

Fachbereich AKTUELL

Umgang mit Hochvoltspeichern

FBHM-124

Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme, Instandhaltung
 Stand: 04.09.2024

Die „Fachbereich AKTUELL“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse (abgestimmte Erfahrung des jeweiligen Sachgebiets) für die Verwendung von Arbeitsmitteln wieder. Sie werden vom entsprechenden Fach- und Sachgebiet bei Bedarf erstellt, angepasst und auf der Internetseite der DGUV in der aktuellen Version veröffentlicht.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ schildert die Position der DGUV zur Gefährdung beim Umgang mit Hochvoltspeichern. Sie soll Hersteller, Betreiber und Versicherte bei der Erstellung und Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung und der Ermittlung der Anforderungen an Bereiche, Hochvoltspeicher, Systeme, Prozesse und Personen unterstützen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Grundlagen	2
3	Umgang mit Hochvoltssystemen	11
4	Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen	15

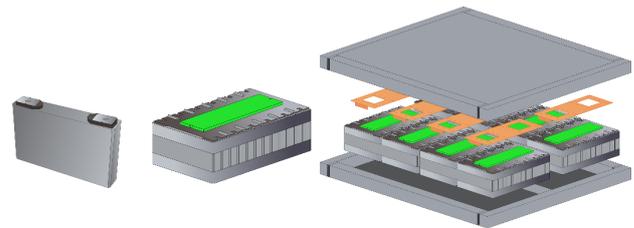


Abbildung 1 – Hochvoltspeicher, bestehend aus Modulen und Zellen

Diese Fachbereich AKTUELL bezieht sich auf Hochvoltspeicher 60V-1500V DC, entsprechend dem Anwendungsbereich der DGUV Information 209-093 [1]. Die Informationen dieser Schrift können sinngemäß auch auf andere Lithium-Ionen Starter- oder Stützbatterien angewendet werden.

Aufgrund der wachsenden Forderung nach umweltverträglichen Antriebstechnologien für Fahrzeuge werden Hochvoltantriebssysteme in steigender Zahl entwickelt und angewandt.

Betriebe, die Hochvoltspeicher herstellen, weiterverarbeiten und mit ihnen umgehen, stehen aufgrund des Anstiegs der Elektromobilität vor neuen Herausforderungen und potenziellen Gefährdungen – und zwar bei allen Prozessschritten, die für den Umgang mit und die Reparatur von Hochvoltspeichern erforderlich sind, sowie bei Lagerung, Transport und Unfallereignissen.

1 Einleitung

Der Umgang mit Hochvoltspeichern im Sinne dieser Schrift umfasst die Tätigkeiten, die bei Herstellern von Hochvoltspeichern und Hochvoltfahrzeugen, in Werkstätten, Transport-, Lager- und Recyclingunternehmen vorkommen. Der Produktzyklus wird von der Herstellung bis zum Recycling des Hochvoltspeichers betrachtet.

Weitere Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (z. B. Arbeitsplatzergonomie) sind ebenfalls zu beachten, stehen jedoch nicht im Fokus dieser Schrift.

Unternehmer und Unternehmerinnen haben die Pflicht, eine Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz [2] und Betriebssicherheitsverordnung [3] durchzuführen. Für die Gefährdungsbeurteilung sind die Herstellervorgaben zu beachten. Ein Fahrzeughersteller wird zum Hersteller, wenn er ein Fahrzeug auf dem Markt bereitstellt.

2 Grundlagen

2.1 Aufbau von Lithium-Ionen-Batterien (LIB)

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) werden im gewerblichen Gebrauch in vielen verschiedenen Produkten und Anlagen eingesetzt. Das Spektrum reicht von Hörgeräten, Mobiltelefonen, Computern und mobilen Werkzeugen/Maschinen über Kraftfahrzeuge und Flurförderzeuge bis hin zu Lithium-Ionen-Großspeichern in Containern oder anderen baulichen Anlagen. Dabei ist der grundsätzliche Aufbau immer vergleichbar:

Je nach benötigter Größe der Batterie oder des Speichers wird eine entsprechende Anzahl von Einzelzellen zusammengefasst. Auf dem Markt werden drei verschiedene Bauformen von Lithium-Ionen-Zellen verwendet (siehe Abbildung 2):

- a) zylindrische Zellen
- b) Pouch-Zellen
- c) prismatische Zellen

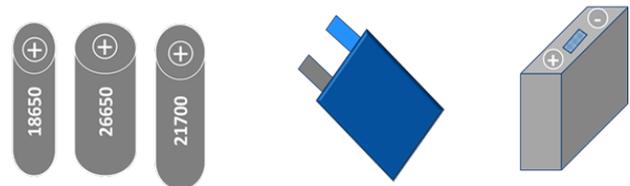


Abbildung 2 – Zylindrische (a), Pouch- (b) und prismatische Zelle (c)

Diese Bauformen gibt es in festgelegten Abmessungen. Die Pouch-Zellen werden auch in speziellen Geometrien für die Anwendung hergestellt.

LIB werden außerdem in Primär-Zellen (nicht wieder aufladbar) und Sekundär-Zellen (wieder aufladbar) unterschieden.

In Hochvoltspeichern, die in der E-Mobilität zum Einsatz kommen, werden Sekundär-Zellen verwendet.

In einer Zelle sind jeweils die Anode, die Kathode, der Separator (siehe Abbildung 3) sowie die, in der Regel gelförmigen oder nahezu festen, Elektrolyte enthalten. Diese Materialien werden in zylindrischen Zellen gewickelt, in Pouch-Zellen in Lagen übereinandergelegt und in prismatischen Zellen in Ovalen gewickelt eingebracht.

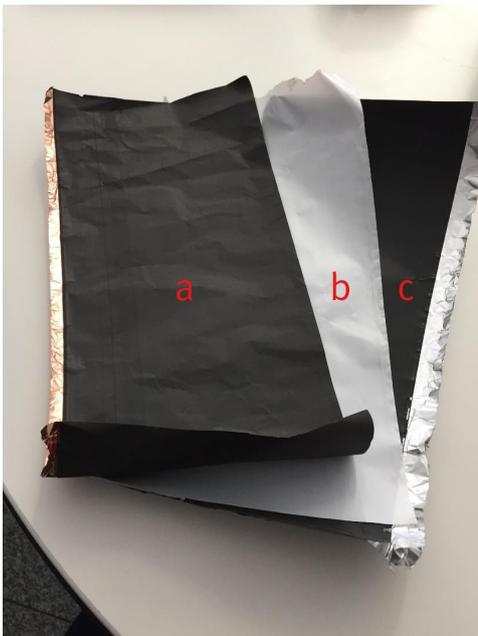


Abbildung 3 – Anoden-(a), Separator-(b), Kathoden(c)-Material

Die Funktionsweise einer Lithium-Ionen-Zelle ist in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Beim Entladen wandern die Li-Ionen (Li+) vom negativen Pol (Anode) der Zelle durch den Separator zum positiven Pol (Kathode). Beim Ladevorgang verläuft dieser Prozess in umgekehrter Richtung.

