

## Brandschutz im Umgang mit gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien im Recyclingbetrieb

Sascha Bruns und Marc Dinse

1.	Gründe für das thermische Durchgehen .....	605
2.	Der innere Kurzschluss und seine Folgen.....	606
2.1.	Brandgefahr .....	606
2.2.	Gefahr durch austretende Schadgase .....	607
3.	Lithium-Ionen-Batterien in der Recyclingwirtschaft.....	608
4.	Bekämpfung von Lithium-Ionen-Batterie-Bränden .....	610
4.1.	Allgemeine Maßnahmen.....	610
4.2.	Entwicklung von Schutzsystemen.....	610
5.	Fazit.....	612
6.	Quellen .....	612

Elektromobilität als Schlagwort der vergangenen und kommenden Jahre fordert die deutsche und die internationale Industrie zu immer neuen Entwicklungen in der Batterietechnik heraus. Die Lithium-Ionen-Technologie, die seit ungefähr 25 Jahren im Verbrauchermarkt etabliert ist, hat dabei ihr bisheriges Haupteinsatzgebiet bei mobilen elektronischen Geräten gefunden. Diese Akkumulatoren sind somit seit Jahren wesentlicher Bestandteil des Elektronikschrotts und bedürfen einer besonderen Beachtung bei Transport und Entsorgung beziehungsweise beim Recycling. Die Gefahren, die von einer Lithium-Ionen-Batterie ausgehen, hängen dabei von ihrer Konstruktion, ihrer Zellchemie, ihrem Alter, ihrer Behandlung und den Einsatzbedingungen über die Lebenszeit ab.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt befinden sich verschiedene Eigenschaften der Lithium-Ionen-Batterien nicht auf einer Zielgerade. Soll heißen, dass wichtige Parameter wie Energiedichte, Leistungsdichte und Eigensicherheit unterschiedlicher Zellchemien bedürfen und diese Eigenschaften damit nicht in einem Produkt vereinbar sind. Eine wesentliche Problematik stellt dabei der Widerspruch zwischen Energiedichte und Eigensicherheit der Zelle dar. Um die Energiedichte weiter zu steigern, sehen sich die Zellhersteller seit Jahren dazu gezwungen die Separatoren und Wandungen möglichst dünn zu gestalten, was die Wahrscheinlichkeit und die Folgen eines thermischen Durchgehens erhöht.

Die Zunahme der Energiemenge in den einzelnen elektronischen Kleingeräten wie Smartphone oder Notebook ist für sich gesehen derzeit lediglich im Alltag von Airlines relevant. Das ergibt sich aus der besonderen Gefährdungslage in der Luftfahrt.

Ein ganz anderes Gefährdungspotential ergibt sich aus den Batteriedimensionen, die in der Elektromobilität benötigt werden und in der Akkumulation vieler Batterien im Alltag der Recyclingwirtschaft.

Brennende Lithium-Ionen-Akkus sind alltägliche Vorfälle, die zum größten Teil glücklicherweise folgenlos bleiben, zu einem anderen Teil aber Personenschäden oder sehr hohe Sachschäden nach sich ziehen.

Ein aktuelles Beispiel ist der Brand eines Lkws auf der A31 im November 2017, der für das Recycling vorgesehene Lithium-Ionen-Akkus geladen hatte, die wahrscheinlich Auslöser des Brandes sowie Schwerpunkt des Brandszenarios waren. [9] Darüber hinaus gerieten Ende 2017 zwei Elektrofahrzeuge, jeweils eins in Reutlingen und Linz, während des Ladevorgangs in Brand. [6, 10] In den drei Beispielen konnten die Einsatzkräfte den Brand erst nach mehreren Stunden abschließend löschen.

Abgesehen von der Vielzahl an elektronischen Geräten, die mit Lithium-Ionen-Batterien betrieben werden, wird auch die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität die Masse an Lithium-Ionen-Batterien drastisch erhöhen. Selbst wenn die politische Kennzahl *1 Mio. Elektroautos bis 2020* außer Acht gelassen wird, so lässt sich aus der gegenwärtigen Entwicklung ein Trend ableiten, der zumindest im Oberklassensortiment bald einen relevanten Anteil elektrisierter Fahrzeuge auf den Straßen erwarten lässt. Das zeigt sich insbesondere in Norwegen, wo der Anteil an elektrifizierten Pkw bei den Neuzulassungen von Januar bis September 2017 etwa 35 % erreicht hat. [2, 8]

Diese Sicherheiten werden unter anderem durch das Batteriemanagementsystem sowie die Konstruktion der Zellen gewährleistet. Doch Effekte wie chemische Alterung und/oder eine mechanische Beschädigung, beispielsweise nach einem Unfall, führen gegenwärtig noch zu vielen ungeklärten Fragen nach der Lagerung, dem Transport sowie der Entsorgung defekter und damit nicht mehr sicherer Batterien. Die Gefahrenklassen, in die Lithium-Ionen-Batterien eingeteilt werden, finden sich in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 1: Gefahrenklassen nach EUCAR

