DGUV
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Spitzenverband

Vorschriften- und Regelwerk

Sicherheit und Gesundheit bei Lösch- und Rettungsarbeiten an Kraftfahrzeugen mit Hochvoltspeicher

DGUV Information 205-022



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 Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen im Fachbereich Feuerwehren, Hilfeleistungen, Brandschutz der DGUV
Mitwirkende:	siehe Kapitel Mitwirkende an der Publikation
Ausgabe:	Februar 2026
Satz und Layout:	Satzweiss.com Print Web Software GmbH, Saarbrücken
Bildnachweis:	Titelbild: © Iamflow2468 – adobestock.com Abb. 2, 3, 4a, 5, 6: © DGUV - KonzeptQuartier GmbH nach Berliner Feuerwehr & Rettungsdienstakademie (BRFA) Abb. 4b, 20-22: © Jan Helm, Institut der Feuerwehr Nordrheinwestfalen Abb. 8: © DGUV - KonzeptQuartier GmbH nach Institut für Brand- und Katastrophenschutz, Heyrothsberge (IBK) Abb. 7, 10, 15, 16, 17 oben, 18, 24, 26-34: © Institut für Brand- und Katastrophenschutz, Heyrothsberge (IBK) Abb. 9: © Berliner Feuerwehr- & Rettungsdienst-Akademie (BRFA) Abb. 11: © DGUV Abb. 12: © DIN Media Abb. 13: © Florian Kraugmann Abb. 13 rechts: © bong - stock.adobe.com Abb. 17 unten: © Dr. Rolf Erbe Abb. 19, 23: © Tanja Hellmann, Technical Rescue Academy Germany Abb. 25: © Thorsten Wawrzinek Abb. 35-37: © Vereinigung zur Förderung des dt. Brandschutzes e.V.

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: p205022

Sicherheit und Gesundheit bei Lösch- und Rettungsarbeiten an Kraftfahrzeugen mit Hochvoltspeicher

Bundesweite Lehrunterlage zur Elektromobilität

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 5

2 Grundlagen zu Hochvoltkraftfahrzeugen ... 6

2.1 Übersicht der Fahrzeugarten ... 6

2.2 Unterscheidung der Fahrzeugklassen ... 8

2.3 Aufbau und Funktion eines HV-Systems ... 8

2.4 Gefahren im Umgang mit Hochvoltkraftfahrzeugen ... 16

2.5 Ladeinfrastruktur ... 19

3 Einsatzmaßnahmen ... 20

3.1 Lagefeststellung/Erkundung ... 20

3.2 Erkennen von Fahrzeugen mit HV-Komponenten ... 20

3.3 Erkennbare Beschädigungen und Reaktionen des HV-Speichers ... 29

3.4 Sicherungsmaßnahmen ... 31

4 Spezifische Schadstoffe bei Bränden von HV-Speichern ... 54

4.1 Messung gefährlicher Stoffe ... 54

4.2 Schadstoffe in den Rauch- und Ventinggasen ... 55

4.3 Schadstoffe im Lösch- und Kühlwasser ... 55

4.4 Einsatzstellenhygiene für Einsatzkräfte und Ausrüstung ... 56

5 Übergabe der Einsatzstelle ... 57

5.1 Rechtsgrundlagen der Einsatzstellenübergabe ... 57

5.2 Übernehmende ... 57

5.3 Dokumentation des Einsatzes ... 58

5.4 Einsatzstellenübergabe nach einer Brandbekämpfung ... 58

5.5 Einsatzstellenübergabe nach einem Verkehrsunfall ... 60

6 Anlagen ... 61

6.1 Temperaturmessprotokoll für beschädigte Energiespeicher (Auszug) Merkblatt 06/13 der vfdb e.V. ... 61

6.2 Übergabeprotokoll Fahrzeuge (Auszug) Merkblatt 06/12 der vfdb e.V. ... 62

7 Weiterführende Informationen ... 63

Literaturverzeichnis ... 64

Mitwirkende an der Publikation ... 66

1 Einleitung

Auf den deutschen Straßen nimmt die Anzahl batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge (BEV[1]) mit Hochvoltkomponenten stetig zu. Laut Kraftfahrtbundesamt (KBA)[2] waren am 01.01.2025 in der Bundesrepublik Deutschland 1.651.643 rein batterieelektrische Fahrzeuge zugelassen. Dies ist eine Steigerung von +17,2 % gegenüber dem 01.01.2024. Der Bestand an Plug-in-Hybridfahrzeugen hat sich ebenfalls um +4,9 % auf 967.423 Fahrzeuge im Vergleich zum Vorjahr erhöht.

Der Gesamtbestand an Fahrzeugen mit Brennstoffzelle (Wasserstoff) von 1.802 ist statistisch mit 0,0 % vernachlässigbar und mit einer Veränderung von −14,8 % gegenüber dem Vorjahr deutlich abnehmend.

Es ist deshalb immer wahrscheinlicher, dass an Einsatzstellen der Feuerwehr batterieelektrische Fahrzeuge mit Hochvoltkomponenten beteiligt sind.

Das Gefahrenpotential von reinen Elektrofahrzeugen ist für Einsatzkräfte in Summe nicht größer als das von konventionellen Fahrzeugen, denn durch die Abwesenheit von Schmier- und Kraftstoffen ist die Gefahr von Bränden reduziert. Neue Gefahren entstehen durch das Vorhandensein von Hochvoltspeichern (HV-Speicher), die in der Regel aus Lithium-Ionen-Batterien (LIB) bestehen.

In dieser DGUV Information werden Einsatzgrundsätze sowie Maßnahmen zu Sicherheit und Gesundheit im Umgang mit verunfallten oder brennenden elektrisch angetriebenen Fahrzeugen vorgestellt. Außerdem werden die einsatzrelevanten Grundlagen im Zusammenhang mit der Gefahrenabwehr der dazugehörigen Ladeinfrastruktur beschrieben.