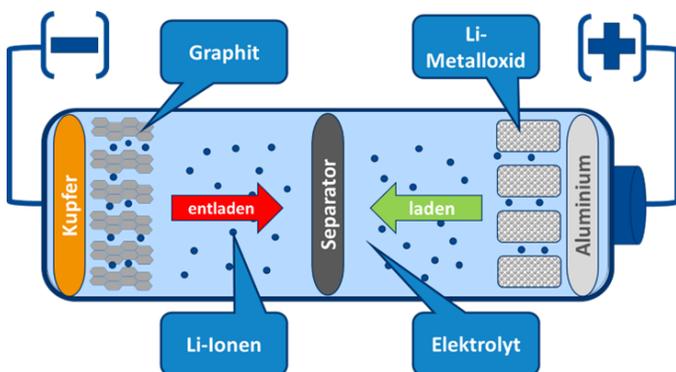


Abbildung 4 – Lithium-Ionen-Zellen Funktionsweise

2.2 Batterie

Durch eine Anordnung mehrerer Zellen, die hinter- oder nebeneinandergeschaltet oder verbunden werden, entstehen Batterien.

Der Ladevorgang wird durch das Batteriemanagementsystem (BMS) gesteuert. Das BMS befindet sich je nach Bauart direkt am Batteriepack oder ist im Ladegerät verbaut. Das BMS steuert, je nach Programmierung durch den Hersteller, den Ladestrom, überwacht die Temperatur der LIB und kann auch die Ladung verhindern oder unterbrechen, wenn die programmierten Parameter nicht eingehalten werden.

2.3 Spezifische Gefährdungen, die von LIB ausgehen

LIB bergen – wie viele andere Technologien – gewisse Risiken, besonders bei nicht fachgerechter Handhabung oder anderen äußeren Einflüssen.

Bei fachgerecht gefertigten LIB und sachgerechtem Umgang (Laden, Verwendung, etc.) kann von sicheren Produkten ausgegangen werden.

Es ist daher wichtig, die in einer Ausnahme-situation im Zusammenhang mit einer LIB auftretenden Gefahren zu kennen und richtig einschätzen zu können.

Charakteristisch für die LIB-Speichersysteme ist der hohe Energieinhalt pro Volumen. Unter äußeren Einfluss (z. B. Beschädigungen, unsachgemäßes Aufladen etc.) können Lithium-Ionen-Zellen in einen unkontrollierten Reaktionszustand (Thermal Runaway) übergehen, ohne dass das im Voraus erkennbar ist.

2.4 Thermal Runaway/ Thermische Propagation

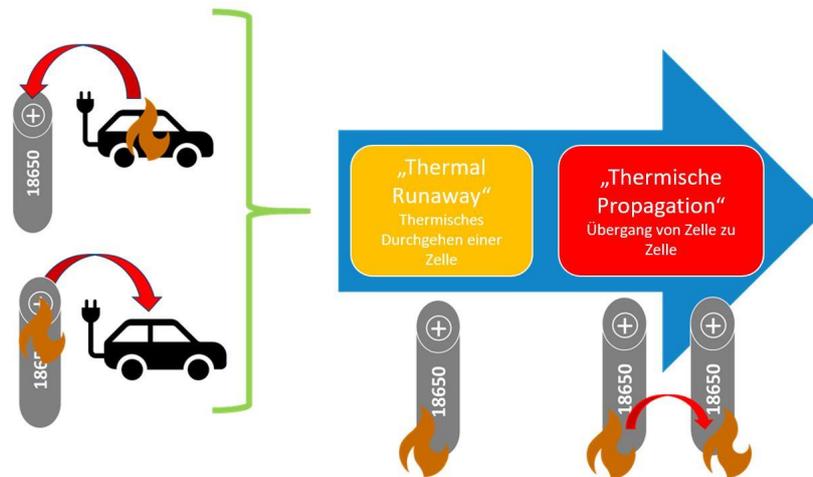


Abbildung 5 – Thermal Runaway – Thermische Propagation

Von einem „Thermal Runaway“ wird gesprochen, wenn die gespeicherte Energie einer Lithium-Ionen-Zelle in kurzer Zeit unkontrolliert in einer thermischen Reaktion freigesetzt wird. Wenn eine Zelle durch die thermische Reaktion weitere, benachbarte Zellen zur thermischen Reaktion bringt, wird das als „Thermische Propagation“ bezeichnet (siehe Abbildung 5).

Es ist zu unterscheiden, ob die LIB aus sich heraus kritische thermische Reaktionen zeigt oder ob die thermische Reaktion der Batterie durch thermische Last von außen (z. B. Fahrzeugbrand) hervorgerufen wird.

Durch thermische, elektrische oder mechanische Beanspruchungen kann es bei LIB zu einer thermischen Reaktion der Batteriezellen kommen. Dabei handelt es sich um einen stark exothermen Prozess, bei dem toxische, und/oder brennbare oder explosionsfähige Inhaltsstoffe sowie brennendes Material aus den Zellen austreten können (siehe Abbildung 6).

Mit folgenden Gefährdungen muss bei einem Fehlerfall mit LIB gerechnet werden (z. B. bei unsachgemäßem Umgang, Überhitzung, mechanischer Beschädigung, internem Fehler etc.):

- Mechanische Gefährdungen, z. B. wenn durch Kurzschlüsse glühende Metallteile und andere (unter Umständen brennende) Teile aus der Batterie ausgestoßen werden (Projektilbildung)
- Elektrische Gefährdungen durch elektrische Körperdurchströmung oder Lichtbögen
- Gefährdungen durch Gefahrstoffe, z. B. durch Batteriebestandteile oder deren Reaktions- oder Zersetzungsprodukte. Beim Brand von Li-Batterien werden, ebenso wie bei anderen Bränden, toxische Gase, krebserzeugende und gesundheitsschädliche Verbrennungsprodukte und -rückstände in erheblichem Maße freigesetzt.
- Brand- und Explosionsgefährdungen, z. B. durch elektrisches Aufheizen/ Entzünden durch Kurzschluss