Gefahrenklasse	Mögliche Gefährdung	Klassifizierung und Auswirkung
0	Kein Effekt	Keine Auswirkung oder Funktionseinschränkung
1	Sicherheitssystem ausgelöst	Zelle reversibel beschädigt, Reparatur des Sicherheitssystems nötig, keine Leckage, exotherme Reaktion oder Explosion, kein Gasaustritt, Feuer, Bruch oder Thermal Runaway
2	Defekt	Zelle irreversibel beschädigt, Austausch notwendig, keine Leckage, exotherme Reaktion oder Explosion, kein Gasaustritt, Feuer oder Bruch
3	Leckage mit Masseverlust < 50 %	Zelle irreversibel beschädigt, Austausch notwendig, keine Explosion, kein Gasaustritt, Feuer oder Bruch aber Elektrolytaustritt mit max. 50 % Gewicht
4	Gasaustritt und Masseverlust > 50 %	Zelle irreversibel beschädigt, Austausch notwendig, keine Explosion, Feuer oder Bruch aber Elektrolytaustritt mit über 50 % Gewicht und Gasaustritt
5	Feuer oder Flammaustritt	Zelle irreversibel beschädigt, Austausch notwendig, keine Explosion oder Bruch, keine fliegenden Teile
6	Bruch des Gehäuses	Keine Explosion, aber herumfliegende Teile
7	Explosion	Explosion der Zelle

Quelle: Josefowitz, W. et al.: Assessment and Testing of Advanced Energy Storage Systems for Propulsion–European Testing Report. Proceedings of the 21st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition. Monaco, EU. April 2-6, 2005, p. 6

Für den Transport von Lithium-Ionen-Batterien gibt es Testverfahren, die zeigen sollen, wie sich die Batterien verhalten, wenn sie verschiedenen Einflüssen ausgesetzt werden. Die Tests sind in der Transportvorschrift UN 38.3 geregelt und setzen sich wie folgt zusammen:

- T1: Höhensimulation/Altitude
- T2: Thermischer Test
- T3: Vibration
- T4: Schock
- T5: Externer Kurzschluss
- T6: Schlagwirkung/Impact
- T7: Überlasttest/Overcharge
- T8: Erzwungene Entladung

Die Tests der UN 38.3 zeigen indirekt aus welchen Gründen es zu einer Entzündung von Lithium-Ionen-Batterien kommen kann. Im nächsten Kapitel wird darauf genauer eingegangen.

### 1. Gründe für das thermische Durchgehen

Eine Lithium-Ionen-Batterie hat aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Energiedichte, welche mit ihrem elektrochemischen Potential korreliert, ein hohes reaktives Potential. Die Freisetzung dieser Energiemenge erfolgt unter kontrollierten und günstigen Umständen durch die elektrische Entladung zugunsten eines elektrischen Verbrauchers. Unter ungünstigen Umständen, die in der Recyclingwirtschaft häufiger auftreten, erfolgt diese Entladung jedoch oft unkontrolliert über eine thermische Energieabgabe. Dadurch kommt es oft zu einer Entzündung einzelner Zellen, was häufig zum thermischen Durchgehen der ganzen Batterie führt. Ursachen für diese plötzliche unkontrollierte Entladung sind:

#### **Mechanische Beschädigung der Batterie bzw. Zelle**

Durch die Verformung einer Zelle oder das Eindringen eines Fremdkörpers in die Zelle kann es zu einer Beschädigung des Separators und damit zu einem inneren Kurzschluss kommen.

#### **Überladung der Zelle**

Wird die Ladeschlussspannung einer Zelle wesentlich überschritten, was normalerweise durch Schutzmaßnahmen wie Balancerschaltungen und Schmelzsicherungen vermieden werden soll, so kommt es anfangs zu einer Erwärmung der Zelle. Wird die Batterie weiter geladen, steigt die Reaktivität in der Zelle an und gleichzeitig kann es zum Versagen bzw. Schmelzen des Separators kommen. Der daraus wiederum folgende innere Kurzschluss ist oft noch reaktiver aufgrund des höheren elektrochemischen Potentials sowie der Wärme in der Zelle.

## Äußerer Kurzschluss der Batterie oder Zelle

Durch den hohen Stromfluss eines äußeren Kurzschlusses oder auch einer sehr hohen Last erwärmen sich die Zelle oder mehrere Zellen in der Batterie aufgrund ihres Innenwiderstands. Auch diesem Verhalten versucht man mit Sicherheitseinrichtungen wie Schmelzsicherungen, Bimetallsicherung und/oder elektronischen Abschaltungen entgegenzuwirken. Kommt es trotzdem zu einer kritischen Erwärmung, kann diese auch in diesem Falle zu einem inneren Kurzschluss führen.