1 *Battery Electric Vehicle* – Elektrofahrzeug

2 https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Umwelt/umwelt_node.html

2 Grundlagen zu Hochvoltkraftfahrzeugen

2.1 Übersicht der Fahrzeugarten

Rein elektrisch betriebene Kraftfahrzeuge (BEV), teilweise elektrisch betriebene Hybridfahrzeuge (HEV[3]) und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV[4]) verfügen über ein Hochvoltsystem. In Abbildung 1 sind beispielhaft für drei Fahrzeugtypen mit den entsprechenden Antriebsarten und einem Hochvoltsystem (HV-System) die Fahrzeugabbildungen, wie sie in den Rettungsdatenblättern Anwendung finden, dargestellt. Das HV-System setzt sich aus dem Hochvoltspeicher (HV-Speicher[5]), Hochvoltleitungen und weiteren elektrischen Komponenten zusammen.

Der Begriff Hochvolt (HV) stammt aus dem Bereich der Fahrzeugtechnik. Er beschreibt Systeme, die mit

> 60 V bis ≤ 1.500 V Gleichspannung (DC)

oder

> 30 V bis ≤ 1.000 V Wechselspannung (AC)

betrieben werden.

Rein elektrische Kraftfahrzeuge werden durch einen oder mehrere Elektromotor(en) angetrieben. Die elektrische Energie wird aus einem HV-Speicher bezogen.

Hybridkraftfahrzeuge sind sowohl mit Elektromotoren als auch mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet. Unterschiede finden sich beim Fahrbetrieb und in der elektrischen Lademöglichkeit des HV-Speichers.

Brennstoffzellenfahrzeuge erzeugen Energie in einer Brennstoffzelle, die als elektrische Energie in einem HV-Speicher gespeichert und für den Antrieb genutzt wird. Für den Betrieb der Brennstoffzelle besitzen diese Fahrzeuge Druckbehälter mit Wasserstoffgas.

3 *Hybrid Electric Vehicle* – Hybrid-Fahrzeug mit Elektro- und Verbrennungsmotor

4 *Fuel Cell (Electric) vehicle* – Brennstoffzellen-Fahrzeug mit Elektroantrieb

5 Mitunter wird auch der Begriff Traktionsbatterie verwendet.

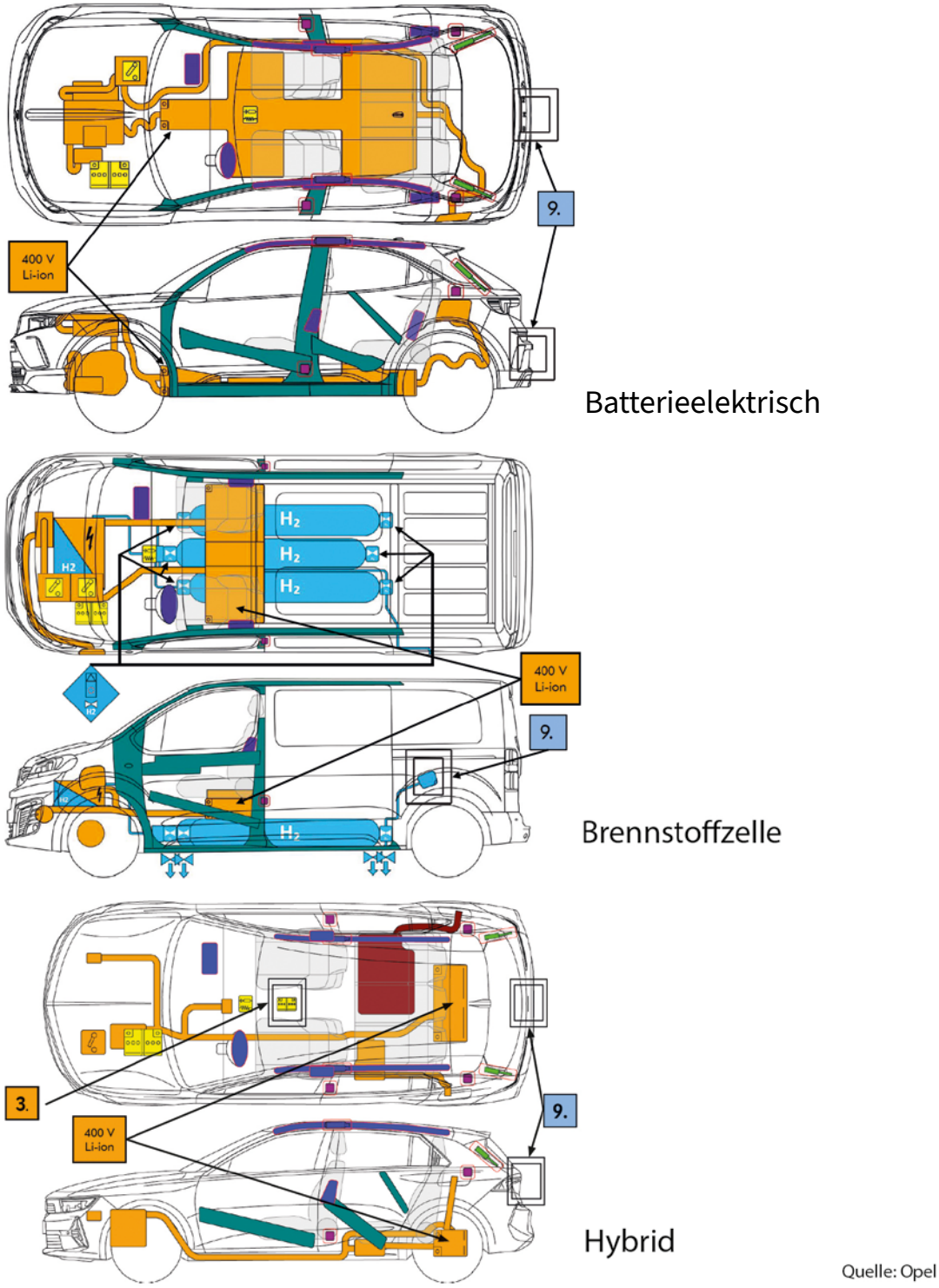


Abb. 1 Rettungsdatenblätter verschiedener HV-Fahrzeuge. Komponenten des HV-Systems sind in Orange dargestellt.