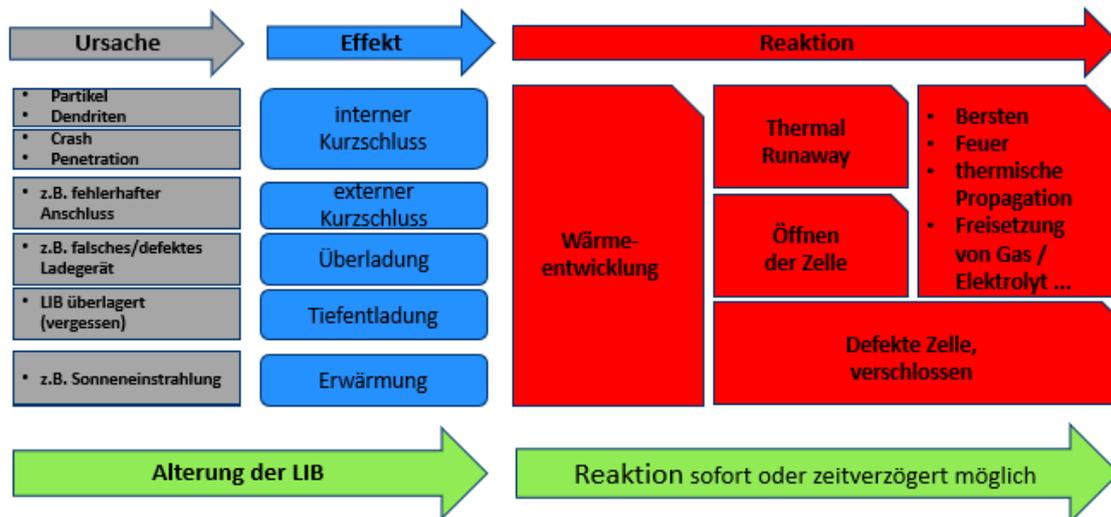


Abbildung 6 – Ursache – Effekt – Reaktion

Insbesondere beim Ladevorgang von LIB können kritischen Reaktionen auftreten.

Die Tatsache, dass LIB bereits seit 1993 als Gefahrgut eingestuft sind, weist darauf hin, dass bei LIB stets mit kritischen Reaktionen gerechnet werden muss.

Nach dem Gesamtverband der Sachversicherer (VdS) ist eine LIB wie ein Gefahrstoff zu behandeln (siehe VdS 3103, Abschnitt 2.7 [4]).

2.5 Brandverhalten (Brandgefahr) von Lithium-Ionen-Akkus

Für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit von Bränden durch LIB liegen bisher noch keine ausreichenden statistischen Erkenntnisse in der Sachversicherung vor. Bisher sind nur wenige vergleichbare Untersuchungen über das Abbrandverhalten publiziert worden. Eine abschließende Beurteilung der Risiken und wirksamen Maßnahmen ist derzeit kaum möglich (siehe VdS 3885 [5]).

Beim Brand von LIB entstehen hohe Temperaturen und erhebliche Mengen

toxischer und korrosiver Brandgase, die auch die Umwelt schädigen und die Umgebung kontaminieren können.

Da in der Batterie beim Brand durch chemische Reaktion verschiedene entzündbare oder brandfördernde Gase entstehen und freigesetzt werden, sind LIB-Brände schwer zu löschen. Es handelt sich um eine exotherme Reaktion. Somit kann es zu einer Selbsterhaltung oder sogar Selbstbeschleunigung der Reaktion kommen. Brandlöschverfahren, die den Brand durch Sauerstoffentzug beenden, funktionieren bei LIB aufgrund der Zellchemie nicht.

2.6 Wieso kann eine LIB thermisch reagieren/brennen?

LIB und die sich darin befindenden Zellen werden durch mehrere normativ (UN Test Criteria 38.3 [6] und ECE 100.2 [7]) geforderten Sicherheitseinrichtungen geschützt. Sollte sich eine Zelle zum Beispiel durch Hitze, Überladung oder mechanische Beschädigung zersetzen oder thermisch durchgehen, entstehen Temperaturen bis zu 1400 °C. Die Zelle platzt und bläst ihren Inhalt unter Überdruck nach außen ab (siehe Abbildung 7).



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

In Abbildung 8 ist anhand des bekannten Branddreiecks dargestellt, wie es zu einem LIB-Brand kommt.

Die LIB kann bedingt durch ihre chemische Zusammensetzung ohne Fremdeinwirkungen thermisch reagieren. Als „interne“ Reaktion zählt unter anderem auch ein durch Dendriten-Bildung zerstörter Separator, der zu einem internen Kurzschluss führt.

Der Reaktionsverlauf und Reaktionszeit bei thermisch reagierenden LIB ist sehr stark abhängig vom Ladezustand und Energieinhalt. Es können Temperaturen bis 1400 °C auf Zellebene entstehen mit einem starken Druckanstieg in geschlossenen Behältnissen/ Räumen ohne Druckausgleich.

Der Temperaturverlauf sowie die Reaktionen in der Lithium-Ionen-Zelle sind der Abbildung 9 dargestellt.

