

205-041

DGUV Information 205-041



**Brandschutz beim Umgang
mit Lithium-Ionen-Batterien**

Impressum

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Betrieblicher Brandschutz des Fachbereichs
Feuerwehren, Hilfeleistungen, Brandschutz der DGUV

Ausgabe: Februar 2024

Satz und Layout: Atelier Hauer + Dörfler, Berlin

Druck: MAXDORNPRESSE GmbH & Co. KG, Obertshausen

Copyright: Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.
Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit
ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Bezug: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter
www.dguv.de/publikationen › Webcode: p205041

Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Vorwort 5
2	Begriffsbestimmungen 7
3	Lithium-Ionen-Batterien 10
3.1	Typen 11
3.2	Aufbau 13
3.3	Zellchemie 14
3.4	Kennzahlen 14
3.5	Kennzeichnung nach Batteriegesezt (BattG) 17
4	Verwendung von LIB 18
4.1	Gefährdungen 18
4.2	Potenzielle Gefahrenquellen und Risiken 20
4.3	Handhabung 22
4.4	Laden von LIB 24
4.5	Gefährdungsbeurteilung bei der Verwendung von LIB 25
5	Transport von LIB 27
6	Brandschutzmaßnahmen 31
6.1	Wieso kann eine Lithium-Ionen-Batterie/-Zelle brennen? 32
6.2	Erkennung eines Lithium-Ionen-Batteriebrandes 36
6.3	Brandbekämpfung einer Lithium-Ionen-Batterie/-Zelle 38
6.4	Bauliche Maßnahmen zur Vermeidung der Brandausbreitung 39
6.5	Brandschutzmaßnahmen bei der Lagerung 40
6.6	Präventive Maßnahmen bei der Lagerung kritischer LIB 43
6.7	Brandschadensanierung 45
7	Literatur 47

1 Vorwort

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) werden schon seit über 30 Jahren in den unterschiedlichsten Bereichen verwendet und sind fester Bestandteil unseres Alltags. Sie werden nicht nur im privaten Bereich, sondern auch in der Arbeitswelt vermehrt eingesetzt. Die Vorteile liegen auf der Hand: kein lästiges Kabel an der Maschine, mehr Bewegungsfreiheit, keine Abgase wie bei Verbrennungsmotoren. LIB werden in unzähligen Ausführungsformen mit unterschiedlicher Leistung hergestellt, verbaut und verwendet und sind in allen Phasen ihres Lebenszyklus anzutreffen, von der Herstellung bis zum Recycling.

An neuartigen Lithium-Metall-Batterien (5. Generation) wird derzeit geforscht. Die Gefahren, die von Lithium-Metall-Batterien ausgehen, sind ähnlich wie die von den LIBs. Im Gefahrgutbereich hat sich das einheitliche „Lithiumbatterien“ als Oberbegriff bereits durchgesetzt.

Bei der Entwicklung, Herstellung, Verwendung, Entsorgung und dem Recycling von LIB kann es zu Brandereignissen kommen. Ursachen hierfür können u. a. Qualitätsmängel und unsachgemäßer Umgang sein, aber auch eine ungeeignete Ladeinfrastruktur oder ein mangelhaftes Batteriemanagementsystem (BMS). Die Brandgefahr durch LIB ist spätestens seit Bränden und Rückrufaktionen von Smartphones, Notebooks, Powerbanks und Elektrofahrzeugen (E-Autos, E-Roller) auch in der breiten Öffentlichkeit bekannt.

Brände durch LIB haben bereits Gerichte beschäftigt. In den Urteilen wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass die erhöhte Brandgefahr beim Laden von LIB als allgemein bekannt vorausgesetzt werden kann, da über diese Gefahren mehrfach in den Medien berichtet wurde. Die LIB sollen nicht in der Nähe von brennbarem Material, auf einem nicht brennbaren Untergrund und, wie aus dem Versicherungsrecht und der Bedienungsanleitungen der Geräte hervorgeht, unter Beobachtung geladen werden.

Diese DGUV Information 205-041 „Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien (LIB)“ enthält allgemeine Informationen zu LIB und möglichen Gefahren beim Umgang mit diesen. Sie gibt Hinweise, wie in den Unternehmen sicherer mit LIB umgegangen werden kann und somit Brände verhütet werden können.

2 Begriffsbestimmungen

Lithium-Ionen-Zelle

Lithium-Ionen-Zellen bestehen aus einer lithiumhaltigen Kathode, einer Anode, einem wasserfreien lithiumhaltigen Elektrolyten und einem Separator in einem Gehäuse.

Lithium-Ionen-Batterien (LIB)

Eine LIB kann eine Einzelzelle umfassen, besteht aber oft aus mehreren Zellen, die in Reihe und/oder parallel geschaltet werden, um die benötigte Spannung und/oder den benötigten Energieinhalt zu erreichen. In einer LIB kann beides umgesetzt sein.

Primär- und Sekundärzellen

Primärzellen sind im Gegensatz zu Sekundärzellen nicht wiederaufladbar.

Lithium-Ionen-Akkus

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird die Sekundär-LIB auch als Lithium-Ionen-Akku bezeichnet.

Altbatterien

Altbatterien sind Batterien, die Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) sind. Um Mensch und Umwelt zu schützen und Wertstoffe in hohem Maße zurückzugewinnen, müssen sie getrennt vom unsortierten Siedlungsabfall gesammelt und recycelt werden.

Beschädigte oder defekte LIB

Der Zustand der LIB ist nicht immer eindeutig zu erkennen. Bei der Beurteilung, ob eine Zelle oder Batterie beschädigt oder defekt ist, muss eine Einschätzung oder Bewertung auf der Grundlage von Sicherheitskriterien des Zellen-, Batterie- oder Produktherstellers oder einer technisch sachverständigen Person mit Kenntnis der Sicherheitsmerkmale der Zelle oder der Batterie durchgeführt werden. Eine Einschätzung oder Bewertung kann unter anderem die folgenden Kriterien umfassen:

- a. akute Gefahr wie Gasfreisetzung, Austreten von Elektrolyt oder Brand;
- b. nicht bestimmungsgemäße Nutzung der Zelle oder der Batterie;
- c. Anzeichen von physischen Schäden wie Verformung des Zellen- oder Batteriegehäuses oder Verfärbungen am Gehäuse;
- d. äußerer und innerer Schutz gegen Kurzschluss, wie Spannungs- oder Isolationsmaßnahmen;
- e. Zustand der Sicherheitsmerkmale der Zelle oder der Batterie;
- f. Beschädigung der inneren Sicherheitskomponenten, z. B. des Batteriemanagementsystems;

Dendriten-Bildung

Dendriten sind Kristalle, die sich bei der Verwendung der LIB bilden. Sie wachsen von der Anode in Richtung Kathode und durchstoßen den Separator. Dadurch kann es zu einem internen Kurzschluss in der Zelle kommen.

Kritische LIB

Eine kritische LIB reagiert aus innerer Ursache wie zum Beispiel durch einen inneren Kurzschluss. Dieser Zustand kann etwa durch mechanische Belastung ausgelöst werden. Es besteht eine hohe Brandgefahr.

Sicherer Ort

Der sichere Ort (Quarantäne-Bereich) ist ein Lagerplatz für beschädigte oder defekte LIB, an dem keine Ausbreitung des Brandes und Schädigungen der Umgebung möglich ist.

Tiefentladung

Bei einer Tiefentladung wird die LIB so weit entladen, dass die Spannung unter die Entladeschlussspannung absinkt, bei der die Entladung normalerweise beendet wird. Es kann beim anschließenden Wiederaufladen zu internen Kurzschlüssen kommen. Der Zustand der Lithium-Ionen-Batterie entspricht einer kritischen LIB.

Überladung

Beim Verwenden eines Ladegerätes ohne Batteriemanagementsystem (BMS) wird der LIB auch über den Vollladezustand geladen. Es kommt zur Erwärmung bis hin zur Zersetzung des Elektrolyten. Dadurch besteht akute Brand- und ggf. Explosionsgefahr. Der Zustand der Lithium-Ionen-Batterie entspricht einer kritischen LIB.

3 Lithium-Ionen-Batterien

LIB werden in primäre und sekundäre Batterien eingeteilt. Primärbatterien sind nicht wiederaufladbar. Sie werden z. B. als Knopfzellen oder Blockzellen in Rauchmeldern, Hörgeräten und elektronischen Geräten eingesetzt.

Akkumulatoren auf Lithium-Ionen-Basis werden im Sprachgebrauch Lithium-Ionen-Akkus genannt. Sie zählen zu den Sekundärbatterien, da sie wiederaufladbar sind. Sie werden im gewerblichen Gebrauch in vielen verschiedenen Produkten und Anlagen eingesetzt. Das Spektrum reicht von Mobiltelefonen, Computern und mobilen Werkzeugen/Maschinen über E-Bikes, Kraftfahrzeuge und Flurförderzeuge bis hin zu Lithium-Ionen-Großspeichern. In Abbildung 1 sind einige Beispiele aufgeführt.

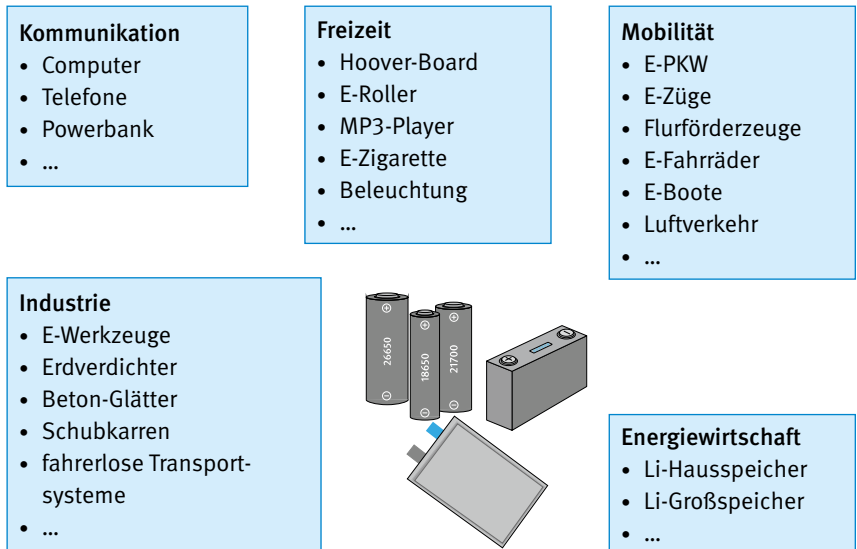


Abb. 1 Verschiedene Anwendungen von LIB

Die LIB bestehen entweder aus einer Einzelzelle oder aus mehreren Einzelzellen, die in Reihe geschaltet werden, um den benötigten Energieinhalt zu erreichen.