2.2 Unterscheidung der Fahrzeugklassen

Grundsätzlich kann jedes Kraftfahrzeug mit Elektromotoren und HV-Speichern ausgestattet sein. Um eine bessere Übersicht über die jeweiligen Fahrzeuge zu erhalten, werden die verschiedenen Fahrzeugarten im Folgenden anhand der EU-Fahrzeugklassen dargestellt.

Bei Fahrzeugen der Fahrzeugklasse L handelt es sich um zwei- oder dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte bis schwere vierrädrige Kraftfahrzeuge. Eingesetzt werden z. B. Blei-Gel- oder Lithium-Ionen-Batterien. Ist eine höhere Leistungsabgabe erforderlich, kann davon ausgegangen werden, dass LIB eingesetzt werden. Es ist anzumerken, dass für Fahrzeuge dieser Fahrzeugklasse nur in manchen Fällen Rettungsdatenblätter vorliegen.

Bei Fahrzeugen der Fahrzeugklasse M handelt es sich um nicht zu Fahrzeugklasse L gehörende, zur Personenbeförderung ausgelegte Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern, also Automobile (inkl. Wohnmobile) und Busse. Automobile dieser Fahrzeugklasse bilden den thematischen Fokus in dieser Lehrunterlage.

Weitere Fahrzeugklassen gibt es für Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung, also LKW und Lieferwagen, die unter der Klasse N kategorisiert werden, sowie Fahrzeuge der Fahrzeugklassen T und C. Das sind Zugmaschinen für land- und forstwirtschaftliche Zwecke bzw. Zugmaschinen auf Gleisketten.

In einer in Deutschland seit 2019 neu geschaffenen Fahrzeugklasse werden Elektrokleinstfahrzeuge eingruppiert. Darunter fallen unter anderem E-Tretroller/E-*Scooter*, aber auch *Segway Personal Transporter*. Die Maximalgeschwindigkeit solcher Elektrokleinstfahrzeuge beträgt 20 km/h. Die Batteriesysteme weisen im Normalfall Spannungen zwischen 36 V und 48 V-Gleichspannung auf. Sie werden daher nicht in die Kategorie „Hochvolt“ eingeordnet. Sie besitzen meist LIB, in manchen Fällen allerdings auch Blei-Gel-Batterien.

Die zuletzt aufgelisteten Fahrzeugklassen (N, T, C und Elektrokleinstfahrzeuge) werden in dieser DGUV Information nicht betrachtet.

2.3 Aufbau und Funktion eines HV-Systems

Hochvoltspeicher

Nicht in jedem HV-Speicher eines Elektro- oder Hybridfahrzeugs sind wiederaufladbare Lithium-Ionen-Zellen (Sekundärzellen) verbaut. Die Eigenschaften der verschiedenen Zellarten sind unterschiedlich. Daher sollte anhand von Rettungsdatenblättern der vorhandene Zelltyp ermittelt werden. Die LIB bzw. (Li)-NMC-Akkus besitzen eine hohe Leistungsdichte bei geringer Selbstentladung (1–2 % je Monat). Als Nachteil sind die Temperaturempfindlichkeit des Gesamtsystems, die Brennbarkeit des Elektrolyten und die Reaktionsfreudigkeit des Lithiums zu nennen. Ein weiterer Zelltyp, bei dem Lithium eingesetzt wird, ist die Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LFP). Die positive Elektrode besteht aus Eisenphosphat. Diese sind kostengünstiger, robuster und weniger anfällig für thermische Beschädigungen oder Überladung. Derartige Zellen besitzen eine geringere Energiedichte als die (Li)-NMC-Akkus. Daher sind bei gleichem Gewicht geringere Reichweiten zu erwarten. Neben den weit verbreiteten Lithium-Ionen-Batterien gibt es auch ältere Batterietypen wie die Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH), die heute vor allem noch in Hybridfahrzeugen zu finden sind.

NiMH sind robust, aber weniger leistungsfähig als Lithium-Ionen-Batterien insbesondere in Bezug auf Energiedichte und Gewicht. Eine weitere Technologie stellen die Feststoff- oder Festkörperbatterien dar. Der Name dieser Zellen verdeutlicht den entscheidenden Unterschied. Es wird ein Feststoffelektrolyt verwendet. Dieser Zelltyp vereinigt eine hohe Energiedichte zum niedrigen Preis, hohe Ladeleistung bei gleichzeitiger Langlebigkeit und eine hohe thermische Sicherheit. Zellen dieses Typs werden in der Praxis bisher wenig eingesetzt. Eine neuere Entwicklung/Technologie stellen die Natrium-Ionen-Batterien dar, die derzeit ebenfalls in den Markt eingeführt werden und als vielversprechende Alternative insbesondere für stationäre Speicher und kostensensitive Märkte gelten. Natrium-Ionen-Batterien sind kostengünstiger, weisen gegenüber LIB allerdings eine geringere Energiedichte auf.

Im Bereich der Elektromobilität werden wegen ihrer Vorteile momentan fast ausschließlich LIB verwendet. Die nachfolgenden Erklärungen beziehen sich deshalb ausschließlich auf HV-Speicher mit Lithium-Ionen-Zellen.

Aufbau eines HV-Speichers

Lithium liegt in den Batteriezellen nicht in rein metallischer Form vor, sondern ist in Wirtsmaterialien (Aktivmaterial) eingelagert.