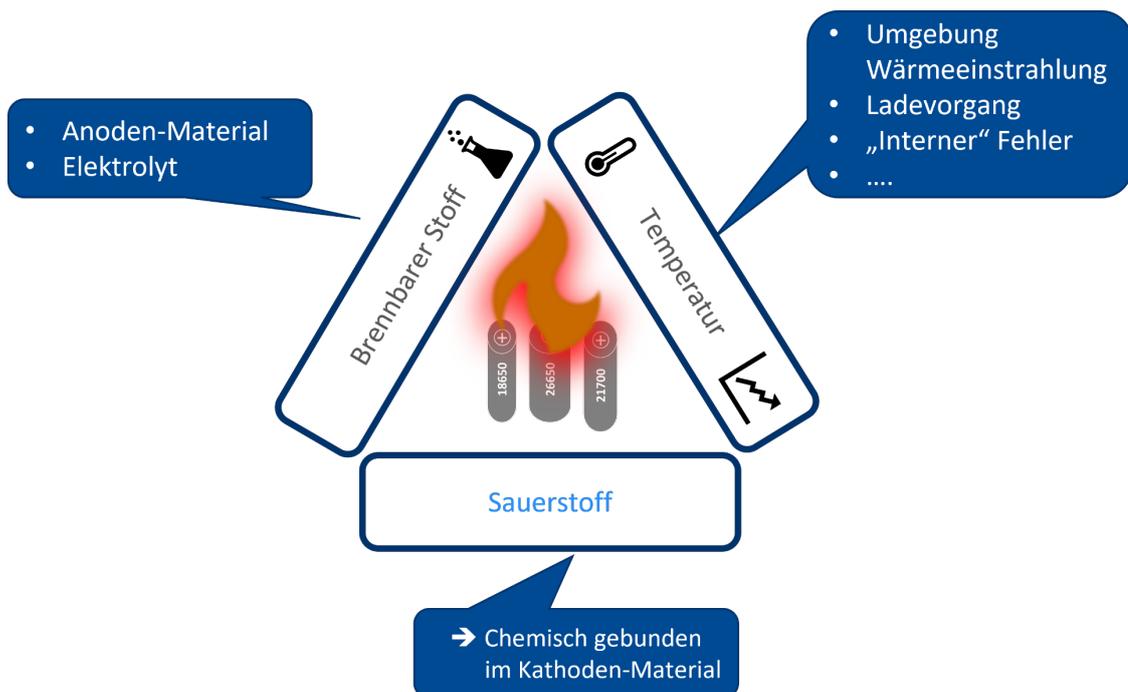


Abbildung 8 – Branddreieck

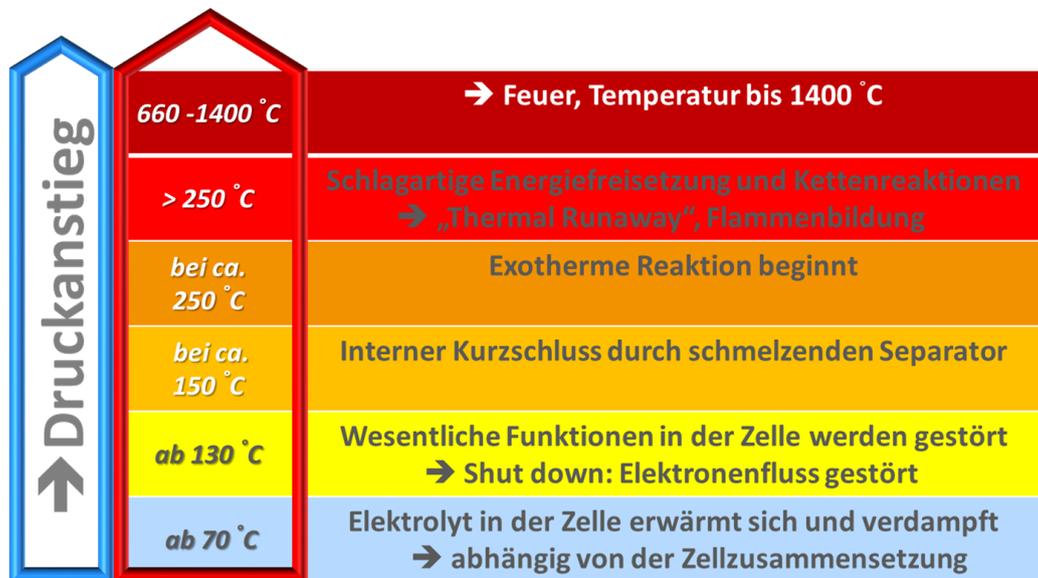


Abbildung 9 – Temperaturverlauf (Temperaturwerte sind ca.-Werte, abhängig von der Zellchemie/Bauart. Die Herstellervorgaben sind unabhängig davon zu beachten.)

Gründe im Produktlebenszyklus einer LIB, die zu einem Brand oder zu einer ungewünschten Reaktion führen können.

Tabelle 1 – Mögliche Schadensursachen

Lebenszyklus LIB	Ursache für möglichen Schaden
Herstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Fehler bei der manuellen Nacharbeit an einer Zelle/Modul • Unsachgemäßer Umgang • Systematischer Fehler bei automatisierter Fertigung • Fehlerhaftes Anoden-, Kathoden- und Separator-Material
Transport	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Beanspruchungen beim Transport vom Hersteller zu den Verwendenden
Montage	<ul style="list-style-type: none"> • Sturz/Fall beim Installieren, vom Montagetisch • Beschädigungen durch Transporteinrichtungen (Penetration, Sturz...)

Lebenszyklus LIB	Ursache für möglichen Schaden
Verwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Ungeeignetes Ladegerät • Hohe mechanische Belastung, zum Beispiel Verkehrsunfall, etc. • Zu hohe Erwärmung der LIB bei der Verwendung auf Baustellen • Laden einer zu kalten LI-Batterie • Verwendung tiefentladener LIB
Service/ Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Beanspruchung • Umgang mit nicht definierten Batterien (kritische Batterie) • Unbekannte Schädigung (BMS defekt) • Unsachgemäßer Umgang
Recycling	<ul style="list-style-type: none"> • LIB nicht entladen (Restladung) • Mechanische Beanspruchung bei der Demontage • Unbekannte Vorschädigung

2.7 Gefahrstoffe

Lithiumbatterien sind Produkte (Erzeugnisse), aus denen unter normalen Verwendungsbedingungen keine Gefahrstoffe freigesetzt werden. Im Schadensfall können jedoch Inhaltsstoffe bzw. Reaktionsprodukte austreten.

Da im Schadensfall jedoch Inhaltsstoffe bzw. Reaktionsprodukte austreten können, die Gefahrstoffe sind, wird in der VdS 3103 „Lithium-Batterien“ als Erkenntnis aus Brandversuchen jedoch folgende Aussage getroffen:

„Lithium-Ionen-Batterien sind grundsätzlich wie ein Gefahrstoff zu behandeln“.

Das ist darauf zurückzuführen, dass bei einer möglichen Havarie der Lithium-Ionen-Batterien von einer Gefährdung durch Gefahrstoffe auszugehen ist.

Das ist bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

In zahlreichen Untersuchungen wurde ermittelt, dass eine Vielzahl von (auch krebserzeugenden) Gefahrstoffen, insbesondere im Zusammenhang mit Brandereignissen, mit LIB in Verbindung gebracht werden können. So ist zum Beispiel das häufig im Elektrolyt enthaltene Lithiumhexafluorophosphat (LiPF_6) 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.

Beim Brand von LIB können unter anderem folgende Stoffe/Gefahrstoffe freigesetzt werden:

- Graphit
- Kohlenmonoxid
- Wasserstoff
- Ethylen-, Methylencarbonat
- Lithiumhexafluorophosphat
- Cobalt
- Nickel
- Mangan
- Phosphorwasserstoffverbindungen
- Fluorwasserstoff

Die genannten Stoffe oder Zersetzungsprodukte können je nach Zellchemie jedoch sehr stark differieren.

Informationen zu spezifischen Gefährdungen und dem Umgang mit den im LIB verbauten Gefahrstoffen findet man im Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (GESTIS-Stoffdatenbank) [8].

2.8 Betriebliche Notfallvorbereitung

Im Rahmen der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung sind die geeignete Notfallmaßnahmen festzulegen.

Grundsätzliche Vorgehensweise:

- Detektieren (Erwärmung, Rauch, mechanische Verformung, BMS)
- Separieren
- Analysieren

Das betriebliche Notfallmanagement ist entsprechend dem Zustand der LIB festzulegen.

Dazu ist zu ermitteln, welches Ereignis eingetreten ist und es ist festzulegen, wie dieses Ereignis zu bewerten ist.

Als Beispiel ist in der Tabelle 2 das Herunterfallen einer LIB dargestellt.

Tabelle 2 – Ereignisse und Maßnahmen

Detektieren der erkennbaren Reaktionen an einer sicheren Abstellfläche	Sofortmaßnahmen/Analysieren Bewertungskriterien	Mögliche Folgemaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung • Austritt von Rauch • Aufblähen • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Sofortmaßnahme • HV-Speicher separieren • Bereich evakuieren • Feuerwehr rufen • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesicherte Ruhefläche • Sicherheitsbehälter • Sicherheitsschrank • LIB-Tasche • Behälter mit Wasservorlage • Reparieren • Verschrotten • ...
<ul style="list-style-type: none"> • Keine • visuell erkennbare Deformationen oder Beschädigungen • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Analysieren • Bewertungskriterien • Wer kann bewerten? → Qualifikation • Äußerliche mechanische Beschädigung? • Austritt von Elektrolyt? • Fallhöhe? • Batterie-Typ 	

Auch „entladene“ Batterien stellen eine Gefahrenquelle dar, da sie noch einen sehr hohen Kurzschlussstrom verursachen können. Selbst wenn Lithium-Ionen-Batterien den Anschein erwecken, dass sie sich im entladenen Zustand befinden, sind sie deshalb genauso zu behandeln, als wären sie nicht entladen.

