung von 1,2 Volt aufweisen, liegt sie bei Lithium-Ionen-Akkus bei 3,7 Volt. [8] Eine geringe Selbst-Entladung und eine hohe Energie-Dichte runden die Vorteilspalette ab. [7] Der Film, der eingangs angesehen werden kann, muss, genauso wie die Szenarien „Überhitzung“ und „Überladung“ an dieser Stelle allerdings relativiert werden. Durch die Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Akku-Technik können diese als extrem sicher bezeichnet werden. Durch die Integration eines internen Überspannungsschutzes ist die Überladung nicht mehr möglich. Der Aufbau des Separators aus einer keramikbeschichteten Membran verhindert zudem die Gefahr der Überhitzung. Temperaturen, die dazu nötig wären, können beim alltäglichen Umgang mit Technologie, welche mit Lithium-Ionen-Akkus betrieben wird, nicht erreicht werden. [6]

**Zusammenfassung:** Ein Lithium-Ionen-Akku setzt sich aus zwei Halbzellen zusammen. Die erste Elektrode besteht aus einer Schicht-Struktur des Typs  $\text{Li}_x\text{MO}_2$ . Die zweite Elektrode kann aus verschiedenen Materialien aufgebaut sein, wobei am häufigsten Graphit verwendet wird. Beim Lade-Vorgang werden Lithium-Ionen in das „Wirtsgitter“ der Graphit-Elektrode eingelagert und beim Entlade-Vorgang ausgelagert. An beiden Elektroden herrscht ein chemisches Gleichgewicht, weshalb es zwischen den Elektroden zu einem reversiblen Austausch von Lithium-Ionen kommt. Verwendung finden Lithium-Ionen-Akkus vor allem aufgrund ihrer hohen Nennspannung im Vergleich zu herkömmlichen Akkus. Außerdem weisen sie keinen Memory-Effekt auf und besitzen eine geringe Selbst-Entladung. Gefahren durch Überhitzung oder Überladung wurden durch technische Möglichkeiten und Weiter-Entwicklungen minimiert.

**Abschluss 1:** *Es lässt sich also sagen, dass es sich bei einem Lithium-Ionen-Akku um viel Chemie auf wenig Raum handelt. Die Anwendungsbereiche sind groß. Schon jetzt reichen sie vom Handy bis hin zum Automobil. Der Lithium-Ionen-Akku kann deshalb als momentaner Maßstab der Akku-Technik bezeichnet werden. Nicht zuletzt durch die Tatsache, dass er in mittlerweile 98% der Geräte mit Akku-Technologie verwendet wird. Seine Bedeutung wird auch in der absehbaren Zukunft, vor bei der Entwicklung von alternativen Antrieben in der Automobil-Industrie, noch weiter zunehmen. [5]*

**Abschluss 2:** *Der Lithium-Ionen-Akku hat die „Akku-Branche“ verändert und ist heute fester Bestandteil in den meisten technischen Geräten. Auch in Hinsicht auf Innovationen wie E-Bikes oder E-Autos ist er von großer Bedeutung. Trotz der tragenden Rolle sind Forschungen an noch effizienteren Akkus weit vorangeschritten und könnten in Zukunft in Konkurrenz zum Lithium-Ionen-Akku treten. [11]*

#### Quellen:

1. Janek, J. et al. (2008): In: Chemie unserer Zeit 2008 (2), 80-90
2. Masaki Yoshido, Hrsg. (2009): Lithium-Ion Batteries. Science and Technologies. New York: Springer
3. Riedel, E. (2004): Anorganische Chemie: Berlin: de Gruyter
4. Wiberg, N., Holleman, A. (2007): Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin: de Gruyter
5. <http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>, 10.07.2018
6. <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm> , 10.07.2018
7. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Mehr-Energiedichte-fuer-Lithium-Ionen-Akkus-900422.html> , 10.07.2018
8. <http://www.apple.de> , 10.07.2018
9. <http://www.chemie.de/lexikon/Lithium-Ionen-Akkumulator.html> , 10.7.2018
10. <http://www.exzelltum.de/index.php/aufbau-einer-lithium-ionen-batterie.html>; 10.07.2018 (Quelle verschollen, 10.11.2020)
11. <https://www.wissenschaft.de/technik-digitales/alu-akkus-der-traum-aller-smart-phone-user/>, 10.07.2018