Eine Lithium-Ionen-Zelle besitzt zwei Elektroden (Anode und Kathode). Die Elektroden sind die Stromableiter (Kollektoren). Diese bestehen meistens aus Kupfer und Aluminium und geben Elektronen frei. Auf ihnen ist das Aktivmaterial aufgebracht.

Wegen seiner Einlagerungsfähigkeit für Lithium-Ionen ist Graphit ein häufig verwendetes Wirtsmaterial an einer Elektrode. Auf der gegenüberliegenden Elektrode werden Metalloxide angewendet, die in der Lage sind, Lithium-Ionen einzulagern. Beispielsweise kommen $LiMn_2O_4$ oder Mischmaterialien wie beispielsweise $LiCo_xNi_yMn_zO_2$ zur Anwendung. Die Kombination verschiedener Aktivmaterialien mit ihren unterschiedlichen Elektrodenpotentialen bestimmt die Spannung einer Zelle und die Energiedichte.

In folgender Abbildung 2 wird der Aufbau und das Funktionsprinzip einer Lithium-Ionen-Zelle schematisch dargestellt.

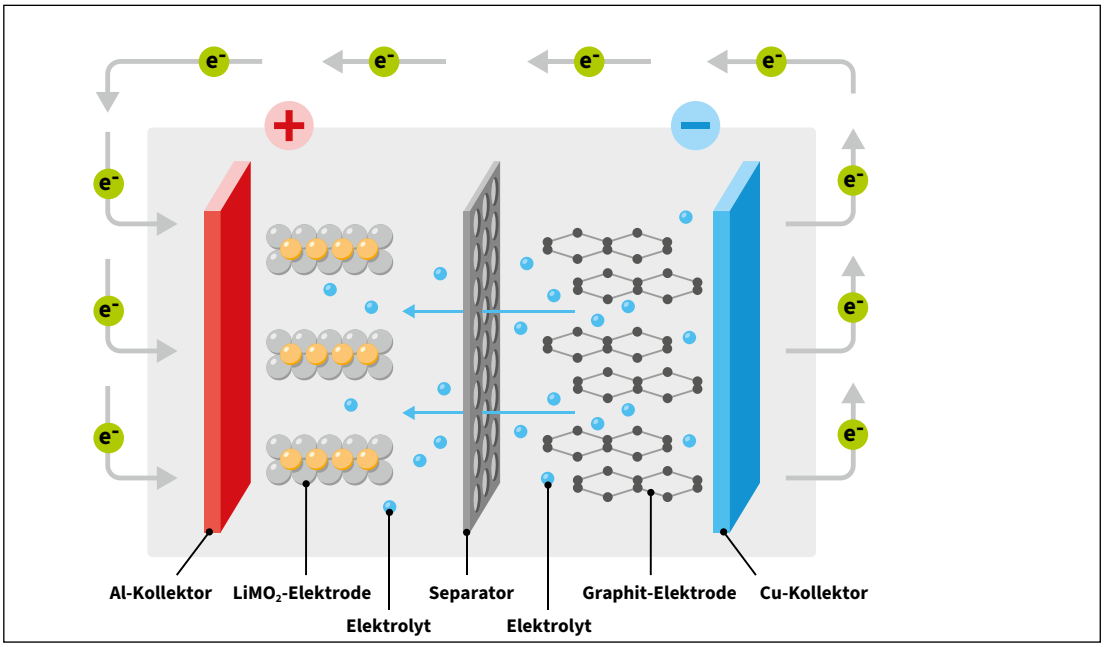


Abb. 2 Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Batteriezelle

Zwischen den Elektroden befindet sich ein ionenleitender Elektrolyt. Ein Separator gewährleistet die elektrochemische Trennung der Elektroden. Nur Lithium-Ionen können durch den Separator zwischen den Elektroden wandern. Es werden nur wasserfreie Lithiumsalze in organischen Lösungsmitteln, Elektrolyt oder Festkörperelektrolyte (Polymermatrix) verwendet.

HV-Speicher bestehen aus mehreren zusammengeschalteten LIB, die je in einem Zellgehäuse untergebracht sind. In metallischen Zellgehäusen (Stahl oder Aluminium) werden Zellen mit zylindrischer oder prismatischer Bauform verwendet. Sogenannte Pouchzellen besitzen meist eine Umhüllung aus Kunststofffolie. Mehrere Zellen werden, wie in der Abbildung 3 dargestellt, zu Modulen/Batterien zusammengefasst.

Die zusammengefassten Batteriemodule werden zum Schutz vor Umwelteinflüssen in einem Batteriegehäuse untergebracht (siehe Abbildung 4), welches in der Schutzklasse IP 67 ausgeführt ist. Die gleiche Schutzklasse weisen auch weitere Komponenten des HV-Systems auf, wie beispielsweise das Steuergerät für die Batterie. Beim neuesten Batteriedesign wird bereits auf die Modulebene verzichtet und die Batteriezellen direkt in das Batteriegehäuse integriert. So ist eine höhere Energiedichte bei gleichem Bauraum und Gewicht möglich.