Für die Umsetzung des betrieblichen Notfallmanagements ist festzulegen, wer welche Beurteilung und Maßnahme durchführen darf. Das kann in einer Qualifizierungsmatrix dokumentiert werden.

Defekte oder auffällige LIB dürfen nur mit den im Notfallmanagement festgelegten Transportmitteln innerbetrieblich transportiert werden.

Möglichkeiten, um ein Ereignis zu detektieren:

- Wärmebild
- Rauchmelder/Brandmelder
- Störmeldung des BMS
- Visuelle Kontrolle
- Überwachung einer möglichen Tiefenentladung
- Fahrzeugparameter, z. B. Daten aus Steuergeräten usw.
- Sensor Schlag, Schock, Überdruck

Bewertungskriterien/Analysieren:

Sicherheitskritische Batteriesysteme sind umgehend durch Batteriefachkundige¹ (gemäß DGUV Information 209-093 Stufe 3E/3S) technisch zu bewerten, erst nach deren Freigabe zu bewegen und auf gesicherte Ruheflächen zu stellen. Die durch die Batteriefachkundigen festgelegte Zeit auf den gesicherten Ruheflächen ist abhängig von dem Schaden. Bei mechanisch beschädigten Modulen sind Herstellerangaben zu Ruhezeiten von den Batteriefachkundigen zu berücksichtigen. Nach dem Ablauf der Ruhezeit muss das System erneut von den Batteriefachkundigen beurteilt werden. Dieses Vorgehen ist in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Batterieexperte, Batterieexpertin, batteriefachkundige Person

Bei einer batteriefachkundigen Person handelt es sich um eine gemäß DGUV Information 209-093 qualifizierte „Fachkundige Person Hochvolt“ der Stufe 3S oder 3E in Kfz-Werkstätten, welche zusätzlich über konkrete fahrzeugspezifische Kenntnisse zum Umgang und zur Bewertung des vorliegenden Batteriesystems verfügt. Diese spezifischen Kenntnisse können zum Beispiel durch Herstellerschulungen erworben werden.

Maßnahmen:

Der Zustand der kritischen Batterien ist zu dokumentieren und Maßnahmen sind schriftlich zu fixieren; dazu werden geschulte Batterie-fachkundige mit den Qualifikationsstufen 3E/3S gemäß DGUV Information 209-093 benötigt. Kritische Batteriesysteme sollten im Freien auf einer gesicherten Ruhefläche gelagert werden. Bei der Einrichtung von gesicherten Ruheflächen ist auf die Exposition der Umgebung zu achten. Eine Exposition kann durch austretende Medien, Rauchgase oder kontaminiertes Löschwasser und herumfliegende Bauteile möglich sein. Gesicherte Ruheflächen können insbesondere durch folgende Maßnahmen gesichert werden, um Arbeitsschutz- und Umweltschutzvorgaben zu erfüllen (siehe Abbildung 10):

- Sicherheitsbehälter
- Witterungsschutz
- Auffangwanne für auslaufende Gefahrstoffe
- Kein Zutritt für Unbefugte
- Gasmanagementsystem, Überdruckausgleich
- Mindestabstände zu Bebauungen sind entsprechend der Musterbauordnung, umgesetzt in der entsprechenden Landesbauordnung oder Muster-Industriebau-Richtlinie, mit der Baugenehmigungsbehörde abzustimmen. Orientierungswerte zu Abständen bietet die FAQ „Quarantäneflächen“ Unfallfahrzeuge der Berliner Feuerwehr [9].
- ...

Die Fachkundigen prüfen nach dem selbst festgelegten Zeitraum erneut die Batterie und geben im Anschluss weitere Schritte vor.

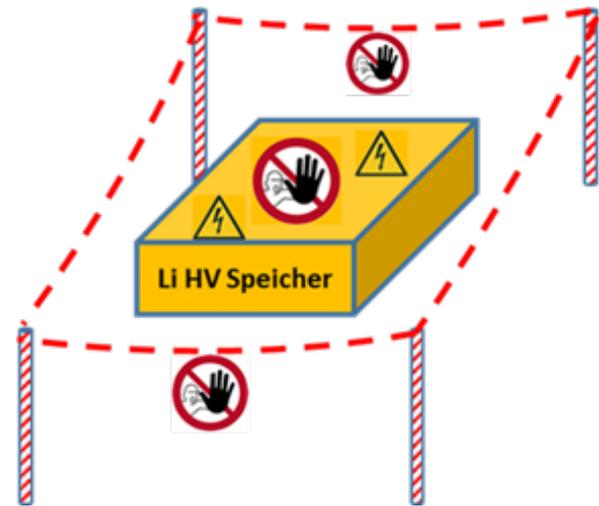


Abbildung 10 – Sicherheitsbehälter, gesicherte Ruhefläche

2.9 Lagerung von kritischen LIB

Auf dem Markt werden unterschiedlichste Produkte (Lagerschränke, Lagerbehälter etc.) für Notfallmaßnahmen, Brandbekämpfung und Havarien angeboten und stetig weiterentwickelt.

Allgemeingültige anerkannte Prüfkriterien sind in den seltensten Fällen vorhanden. Die angebotenen Lösungen sind meist auch nur für einen speziellen LIB-Typ geeignet/geprüft. Es ist daher eine individuelle Betrachtung der jeweiligen Verhältnisse/Gegebenheiten notwendig (Gefährdungsbeurteilung). Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung können zum Beispiel in das betriebliche Brandschutzkonzept oder die Brandschutzordnung einfließen.

Dieses Manko gilt auch bei zugelassenen Transportboxen, die den Brandrauch über ein „Gasmanagement“ ableiten und dadurch einen Druckaufbau im Inneren der Transportbox verhindern. Durch den Austritt von Brandgasen und Verbrennungsrückständen wird der Aufstellbereich kontaminiert. Damit sind sie auch nicht für die Verwendung in Räumen mit Beschäftigten geeignet.