## Thermische Einwirkungen

Zu thermischen Einwirkungen auf die Zellen kommt es durch batterieexterne sowie durch interne Einflüsse. Ein externer Einfluss kann zum Beispiel ein Brand, starke Sonneneinstrahlung oder das Versagen eines Kühlsystems sein. Ein innerer Einfluss ist meist Folge einer sogenannten Propagation. Nach dem Versagen einer Zelle und deren Überhitzung kommt es durch Wärmeleitung oder aber durch erzwungene Konvektion durch austretende heiße Gasströme zur thermischen Ansteckung (Propagation) weiterer Zellen.

## Dendritenbildung

Durch die chemische Alterung der Zellen oder zum Teil auch beschleunigt infolge einer Tiefentladung kann es dazu kommen, dass sich das Lithium in der Zelle nicht mehr gleichmäßig verteilt und es zum Kristallwachstum kommt. Diese sogenannten Dendriten können im ungünstigen Fall den Separator durchstoßen und zu einem inneren Kurzschluss führen.

Aus den vorangegangenen Ausführungen zeigt sich, dass es in allen Fällen zu einem inneren Kurzschluss der Zelle kommt. Die Folgen daraus werden im nächsten Kapitel beschrieben.

## 2. Der innere Kurzschluss und seine Folgen

### 2.1. Brandgefahr

Der innere Kurzschluss führt zu einer sehr hohen Leistung in der Zelle. Durch die schnelle Erwärmung und durch chemische Reaktionen kommt es zur Zersetzung der Stoffe in der Zelle sowie zu einer raschen Volumenzunahme. Das führt im besten Fall zu einem gezielten Ausströmen der heißen Gase durch vorgesehene Berstöffnungen, kann im schlimmsten Fall jedoch durch das Bersten der Außenhülle zu einer Explosion führen. Durch die hohe Temperatur der Gase, austretende Funken und Flammen sowie die Reaktivität kommt es in vielen Fällen zur Entzündung der Gase. Die anschließende Verbrennung kann auch unter Umgebungsluftabschluss geschehen, da viele Stoffe der Zelle untereinander reagieren können. Daher ist auch das Löschen einzelner Zellen nicht möglich. Durch aktives Kühlen kann lediglich die Propagation verhindert werden. Die dabei auftretenden Energiemengen kann man

bedingt veranschaulichen, in dem man die bekannte 18650 Laptopzelle mit der 7,62 × 51 mm NATO-Gewehrpatrone vergleicht. Tatsächlich übersteigt die Energiemenge der Zelle die Geschossenergie des entsprechenden Projektils um ungefähr das 27-fache.

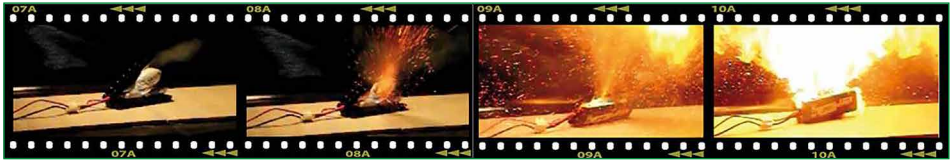


Bild 1: Havarie eines Lithium-Polymer-Akkumulators

## 2.2. Gefahr durch austretende Schadgase

Neben den Risiken durch thermische oder mechanische Folgen ist die Toxizität der austretenden Schadgase eine ganz wesentliche Gefahr für die Menschen im Umfeld der auftretenden Havarie. Bei den in der Zelle befindlichen Elektrolyten handelt es sich meistens um Fluorsalze des Lithiums. Speziell das oft zu findende Lithiumhexafluorophosphat zersetzt sich bereits ab 107 °C zu Lithiumfluorid sowie dem gasförmigen und hochtoxischen Phosphorpentafluorid, welches in Gegenwart von Luftfeuchtigkeit zu dem ebenso toxischen und hoch korrosiven Fluorwasserstoff weiterreagiert. [13] Des Weiteren werden von der Zelle aromatische Kohlenwasserstoffe und deren teilverbrannte Oxide ausgestoßen, von welchen ebenso ein hohes Risiko für die Gesundheit ausgeht. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut wurden verschiedene Versuche zur Untersuchung der entstehenden Gase durchgeführt. Es wurden bau- und chargengleiche Batterien in die Havarie getrieben und die entstehenden Gase gaschromatographisch ausgewertet. [5]

Tabelle 2: Volumenanteile der Schadstoffe im Schadgas bei Havarie von Lithium-Ionen-Batterien