3.1 Typen

Lithium-Ionen-Zellen werden in zylindrischer Bauform (Rundzelle) mit einer durchschnittlichen Nennspannung von 3,2 V bis 3,7 V und einer Kapazität von 2–3 Ah angeboten. Das gebräuchlichste Format (18650) hat einen Durchmesser von 18 mm mit einer Höhe von 65 mm (siehe Abbildung 2).

Des Weiteren sind andere Bauformen wie z. B. Pouch-Zellen ohne festes Gehäuse in Folie und prismatische Zellen (siehe Abbildung 3) im Einsatz.

Diese Zellformen können zu Modulen mit unterschiedlichen Spannungen bzw. Stromstärken oder Leistungen zusammengeschaltet werden, wie es in Lithium-Ionen-Akku-Packs (siehe Abbildung 4) der Fall ist. Diese größeren Lithium-Ionen-Akku-Packs werden beispielsweise in Elektrowerkzeugen, elektrischen Baumaschinen, Elektrofahrzeugen und Großspeichern eingesetzt.

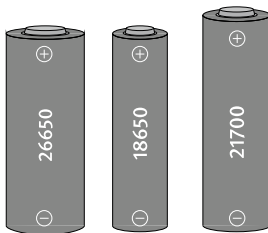


Abb. 2
zylindrische Zelle mit z. B. Zellgrößen 18650, 26650, 21700

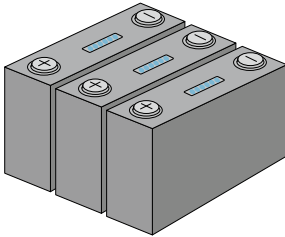


Abb. 3 prismatische Zelle

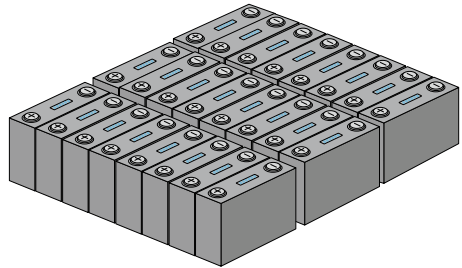


Abb. 4 Akku-Pack

Sekundäre LIB haben gegenüber anderen wiederaufladbaren Batterien folgende Vor- und Nachteile (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1 Vor- und Nachteile einer sekundären LIB

Sekundäre LIB	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • wiederaufladbar • hoher Energiegehalt • geringes Gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhitzung bei zu hohen Lade- oder Entladeströmen (Mögliche Folgen: „Thermal Runaway“ „Thermal Propagation“) • Verwendung bei niedrigen Temperaturen kann stark eingeschränkt sein (möglicher Einsatzbereich zwischen -20 °C und $+70\text{ °C}$ je nach Zelltyp).
<ul style="list-style-type: none"> • hoher Wirkungsgrad (95%) • kein Batterieträgheitseffekt (Memory-Effekt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Absinken der Lebensdauer auch bei Nicht-Benutzung
<ul style="list-style-type: none"> • geringe Selbstentladung • lange Lebensdauer, viele Ladezyklen • schnelle Aufladung 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefentladungen führen zu einer irreversiblen Schädigung.

3.2 Aufbau

LIB bestehen aus einer lithiumhaltigen Kathode, einer Anode, einem wasserfreien lithiumhaltigen Elektrolyten und einem Separator, grafisch dargestellt in Abbildung 5. Der dazwischenliegende Separator ist mit lithiumhaltigen Elektrolyt getränkt, einer ionisch leitfähigen Substanz. Er trennt die Elektroden räumlich und elektrisch, da er zwar Ionen passieren lässt, jedoch keine Elektronen. Separatoren bestehen aus Fleece-Stoffen oder porösen Kunststoffen. Der Elektrolyt kann unterschiedlich chemisch zusammengesetzt sein. Er enthält Lithium-Verbindungen und je nach Batterietyp organische wasserfreie Lösungsmittel. Der Elektrolyt kann in flüssiger, pastöser oder auch in fester Form vorliegen.

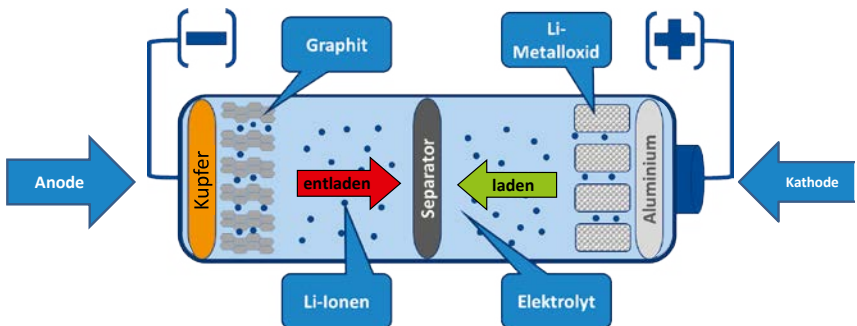
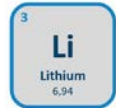


Abb. 5 Aufbau einer Lithium-Ionen-Zelle

3.3 Zellchemie

Der Anteil an Lithium in einer LIB ist sehr gering, er variiert je nach Zusammensetzung der Elektroden mit weiteren Metalloxiden oder -phosphaten sowie des Elektrolyten. Reines Lithium ist ein festes Metall, das sehr leicht ist und eine hohe Energiedichte besitzt. Es ist sehr reaktionsfreudig und leicht brennbar. Bei Kontakt mit Wasser reagiert Lithium unter starker Wärmeentwicklung und es entsteht ätzende Lithiumlauge und extrem entzündbarer gasförmiger Wasserstoff. Wasserstoff bildet mit Sauerstoff ein entzündbares explosionsfähiges Gemisch („Knallgas“).



Als Elektrolyte werden unterschiedliche Gemische eingesetzt. Sie enthalten Lithium-Salze wie beispielsweise Lithiumhexafluorophosphat, Lithiumarsenfluorid, Lithiumtetrachloroaluminat in wasserfreien organischen Lösungsmitteln, die meist leicht entzündbar sind. Je nach Zusammensetzung können neben den entzündbaren Eigenschaften auch andere Gefährdungen aufgrund von explosiven, giftigen, ätzenden und umweltgefährlichen Eigenschaften auftreten.

3.4 Kennzahlen

Wichtige Parameter für die LIB sind die Spannung in V, die elektrische Kapazität (Nennkapazität) in Ah und die elektrische Leistung (Nennenergie, Energieinhalt) in Wh. Die Kapazität gibt an, wieviel Ladung in einer Batterie gespeichert werden kann. Sie wird in der Einheit Ah oder mAh angegeben. Der Energieinhalt in Wh errechnet sich aus der Multiplikation der Spannung in V mit der elektrischen Kapazität in Ah.

LIB, die gewechselt und entnommen werden können, fallen unter den Geltungsbereich der Verordnung (EU) Nr. 1103/2010 „zur Festlegung [...] von Vorschriften für die Angabe der Kapazität auf sekundären (wiederaufladbaren) Gerätebatterien und -akkumulatoren sowie auf Fahrzeugbatterien und -akkumulatoren“. Gemäß Anhang III Teil A ist für diese LIB die Nennkapazität in mAh bzw. Ah anzugeben, wenn die Geräteakkumulatoren für die Verwendung in Elektrowerkzeugen bestimmt sind. In Abbildung 6 ist ein Beispiel eines Typenschilds abgebildet. Es handelt sich um eine LIB mit einer Spannung von 36 V, einer elektrischen Kapazität von 13,4 Ah und einem Energieinhalt von 500 Wh.



Abb. 6 Beispiel eines Typenschilds einer LIB

LIB bzw. die Ladegeräte sind mit einem BMS ausgestattet. Dieses befindet sich je nach Bauart direkt am Batteriepack oder ist im Ladegerät verbaut. Es regelt den Ladezustand, die Ströme, die Spannungen und die Batterie-Temperatur sowie die Erwärmung beim Laden. Weiterhin verhindert es kritische

Zustände wie die Tiefentladung oder eine zu hohe Ladung sowie das Laden bei zu kalten oder zu hohen Temperaturen der LIB.

Regelmäßiges Aufladen und eine nicht vollständige Entladung verlängern die Lebensdauer der LIB. Tiefentladung, wie sie bei längeren Lagerungszeiten auftreten kann, und Überladung können die LIB beschädigen. Lesen Sie dazu die Bedienungs- bzw. Gebrauchsanleitungen der Hersteller.

LIB altern. Das bedeutet, dass ihre Kapazität mit der Zeit abnimmt. Bei vielen LIB ist daher das Herstellungsdatum auf der LIB wie in Abbildung 6 (Herstelljahr: 2022) angegeben. Lagertemperaturen über 25 °C beschleunigen diesen Vorgang.

Abhängig von der Nennenergie im Zusammenhang mit dem Gewicht gelten unterschiedliche Transportvorschriften (siehe Kapitel 5).

In der Publikation VdS 3103 „Lithium-Batterien“ werden die Lithiumbatterien in drei Klassen eingeteilt: geringe Leistung, mittlere Leistung und hohe Leistung. In Tabelle 2 sind die Spezifikationen dargestellt. Dies entspricht auch den Gefahrgut-Transportkriterien.

Tabelle 2 Einteilung von LIB aufgrund der Leistung

Lithium-Ionen-Batterien		
Leistungsklassen	Spezifikationen	Typische Beispiele
gering	≤ 100 Wh	Mobiltelefone, Laptops
mittel	> 100 Wh und ≤ 12 kg Akku	Elektrowerkzeuge, E-Bikes
hoch	> 100 Wh und > 12 kg Akku	akkubetriebene Verdichtungsgeräte, E-Autos, Flurförderfahrzeuge

3.5 Kennzeichnung nach Batteriewgesetz (BattG)

Die Kapazität (Ah) ist gemäß des Batteriewgesetzes (BattG) sichtbar, lesbar und unauslöschlich auf dem Außengehäuse anzugeben. Ebenfalls muss das Symbol in Abbildung 7 für die Rücknahme von Altbatterien gut sichtbar, lesbar und dauerhaft aufgebracht sein.