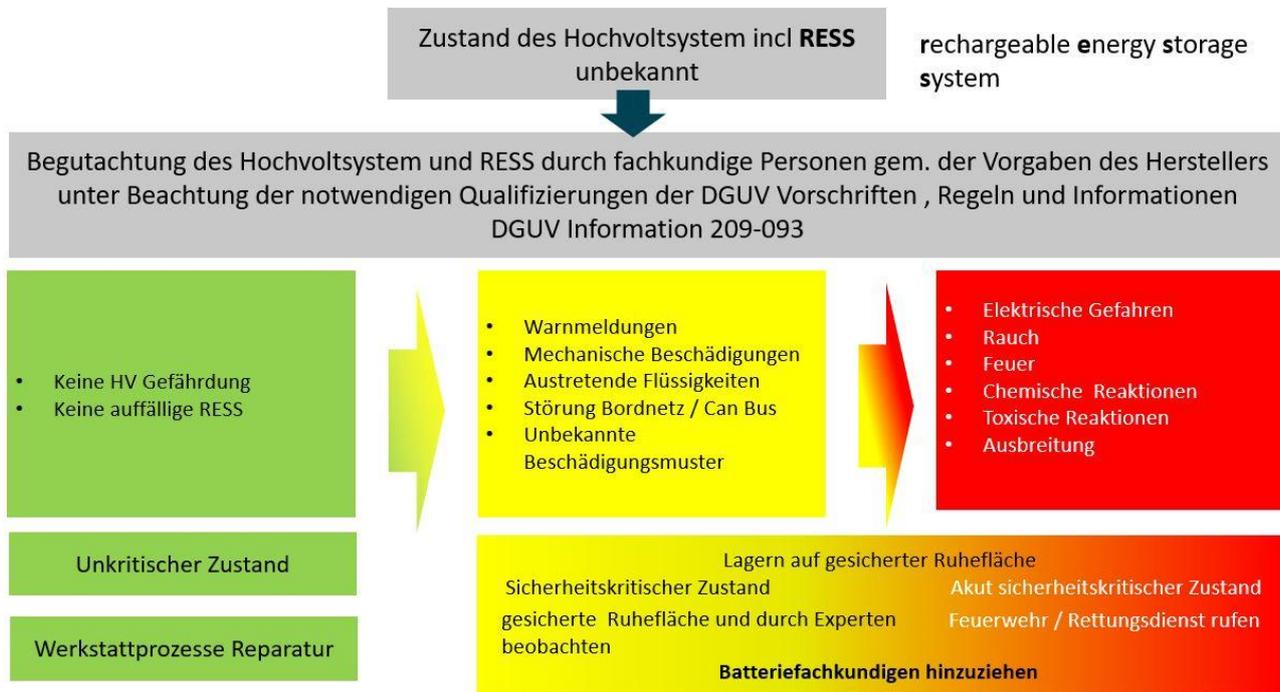
2.10 Transport kritischer LIB

Der vorschriftenkonforme Transport kritischer LIB ist in den ADR-Regeln [10] beschrieben.

Es gibt Vorgaben für kritische, unkritische, eingebaute etc. LIB.

Für den Transport benötigte Verpackungen benötigen eine ADR-Zertifizierung.

3 Umgang mit Hochvoltssystemen



1

Abbildung 11 – Gefährdungsklassifizierung

3.1 Qualifizierung

Neben technischen und organisatorischen Maßnahmen bedarf jeder Umgang mit den HV-Speichern/-Modulen einer entsprechenden Qualifikation, um diese Tätigkeiten sicher durchführen zu können.

- DGUV Information 209-093 " Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen"
- Schulungen zum qualifizierten Umgang mit kritischen Hochvoltspeichern
- Herstellerunterlagen
- Notfallhandbücher

3.2 Spezifische Gefährdungen beim Umgang

Unter der Annahme, dass bei der Begutachtung (siehe Abbildung 11 Gefährdungsklassifizierung) des HV-Fahrzeugs oder des HV-Speichers/-Moduls keine Auffälligkeiten festgestellt wurden, kann man davon ausgehen, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine direkte Gefahren vom HV-Speicher/-Modul ausgehen. Kommt es beim Umgang mit dem HV-Speicher/-Modul wie oben beschrieben zu einem Unfallereignis oder gar einer Beschädigung oder wird der HV-Speicher für Reparatur oder Recycling geöffnet, können folgende Gefährdungen auftreten:

- Mechanische Gefährdung durch den HV-Speicher/das HV-Modul, scharfe Kanten, Quetschungen, Herunterfallen...
- Elektrische Gefährdung (Körperdurchströmung, Lichtbogen) nach Öffnen des HV-Speichers oder nach Unfall HV-Speicher/-Modul beschädigt und teilweise offen
- Chemische Gefährdung durch austretende Gefahrstoffe (auch gasförmig) (in aller Regel Kühlflüssigkeiten (Elektrolyt eher unwahrscheinlich oder nur in geringen Mengen) oder Zerfallsprodukte durch Brand oder Brandbekämpfung (toxische Rauchgase, Flusssäure, ...) ggf. sind die Sicherheitsdatenblätter der Energiespeicher bzw. der Inhaltsstoffe zu Rate zu ziehen
- Thermische Reaktionen infolge einer Beschädigung des HV-Speichers/-Moduls (z. B. innerer Kurzschluss) oder Fehler bei Reparatur- und Recyclingtätigkeiten oder sicherheitskritischer Lebensdauerüberschreitung

Eine der spezifischen Eigenarten von LIB, welche in Pkw und Lkw verbaut sind, ist ihre Größe und ihr hohes Gewicht. Das muss schon möglichst bei der Einrichtung der Arbeitsplätze berücksichtigt werden (z. B. durch ausreichende Rangierflächen, Hebehilfen, Deckenaufhängungen, höhenverstellbare Arbeitstische etc.).

Es ist ein individuelles Havariekonzept für die Bereiche zu erstellen, in denen mit Hochvoltspeichern umgegangen wird, und daraus sind geeignete Notfallmaßnahmen abzuleiten.

Dabei sind neben Herstellhinweisen zu den Hochvoltspeichern und Sicherheitsdatenblättern zu deren Inhaltsstoffen/Reaktionsprodukten unter anderem folgende Sicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen:

- Evakuierungsweg festlegen und freihalten.
- Gefahrenbereich räumen, Eigenschutz sicherstellen (z. B. durch PSA).
- Hochvoltspeicher mit Wasser kühlen, um eine thermische Propagation zu unterbinden.

- Energiespeicher aus dem Arbeitsbereich entfernen oder in Sicherheitsbehälter mit Transportfunktion überführen.
- Auf sicherer Abstellfläche (Sicherheitsfläche) abstellen.

3.3 Lagerung und Bereitstellung

Im Zusammenhang mit der Lagerung und Bereitstellung von HV-Speichern und deren Modulen sind Tätigkeiten wie Ein- und Auspacken sowie innerbetrieblicher Transport (Be-/Entladen, Ein-/Auslagern) erforderlich.

Nach dem Auspacken sind HV-Speicher oder HV-Module fachkundig zu begutachten (siehe Abbildung 11 Gefährdungsklassifizierung), um sie für den weiteren Prozess zur Verfügung zu stellen zu können oder auf eine gesicherte Ruhefläche zu überführen. Beim weiteren innerbetrieblichen Transport ist es wichtig, dass die Hochvoltspeicher nicht dadurch beschädigt werden, dass sie nicht sachgemäß gehandhabt und transportiert werden (anstoßen, anschlagen, quetschen). Um dem vorzubeugen, sind je nach Anwendungsfall festgelegte und geeignete Transporteinrichtungen zu benutzen, die eine Beschädigung des Hochvoltspeichers ausschließen.