Stoff	ohne Filter	Filter-version 1	Filter-version 2	Filter-version 3	Filter-version 4	Filter-version 5
Benzol	2,62 % 84,9 M	– –	2,50 % 1 M	0,29 % 142 k	9,62 % 16 M	– –
Dimethylester	20,85 % 676,3 M	73,01 % 257 k	64,53 % 40,4 M	1,91 % 951 k	65,99 % 109 M	29,64 % 894 k
Toluol	2,3 % 74,5 M	15,16 % 53 k	0,34 % 211 k	– –	4,02 % 6,7 M	29,74 % 894 k
Diethylester	23,07 % 748,1 M	11,82 % 42 k	22,35 % 13,8 M	0,38 % 187 k	19,24 % 23,03 M	8,90 % 594 k
Alken	0,78 % 25,3 M	– –	0,75 % 460 k	– –	– –	– –
Ethylhexylester	0,54 % 17,7 M	– –	0,78 % 482 k	– –	– –	– –
Weichmacher	– –	– –	4,88 % 3,0 M	– –	– –	– –
Fluorwasserstoff	1.440,4 ppm	2,5 ppm	29,0 ppm	52,0 ppm	2,7 ppm	1,9 ppm

Aus der sich dadurch abzeichnenden Gefährdungssituation wurde ein entsprechendes Filterkonzept entwickelt, das den entstehenden Gefahren wirkungsvoll entgegen stehen kann. Die Ergebnisse der verschiedenen Entwicklungsstufen eines solchen Filters sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Filterversion 5 zeigt dabei den aktuellen Stand. Trotz der bereits guten Ergebnisse gibt es ständige Weiterentwicklungen, um die Wirkung zukünftig zu steigern.

### 3. Lithium-Ionen-Batterien in der Recyclingwirtschaft

Die potentiellen Anwendungsfälle des Havarieschutzes finden sich wie bereits angesprochen sehr oft im Bereich der Recyclingwirtschaft. Besonders gealterte Akkumulatoren, die oft ohne zusätzliche Absicherung, teilweise mechanisch beschädigt und in größerer Stückzahl in Boxen geworfen und aus diesen herausgeschüttet werden, sind auf vielen Wertstoffhöfen Alltag. Ebenso werden in Zukunft gealterte und geschädigte Traktionsbatterien gehäuft im Recyclingbetrieb vorkommen, die entweder noch im Pkw verbaut sind oder aber in Batterie- oder Modulform verarbeitet werden müssen.

Gleichzeitig finden sich die Batterien oft im Verbund mit Kunststoffgehäusen, Isolationsmaterialien und anderen Stoffen. Die Entzündung einzelner Batterien kann so schnell ein Großfeuer, welches sehr schwer löschar ist, mit den entsprechenden Schadstoffemissionen und Belastungen der Anliegerschaft nach sich ziehen, wie sie bedauerlicherweise regelmäßig in den Unternehmen vorkommen, was verschiedene Vorfälle aus den Medien darlegen.

So kam es im Juli 2017 zu einem Schwelbrand in einer Papierpresse eines Entsorgungsunternehmens aus Gensungen. Nach einem lauten Knall wurde die Anlage gestoppt und die Feuerwehr hinzugerufen. Nachdem die gepressten Papierballen auseinandergezogen wurden, entdeckte die Feuerwehr unter anderem falsch entsorgte Akkus, die durch den Druck der Presse eine mechanische Beschädigung erlitten und es so zur Selbstentzündung kam. [11] Ebenfalls in einer Papierpresse brach im November 2017 auf einer Deponie in Wiener Neustadt ein Feuer aus. Grund waren auch hier falsch entsorgte Lithium-Ionen-Batterien. Nur durch das schnelle Eingreifen der Mitarbeiter konnte Schlimmeres verhindert werden. [7] Ein videographisch sehr gut dokumentierter Vorfall ereignete sich im Dezember 2017 in Amerika. Wie der Portland Press Harald berichtet, kam es in einem Zwischenlager eines Entsorgungsunternehmens zu einem Brand, der durch einen falsch entsorgten Lithium-Ionen-Akku eines Laptops ausgelöst wurde. [4] Das Video des Vorfalls ist auch auf der Internetseite der Stöbich technology GmbH abrufbar.