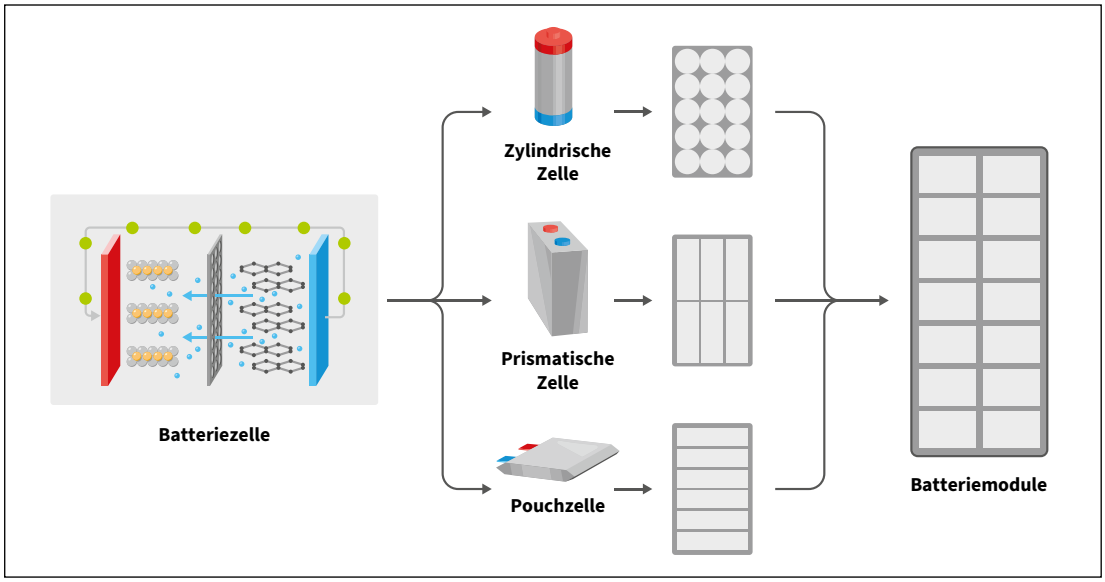


Abb. 3 Einzelne Batteriezellen werden zu Batteriemodulen zusammengefasst

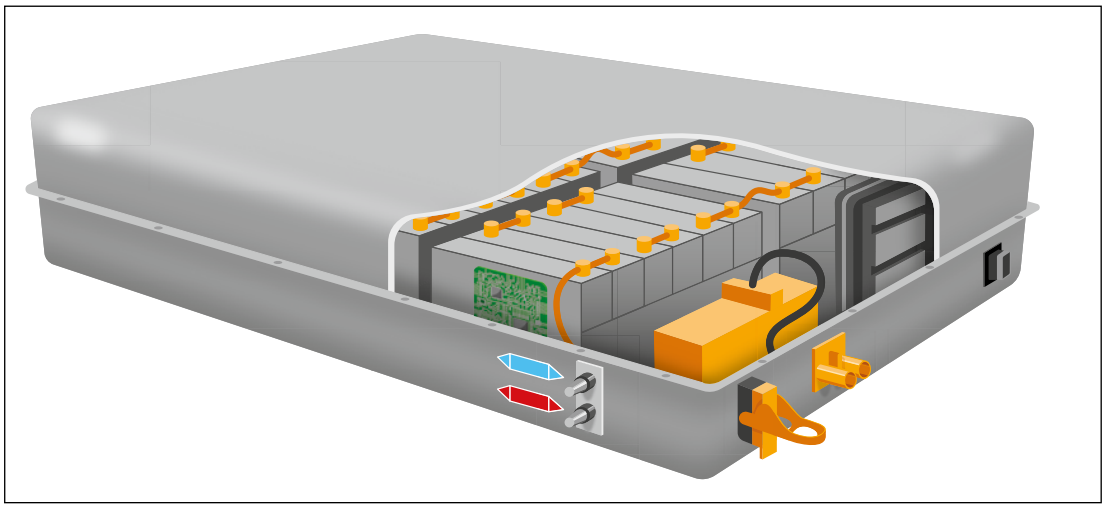


Abb. 4a Schematische Darstellung eines HV-Speichers in einem Gehäuse mit Batteriemanagementsystem und HV-Anschlüssen

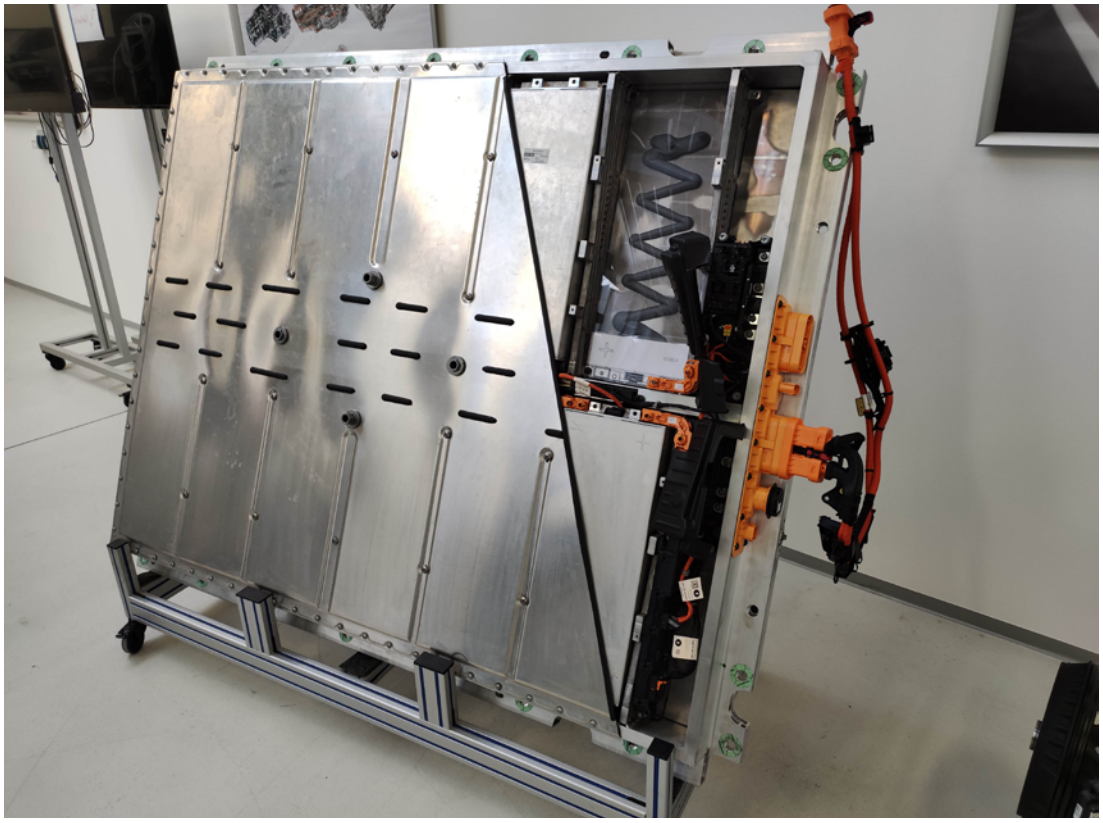


Abb. 4b Ansicht eines zu Übungszwecken teilweise geöffneten HV-Speichers in einem Gehäuse mit Batteriemanagementsystem und HV-Anschlüssen.

