



DIE FIREBUSTERS

Lithium-Ionen-Zellen am Prüfstand

DER DAUER- BRENNER

Sie sind nicht nur eine der innovativsten Entdeckungen der letzten Jahrzehnte, sondern stellen auch im wahrsten Sinn des Wortes einen „Dauerbrenner“ dar: Lithium-Ionen-Batterien! Dabei wird versucht, die am universellsten einsetzbare elektrische Energie auf kleinstem Raum zu speichern. Mit dem unangenehmen Nebeneffekt, dass derartige kompakte Energiespeicher auch lästige und dauerhafte Brände entwickeln können. Was steckt dahinter?

Rückholaktionen. In den letzten Jahren hat es viele Rückholaktionen bei elektronischen Geräten gegeben, die mit Lithium-Ionen-Batterien ausgerüstet waren. So mussten beispielsweise Millionen von Handys und Notebooks aus Gründen der Brandgefahr von den Nutzern an die Auslieferungsfirmen rückerstattet werden. Viele Brände sind bereits auch an E-Autos, E-Mopeds sowie Elektro-Fahrrädern und Elektro-Tretrollern aufgetreten. Die Entsorgungsfirmen klagen zunehmend über große Brandschäden und haben bereits Probleme mit den Versicherungsanstalten. Aber eines war dabei immer gewiss: Es waren Lithium-Ionen-Zellen im Spiel!

Kraftwerke im Handtaschenformat. Lithiumbatterien werden oft als Kraftwerke im Handtaschenformat bezeichnet. Der Grund dafür liegt in ihrer hohen Energiedichte auf kleinstem Raum. Gegenüber den vor Jah-

ren gebräuchlichen Batterien ist nämlich heute die Leistung moderner Batterien bei wesentlich geringerer Größe immer größer geworden.

Gefahren in der Praxis!

Grundsätzlich können bei gutem Fertigungsstandard, bei zertifizierten Lade- und Zellenüberwachungssystemen sowie sachgerechter Handhabung Lithium-Ionen-Speichermedien als ausreichend sicher eingestuft werden. Die große Nachfrage nach Lithium-Ionen-Akkus hat aber unter anderem auch dafür gesorgt, dass schlechte Produkte auf den Markt kommen. Schwachstelle ist dabei vor allem die hauchdünne Trennschicht in den Akkus, der sogenannte Separator, der Minus- und Pluspol voneinander trennt. Wird dieser Separator fehlerhaft eingebaut oder beschädigt, kann es zu einem Kurzschluss kommen und der Akku Feuer fangen oder sogar explodieren. Aber auch

das Überladen, das Tiefentladen, heftige Stöße oder starke Vibrationen können einen Akku beschädigen. Dazu kommen Gefahren beim Überschreiten der zugelassenen Temperaturbereiche, etwa wenn es zu heiß oder zu kalt wird.

Brandursachen. Diese „Wunderspeicher“ haben jedoch einen Makel: Sie können „durchgehen“, was auch als „Thermal Runaway“ bezeichnet wird. Dabei entsteht eine sich selbst verstärkende, exotherme Reaktion mit hohen Temperaturen. Bei Lithium-Ionen-Zellen können in der Praxis im Wesentlichen drei Ursachen dafür festgestellt werden:

- **Mechanische Beschädigung**
Innerer Kurzschluss durch Unfälle, Erschütterungen, Produktionsfehler etc.
- **Elektrische Belastung**
Durchgehen bei Tiefentladung, Überladung, elektrischen Abnutzungs-schäden (z. B. Bildung von Dendriten) etc.
- **Thermische Belastung**
Temperatureinwirkung durch äußere Flammen-einwirkung (Brand) etc.

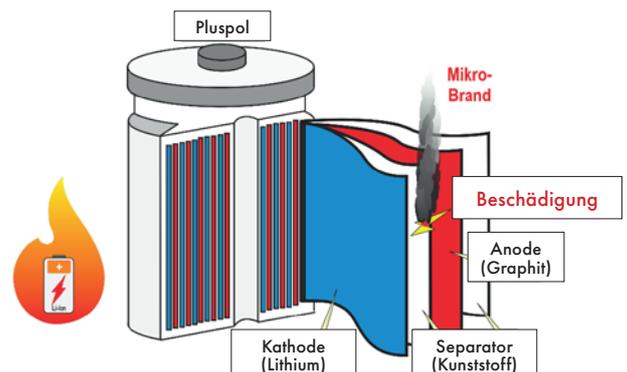


„Thermal Runaway“ an einem großen Batteriepack im Zuge eines Brandversuches an der Feuerwehr- und Zivilschutzschule Steiermark (Quelle: Widetschek [1]).