Diese drei Beispiele zeigen, dass insbesondere auf Recyclinghöfen ein besonderer Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien nötig ist. Sie zeigen aber auch die typischen Ursachen für solche Brände, die auch von Buser und Mähliß beschrieben werden. So kann es einerseits zu Bränden durch Fremdeinwirkung aber auch zur Selbstentzündung der Batterien kommen. Als Fremdeinwirkung zählen zum Beispiel das Zerquetschen von Geräten mit Lithium-Ionen-Akku durch einen Radlader im Haufwerk oder die mechanischen

Einwirkungen, die durch eine Presse oder einen Schredder auf die Batterie wirken. Durch Kurzschlüsse, die aufgrund falscher Lagerung oder nicht abgeklebte Pole entstehen, kann es zu Selbstentzündungen in Sammelbehältern kommen. Wurden Geräte mit Lithium-Ionen-Batterien bereits im Vorfeld falsch behandelt oder mechanisch beschädigt, so können sich diese auch mit großem zeitlichen Verzug entzünden. [1]

Durch den stark steigenden Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in allen mobilen Bereichen wird auch die Anzahl an Altbatterien steigen, wodurch es in Zukunft vermehrt zu Brandvorfällen in Entsorgungsunternehmen kommen könnte. Für das Jahr 2020 wird mit einer Rücklaufmenge von knapp 14.000 Tonnen Lithium-Ionen-Altbatterien gerechnet. [12]

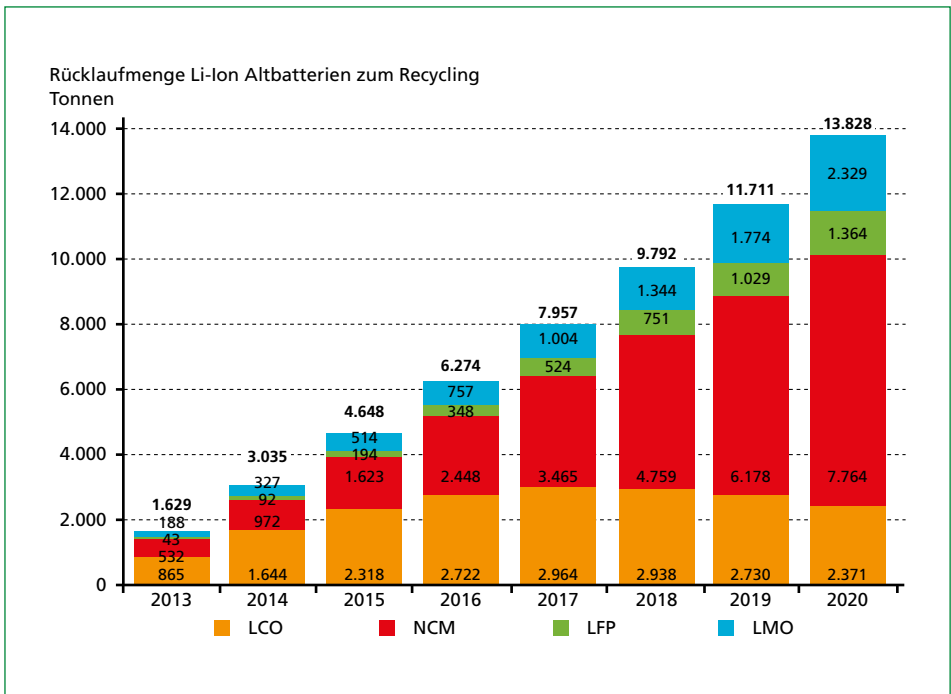


Bild 2: Abfallprognose für Lithium-Ionen-Batterien

Quelle: Weyhe, R.: Recycling von Lithium-Ion-Batterien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 505-526

Da es trotz qualifizierter Mitarbeiter und steigender Aufklärung der Verbraucher immer wieder zu falsch entsorgten Batterien kommen kann, muss ein wesentliches Ziel die Eindämmung des Brandes auf definierte und begrenzte Räume sein. Für die verschiedenen Größen von Batterien und die unterschiedlichen Anwendungsfälle wurden daher verschiedene Schutzlösungen entwickelt, die im nächsten Kapitel erläutert werden.

## 4. Bekämpfung von Lithium-Ionen-Batterie-Bränden

### 4.1. Allgemeine Maßnahmen

Kommt es zu einem Batteriebrand, so ist das Gefahrenszenario schon vorgestellt worden. Die Gefahren gehen von der freigesetzten Energiemenge sowie von austretenden Feststoffen, Flüssigkeiten und giftigen Gasen aus. Generell werden Lithium-Ionen-Batterie-Brände unterschiedlich eingeschätzt und auch unterschiedlich bekämpft. Die Annahme, dass es sich aufgrund der enthaltenen Lithiummengen um einen Metallbrand handelt, ist zwar nicht verkehrt, aber besonders im Falle größerer Batterien, ist das Löschen mit Metallbrandpulver nicht zielführend. Da verschiedene elektrochemische Reaktionen in der Batterie zur starken Erwärmung führen, ist eine Kühlung dringend nötig. Bei einem Brand unter freiem Himmel ist die Wahl des Löschmittels damit relativ eindeutig.