Bei der Lagerung ist darauf zu achten, dass die HV-Speicher keinen zu hohen oder auch zu tiefen Temperaturen ausgesetzt werden und dass keine Kurzschlüsse entstehen können (Achtung fehlende Isolierkappen – keine Gegenstände darauf ablegen). Darüber hinaus sind die Herstellervorgaben in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Die Lagerung von Hochvoltspeichern, angefangen von einem kleinen Lager einer Kfz-Werkstatt bis zum Lager, zum Zwischenlager, zur Bereitstellungsfläche einer Zuliefer-Herstell- oder Transportfirma, ist zuvor einer Gefahrenanalyse zu unterziehen. Dazu sind auch die Brandschutz- und Landesbauordnungen, Industriebaurichtlinien sowie die

Vorgaben der Sachversicherer (VdS 3103 und VdS 3856 [11]) einzubinden.

Für die Lagerung größerer Mengen von Hochvoltspeichern ist das Brandschutzkonzept der Lagereinrichtung zu überprüfen, da durch die Lagerung größerer Mengen von LIB eine erhöhte Brandlast vorliegt, empfiehlt es sich, einen oder eine Brandschutzbeauftragte(n) für das Unternehmen zu benennen.

Für die Lagerschränke/-behältnisse gibt es aktuell keinen Prüfgrundsatz, mit dem die Anwendenden eine qualifizierte Gefährdungsbeurteilung erstellen können. Sie müssen sich über die Funktion und die Eigenschaften (Transportfähigkeit, Löschanlage...) der Produkte informieren und die Restgefährdungen zum Beispiel aufgrund des austretenden Brandrauchs beurteilen.

3.4 Transport

Lithiumbatterien und Lithiumzellen sind als gefährliche Güter eingestuft. Ihr Transport unterliegt grundsätzlich den Anforderungen des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR).

Das Transportthema ist sehr komplex und es sind umfangreiche Differenzierungen notwendig. Aus diesem Grund sollte hier immer ein Gefahrgutspezialist oder -spezialistin (Gefahrgutbeauftragte) eingeschaltet werden.

Ausführliche Informationen zu dem Thema finden Sie z. B. im BDE-Praxisleitfaden Lithiumbatterien und -zellen [12] (auch in Elektroaltgeräten) Sammlung, Verpackung und Transport gemäß ADR.

3.5 Ersteinbau/Reparatur/Tausch

Für die Tätigkeiten bei der Erstmontage und der Reparatur von Hochvoltspeichern sind verschiedenste technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen in einer Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Für die

Arbeitsplatzgestaltung sind zum Beispiel neben den Herstellerangaben folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- ausreichender Platzbedarf (Sicherheitsabstand für HV-Komponenten, die für den Arbeitsprozess ggf. pro Schicht zur Verfügung gestellt werden)
- Zwischenlager mit entsprechenden Schutzeinrichtungen für ausgebaute oder defekte Komponenten
- Flucht- und Rettungswegekonzept für den Bereich der Batteriereparatur (zweite Ausgangsmöglichkeit aus dem Gefahrenbereich)
- Ergonomie: Bereitstellen von Manipulatoren/Kränen und/oder Hubtischen, von geeigneten Werkzeugen und Anschlagmitteln, von für die Arbeitsaufgabe erforderlicher, ausreichender Beleuchtung
- Bereitstellen von Feuerlöschern zur Begrenzung von Brandausbreitung
- Erstellung einer Betriebsanweisung auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung zum Umgang mit im Havariefall austretenden Gefahrstoffen und Bereitstellung der aufgeführten Mittel und Einrichtungen (z. B. Rauch- und Wärmeabzugsanlage auf den Arbeitsplatz erweitern).
- Werden nach Reparatur und Tausch an diesem Arbeitsplatz elektrotechnische Prüfungen durchgeführt, muss dieser Bereich den Anforderungen an Prüfplätze gemäß DIN EN 50191 (VDE 0104) [13] in der DGUV Information 203-034 [14] genügen (Absperrung, Kennzeichnung, Prüfeinrichtungen, Werkzeuge, ...).

Werden solche Arbeiten durchgeführt, ist damit zu rechnen, dass dabei die grundsätzlich unter Spannung stehenden Teile nicht zwangsläufig gegen Berühren geschützt sind.

Voraussetzung für diese Tätigkeit ist eine Qualifikation der Stufe 3S gemäß DGUV Information 209-093 "Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvolt-systemen" oder vergleichbar.

Schutzmaßnahmen müssen festgelegt und unter Zuhilfenahme von Herstellerunterlagen muss eine Arbeitsanweisung erstellt werden.

3.6 Ladung

Das Laden der Hochvoltspeicher oder Zellmodule muss nach den Vorgaben des Herstellers mit dafür geeigneten Ladegeräten erfolgen. Eine unsachgemäße Ladung eines Hochvoltspeichers kann besonders bei tief entladenen Hochvoltspeichern kritische Zustände des HV-Speichers hervorrufen. Voraussetzung für diese Tätigkeit ist eine Qualifikation der Stufe S (sensibilisierte Person) gemäß DGUV Information 209-093 "Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen".

3.7 Abschleppen/Bergen/ Transportieren/Pannenhilfe und Verwahrung

Angaben zum Abschleppen und zum Transport der Fahrzeuge sind der Betriebsanleitung des Fahrzeugherstellers zu entnehmen. Ergänzende Informationen dazu können dem Rettungsdatenblatt entnommen werden. Unternehmer und Unternehmerinnen müssen für weitere mögliche Gefährdungen abgestimmte Maßnahmen ergreifen und das Personal ausreichend qualifizieren.

Vor dem Verladen sollte das Hochvolt-System deaktiviert sein (z. B. „Zündung“ ausschalten, ggf. vorhandene Trennstelle nutzen, Bordnetz-Batterie abklemmen).

Bei der Übergabe durch die Feuerwehr an Bergeunternehmen/Behördenvertretende muss mitgeteilt und dokumentiert werden, welche Antriebsart das Fahrzeug hat und welche Feuerwehrmaßnahmen erfolgt sind (z. B. Hochvolt-Deaktivierung).

Es ist auf mögliche Gefährdungen durch beschädigte oder mit Wasser in Berührung gekommene Hochvolt-Komponenten hinzuweisen.

Gefährdungen können unter anderem Stromschlag oder Brandrisiko (auch zeitlich verzögert) sein.

Für das Verladen und den Transport sind nationale Vorschriften/Normen (in Deutschland: DGUV Informationen 214-010 [15], 205-022 [16], 209-093) zu beachten.

Wird das Fahrzeug an Dritte (z. B. Werkstatt oder Entsorgungsunternehmen) übergeben, wird empfohlen, die eingeleiteten Maßnahmen mitzuteilen (dokumentiert laut Übergabeprotokoll/Abschleppauftrag).

Beim Heben mit einem Kran/Wagenheber, beim Arbeiten mit einer Seilwinde oder beim Verladen ist darauf zu achten, dass keine Hochvolt-Komponenten beschädigt werden.