Was sind Dendriten? In den letzten Jahren wurde vor allem erforscht, warum sich Lithium-Ionen-Zellen selbst entzünden können. Dabei tritt immer mehr die bei Ladevorgängen mögliche Lithium-Dendriten-Bildung in den Vordergrund. Es sind dies nadel- und baumartige, stalagmitenähnliche Strukturen, die sich durch elektrochemische Prozesse ausbilden können. Wenn sie groß genug werden, sind sie in der Lage, die Trennschicht zwischen den Elektroden (Separator) zu durchdringen und einen Kurzschluss zu verursachen. Dies führt dann zu einer Überhitzung und möglicherweise zu einem Brand (Selbstentzündung) [2].

Schematische Darstellung:

Brandentstehung in einer Li-Ionen-Zelle (Zelle 18650)



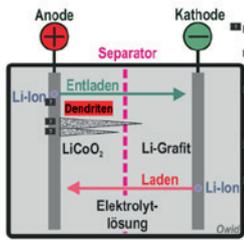
Grafik: Widetschek



QR-Code scannen & noch mehr Experimente ansehen



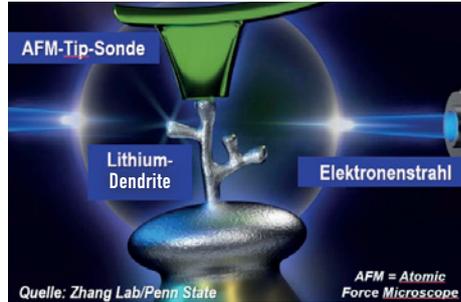
Bildung von Dendriten an der Anode einer Lithium-Ionen-Zelle, Schema.



Legende:
Kathode: Grafik mit Li-Ionen
Anode: Metalloxide mit eingelagerten Li-Ionen (hier Kobalt-Oxid)
Separator: Kunststoff-Folie (PE, PP etc.)
Elektrolyt: Wasserfreies Lösungsmittel mit fluorhaltigen Salzen

Grafik: Widetschek

Darstellung von Dendriten in einem Rasterelektronen-Mikroskop.



Forschungsbericht. Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hat man sich mit dem Brandverhalten von Lithium-Ionen- und Lithium-Metall-Batterien befasst und dazu einen umfassenden Forschungsbericht veröffentlicht^[3].

Für den Feuerwehreinsatz kann man dabei personenschutz- und umweltrelevante Erfordernisse in dreierlei Hinsicht ableiten:

- **Persönliche Schutzausrüstung**
Die Brandgase sind toxisch und können neben Kohlenmonoxid auch fluorierte Kohlenwasserstoffe, Fluss- und Phosphorsäure sowie aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten. Beim Einsatz ist daher – neben einer entsprechenden Schutzbekleidung – der schwere Atemschutz auch bei kleineren Brandereignissen von großer Bedeutung.
- **Brandbekämpfung**
Das Löschen von Lithiumbat-

teriebänden kann sehr langwierig sein und kann nur mit einem kühlenden Löschmittel erfolgen. Dies ist im Wesentlichen Wasser, wobei auch oberflächenaktive Zusätze verwendet werden können.

- **Löschmittlrückhaltung**
Da sich im Löschwasser und Brandschutt auch giftige Schwermetalle (Kobalt- und Nickelverbindungen) und andere toxische Substanzen befinden können, ist eine fachgerechte Entsorgung notwendig.

Eigene Brandversuche. Im November und Dezember 2019 hat das Brandschutzforum Austria in Kooperation mit der Fa. Accupower Forschungs-, Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft GmbH aus Graz Brandversuche mit Lithium-Ionen-Zellen an der Feuerwehr- und Zivilschutzschule Steiermark durchgeführt:

1. Brandverhalten von Lithium-Ionen-Akkus und Lithium-Eisenphosphat-Akkus (Energie je 411 Wh). Es wurde ein Vergleichsversuch bei Temperatur- bzw. Flammeneinwirkung von außen in zwei Schutzkäfigen.