Während des Betriebs des HV-Speichers wird Wärme freigesetzt. Die Lithium-Ionen-Zellen im HV-Speicher haben in Abhängigkeit ihrer Zellchemie einen optimalen Betriebsbereich. Wird dieser Bereich aufgrund thermischer Überlastung oder externer Wärmeeinwirkungen überschritten, kann es beispielweise zu internen Schäden in der Zelle kommen. Beispielsweise wird ein Separator aus Polyethylen (PE) bei Temperaturen zwischen 125–130 °C schmelzen oder ein Elektrolyt aus Dimethylcarbonaten (DMC) beginnt ab einer Temperatur von 91 °C zu verdampfen (Bisschop, et al., 2019). Solche Schäden führen zu unkontrollierten Strömen bzw. zu einem internen Kurzschluss, einhergehend mit einer weiteren Temperaturerhöhung.

Um während des Betriebs eine kritische Temperaturerhöhung zu vermeiden, wird die Temperatur des HV-Speichers mittels Kühlsystemen stabil gehalten. Es gibt verschiedene Kühlsysteme wie z. B. Luftkühlung, Luft/Flüssigkeitskühlung, Flüssigkeitskühlung oder Kühlung über Kühlfolien. Ein Batteriemanagementsystem (BMS) überwacht verschiedene Kennwerte des HV-Speichers. Dazu gehören u. a.:

- die Temperatur und
- der Ladezustand bzw. Lade- und Entladeströme.

Ziel ist es, den HV-Speicher vor Unter- oder Überspannungen und vor hohen Temperaturen zu schützen, um Beschädigungen zu vermeiden.

Aufbau und Funktion eines HV-Systems im Kraftfahrzeug

Die elektrische Antriebsenergie wird dem HV-Speicher entnommen. Über elektromagnetische Schalter (Schütze bzw. Relais) wird die elektrische Energie an das System freigegeben und die Betriebsbereitschaft für das Fahrzeug hergestellt. Die Freigabe erfolgt über den Fahrzeugschlüssel, Schlüssellose (*Key-Less*) Systeme und/oder einen Start/Stopp-Schalter. Das gesamte HV-System steht dann unter Spannung und das Fahrzeug ist betriebsbereit. In der Abbildung 5 ist dieser Zustand in einer vereinfachten Darstellung zu sehen. Alle HV-Komponenten sind dann aktiv. Gleiches kann auch während eines Ladevorgangs an einer Ladestation oder anderen autonomen Betriebszuständen, z. B. bei Betrieb einer Standheizung, der Fall sein.

Das HV-System wird permanent überwacht, es gibt eine sogenannte „Stecker-Ab-Erkennung". Das bedeutet, dass das System automatisch feststellt, ob ein HV-Stecker abgezogen oder eine HV-Leitung unterbrochen wird. Bei manchen Fahrzeugkonstruktionen sind alle HV-Bauteile, HV-Speicher und Trennstellen über eine Sicherheitslinie (12-V-Pilotlinie) miteinander in Verbindung. Bei einer Unterbrechung dieser Linie werden die Schütze/Relais innerhalb des HV-Systems abgeschaltet. Bei anderen Konstruktionen gibt es eine Spannungsüberwachung in allen HV-Komponenten. Bei Abweichungen der Werte erfolgt eine Unterbrechung der Verbindung und das HV-System wird abgeschaltet oder bei kleineren Fehlern die Insassen gewarnt. Moderne Serienfahrzeuge verfügen über ein integriertes Sensorsystem zur Detektion von Kollisionen und Unfällen. Wird ein Unfall über die Sensorik erkannt, werden dadurch Sicherheitsmaßnahmen eingeleitet, wie z. B. die Aktivierung der Airbags, das Entriegeln der Türen, sowie das automatische Absetzen eines Notrufs (*eCall*). Ebenfalls wird der Antrieb (unabhängig der Antriebsart) deaktiviert. Bei HV-Fahrzeugen erfolgt im Falle eines Unfalls eine sicherheitsgerichtete Abschaltung des Hochvolt-Systems. Dabei öffnen die Schütze in der HV-Batterie und zusätzlich kann eine sog. *Pyrofuse*[6] ausgelöst werden, um das System allpolig, dauerhaft und irreversibel vom restlichen HV-System zu trennen. Die Steuerung dieser Vorgänge ist Hersteller abhängig. In modernen Elektrofahrzeugen wird die 12-V-Bordelektronik häufig nicht ausschließlich durch die 12-V-Batterie versorgt, sondern auch über einen DC/DC-Wandler, der Energie aus dem HV-System bereitstellt. Daher reicht es in vielen Fällen nicht aus, lediglich die 12-V-Batterie abzuklemmen, um sicherzustellen, dass die Steuerelektronik oder der Antrieb vollständig deaktiviert ist.

Einsatzkräfte können durch Betätigen einer für den Notfall vorgesehenen Trennstelle die Schütze über die Steuereinheit – und somit das HV-System – abschalten. Diese Maßnahme sollte dann ergriffen werden, wenn z. B. einer der folgenden Punkte zutrifft:

- Das HV-System/-batterie ist beschädigt oder das Fahrzeug ist stark deformiert.
- Beim Einsatz von hydraulisch angetriebenen Rettungsgeräten, beispielsweise, wenn Patienten eingeklemmt bzw. eingeschlossen sind.
- Nach einem Brandereignis (soweit noch möglich).
- Nach dem Untertauchen des Fahrzeugs, z. B. nach Überflutung oder Sturz in ein Gewässer.