Ein dauerhafter Wasserstrahl zur Kühlung der Batterie verspricht die beste Kontrolle des Brandgeschehens und kann durch die Verwendung eines gefluteten Containers, in dem die Batterie oder aber das gesamte E-Fahrzeug eingelassen wird, noch gesteigert werden. Durch Kühlung wird im Idealfall auch die Propagation unterbunden und das Brandgeschehen gestoppt. Als Konsequenz verbleibt dabei jedoch die Folge, einen *Metallbrand* mit Wasser gelöscht zu haben, da die geringen Mengen des enthaltenen Lithiums teilweise mit Wasser reagieren und dabei auch Wasserstoff entsteht. Innerhalb geschlossener Räume kann es so zu einem Knallgasgemisch kommen, von dem ein hohes explosives Potential ausgeht.

Auch nicht zu vernachlässigen ist die Eigenschaft von Wasser, den elektrischen Strom zu leiten. Diese Problematik wiegt aber nur bei Hochvoltssystemen, wie sie in der Elektromobilität vorkommen, schwer. Einzelne Module haben oft keine hinreichend hohe Spannung, als dass von ihr eine Gefahr ausgeht. Obendrein führt das Durchgehen der Zelle zum Spannungsverlust der Zelle.

Für die Brände kleinerer Batterien gilt, sie möglichst weit von anderen Batterien oder weiteren Brandlasten zu isolieren oder diese großzügig mit Wasser zu benetzen. Eine wesentliche Gefahr kleinerer Zellen besteht in dem Szenario herumfliegender Gehäuse. Diesem sollte mit entsprechender Schutzausrüstung vorgebeugt werden.

### 4.2. Entwicklung von Schutzsystemen

Um die Gefahren von kritischen Lithium-Ionen-Batterien einzudämmen, bedarf es eines Schutzsystems, das kompakt, bezahlbar, anwenderfreundlich und flexibel ist. Insbesondere die auftretenden Schadgase, die hohen Temperaturen und die Situation, dass die Havarie eines Akkus in vielen Fällen in Innenräumen auftritt, sind große Herausforderungen für die Entwicklung einer solchen Schutzlösung. Obendrein sollte das System für verschiedene Anwendungsgrößen skalierbar sein.

Um sicherzustellen, dass sich das Feuer nicht auf angrenzende Bereiche ausbreitet, dass Personen aus dem Gefahrenbereich fliehen können und geschlossene Räume nicht dauerhaft konterminiert werden, muss das Schutzsystem in der Lage sein:



- das Austreten von Flammen und heißen Gasen zu verhindern,
- umherfliegende Festkörper zurückzuhalten,
- die Strahlungswärme zu minimieren,
- toxische Schadgase gezielt zu filtern und abzuleiten.

Die thermischen Energien unter Zuhilfenahme einer thermischen Isolierung zu kontrollieren, scheint aus mehreren Gründen nicht sinnvoll. Durch die Isolation der auftretenden Wärmen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Propagation aller Zellen im Containment und der Entzündung der Gase. Ebenso nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Isolierung zusätzlich zu und die Drücke, Temperaturen sowie Geschwindigkeiten der austretenden Gase sind aufgrund der größeren Volumina mit höheren Risiken verbunden. Daher sollte die Enthalpie auf einem niedrigen Temperaturniveau verteilt werden.

Die entstehenden Schadgase sollten durch einen entsprechenden Filter neutralisiert werden. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Heinrich Hertz Institut und dem CUTEC wurde eine Filterlösung entwickelt, die mithilfe von Reaktionen und Adsorption die Schadgasemissionen kritischer Gase auf ein Niveau reduziert, das für die Flucht aus dem Gefahrenbereich innerhalb von 30 Minuten nicht schädlich ist.

### **E-Mobility Protector – Schutz vor kritischen Batterien in Elektrofahrzeugen**

Für die Absicherung defekter Elektrofahrzeuge wurde ein spezielles Schutzsystem entwickelt. Dieses ist in der Lage beschädigte Fahrzeuge, angefangen von Elektromotorrädern bis hin zu Kleintransportern, aufzunehmen und die davon ausgehenden Gefahren innerhalb des Systems zu halten. Durch verschiedene Bauformen eignet sich das System auch zur Abschottung von Sortiertischen und anderen Bearbeitungsstationen von Lithium-Ionen-Batterien.