2. Brandversuche mit einem Sicherheitsschrank für Li-Ionen-Akkus. Es wurden dabei Akkupacks mit einer Gesamtenergie von etwa 7.250 Wattstunden (Wh) und einem Gesamtgewicht von 41,7 Kilogramm (kg) durch ein elektrische Heizplatten in Brand gesetzt (siehe Titelbild).

Thermal Runaway. Bei den Versuchen mit Lithium-Ionen-Batterien zeigte sich folgender Brandablauf: Nach Erreichen von etwa 250 °C zerplatzen bereits die ersten Batteriezellen und setzen große Mengen an hochtoxischen Brandgasen frei. Ab etwa 600 °C erfolgt ein genereller Zellenbrand, der

einen kettenreaktionsartigen Verlauf zeigt (Thermal Runaway). Der speziell konstruierte Lagerschrank wurde dabei mit einer Rohrzuführung mit Düsen, über welche Kühlwasser eingebracht werden kann, ausgerüstet. Nach Flutung der brennenden Batteriezellen konnte der Brand relativ rasch unter Kontrolle gebracht werden.

Aufgaben der Feuerwehr. Die Feuerwehr hat auch bei derartigen Brandszenarien wirksame Löschmaßnahmen mit Wasser bzw. Schwerschaum durchzuführen und zu verhindern, dass eine weitere unkontrollierte Brand- und Rauchausbreitung erfolgt.

Im weiteren Verlauf ist die Wärmeentwicklung der in Brand geratenen Lithium-Ionen-Zellen zu überwachen (Beobachtungen, Einsatz von Wärmebildkameras etc.). Da eine spätere Rückzündung nicht ausgeschlossen werden kann, sollen die Brandreste der Batterie an einen sicheren Ort (in Wasserbehältern etc.) verbracht bzw. später einem Entsorger übergeben werden.



Lithium-Ionen-Akkus sind wesentlich instabiler als Lithium-Eisenphosphat-Akkus und brennen kettenreaktionsartig ab. Bei Lithium-Eisenphosphat-Akkus (links) kam es zu keiner Flammenwirkung aber zu Zerstörungen von Einzelbatterien.



LiFePO4-Akkus blieben im Batteriepack und setzten sich bei intensiver Raumentwicklung thermisch um.



Das Lithium-Ionen-Pack wurde zerstört und die Akkus explodierten unter Flammerscheinung.



Mit Li-Ionen-Akkus beladener Sicherheitsschrank mit Wasseranschluss (siehe oben).



Alle Lithium-Ionen-Akkus wurden beim Brandversuch zerstört.

EXPERIMENT NR. 64: DIE BRENNENDE BATTERIE

Im Folgenden wollen wir zwei anschauliche Experimente mit Lithium-Ionen-Zellen durchführen, bei welchen einerseits eine thermische Belastung von außen und andererseits eine mechanische Beschädigung einer Batterie bewusst erfolgt.



EXPERIMENT 1

In den oben offenen Stahlbehälter der Versuchsanordnung werden einige Lithium-Ionen-Zellen eingebracht und der Propangasbrenner mit dem Zündgerät entfacht. Nach einigen Minuten beginnen die lose im Behälter liegenden Batterien zu zerknallen. Dabei entstehen mitunter spektakuläre Feuerfontänen (siehe Bild).

Erklärung

Die Propangasflamme erhitzt die Batterien, und ab etwa 250 °C beginnen diese zu zerplatzen. Nun können die brennbaren Inhaltsstoffe (Elektrolyt, Plaste, Metalle) Feuer fangen. Dabei wird der Sauerstoff bei Zersetzen der Kathodenmaterialien freigesetzt, wodurch das Löschen von derartigen Batteriebränden besonders schwierig wird.

EXPERIMENT 2

Wir spannen eine zylindrische Li-Ionen-Zelle in den Schraubstock und schlagen einen Stahl-nagel mit einem Hammer durch die Zellhaut. Fast immer kommt es bei dieser Penetration augenblicklich zu einem ausgeprägten Funkenregen, der über einen Meter groß sein kann. Anmerkung: Ein ähnlicher Effekt kann beim Aufbohren der Batterie auftreten!