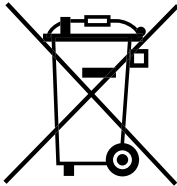


Abb. 7
Kennzeichnung gemäß BattG:
Rücknahmesystem

Die Hersteller der LIB sind gemäß § 18 BattG verpflichtet, den Endnutzer und die Endnutzerin in der Bedienungsanleitung u. a. über die möglichen Auswirkungen der in Batterien enthaltenen Stoffe auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, insbesondere über die Risiken beim Umgang mit lithiumhaltigen Batterien, zu informieren.

4 Verwendung von LIB

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung sind LIB sicher. Problematisch ist jedoch die Brandgefährdung, die von beschädigten oder defekten LIB ausgehen kann. Ursache für einen Brand ist in der Regel unsachgemäße Handhabung dieser Batterien.

Über einige Vorfälle wurde in der Presse auch schon berichtet:

- Beim Transport von Batterien im Kofferraum eines Autos fingen diese an zu qualmen, Rauch drang aus dem Auto.
- Beschädigte LIB eines Verleihers von Elektrofahrrädern fingen an zu brennen.
- brennende Elektro-Busse, u. a. auch im Busdepot, und brennende Elektro-Fahrzeuge
- Brennende Kommunikationsgeräte wie Smartphones und Laptops

4.1 Gefährdungen

Folgende Gefährdungen können bei LIB auftreten:

- **Brandgefährdungen**, insbesondere durch Erwärmung, Kurzschluss, Überladung, Tiefentladung oder eine sekundäre Gefährdung durch Brandausbreitung (z. B. wegfliegende heiße Gehäuseteile)
- **mechanische Gefährdungen** durch zerberstende Gehäuseteile von LIB als Folge eines Brandes
- **Gefährdungen durch Gefahrstoffe**, die bei beschädigten LIB austreten können (Elektrolyt, Gefahrstoffe im Brandrauch). Die zusätzlich als Staub bzw. Partikel austretenden Batteriebestandteile enthalten zum Teil krebserzeugende Gefahrstoffe wie z. B. Nickel, Cobalt und deren Verbindungen.
- **elektrische Gefährdungen**, z. B. durch elektrische Körperdurchströmung oder nicht abschaltbare Spannung in den LIB
- **Explosionsgefahr**. Durch das Abblasen von brennbaren Elektrolytdämpfen kann es außerhalb der LIB zur Bildung eines zündfähigen Dampf- bzw. Gas/Luft-Gemisches und daher (auch im Freien) zu Stichflammenbildung

bis hin zu einer Durchzündung kommen. Sammeln sich die austretenden Dämpfe und Gase (auch Ventinggase genannt) in einem schlecht belüfteten, geschlossenen Raum, muss mit der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre gerechnet werden.

In der folgenden Abbildung 8 sind verschiedene Ursachen für Gefährdungen und deren Auswirkungen grafisch dargestellt.

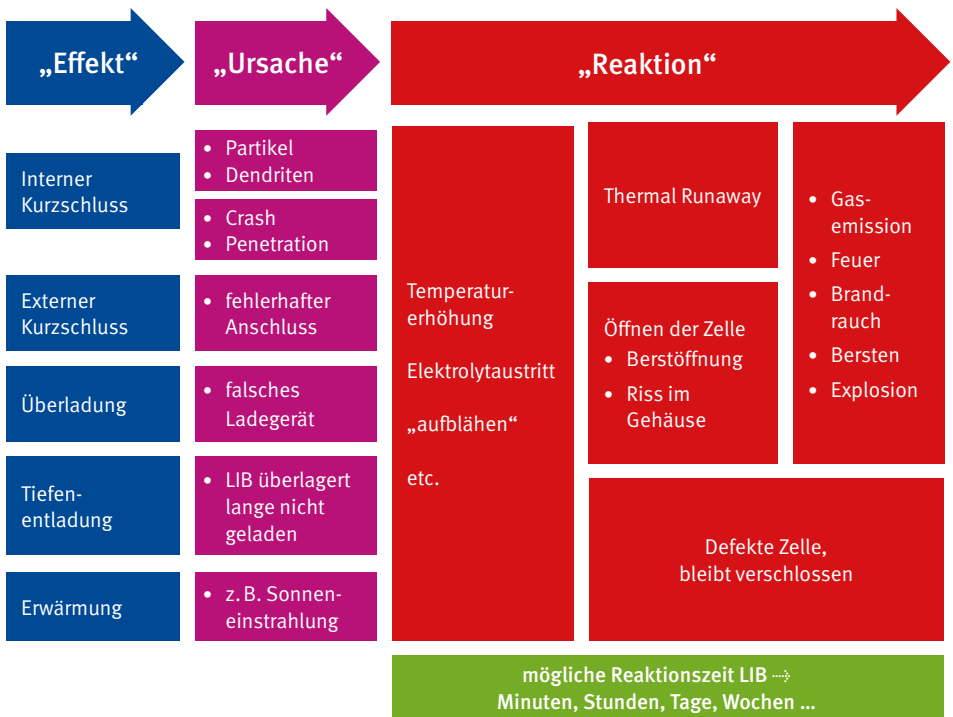


Abb. 8 Einfluss von unterschiedlichen Ursachen auf die Gefährdungen und deren Reaktionen

Die von den LIB ausgehenden Gefährdungen werden in der Fachwelt durchaus kontrovers diskutiert. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass LIB bei qualitätsüberwachter Fertigung und bestimmungsgemäßem Gebrauch (Laden, Verwenden etc.) im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG) sicher sind. Wegen der hohen Brandgefährdung durch LIB besteht folglich ein großes Gefährdungspotenzial im Betrieb.

4.2 Potenzielle Gefahrenquellen und Risiken

Die Gefahrenquellen sind vielfältig und lassen sich in allen Lebensphasen von LIB finden:

Herstellung und Konfektionierung

Durch das Anbringen eines Kontaktes an den LIB mit einem thermischen Verfahren (z. B. Laserschweißen, Widerstandsschweißen) kann bei einem zu hohen Wärmeeintrag die Zellstruktur/der Separator beschädigt werden. Der daraus resultierende interne Kurzschluss kann einen Brand auslösen.

Entwicklung und Prüfung

Es besteht eine Brandgefahr durch thermische Belastung bei Batterie-Belastungs-Tests und Umwelttests.

Service und Reparatur

Die unsachgemäße, ungeschützte Lagerung von defekten LIB sowie LIB mit undefiniertem Zustand kann zu einem Brand führen.

Transport, Lagerung, Montage

Bei Transport, Lagerung und Montage von LIB bzw. LIB mit undefiniertem Zustand können diese z. B. durch mechanische (Stöße, Herunterfallen) oder thermische (Hitze, Feuer, Kälte, direkte Sonneneinstrahlung) Beanspruchungen beschädigt werden. Dies kann zum Austritt von brennbarem Gas bzw. Elektrolyt mit anschließendem Brand- bzw. Explosions ereignis führen.

Entsorgung/Lagerung von defekten LIB

Nicht fachgerecht entsorgte Batterien und LIB sind zunehmend die Brandursache in Recyclinghöfen und Abfallbehandlungsanlagen. Alt-Batterien werden von Gerätebatterie-Vertreibern und kommunalen Sammelstellen zurückgenommen. Ausgediente größere LIB, beispielsweise aus E-Bikes, gelten als Industriebatterien und werden kostenfrei von den Vertreibern dieser Batterieart zurückgenommen. Dies können Handelsunternehmen sein, sofern sie Ersatz-Batterien vertreiben. Auch ausgewählte kommunale Sammelstellen (qualifizierte Sammelstellen) nehmen neben Gerätebatterien auch Industriebatterien kostenfrei zurück. Informieren Sie sich im Vorfeld der Rückgabe, ob Ihr Wertstoffhof diese Art der Batterien kostenfrei entgegennimmt. Wiederholt konnte die unzulässige, gemischte Sammlung von Alt-Batterien mit defekten LIB in Betrieben beobachtet werden. In der Praxis werden die Kontakte oft nicht, wie eigentlich gefordert, isolierend abgeklebt.

Laden von LIB

Das Laden einer zu kalten oder zu warmen LIB, deren Überladung sowie eine nicht ausreichende Luftzirkulation/Wärmeabfuhr um die Batterie herum können zu Bränden führen. Durch die Verwendung eines nicht geeigneten Ladegerätes kann die LIB in einen kritischen Zustand geraten oder zu brennen beginnen.

Kritische Zustände beim Gebrauch von LIB

Tiefentladung sowie mechanische Beschädigungen und zu schnelle Entlade-Lade-Zyklen können LIB in einen kritischen Zustand bringen.

4.3 Handhabung

Grundsätzlich gilt, dass die Handhabung der Batterien nach den Vorgaben des Herstellers erfolgen soll. Der Hersteller liefert mit den beiliegenden Produktdatenblättern zu den LIB wichtige Hinweise zur Anwendung. Diese Hinweise sollen bei der Erstellung der Betriebsanweisung berücksichtigt werden.

Hinweis:

Bisweilen sind mitgelieferte Hinweise der Hersteller unvollständig oder nicht korrekt. Fehlende Informationen müssen dann vom Hersteller nachgefordert werden. Falsch ist es z. B., wenn Metallbrandpulver oder Kohlendioxid als geeignet zum Löschen von brennenden LIB angegeben ist.

Folgende Punkte sind bei der Handhabung von LIB zu berücksichtigen:

- **Nur die für das jeweilige Gerät vorgesehenen Batterien verwenden**
Für die einzelnen Geräte sind nur die von dem Hersteller empfohlenen LIB zu verwenden.
- **Nur unbeschädigte LIB verwenden**
Von beschädigten oder manipulierten LIB können Brand-, Explosions- und Gesundheitsgefährdungen ausgehen!

Beschädigte oder manipulierte LIB nicht verwenden! Sofort an einen sicheren Ort bringen und **der Entsorgung** zuführen.

Wenn in einem Gerät LIB fest verbaut und diese beschädigt sind, darf das Gerät nicht mehr verwendet werden. Es ist an einen sicheren Ort zu bringen und der Entsorgung zuzuführen.

Beschädigungen an LIB sind z. B. in Form von Verformungen, Wölbungen, Verfärbungen, Geruchsentwicklung, auslaufender Flüssigkeit oder Erwärmung erkennbar.

- **Äußere Einwirkungen verhindern**

Äußere mechanische und thermische Einwirkungen können die Batterie beschädigen.