An die Konstruktion werden besondere Anforderungen gestellt. Sie muss dem Vollbrand eines Fahrzeugs oder einer größeren Menge Batterien widerstehen und den auftretenden Druckstößen von möglicherweise explodierenden Zellen standhalten. Darüber hinaus

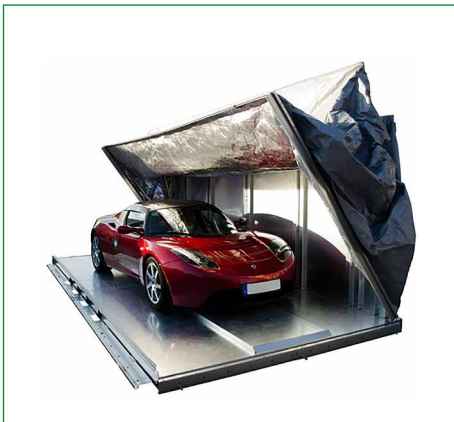


Bild 3: Schutzsystem für Elektrofahrzeuge

dürfen die verbauten Materialien durch die entstehenden Schadgase nicht angegriffen werden. Entwicklungsziel muss sein, dass Personen, die sich im Umfeld aufhalten, weder durch austretende Flammen, Gase oder Festkörper verletzt werden können und umgebende Sachwerte geschützt werden. Dazu wurden verschiedene Entwicklungen angestoßen. Unter anderem wurden neue feuerfeste Textilien, neue Verschlusstechniken, Schadgasfiltersysteme, eine im textilen System vorhandene Hochdrucknebellöschanlage sowie eine Havariemeldeanlage entwickelt.

Das Elektroauto mit einer möglicherweise kritischen Batterie wird unter das Schutzsystem bewegt und im Anschluss von dem speziell entwickelten Brandschutztextil umhüllt. Im Falle einer Havarie erkennen mehrere Sensoren diesen Zustand und aktivieren die Hochdrucknebellöschanlage zur Kühlung der Batterie und zur Vermeidung der Entstehung einer zündfähigen Atmosphäre. Gleichzeitig wird mithilfe eines Fernmeldesystems sowie einer Warnanlage über den Zustand in der Vorrichtung informiert.

### **Transportsystem für kritische Lithium-Ionen-Batterien auf Batterie- und Modulebene**

Für Transport und Lagerung undefinierter oder defekter Batterien wurde als äußere Verpackung auf einen Sonderabfallcontainer vom Typ ASP zurückgegriffen, der in seinem Inneren um ein kompaktes aber höchst wirkungsvolles Gasmanagementsystem inklusive eines Filters sowie einer Kühlung erweitert wurde. Die Leistungsdaten wurden so bemessen, dass ein elektrisches Energievolumen bis zu 8 kWh sicher beherrscht werden kann. Das Nettovolumen des Containers beläuft sich auf mehr als 400 Liter.

## **5. Fazit**

Das Risiko des Durchgehens einer Batterie oder Zelle im Recyclingbetrieb ist Alltag. Auch bei äußerlich nicht beschädigten Batterien oder Geräten kann ein Fehler nicht ausgeschlossen werden. Eine solche Beschädigung kann aber gerade unter den Belastungen eines Schüttguttransportes zum Durchgehen einer Zelle führen und zur Ursache eines Brandes werden, wie viele vergleichbare Vorfälle zeigen. Speziell der Brand einer größeren Menge Batterien kann nicht klassisch gelöscht werden, jedoch wird durch Kühlung eine Weiterentwicklung des Brandgeschehens in den meisten Fällen eingedämmt.

Für die Lagerung und den Transport der Batterien gibt es Behälter, die einem Brandgeschehen unterschiedlich standhalten können. Sie sollten grundsätzlich die Aufgabe haben, das Brandgeschehen im Schutzsystem zu halten. Im Idealfall kommt es dabei nur zu einer geringen Erhöhung der Gehäusetemperatur und zu keinem Austritt von Flammen, Flüssigkeiten, Feststoffen oder giftigen Gasen. Da ein Austreten der Gase in den wenigsten Fällen zu vermeiden ist, empfiehlt sich eine Filterung der Gase, um die giftigen Komponenten zu binden und die Menschen und Anlagegüter in der Umgebung nicht zu gefährden.

Sortier- und Zerlegemaschinen für Geräte mit Lithium-Ionen-Batterien können mit flexiblen Schutzsystemen ausgerüstet werden. Kommt es zu einer Havarie, dann schließt das System den betroffenen Bereich von der Umwelt ab. Durch integrierte Löschanlagen wird das Brandgeschehen unter Kontrolle gehalten und Personen sowie Sachwerte werden geschützt.

## **6. Quellen**

- [1] Buser, M.; Mähliß, J.: Lithium-Batterien – Brandverhalten und Sicherheitsrisiken. 2016
- [2] CAM: Studie – E-Mobilität: Aktuelle Absatztrends in wichtigen globalen Automobilmärkten. 2017