Erklärung

Beim Einschlagen des Nagels bzw. dem Aufbohren der Batterie kommt es zu einem inneren Kurzschluss des Systems. Dabei wird die große Energiedichte der Lithium-Ionen-Batterie schlagartig frei. ●



Literaturhinweise

- [1] WIDETSCHKEK O.: Der Dauerbrenner – Lithium-Ionen-Batterien am Prüfstand, BLAULICHT, Heft 12/2019, Graz.
 [2] CHEMIE.DE: Was Lithium-Akkus explosiv macht – Neues Modell erklärt Dendritenwachstum in Batterien; 2021. <https://www.chemie.de/news/1169993/was-lithium-akkus-explosiv-macht.html>.
 [3] KUNKELMANN J.: Untersuchung des Brandverhaltens von Lithium-Ionen- und Lithium-Metall-Batterien in verschiedenen Anwendungen und Ableitung einsatztaktischer Empfehlungen; Forschungsbericht Nr. 175, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2015.



MATERIAL

STAHLNAGEL



STAHLBEHÄLTER

(oben offen auf Dreibein, siehe Bild Experiment 1)



SCHRAUBSTOCK



HAMMER



LITHIUM-IONEN-ZELLEN



PROPANGASBRENNER

(unter Behälter fixiert)



PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

! WARNHINWEIS !

Die Experimente sind nur von praxiserfahrenen Personen mit entsprechender Schutzausrüstung und unter Einhaltung von üblichen Sicherheitsabständen durchzuführen! Alle Zuschauer sollen sich dabei mindestens 10 Meter entfernt vom Versuchsort aufhalten!

Bei den Experimenten eine brennbare Unterlage verwenden. Achtung auf entstehende Funken! Alle dargestellten Versuche bergen bei unsachgemäßer Ausführung Gefahren in sich. Bei Unfällen wird seitens der Redaktion keine Haftung übernommen.

BEZAHLTE ANZEIGE



HAUSER KAIBLING

...DIE SCHÖNSTEN PISTEN

Erlebe unvergessliche Skitage auf dem Hauser Kaibling. Von perfekt präparierten Pisten über moderne Bahnen bis hin zu kulinarischen Highlights – hier erwartet dich alles, was das Skifahrerherz begehrt.

Der Hauser Kaibling bildet den idealen Einstieg sowie den höchsten Punkt der 4-Berge-Skischaukel Schladming. Großzügige Parkflächen und das riesige, kostenlose Übungsgelände „Wollis Kids Park“ im Tal sorgen für perfektes Skivergnügen. Die schönsten Pisten, die längste Funslope Österreichs, gemütliche Hütten und die Genussinsel mit 360-Grad-Panoramaliegen bieten einen erholsamen sowie sportlichen Skitag. Neu: Die 8er-Sesselbahn „Kaiblinggrat“, die stärkste Sesselbahn der Steiermark, bringt dich in nur 4,5 Minuten zum Senderplateau. Auch diese Wintersaison steht wieder ganz im Zeichen von guter Musik, grandioser Stimmung und gemütlichem Beisammensein. Zahlreiche Events bringen den Skiberg heuer wieder zum Beben. Après-Ski der Sonderklasse, Open-Air-Feeling und eine garantiert grandiose Show erwarten euch bei der DJ-Ötzi-Gipfeltour 2025 an der Hause-Kaibling-Talstation – direkt vor den Toren der AlmArena! Bei cooler Musik, leckeren Drinks und einer Top-Aussicht wird bei Reif für die Insel mit DJ-Beats getanzt, gelacht und die Sonne auf den 360-Grad-Panoramaliegen genossen.



Alle Events & Details:
→ www.hauser-kaibling.at/events

TIPP:

Jetzt frühzeitig Tages- oder Mehrtageskipass zum „Ski amadé Frühbucher-Bonus“ online kaufen und Geld sparen:



→ www.hauser-kaibling.at/bestpreis

Snow & Beef. Das winterliche Grillfest mit Live-Musik und Weinverkostung auf der Krummholzhütte ist das kulinarische Highlight auf den schönsten Pisten.

Klangvoll. Mit viel Witz, Charme und astreinem Rock aus der Bundeshauptstadt begeistert die Band „Wiener Wahnsinn“. Sei dabei und erlebe musikalischen Hochgenuss auf der Sonnenterrasse der Schmiedhütte ●