- Mechanische Einwirkungen können z. B. Schläge, Deformationen aufgrund von Stürzen auf den Boden oder das Rütteln auf dem Boden im Kofferraum des Fahrzeuges sein.
- Thermische Einwirkungen sind beispielsweise Feuer, hohe Temperaturen und Sonneneinstrahlung. Hohe Temperaturen führen, wie in Abbildung 8 dargestellt, zu einer Erwärmung und einem Druckanstieg im Inneren der Zelle.
- Beim Reinigen von Arbeitsmitteln/Geräten mit LIB sind die Angaben des Herstellers zu beachten. Insbesondere ist das Eindringen von Wasser in das Gerät zu vermeiden.
- Die Kontakte von LIB dürfen nicht durch leitende Gegenstände (z. B. Büroklammern, Münzen, Schlüssel, Schrauben, Ringe) verbunden werden. Dies führt zu einem Kurzschluss.

- **Batterie niemals manipulieren/„reparieren“**

Batterien dürfen nicht manipuliert, geöffnet oder in einer anderen Art verändert werden. Das kann die Schutzeinrichtungen zerstören und zu Wärmeentwicklung, Entzündung oder Explosion einer Batterie führen.

Defekte Batterien sind gemäß Batteriegesetz zu entsorgen. In der Bedienungs- bzw. Gebrauchsanweisung der LIB bzw. des Gerätes sind entsprechende Hinweise zur sachgerechten Entsorgung angegeben.

- **Entladene Batterien sicher handhaben**

Entladene Batterien sind wie geladene Batterien zu handhaben, da sie immer noch einen hohen Kurzschlussstrom verursachen können.

4.4 Laden von LIB

Zum Laden nur vom Hersteller empfohlene Ladegeräte verwenden!

Die Batterien werden entweder direkt oder verbaut innerhalb des Gerätes geladen. Dazu muss das Ladegerät des Herstellers der LIB bzw. des Gerätes verwendet werden, da die Ladekennlinie auf die LIB abgestimmt ist. Beim Erreichen der Vollladung wird der Ladevorgang automatisch durch das Ladegerät sofort beendet. Schon eine geringfügig zu hohe Ladespannung führt aufgrund zu großer Ladeströme zu einer Erwärmung der Batterie. Es kann ein Brand ausgelöst werden.

Es sind die Herstellervorgaben zu beachten. Folgende Hinweise gelten, sofern es keine anderen Vorgaben vom Hersteller gibt:

- LIB auf nichtbrennbarer Unterlage in trockenem und staubfreiem Bereich laden. Es dürfen sich keine Brandlasten in der Nähe befinden. Die Umgebungstemperaturen sollten nicht unter 0 °C betragen. Die Aufladung sollte möglichst unter Aufsicht durchgeführt werden. Alternativ ist auch eine Überwachung durch Brandmelder in Verbindung mit einer Brandmeldeanlage oder das Laden in einem brandschutztechnisch abgetrennten Raum möglich.
- Ladegeräte vor Nässe und Staub schützen. Während des Ladevorgangs das Gerät aber nicht abdecken, eine Luftzirkulation muss ermöglicht werden. Ladegeräte regelmäßig auf einwandfreien Zustand überprüfen.
- Die LIB sollten nicht kalt sein, d. h. sie sollten vor dem Laden auf Raumtemperatur erwärmt sein.
- LIB dürfen nicht zu tief entladen und nicht zu hoch geladen werden.
- Bei langen Lagerzeiten kann es notwendig sein, die LIB nachzuladen, um eine Tiefentladung zu verhindern.

4.5 Gefährdungsbeurteilung bei der Verwendung von LIB

Lithium-Ionen-Zellen sind in vielfältigen Anwendungen und in allen Produktlebenszyklen in den Unternehmen anzutreffen. Um auf mögliche Gefährdungen vorbereitet zu sein, können bzw. müssen verschiedene Maßnahmen getroffen werden.

Nach dem S-T-O-P-Prinzip ist Folgendes zu prüfen:

S – Substitution:

Ist es notwendig Lithium-Ionen-Zellen zu verwenden oder können für die fragliche Anwendung andere Zellchemietypen, die sicherer sind, zum Einsatz kommen?

T – Technische Schutzmaßnahmen:

Welche technischen Maßnahmen können getroffen werden, um bei einem Brand von LIB die Beschäftigten aber auch das Gebäude und die Umgebung zu schützen? Dies können bauliche Maßnahmen (kleine Brandabschnitte, Komplextrennwände), aber auch technische Lösungen (Brandmelder, Brandmeldeanlagen, Löschanlagen, etc.) sein, um eine Brandausbreitung zu verhindern. Als weitergehende technische Schutzmaßnahme kann ein geringer Ladezustand der LIB angesehen werden.

O – Organisatorische Schutzmaßnahmen:

Welche organisatorischen Schutzmaßnahmen erhöhen die Sicherheit beim Umgang mit LIB? Zu den Maßnahmen gehören die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung zur Verwendung von LIB im Unternehmen sowie die Unterweisung der Beschäftigten im sicheren Umgang mit LIB anhand der Betriebsanweisung. Dazu gehört auch die Festlegung des Ortes/Bereiches, wo der Ladevorgang der LIB stattfindet. Eine weitere organisatorische Maßnahme ist die Begrenzung der vorhandenen LIB auf bestimmte Bereiche und Mengen.

Sicherer Umgang mit LIB:

Zum sicheren Umgang mit LIB gehören u. a. der sichere Transport, die Aufbewahrung in geeigneten Behältnissen und das richtige Laden von LIB.

P – Persönliche Schutzmaßnahmen:

Welche persönlichen Schutzmaßnahmen sind festzulegen, wenn technische Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind? In der Gefährdungsbeurteilung ist zu ermitteln, welche persönlichen Schutzmaßnahmen für alle Tätigkeiten im Unternehmen, bei denen LIB verwendet werden, zu verwenden sind.

Reparaturen durch Fachbetriebe:

Beim Wechsel der LIB eines Smartphones sind Beschäftigte des Unternehmens durch die spezielle Gestaltung des Arbeitsplatzes oder durch persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu schützen, etwa durch eine Schutzbrille oder einen Gesichtsschutz.

Hinweise zur PSA bei der Montage von LIB:

Bei der Montage oder Demontage von LIB ist zu beachten, dass diese unter Spannung stehen und somit ein Arbeiten unter Spannung entsprechend DGUV Vorschrift 3 bzw. 4 „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ stattfindet. Gemäß DGUV Regel 103-011 „Arbeiten unter Spannung an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln“ sind solche Arbeiten mit entsprechender Ausrüstung (Gesichtsschutz) und entsprechendem Werkzeug durchzuführen.

5 Transport von LIB

Gefahren beim Transport

Durch Stöße oder Quetschungen sowie durch Herunterfallen können mechanische Beschädigungen im Batterieinneren entstehen. In der Folge können zunächst ätzende und giftige Flüssigkeiten oder Dämpfe austreten. Diese Flüssigkeiten dürfen nicht mit Haut oder Augen in Kontakt kommen. Die Dämpfe dürfen nicht eingeatmet werden.

Je höher der Ladezustand der betroffenen Zellen ist, desto schneller können die dann eintretenden inneren Kurzschlüsse zu starker Wärmeentwicklung bis hin zum Brand führen.

Auch äußere Kurzschlüsse sind unbedingt zu vermeiden. Besteht die Gefahr solcher Kurzschlüsse durch freiliegende Kontakte, sind diese zu sichern, z. B. durch Innenverpackungen, Abkleben oder geeignete Polkappen.

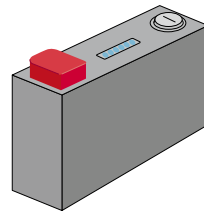


Abb. 9 Polkappe

Hinweis:

Der Transport von LIB unterliegt – wie überhaupt der Transport fast aller Batterietypen – dem Gefahrgutrecht. Das Gefahrgutrecht gilt für den gewerblichen Versender genauso wie für den privaten Versender.

Welche Transportvorschriften gibt es?

Beim Transport sind zur Vermeidung o. g. Gefahren immer die entsprechenden Verpackungsanweisungen und Sondervorschriften aus dem Gefahrgutrecht zu beachten. Da sich die Batterietechnologie ständig weiterentwickelt und auch Änderungen beim Transportrecht mit sich bringt, sind vor einer geplanten Beförderung Informationen über die aktuellen Bestimmungen einzuholen.

Je nach Verkehrsträger gelten dabei unterschiedliche Vorschriften:

Straße:	ADR
Schiene:	RID
Seefracht:	IMDG Code
Luftfracht:	ICAO-TI/IATA DGR

Generell sollte ein Transport nur erfolgen, wenn eine Prüfumfassung nach UN 38.3 vorliegt. Die Prüfumfassung ist vom Hersteller und nachfolgenden Vertreibern zur Verfügung zu stellen. Bei den Prüfungen werden die Batterien in acht verschiedenen Situationen auf ihre Transportfähigkeit geprüft: Aufprall/Quetschung, Schwingung, Schlag, Thermische Prüfung, Kurzschluss, Überladung, Entladung, Höhensimulation. Liegt die Prüfumfassung nicht vor, z. B. bei Prototypen, darf nur nach Sondervorschriften versendet werden.

Gemäß Batteriegesetz müssen Altbatterien vom Hersteller oder dem Handel zurückgenommen werden. Bei der Rücknahme ist das Gefahrgutrecht durch den Rücknehmenden zu beachten. Es könnte eine sehr hohe Brandgefahr bestehen und ein Transport darf dann nur in entsprechend zugelassenen und geprüften Behältern erfolgen. Einige Rücknahmesysteme verlangen grundsätzlich eine Quarantäne vor dem Versand.



Abb. 10 Batterie-Rücknahme-Container

Batterien, die nach Herstellervorgaben nicht kritisch sind und entsorgt oder recycelt werden sollen, können bei Lieferanten, lokalen Batteriesammelstellen oder Entsorgern abgegeben oder ihnen zugeschickt werden.

Auch hier sind beim Transport oder Versand spezielle Vorschriften je nach Zustand und Batterieart zu beachten.

Erleichterte Bedingungen gibt es für den Transport von kleineren Batterien, die eine Energie ≤ 100 Wh und einen Lithiumanteil von ≤ 2 g besitzen und nicht defekt oder beschädigt sind.