Ein Fahrzeugtransport sollte grundsätzlich mit einem Bergungsfahrzeug nach Herstellerangaben erfolgen.

Fahrzeuge mit beschädigtem Hochvolt-Energiespeicher sollten möglichst zur nächstgelegenen geeigneten Fachwerkstatt oder zu einer gesicherten Ruhefläche transportiert werden. Die Routenplanung sollte berücksichtigt werden.

Verunfallte Elektro-/Hybrid-Fahrzeuge sind, ebenso wie konventionelle Fahrzeuge, aus Brandschutzgründen in einem abgesperrten Bereich auf einer gesicherten Ruhefläche im Freien mit ausreichenden Abständen zu anderen Fahrzeugen, Gebäuden, brennbaren Gegenständen und brennbaren Untergründen abzustellen oder zu lagern.

Abgestellte verunfallte Elektro-/Hybrid-Fahrzeuge mit der Witterung direkt ausgesetzten Hochvolt-Komponenten sind mit einer wetterfesten Plane abzudecken.

Das Fahrzeug ist entsprechend zu kennzeichnen/zu sichern.

Weitere Hinweise siehe FBFHB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“ [17].

3.8 Lebenszyklusende/ Vorbereitung zur Zweitverwertung

Am Ende des Lebenszyklus eines Fahrzeugs muss der Hochvoltspeicher nach Herstellerangaben entladen und fachgerecht aus dem Fahrzeug ausgebaut werden.

Fragen der Zweitverwendung und der Rohstoffrückgewinnung werden in dieser Schrift nicht berührt.

4 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese „Fachbereich AKTUELL“ beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall (FBHM), Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme, Instandhaltung (SG FAI) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zusammengeführten Erfahrungswissen im Umgang mit und bei der Herstellung von Hochvoltspeichern.

Gefährdungen, die bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen auftreten, werden in dieser „Fachbereich AKTUELL“ nicht betrachtet.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese „Fachbereich AKTUELL“ unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriften einzusehen.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamig Entwurfsfassung 02/2022.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertretern und Vertreterinnen der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, herstellenden und betreibenden Firmen.

Weitere „Fachbereich AKTUELL“ oder Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [16].

Literaturverzeichnis

[1] DGUV Information 209-093 „Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvolt-systemen, August 2021, DGUV Berlin

[2] Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) – Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334) geändert worden ist

[3] Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), geändert 13. Juli 2015 (BGBl. I S. 1187).

[4] VdS 3103:2019-06 „Lithium-Batterien“, DIN Media Verlag, Berlin

[5] VdS 3885:2020-12 „Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft“, DIN Media Verlag, Berlin

[6] United Nations, Recommendations on the Transport of dangerous goods, Manual of Test and Criteria, 2015, Part III 38.3 “Lithium Battery Service”

[7] Regelung Nr. 100 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der besonderen Anforderungen an den

Elektroantrieb [2015/505] - Publications Office of the EU; ECE R 100 Teil 2: Energiespeichersystem (REESS)

[8] <https://dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>

[9] FAQ „Quarantäneflächen“ für Unfallfahrzeuge mit Elektro- und Hybridantrieb, Berliner Feuerwehr, Stand Oktober 2020

[10] Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), Stand November 2021

[11] VdS 3856:2019-06 „Sprinkler-Schutz von Lithium Batterien“

[12] <https://www.bde.de/presse/praxisleit-faden-fuer-lithium-batterien-und-zellen-aktualisiert/>

[13] DIN EN 50191 VDE 0104:2011-10 "Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen", DIN Media Verlag, Berlin

[14] DGUV Information 203-034 "Errichten und Betreiben von elektrischen Prüfanlagen", DGUV, Berlin 2006

[15] DGUV Information 214-010 "Sicherungsmaßnahmen bei Pannensicherungsmaßnahmen bei Pannensicherungs-/Unfallhilfe, Bergungs- und Abschlepparbeiten", DGUV, Berlin 2019

[16] DGUV Information 205-022 "Rettungs- und Löscharbeiten an PKW mit alternativer Antriebstechnik, DGUV, Berlin 2012

[17] Fachbereich AKTUELL FBFHB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“, DGUV, Berlin 2020

[18] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall Publikationen oder www.bghm.de, Webcode: <626>

Hilfestellungen zur Bewertung und Festlegung von geeigneten, betrieblichen Brandschutzmaßnahmen geben die folgenden Schriften:

FBFHB-018 „Hinweise zum betrieblichen Brandschutz bei der Lagerung und Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus“, Stand Juni 2020

DGUV Information 205-001 „Betrieblicher Brandschutz in der Praxis“, Stand Dezember 2020

Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A2.2 „Maßnahmen gegen Brände“, Stand Mai 2018

Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes (AGBF Bund) „Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien, AGBF Bund, DFV, Stand Januar 2018

Brandschutz-Forschung der Bundesländer, Berichte „Untersuchung des Brandverhaltens von Lithium-Ionen- und Lithium Metall-Batterien in verschiedenen Anwendungen und Ableitung einsatztaktischer Empfehlungen“ Nr. 175, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Stand 2016

Bildnachweis

Die gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Abbildung 1:

BGHW

Abbildungen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10:

BG ETEM – FKC Elektrotechnische Industrie „Facharbeitsgruppe Elektroenergiespeicher – Lithium-Ionen-Batterien“

Abbildung 11:

Daimler Buses, Kay Volmer

Tabellennachweis

Tabelle 1 – Mögliche Schadensursachen 7

Tabelle 2 – Ereignisse und Maßnahmen..... 9

Herausgeber

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme,
Instandhaltung
im Fachbereich Holz und Metall
der DGUV www.dguv.de
Webcode: d544795

Die Fachbereiche der DGUV werden von den
Unfallkassen, den branchenbezogenen
Berufsgenossenschaften sowie dem
Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für
den Fachbereich Holz und Metall ist die
Berufsgenossenschaft Holz und Metall der
federführende Unfallversicherungsträger und
damit auf Bundesebene erster
Ansprechpartner in Sachen Sicherheit und
Gesundheit bei der Arbeit für Fragen zu
diesem Gebiet.

An der Erarbeitung dieser Fachbereich
AKTUELL haben mitgewirkt:

- DGUV Fachbereich Holz und Metall
- BG ETEM – FKC Elektrotechnische Industrie „Facharbeitsgruppe Elektroenergiespeicher – Lithium-Ionen-Batterien“
- DGUV Fachbereich Verkehr und Landschaft
- DGUV Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie
- DGUV Fachbereich Feuerwehren, Hilfeleistungen, Brandschutz
- DGUV Fachbereich Handel und Logistik
- Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e. V.
- VBA Verband der Bergungs- und Abschleppunternehmen e.V.
- IG Metall Ressort Arbeitsgestaltung und Gesundheitsschutz
- Daimler Buses
- Daimler AG
- BMW Group
- Ford-Werke GmbH
- Volkswagen Aktiengesellschaft