- [3] Josefowitz, W. et al.: Assessment and Testing of Advanced Energy Storage Systems for Propulsion–European Testing Report. Proceedings of the 21st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition. Monaco, EU. April 2-6, 2005, p. 6
- [4] McGuire, P.: Video shows what could happen when lithium ion batteries end up in trash. URL: <http://www.sunjournal.com/video-shows-what-could-happen-when-lithium-ion-batteries-end-up-in-trash/> [20.12.2017]
- [5] Nedjalkov, A. et al.: Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries – Analysis and Safety Enhancement Solution. Goslar, 2016
- [6] Niedoba, G.: Linzer Bummelzug abgebrannt: Akku fing beim Aufladen in Garage Feuer. URL: <http://www.nachrichten.at/oberoesterreich/Linzer-Bummelzug-abgebrannt-Akku-fing-beim-Aufladen-in-Garage-Feuer;art4,2757748> [20.12.2017]
- [7] Noen.at.: Falsch entsorgte Akkus führten zu Bränden auf Deponie. URL: [www.noen.at/wr-neustadt/wiener-neustadt-falsch-entsorgte-akkus-fuehrten-zu-braenden-auf-deponie/67.863.047](http://www.noen.at/wr-neustadt/wiener-neustadt-falsch-entsorgte-akkus-fuehrten-zu-braenden-auf-deponie/67.863.047) [20.12.2017]
- [8] OFV – Opplysningsrådet for Veitrafikken AS: Bilsalget i 2017. URL: <http://www.ofvas.no/bilsalget-i-2017/category751.html> [20.12.2017]
- [9] RP Online: Explosionen bei Lkw-Brand auf A31. URL: <http://www.rp-online.de/nrw/panorama/a31-zwischen-gladbeck-und-bottrop-sperrung-nach-lkw-brand-und-explosionen-aid-1.7217547> [20.12.2017]
- [10] Schwäbisches Tagblatt: Elektro-Smart brennt und brennt und brennt. URL: <https://www.tagblatt.de/Nachrichten/Elektro-Smart-brennt-und-brennt-und-brennt-354849.html> [20.12.2017]
- [11] Wenderoth, H.: Entsorgte Akkus und Feuerwerk sorgen für Brand in Recycling-Unternehmen. URL: <https://www.hna.de/lokales/meldungen/felsberg-hessen-ort305307/entsorgte-akkus-und-feuerwerk-sorgen-fuer-brand-in-recycling-unternehmen-8455746.html> [20.12.2017]
- [12] Weyhe, R.: Recycling von Lithium-Ion-Batterien. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 505-526
- [13] Yang, H. et al.: Thermal stability of LiPF<sub>6</sub> salt and Li-ion battery electrolytes containing LiPF<sub>6</sub>. In: Journal of Power sources. Kalifornien, 2006, S. 573-579

# Kostenfreie Artikel



## WIE FINDE ICH DIE FÜR MICH INTERESSANTEN FACHARTIKEL?

[www.vivis.de](http://www.vivis.de)

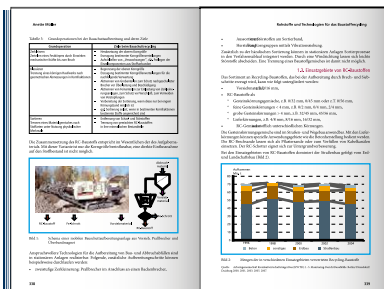
### Möglichkeit 1: Fachartikel-Suche nach Thema

Auf der Startseite [www.vivis.de](http://www.vivis.de) befindet sich oben rechts der Button **Fachbeiträge**, den Sie bitte auswählen. Wenn Sie die Unterkategorie **Beiträge** anklicken, gelangen Sie zu der Themenliste. Hier sind die Oberbegriffe alphabetisch aufgelistet. Teilweise untergliedern sie sich noch in Unterthemen. Wenn Sie eines dieser Themen auswählen, finden Sie die dazu passenden, bei uns verfügbaren Beiträge mit den zugehörigen bibliographischen Angaben.

### Möglichkeit 2: Fachartikel-Suche nach Tagung

Wenn Sie Artikel zu einer bestimmten Konferenz bzw. aus einem bestimmten Tagungsband suchen, gehen Sie in den Bereich **Fachbücher**. Dort sind die im TK Verlag erschienen Bücher – thematisch geordnet – zu finden. Die aktuellen Bücher finden Sie in der Kategorie **Neuerscheinungen**. Haben Sie das gesuchte Buch gefunden, folgen Sie dem Link **Inhaltsverzeichnis**.

Durch Klicken auf den Beitragstitel öffnet sich ein Fenster mit dem gesuchten Beitrag im PDF-Format. Dieser kann einfach und schnell heruntergeladen werden.



Sollten Sie Interesse an mehreren Beiträgen aus dem gleichen Buch haben, bietet es sich an, dieses direkt bei uns zu bestellen. Lieferbare Bücher sind in der Rubrik **Fachbücher** zu finden.

TK Verlag GmbH

Dorfstraße 51  
 D-16816 Nietzwerder-Neuruppin  
 Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10  
 E-Mail: [tkverlag@vivis.de](mailto:tkverlag@vivis.de)