Eine Einstufung zu UN-Nummern erfolgt wie folgt:

Tabelle 3 UN-Nummern mit Versandbezeichnung und Beispielen

UN-Nr.	Versandbezeichnung	Beispiele
UN 3480	Lithium-Ionen-Batterien (inkl. Lithium-Ionen-Polymer-Batterien)	Akkus, Powerpacks
UN 3481	Lithium-Ionen-Batterien in oder mit Ausrüstungen verpackt	Laptop, Akkuschauber, E-Bikes, Rasenmäher
UN 3090	Lithium-Metall-Batterien (inkl. Batterien aus Lithiumlegierung)	Knopfzellen
UN 3091	Lithium-Metall-Batterien in oder mit Ausrüstungen verpackt	Herzschrittmacher
UN 3166	Hybridfahrzeug	nur als Ladung: Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, Brennstoffzellen-fahrzeuge
UN 3171	batteriebetriebenes Fahrzeug oder Gerät	nur als Ladung: E-Fahrzeug, selbstfahrendes Gerät wie Aufsitzrasenmäher
UN 3536	Lithium-Batterien, in Güterbeförderungseinheiten eingebaut	mobile Energiespeicher, z. B. Container zur Energieversorgung auf Großevents

Beispiel einer Kennzeichnung:

Versandstücke sind in der Regel entweder mit dem Gefahrzettel Nr. 9A oder dem Kennzeichen nach Sondervorschrift 188 zu kennzeichnen. Im Kennzeichen nach Sondervorschrift 188 sind die jeweiligen UN-Nummern zu ergänzen.



Abb. 11
Gefahrgut-Kennzeichnung von Lithium-Ionen-Batterien

Praxis-Tipps:

Es gibt verschiedene Hilfen zur Umsetzung des Transportrechts, z. B.:

- Merkblatt Nr. 36 „Versand von Lithium-Ionen-Batterien und Lithium-Ionen-Batterien in/mit Geräten: Umsetzung der Gefahrgut-Vorschriften“ des ZVEI e. V., Verband der Elektro- und Digitalindustrie, Fachverband Batterien; <https://www.zvei.org>
- Hinweise der Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien), Heidenkampsweg 44, 20097 Hamburg; <https://www.grs-batterien.de>

6 Brandschutzmaßnahmen

Brandschutzmaßnahmen für den Umgang mit LIB sind im Unternehmen entsprechend einer Brandrisikoanalyse festzulegen. Hierfür sind die vorgesehene Verwendung und der geplante Umgang mit der LIB zu berücksichtigen.

Im Allgemeinen gilt: LIB und die darin befindlichen Zellen sind durch mehrere Sicherheitseinrichtungen geschützt und lassen sich sicher betreiben.

Das Brandrisiko von LIB ist abhängig von verschiedenen Parametern, von denen einige in der folgenden Abbildung 11 aufgeführt sind. Wenn zum Beispiel Instandsetzungen an kritischen Lithium-Ionen-Batteriepacks in Fachfirmen durchgeführt werden, ist insbesondere auf den Brandschutz bei der Lagerung, an den Instandsetzungsarbeitsplätzen und an den Sammelbehältern für die defekten LIB zu achten.

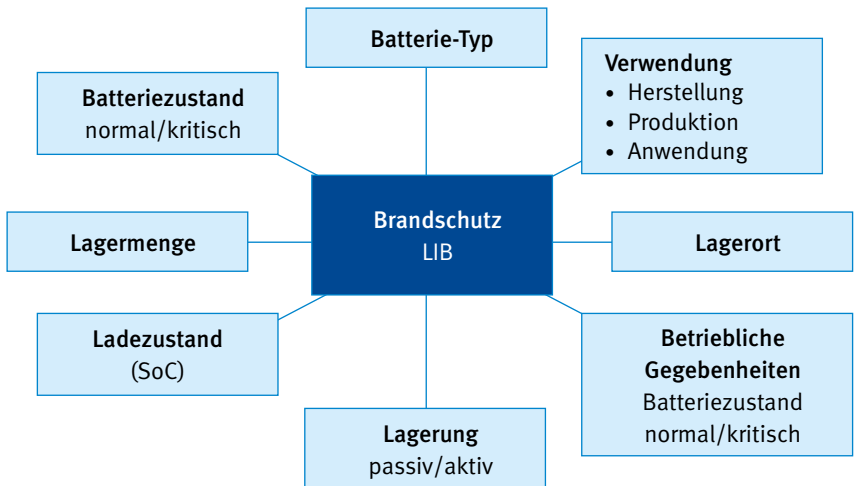


Abb. 12 Faktoren, welche bei Brandschutzmaßnahmen bei der Verwendung von LIB berücksichtigt werden müssen

6.1 Wieso kann eine Lithium-Ionen-Batterie/-Zelle brennen?

Um Brandschutzmaßnahmen für Lithium-Ionen-Batteriebrände festzulegen, sind Kenntnisse über die LIB und die möglichen Brandursachen essenziell.

Ein Brand wird ausgelöst, wenn brennbare Stoffe, Sauerstoff und eine wirksame Zündquelle vorliegen. Bei einer LIB sind diese drei notwendigen Voraussetzungen in einer Zelle vorhanden.

Im nachfolgenden Bild ist anhand des bekannten Branddreiecks dargestellt, wie es zum Brand einer LIB kommt.

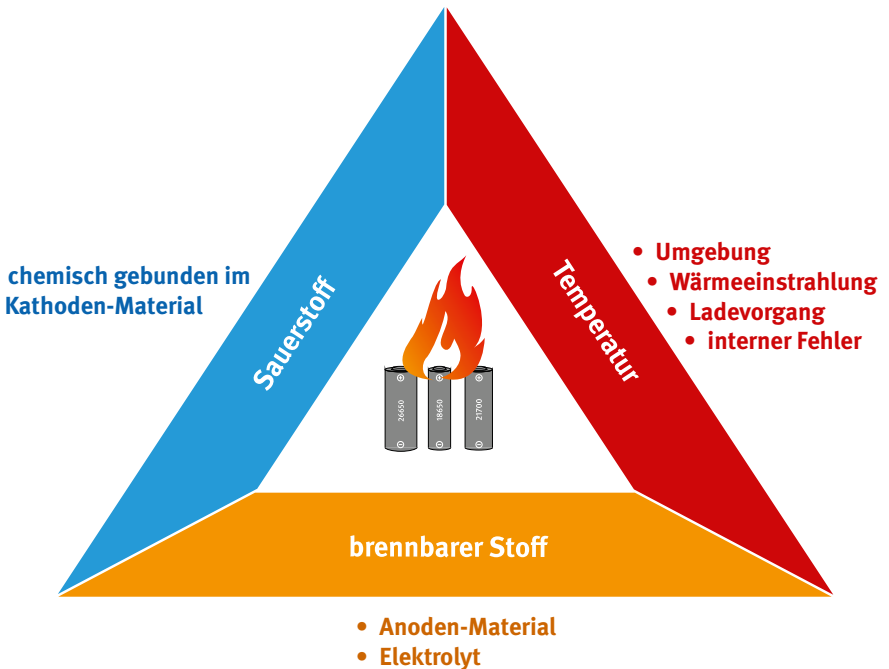


Abb. 13 Branddreieck, bezogen auf eine LIB

Es ist zu unterscheiden, ob die LIB aus sich heraus brennt oder ob die Entzündung der Batterie durch äußere Einflüsse erfolgt (vgl. Abbildung 13).

In einem Batteriepack, in dem mehrere Zellen in Reihe geschaltet sind, breitet sich der Brand von Zelle zu Zelle aus.

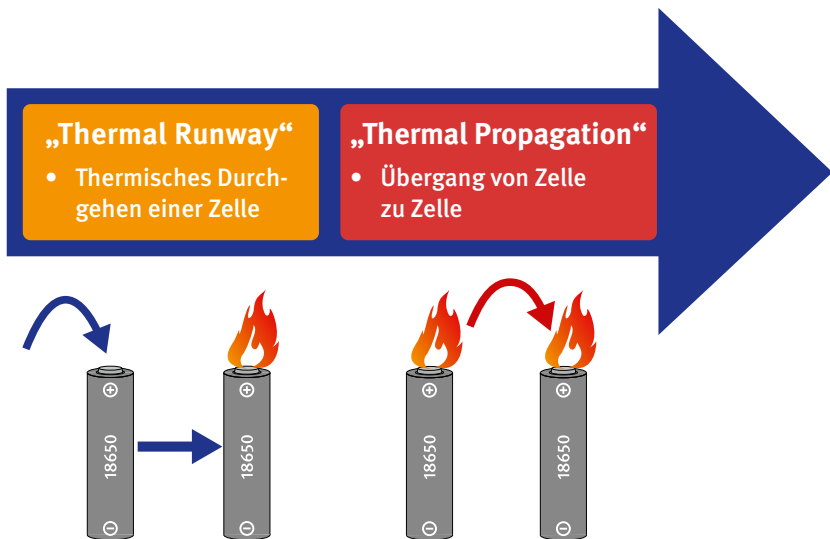


Abb. 14 Brand in einer Zelle und in einem Batteriepack

Ab einer Temperatur von ca. 80 °C beginnt die innere Zersetzung einer Lithium-Ionen-Zelle, die bis zu einem Brand führen kann. Kommt es zu einem Brand, wird diese Reaktion als „Thermal Runaway“ oder „Thermisches Durchgehen“ bezeichnet. Wenn eine Zelle durch die Brandausbreitung weitere Zellen entzündet, wird dies „Thermal Propagation“ oder „Thermische Propagation“ genannt.

Der Brandverlauf bei einem Lithium-Ionen-Batteriebrand ist sehr heftig und es entstehen Temperaturen bis 1400 °C. Der Temperaturverlauf sowie die Reaktionen in der Lithium-Ionen-Zelle sind dem nachfolgenden Bild zu entnehmen.

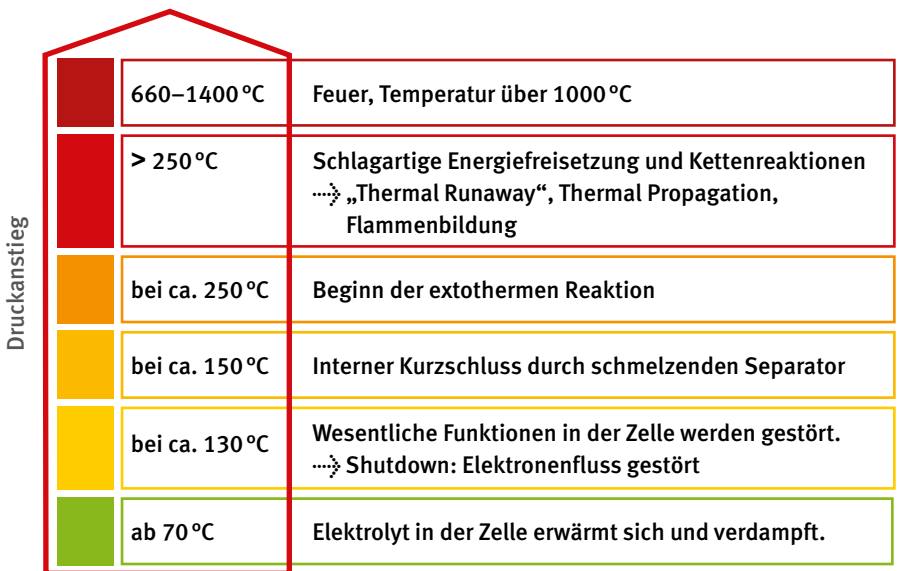


Abb. 15 Einfluss von Temperatur auf eine LIB

Durch den Temperaturanstieg kommt es in der Zelle sowie in dem Gehäuse oder Behälter zu einem Druckanstieg.