Nach dem Abbau von Restspannung ist das HV-System, **außer dem HV-Speicher selbst**, spannungsfrei. In der Abbildung 6 ist dieser Zustand vereinfacht dargestellt.

6 Eine *Pyrofuse* ist ein pyrotechnisches Batterie-Trennsystem, welches bei Unfallerkennung den Ausgang der HV-Verbindungsleitungen im HV-Speicher unterbricht.

Neben den Niederspannungstrennstellen gibt es noch HV-Trennstellen oder auch Service-Trennschalter (*Service Disconnect*), die den Stromkreis in den Batteriemodulen und im HV-System direkt unterbrechen. Nicht alle Fahrzeughersteller geben die Betätigung dieses Steckers für Einsatzkräfte frei, da die Gefahr eines Lichtbogens gegeben ist. Entsprechend wird im Rettungsdatenblatt auf besondere Schutzmaßnahmen, wie HV-Schutzhandschuhe und Visier, für die Bedienung verwiesen, wenn diese erforderlich sind.

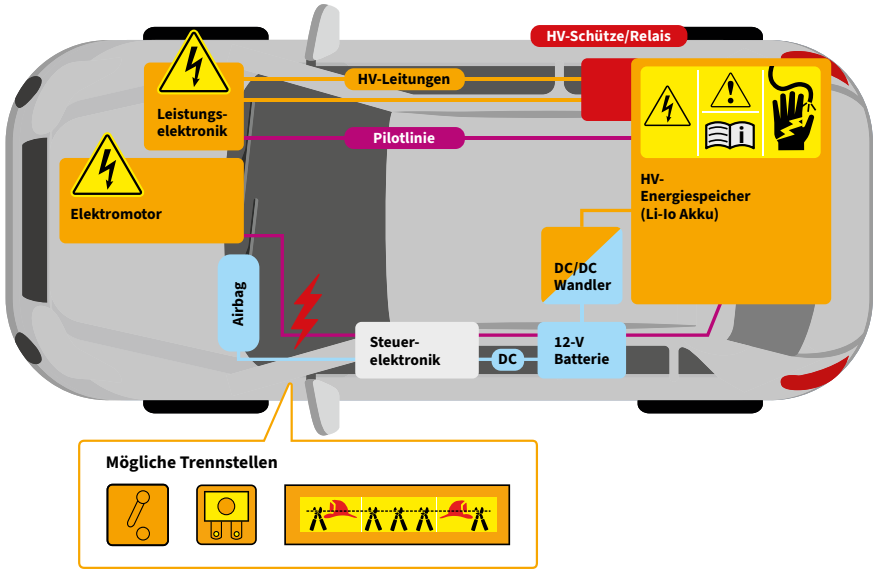


Abb. 5 Vereinfachte schematische Darstellung eines aktiven HV-Systems in einem Fahrzeug mit den HV-Komponenten und möglichen Trennstellen.

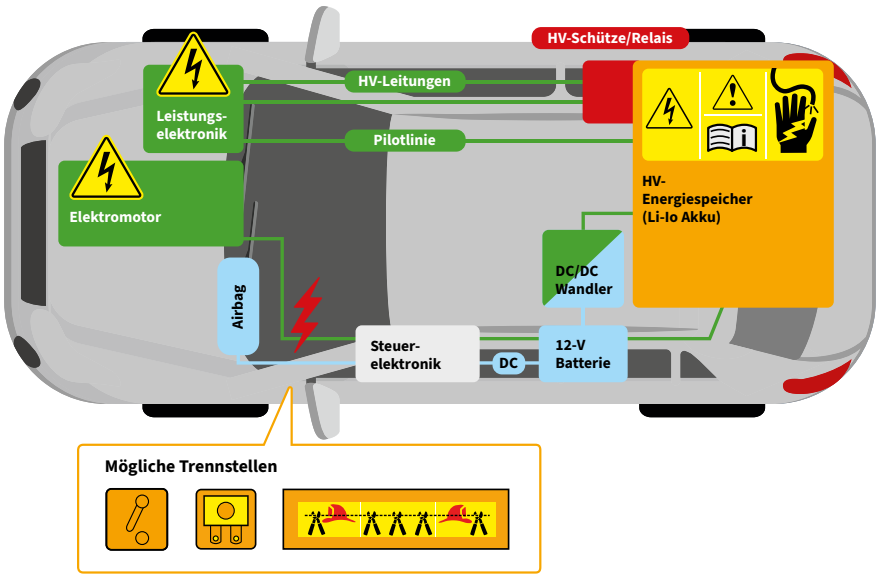


Abb. 6 HV-System in einem Fahrzeug nach Betätigung der Trennstelle – der HV-Speicher steht noch unter Spannung, alle anderen HV-Komponenten sind deaktiviert.

Die wichtigsten Hinweise, die es zu beachten gilt, wenn die HV-Komponenten eines Fahrzeugs über die Trennstellen deaktiviert werden sollen, sind in der Abbildung 7 zusammengefasst.