Wird der Druck zu hoch, gibt die Zelle durch vom Hersteller vorgesehene Überdruckventile ihren Inhalt nach außen ab. Ist ein Überdruckventil nicht vorgesehen, kann die Zelle platzen und ihren Inhalt unter Überdruck nach außen abgeben. Dabei entsteht ein meist weiß-grauer „Nebel“ aus Elektrolyten und anderen Zellbestandteilen. Dieser „Nebel“ ist entzündlich und

kann z. B. im umschlossenen Räumen eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden. Das im Elektrolyt enthaltene Lithiumhexafluorophosphat (LiPF_6) ist sehr wasserempfindlich und reagiert mit der Luftfeuchtigkeit unter Bildung von Fluorwasserstoff (HF, Flusssäure) und Phosphorsäure (H_3PO_4). Der „Nebel“ ist daher als entzündbar, giftig und ätzend anzusehen. Er kann auf der Hautoberfläche zu Verätzungen führen.

Bisher bekannte und nachgewiesene Bestandteile des „Nebels“ sind neben den üblichen Brandgasen u. a.:

- Graphit
- Wasserstoff
- Ethylencarbonat, Dimethylcarbonat
- Lithiumhexafluorophosphat
- Schwermetalle, z. B. Kobalt, Nickel, Mangan
- Fluorwasserstoff
- Phosphorsäure
- Phosphorwasserstoffverbindungen, z. B. Phosphin

Personengefährdung durch freiwerdende Gefahrstoffe und wegfliegende Splitter! Nicht nur die freiwerdenden Gefahrstoffe können bei einem Lithium-Ionen-Batteriebrand die anwesenden Personen gefährden.

Darüber hinaus ist z. B. auch mit Splitterwirkung durch evtl. umherfliegende Teile sowie mit Hitze- und Flammeneinwirkung durch Sekundärbrände, Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und elektrischen Gefährdungen zu rechnen.

6.2 Erkennung eines Lithium-Ionen-Batteriebrandes

Bei einem Lithium-Ionen-Batteriebrand werden Rauchgase und große Wärmemengen freigesetzt. Es kommt zu einem schnellen Brandverlauf. Zur Branderkennung können verschiedene Brandmelder verwendet werden.

Bei der Auswahl der Brandmeldern sind die üblichen Punkte, wie in der folgenden Grafik dargestellt, idealerweise in Zusammenarbeit mit einem Brandschutzfachbetrieb, zu berücksichtigen.



Abb. 16 Auswahl von Brandmeldern

Folgende Brandmelderarten können z. B. verwendet werden:

- optische Rauchmelder
- Wärmemelder
- Multisensormelder
- Handfeuermelder

Des Weiteren werden Brandfrüherkennungssysteme entwickelt oder bereits auf dem Markt angeboten. Es sollte auf einen anerkannten Funktionsnachweis einer Prüfstelle geachtet werden. Ausführliche Informationen zur Branderkennung sind in der DGUV Information 205-001 „Betrieblicher Brandschutz in der Praxis“ im Kapitel 8 „Technischer Brandschutz“ beschrieben.

Es wird empfohlen, aufgrund der schnellen und heftigen Brandausbreitung bei einem Lithium-Ionen-Batteriebrand – abhängig von Unternehmensgröße, Brandschutzkonzept und Versicherungsbedingungen – die Branderkennung und Brandbekämpfung sowie die Alarmierung der Beschäftigten über eine Brandmeldeanlage (BMA) durchzuführen.

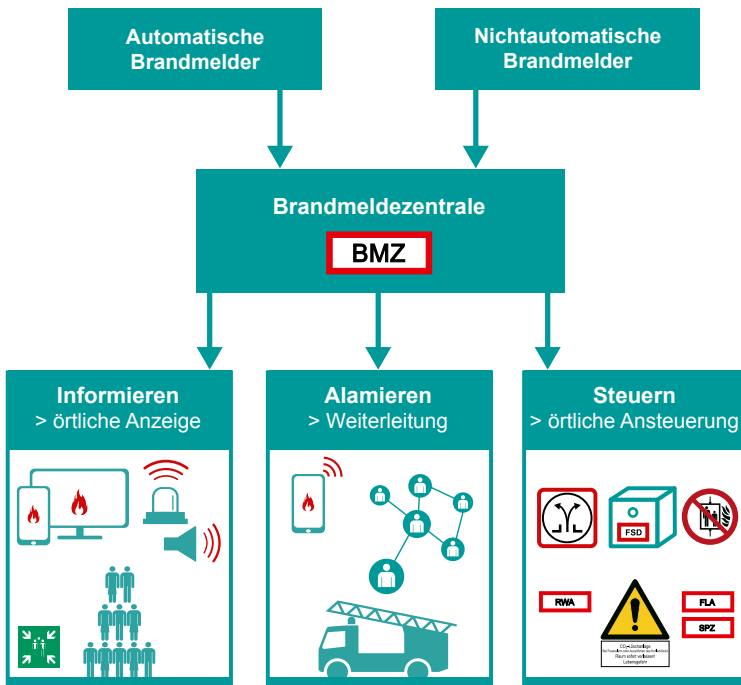


Abb. 17 Schematische Darstellung der Funktion einer Brandmeldeanlage

6.3 Brandbekämpfung einer Lithium-Ionen-Batterie/-Zelle

Eine Lithium-Ionen-Batterie/-Zelle beinhaltet alles, was für einen Brand benötigt wird. Da die Lithium-Ionen-Zelle sicher eingehaust ist, kann der Brand ggf. nicht gelöscht werden. Das Gehäuse verhindert, dass das Löschmittel den Zellbrand erreicht.

Die Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF bund) und der Deutsche Feuerwehrverband (DFV) haben eine Schrift „Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien“ veröffentlicht, nach der insbesondere folgende Aspekte bei der Brandrisikoanalyse zu beachten sind:

- hohe Energiedichte, teils mit chemisch gebundenem Sauerstoff
- thermisches Durchgehen („Thermal Runaway“), welche eine rasche Brandausbreitung mit hoher Energiefreisetzung und starker Rauchentwicklung zur Folge hat
- elektrischer Strom an Anlageteilen

Zur Brandbekämpfung von LIB dürfen nur Löschmittel mit einem hohen Kühleffekt, d. h. Wasser, gegebenenfalls mit Löschmittelzusätzen, verwendet werden (siehe gemeinsame Veröffentlichung des bvfa – Bundesverband Technischer Brandschutz. e. V. mit dem Sachgebiet „Betrieblicher Brandschutz“ des Fachbereichs „Feuerwehren, Hilfeleistungen, Brandschutz“ der DGUV, Juni 2020: „Sicherheitshinweise zum Löschen von Lithium-Ionen-Batterien“).

Wasser wird als Löschmittel zur Verhinderung einer raschen Brand- und Rauchausbreitung empfohlen. Ziel ist die längerfristige Kühlung der LIB, um das thermische Durchgehen („Thermal Runaway“) weiterer Zellen zu verhindern. Wasser kann mit Feuerlöscheinrichtungen wie zum Beispiel Feuerlöschern, Wandhydranten u. a. eingesetzt werden.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind Löschmaßnahmen mittels Feuerlöscher allerdings im Hinblick auf den Personenschutz von Beschäftigten (inklusive Brandschutz Helfern) durch die bereits beschriebenen Gefährdungen als äußerst kritisch anzusehen. Beim Einsatz von zurzeit umworbene Lithium-Ionen-Feuerlöschern, die zur (Entstehungs-) Brandbekämpfung geeignet sein sollen, ist eine Eigengefährdung nicht auszuschließen. Weiterführende Informationen sind der gemeinsamen Schrift „Sicherheitshinweise zum Löschen von Lithium-Ionen-Akkus“ von bvfa und DGUV (siehe Kapitel 7 „Literatur“) zu entnehmen.

Am Markt werden unterschiedliche Löschmittel zur Brandbekämpfung angeboten. Die Wirksamkeit wird aber in Fachkreisen unterschiedlich bewertet. Einen Prüfgrundsatz für den Löschwirksamkeitsnachweis gibt es bisher nicht.

6.4 Bauliche Maßnahmen zur Vermeidung der Brandausbreitung

Gebäude sind nach der entsprechenden Landesbauordnung (LBO) oder der Industriebauordnung (MBO) zu errichten. In § 14 der Musterbauordnung (MBO) wird gefordert, bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind. Gleichlautende oder sinngemäße Formulierungen sind in jeder Landesbauordnung zu finden und damit in ganz Deutschland gesetzlich vorgeschrieben.

Die baulichen Maßnahmen sind den betrieblichen Anforderungen entsprechend zu planen und umzusetzen. Diese baulichen Maßnahmen sind bei bestehenden Bauwerken für die Nutzung von LIB in den unterschiedlichen Lebenszyklen durch die Unternehmen mit der für den Brandschutz zustän-

digen Behörde (Bau-, Brandschutzbehörde etc.) und dem Sachversicherer abzustimmen.

Mögliche Maßnahmen sind beispielsweise:

- Aufbewahrungsmenge durch die Aufteilung in mehrere Brandabschnitte begrenzen
- Bereiche für das Laden von LIB festlegen
- Tätigkeitsbereiche mit Lithium-Ionen-Batterien wie Entwicklung, Verwendung, Anwendung, Produktion, Tausch der LIB etc. festlegen und räumlich begrenzen
- Neubau oder Umbau eines Gebäudes
- Vorgaben des Sachversicherers beachten
- ...

Folgende Empfehlung kann gegeben werden:

LIB, die sich in einem kritischen Zustand befinden, sind so zu separieren, dass eine Brandausbreitung nicht möglich ist. Die entstehenden Elektrolytdämpfe bzw. Brandrauche müssen so abgeführt werden, dass der Personenschutz sichergestellt ist und Schäden an Gebäude, Betriebsmitteln und Produkten vermieden werden.

6.5 Brandschutzmaßnahmen bei der Lagerung

Bei der Lagerung von LIB sind der Ladezustand und die Lagertemperatur zu berücksichtigen. Die LIB sind entsprechend der Herstellerangaben zu lagern. LIB altern am wenigsten, wenn der Ladezustand im Bereich von 40 und 60 % liegt, sie kühl (0 – 45°C), aber frostfrei sowie unbedingt trocken gelagert werden. Bei längerer Lagerung müssen von Zeit zu Zeit der Ladezustand kontrolliert und die LIB zur Vermeidung der Tiefentladung ggf. wieder aufgeladen werden.

Hinweis:

LIB gelten gemäß TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ als mögliche Zündquelle. Daher ist eine Zusammenlagerung mit Gefahrstoffen und brennbaren Stoffen zu vermeiden.

Zur Reduzierung von Gefährdungen kann eine getrennte Lagerung innerhalb eines Lagerabschnittes oder eine Separatlagerung in einem separaten Raum/Bereich mit feuerbeständigem Raumabschluss und feuerhemmenden, rauchdichten und selbstschließenden Abschlüssen erforderlich sein.

Beschädigte LIB müssen in säurefesten Auffangeinrichtungen getrennt von anderen brennbaren Materialien gelagert werden. Sie sind umgehend fachgerecht entsprechend den Herstelleranweisungen zu entsorgen!

Allgemein gilt bei der Lagerung von LIB:

- auf nichtbrennbarem Untergrund lagern
- Abstand zu Brandlasten halten
- Besteht bei der Lagerung, wie z. B. in Sammelbehältern, die Möglichkeit eines gegenseitigen Kurzschlusses, müssen die Pole isoliert werden z. B. mit Klebeband.
- Größere Mengen bzw. leistungsstarke LIB müssen in sicherem Abstand zu brennbaren Materialien gelagert werden. Bei der Lagerung innerhalb von Gebäuden sollte ein Freistreifen von 2,5m zu anderen Gütern eingehalten werden oder die LIB in einem brandschutztechnisch abgetrennten Bereich (z. B. Sicherheitsschrank, Container) gelagert werden!
- Sollen LIB in einer Arbeitsstätte in größerem Umfang gelagert oder anderweitig mit ihnen umgegangen werden, ist rechtzeitig vorher zu prüfen, inwieweit eine Genehmigung der zuständigen Baugenehmigungsbehörde oder Brandschutzdienststelle notwendig ist. Der zuständige Sachversicherer sollte ebenfalls kontaktiert und in Kenntnis gesetzt werden. Eine Brandmeldeanlage ist zu empfehlen.
- Werden in Arbeitsbereichen regelmäßig größere Mengen von LIB (mehr als im Haushalt üblich) bereitgestellt, für den Versand vorbereitet, repa-

riert, geprüft oder ähnliches, gelten diese Bereiche als Arbeitsstätten mit erhöhter Brandgefährdung im Sinne der Technischen Regel für Arbeitsstätten (ASR) „Maßnahmen gegen Brände“, ASR A2.2. Das Unternehmen hat daher neben der Grundausstattung mit geeigneten Feuerlöscheinrichtungen zusätzliche betriebs- und tätigkeitsspezifische Brandschutzmaßnahmen zu ergreifen. Dies können z. B. sein:

- Ausstattung des Bereichs mit einer Brandmeldeanlage,
 - Ausstattung des Bereichs mit einer geeigneten ortsfesten Brandbekämpfungsanlage, wie z. B. einer Sprinkleranlage,
 - Maßnahmen, die nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 800 „Brandschutzmaßnahmen“ für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen nötig sind.
- Für Lagerschränke zur Lagerung von LIB gibt es einen Prüfgrundsatz, aber keine Norm. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Schränke ist dadurch noch nicht möglich.

Hinweis:

Der Umgang mit oder die Lagerung von LIB verlangt in der Regel maßgeschneiderte Lösungen, die gezielt auf das jeweilige Anwendungsszenario abgestimmt werden müssen. Wir empfehlen Ihnen an dieser Stelle die frühzeitige Kontaktaufnahme und die Einbindung Ihres zuständigen Sachverständigen sowie bei baulichen Maßnahmen und/oder Nutzungsänderungen die frühzeitige Einbindung der örtlich zuständigen Brandschutzdienststelle.

Besondere Schutzmaßnahmen müssen bei LIB getroffen werden, die sich in einem kritischen Zustand befinden.

6.6 Präventive Maßnahmen bei der Lagerung kritischer LIB

LIB im kritischen Zustand sind in einem speziellen Quarantäne-Bereich (sicherer Ort) zu lagern. Zusätzliche Maßnahmen zur Verhinderung der Brandausbreitung und zur Vermeidung von Folgeschäden:

- Brandmeldeanlage
- Wasserlöschanlage
- Löschwasserrückhaltung
- Entrauchungsanlage (RWA)
- Umwelt- und Nachbarschaftsgefährdungen beachten!

Empfehlungen für Sammelstellen von LIB:

- Nicht mehr verwendete Batterien, dazu gehören auch LIB, gehören nicht in den Hausmüll, sondern müssen fachgerecht entsorgt werden. Die Entsorgung ist zum Beispiel über den Fachhandel oder über Wertstoff-Sammelstellen möglich.
- Da LIB mögliche Zündquellen sind und eine Brandgefährdung durch einen Kurzschluss besteht, sind die Pole zu isolieren. Dazu sind die Pole abzukleben, mit Polkappen zu sichern oder die Batterien einzeln zu verpacken.
Bei der gemischten Batteriesammlung ist es nach Gefahrgutrecht zulässig, die Pole nicht abzukleben, da von unter 2 % Li-Anteil ausgegangen wird.
- Altbatteriesammelstellen nicht unbeobachtet lassen. Am sinnvollsten ist es, die Batterien von den Kunden entgegenzunehmen und durch Mitarbeitende wie oben beschrieben fachgerecht zu sammeln. Aufgeblähte LIB sollten in separaten Quarantäneboxen gesammelt werden.
- Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Gefäßen aus nichtleitendem Material, gefüllt mit ausreichend Wasser oder mit Vermiculit, um defekte Batterien, Akkus, etc. zu sammeln. Hier ist aber auch auf das Abkleben der Pole und die Entstehung von Brandrauch zu achten.
- Die Sammelgefäße dürfen nicht in Fluchtwegen und in der Nähe von brennbaren Materialien aufgestellt werden.

- Außerhalb der Öffnungszeiten sind die Sammelboxen nicht in den Betriebsräumen aufzubewahren und vor dem Zugriff von Unbefugten zu schützen.



Abb. 18 Batteriesammelbox, „gemischte Sammlung“

Bei den Sammelbehältern ist normalerweise der Deckel geschlossen und hat nur eine kleine Einwurfföffnung, so dass zum Beispiel Laptop-Akkus nicht hineinpassen. Wird die Größenbegrenzung der LIB im Sammelbehälter wie in Abbildung 17 umgangen, muss der Inhalt regelmäßig geprüft werden. Dabei sind z. B. größere Einheiten wie Laptop-Akkus zu entnehmen, auf den Lithiumanteil zu prüfen und die Pole gegebenenfalls zu isolieren.

Sammelbehälter mit Zulassung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM-Zulassung) sind nur für den Transport mit speziellen Fahrzeugen zugelassen. Die Behälter sind mit einem Gasmanagement ausgestattet. Bei einem Brand werden die entstehenden Brandgase und Rauche über eine Druckentlastungsklappe in die Umgebung freigesetzt.

6.7 Brandschadensanierung

Ein Bereich, in dem es gebrannt hat, gilt gemäß TRGS 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ als kontaminierter Bereich. Es ist für die Brandschadensanierung zu ermitteln, welche Schadstoffe durch den Brand entstanden sind. Entsprechend der vorhandenen Schadstoffe sind dann Gefahrenbereiche (GB) von GB 0 bis GB 3 festzulegen. Da bei einem Brand von LIB krebserzeugende Gefahrstoffe entstehen, handelt es sich um den Gefahrenbereich GB 3 mit besonders kritischen Brandfolgeprodukten. Es ist auch zu berücksichtigen, dass ein Brand in einer LIB erneut aufflammen kann. In einem Arbeits- und Sicherheitsplan sind die zu treffenden Maßnahmen für die Brandschadensanierung festzulegen. Für die Bewertung und die zu verfassende Gefährdungsbeurteilung müssen fachkundige Personen herangezogen werden, die auch bei der Brandschadensanierung dauerhaft vor Ort als Ansprechperson zur Verfügung stehen.

Es empfiehlt sich für Unternehmen, die Brandschadensanierung durch einen Fachbetrieb mit den notwendigen Kenntnissen und Materialien durchführen zu lassen.



Abb. 19 Regelwerk Brandschadensanierung

Ausführliche Informationen zur Brandschadensanierung sind in den folgenden Schriften zu finden:

- DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“
- TRGS 524 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“
- DGUV Regel 101-004 „Kontaminierte Bereiche“
- VdS 2357 „Richtlinien zur Brandschadensanierung“
- Baustein C 318 „Brandschadensanierung“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU)

7 Literatur

Die nachfolgend aufgeführte Literatur wurde von den Autoren zur Erstellung dieser Schrift herangezogen.

Gesetze, Verordnungen und Regeln

Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegelgesetz – BattG)

<https://www.gesetze-im-internet.de/battg/BJNR158210009.html>

Verordnung (EU) 2023/1542 über Batterien und Altbatterien

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>

TRGS 510 Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern

Publikationen der DGUV und der Unfallversicherungsträger

Bezugsquelle:

Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger und unter www.dguv.de/publikationen

DGUV Information 213-012 „Gefahrgutbeförderung im PKW“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p213012

DGUV Information 213-052 „Beförderung gefährlicher Güter“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p213052

FBFHB-018 „Hinweise zum betrieblichen Brandschutz bei der Lagerung und Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p021507

FBFHB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p021551

FBHM-123 „Herstellung von Hochvoltspeichern“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p022162

FBHM-124 „Umgang mit Hochvoltspeichern“

www.dguv.de/publikationen > Webcode: p022163

Unfallgefahren Lithiumbatterien

<https://www.bg-verkehr.de/arbeitsicherheit-gesundheit/themen/gefahrgut/unfallgefahren/lithiumbatterien>

Elektromobilität

https://www.vbg.de/DE/3_Praevention_und_Arbeitshilfen/2_Themen/10_Verkehrs_Transportsicherheit/7_Elektromobilitaet/6_Elektromobilitaet_node.html

Elektro- und Hybridfahrzeuge

Tipps und Infos zum sicheren Umgang und zur Pannenhilfe

https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Themen/Verkehrs_und_Transportsicherheit/Pannenhilfe_an_Elektro_und_Hybridfahrzeugen_Faltblatt.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Sicherheitshinweise zum Löschen von Lithium-Ionen-Akkus
(Gemeinsame Veröffentlichung mit dem bvfa – Bundesverband Technischer Brandschutz e. V.)

https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/fachbereiche_dguv/fb-fhb/brandschutz/sicherheitshinweise_loeschen_lithium_ionen_akkus.pdf

Merkblatt für Einsatzkräfte „Einsatz an stationären Lithium-Solarstromspeichern: Hinweise für die Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung“ (Gemeinsame Veröffentlichung mit dem BSW – Bundesverband Solarwirtschaft e. V.)

https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/BSW_Merkbl_A5_2014-ohnePasser.pdf

Behörden/Ämter

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

www.bam.de

Damit Lithium-Batterien sicher unterwegs sind

<https://www.bam.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Energie/Elektrische-Energiespeicher/damit-lithium-batterien-sicher-unterwegs-sind.html>

Checkliste Anforderungen für die Verfahrensfestlegung von Verpackungen für defekte Lithium-Batterien, die beim Transport gefährlich reagieren können.

Multilaterale Vereinbarung M306 nach Abschnitt 1.5.1 des ADR über die Beförderung von Lithiumzellen und -batterien aus Produktionsserien von höchstens 100 Zellen und Batterien oder Vorproduktionstypen von Zellen und Batterien, sofern diese Prototypen für die Prüfung befördert werden (UN 3090 – 3091 – 3480 – 3481)

Bekanntmachung im Verkehrsblatt 14/2017 vom 31. Juli 2017
(Nr. 107 vom 28.06.2017)

<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/multi/agree.wpf/M306g.pdf>

Multilaterale Vereinbarung M307 nach Abschnitt 1.5.1 des ADR über die Beförderung von beschädigten oder defekten Lithiumbatterien, die unter normalen Beförderungsbedingungen zu einer schnellen Zerlegung, gefährlichen Reaktion, Flammenbildung, gefährlichen Wärmeentwicklung oder einem gefährlichen Ausstoß giftiger, ätzender oder entzündbarer Gase oder Dämpfe neigen (UN 3090 – 3091 – 3480 – 3481)

Bekanntmachung im Verkehrsblatt 22/2017 vom 30. November 2017
(Nr. 177 vom 07.11.2017)

<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/multi/agree.wpf/M307g.pdf>

International Air Transport Association IATA

www.iata.org

<https://www.iata.org/en/programs/cargo/dgr/lithium-batteries/>

Umweltbundesamt (UBA)

www.umweltbundesamt.de

Umwelttipps für den Alltag, Li Batterien und Akkus

<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektro-geraete/lithium-batterien-lithium-ionen-akkus#unsere-tipps>

Umweltwirkungen von wiederaufladbaren Lithium-Batterien für den Einsatz in mobilen Endgeräten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_52_2016_umweltwirkungen_von_wiederaufladbaren_lithium-batterien_0.pdf

Ratgeber Batterien und Akkus Ihre Fragen – unsere Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4414.pdf>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Umweltwirkungen von wiederaufladbaren Lithium-Batterien für den Einsatz in mobilen Endgeräten der Informations- und Kommunikationstechnik

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3713_95_316_lithium_batterien_bf.pdf

Versicherungen

VdS

www.vds.de

Lithium Batterien

VdS 3103:2019-06

<https://shop.vds.de/de/download/0b024037120d7e2545b91956911b4d67/>

Sprinklerschutz von Lithium-Batterien

VdS 3856:2019-06

<https://shop.vds.de/de/download/8f34a97b5882cd3805ad76e4a9739b4c/>

Ladestationen für Elektrostraßenfahrzeuge

VdS 3471: 2021-02

<https://shop.vds.de/de/produkt/vds-3471>

Publikation der deutschen Versicherer (GDV e.V.) zur Schadenverhütung
Brandschutz in Betriebshöfen für Linienbusse – VdS 0825 : 2023-03

<https://shop.vds.de/publikation/vds-0825>

Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e.V. (IFS)

www.ifs.de

Lithium-Ionen-Akkus

<https://www.ifs-ev.org/schadenverhuetung/feuerschaeden/lithium-ionen-akkus/>

Schadenprisma

www.schadensprisma.de

Lithium Batterien

Gefahren und Schutzmaßnahmen

https://www.schadenprisma.de/pdf/sp_2012_2_1.pdf

GDV

www.gdv.de

Lager mit Lithium-Ionen-Akkus brauchen richtigen Brandschutz – und eine gute Sprinkleranlage

<https://www.gdv.de/de/themen/news/lager-mit-lithium-ionen-akkus-brauchen-richtigen-brandschutz---und-eine-gute-sprinkleranlage-15032>

Forschungsinstitute

KIT-Karlsruher Institut für Technologie

www.ffb.kit.edu

KIT 159 Besonderheiten und Risiken bei alternativ angetriebenen Fahrzeugen

https://www.ffb.kit.edu/download/IMK%20Bericht_159_Schelb_Jordan_Alternativantriebe_7Dez2020.pdf

KIT 175 Untersuchung des Brandverhaltens von Lithium-Ionen und Lithium-Metall-Batterien in verschiedenen Anwendungen und Ableitung einsatztaktischer Empfehlungen

https://www.ffb.kit.edu/download/Forschungsbericht_159_21_Dez2022_korr.pdf

KIT 192 Studie zur Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien (Akkus) und Lithium-Metall-Metall-Batterien

<https://www.ffb.kit.edu/download/IMK%20Ber.%20Nr.%20192%20Kunkelmann%20Lithium-Ionen-%20und%20Lithium-Metall-Batterien%20Brandbekaempfung.pdf>

Brandschutz- Forschung der Bundesländer 210 Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher

https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/imk_ber/IMK_210.pdf

bsd Batterie-Sicherheitscampus Deutschland

www.batteriesicherheit.eu

RiskBatt: Verbundprojekt zur Beherrschung sicherkritischer Zustände von Lithium-Ionen-Batterien gestartet

⇨ Beteiligung DGUV, BG ETEM

<https://www.batteriesicherheit.eu/aktuelles/49-riskbatt-verbundprojekt-zur-beherrschung-sicherkritischer-zustaende-von-lithium-ionen-batterien-gestartet>

Weitere Publikationen und Informationsquellen

Berliner Feuerwehr

„Häufig gestellte Fragen (FAQ) – ‚Quarantäne-Flächen‘ für Unfallfahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieb

https://www.berliner-feuerwehr.de/fileadmin/bfw/dokumente/VB/Faq_VB/FAQ_Quarantaeneflaechen_Unfallfahrzeuge.pdf

VDE

Kompodium: Li-Ionen-Batterien Grundlagen, Merkmale, Gesetze und Normen

<https://www.dke.de/resource/blob/933404/dd44d15918ce4d4aef-c363a4ef1490e1/kompodium-li-io-batterien-2021-de-data.pdf>

Deutscher Feuerwehr Verband (DFV), Arbeitsgemeinschaft Berufsfeuerwehren AGBF bund

Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien

https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/05/2018-01_Fachempfehlung_Risikoeinschaetzung-Lithium-Ionen-Speichermedien.pdf

vfdb Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.

www.vfdb.de

Merkblatt

Empfehlung für den Feuerwehreinsatz bei Gefahr durch Lithium-Zellen,- Batterien und –Akkumulatoren

https://www.vfdb.de/media/doc/merkblaetter/MB10_17_Lithium-Batterien_Referat10_2020_09_NEUDES_BLO.pdf

BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft www.bde.de

BDE-Praxisleitfaden Lithiumbatterien und Zellen (auch in Elektroaltgeräten)
Sammlung, Verpackung und Transport gemäß ADR Stand Februar 2021

<https://www.bde.de/presse/praxisleitfaden-fuer-lithium-batterien-und-zellen-aktualisiert/>

ZVEI: Die Elektroindustrie Fachverband Batterien

www.zvei.org

Merkblätter: Batteriewissen kompakt

<https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-batterien/merkblaetter-batteriewissen-kompakt/>

ZVEI Merkblatt Nr. 2 Ausgabe Mai 2016

Sicherer Umgang mit Lithiumbatterien Leitfaden zur Erstellung von produkt-spezifischen Merkblättern

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Verband/Fachverbaende/Batterien/Merkblaetter/Lithiumbatterien/ZVEI_02_Sicherer_Umgang_mit_Lithiumbatterien_2016-05.pdf

ZVEI Merkblatt Nr. 36 Ausgabe März 2023

Versand von Lithium-Ionen-Batterien und Lithium-Ionen-Batterien in/mit
Geräten: Umsetzung der Gefahrgut-Vorschriften

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2023/Mai/Batterien/2023_Versand_von_Lithium-Ionen-Batterien.pdf

BVES Bundesverband Energiespeicher

www.bves.de

Leitfaden Rahmenanforderungen Lithium-Ionen Großspeicher Stand
November 2016 Version 1.0

https://www.bves.de/wp-content/uploads/2023/06/BVES_Brand-schutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_DE_2023.pdf

https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/11/Brandschutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_DE_2023-2.pdf

Sicherheitsleitfaden Li-Ionen Hausspeicher Ausgabe 11/2014 Version 1.0

<https://www.bves.de/wp-content/uploads/2023/08/Sicherheitsleitfaden-Li-Ionen-Hausspeicher.pdf>

BVES Fachgruppe „Brandschutz von Lithium Ionen Großspeicher“

→ Mitwirkung DGUV & BG ETEM

https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/11/Brandschutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_DE_2023-2.pdf

bvfa Bundesverband Technischer Brandschutz

www.bvfa.de

Brandschutz Kompakt Nr.60 September 2018

Brandschutz bei Lithium-Ionen-Batterien

Batterieforum Deutschland

www.batterieforum-deutschland.de

Batteriekompodium:

<https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/batteriekompodium/>

Batterie Lexikon

<https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/>

Stiftung GRS Batterien → Recycling, Sammlung etc.

<https://www.grs-batterien.de/>

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40

10117 Berlin

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)

E-Mail: info@dguv.de

Internet: www.dguv.de