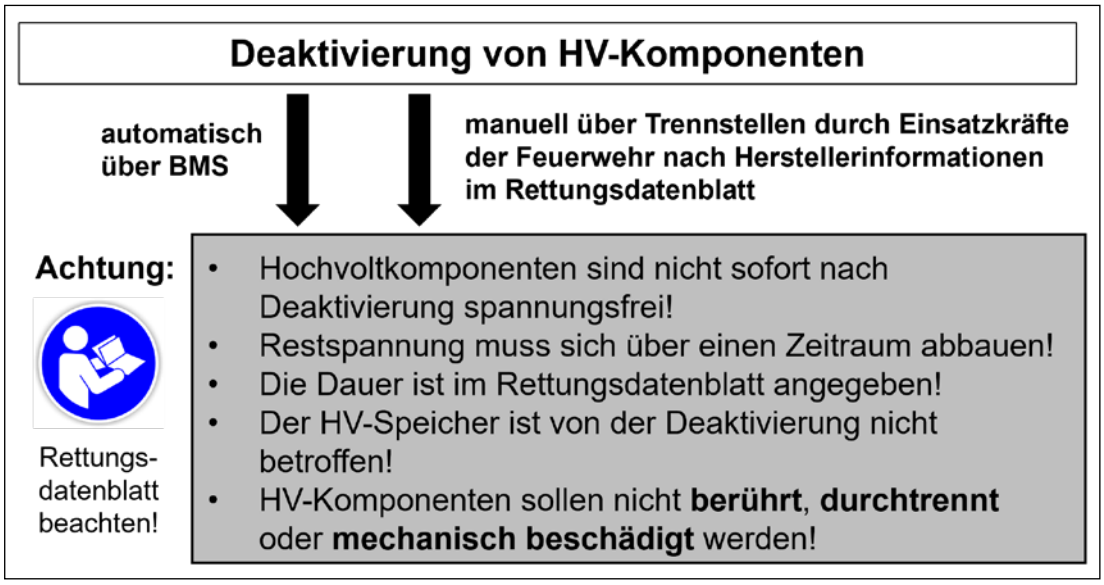


Abb. 7 Infobox zur Deaktivierung von HV-Komponenten bei Elektrofahrzeugen

Elektrische Sicherheit

HV-Fahrzeuge gelten als eigensicher. Dies wird durch verschiedene technische Maßnahmen und mehrere unabhängige Sicherheitseinrichtungen am Fahrzeug erreicht. Damit ist die Gefährdung durch einen Stromschlag, auch im Falle eines Unfalles, nahezu nicht möglich, weil mehrere Sicherheitseinrichtungen gleichzeitig versagen müssten. Dennoch kann diese Gefahr nicht vollumfänglich ausgeschlossen werden. Nachfolgend wird eine Auswahl an Sicherheitsmaßnahmen, die in einem HV-Fahrzeug vorhanden sind, erläutert.

Galvanische Trennung/IT-Netz

Das HV-System ist ein IT-Netz[7], d. h. stromführende Leiter und die Fahrzeugmasse sind voneinander getrennt. Es gibt keine leitfähige Verbindung von Plus- und Minuspol des HV-Systems zur Fahrzeugmasse oder zur Erde. Ebenfalls ist das HV-Netz vom Bordstromnetz galvanisch[8] durch Relais getrennt. Diese Trennung erfolgt über speziell ausgelegte DC/DC-Wandler mit galvanisch isolierten Transformatoren. Dies ist einer der wichtigsten Sicherheitsaspekte eines HV-Fahrzeugs.

Berührungsschutz

Alle elektrischen Bauteile sind berührungssicher gestaltet. HV-Leitungen sind isoliert und in den sichtbaren Bereichen durch eine orangefarbene Ummantelung markiert. Weiterhin sind Kabelverbindungen lichtbogensicher über Steckverbindungen ausgeführt. In § 62 der

7 IT – *Isolé Terra* (Von der Erde isoliert)

8 Elektrische Trennung zwischen elektrischen Systemen (elektrischen Potentialen)

Straßenverkehrs-Zulassungs-Verordnung (StVZO) ist hierzu Folgendes formuliert: „*Elektrische Einrichtungen von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen müssen so beschaffen sein, dass bei verkehrsüblichem Betrieb der Fahrzeuge durch elektrische Einwirkung weder Personen verletzt noch Sachen beschädigt werden können*“.

Potentialausgleich mit Isolationsüberwachung

Alle metallischen Gehäuse im HV-System sind über Potentialausgleichsleiter verbunden. Durch diese technische Maßnahme wird sichergestellt, dass bei einem Kontakt eines spannungsführenden Bauteils mit einem Gehäuse keine gefährlichen Ausgleichsströme fließen, wenn das Gehäuse berührt wird. Außerdem ist das gesamte HV-System isolationsüberwacht. Wird ein Isolationsfehler vom System erkannt, folgt eine Meldung, damit der Isolationsfehler über eine Fachwerkstatt schnellstmöglich behoben werden kann. Der Fahrbetrieb ist zu diesem Zeitpunkt eingeschränkt möglich. Registriert das System einen zweiten Isolationsfehler oder ein erhebliches technisches Problem, wird das System abgeschaltet.

2.4 Gefahren im Umgang mit Hochvoltkraftfahrzeugen



Die Gefahren für Einsatzkräfte, welche von Fahrzeugen mit HV-Komponenten ausgehen, sind in der Summe nicht höher als bei Fahrzeugen mit einem konventionellen Antrieb.

Dennoch ist festzuhalten, dass sich durch die HV-Komponenten die Schwerpunkte der auftretenden Gefahren verändern. Für die Durchführung von Rettungs- oder Gefahrenabwehrmaßnahmen ist diese Kenntnis entscheidend.

Die größten Unterschiede in der Gefahrenmatrix beim Umgang mit HV-Kraftfahrzeugen ergeben sich durch den HV-Speicher, denn dieser kann nicht spannungslos geschaltet werden. Durch dessen Kapselung ist die Bekämpfung eines HV-Speicherbrandes schwierig zu handhaben. Somit ergeben sich für die Einsätze an HV-Fahrzeugen zwei wichtige Schwerpunkte: Zum einen muss das besondere Brandverhalten eines HV-Speichers, welches im Allgemeinen durch ein Thermisches Durchgehen (engl.: *Thermal Runaway*) verursacht wird, berücksichtigt werden. Zum anderen muss die Gefahr durch einen Stromschlag, auch wenn sie durch die integrierten Sicherheitseinrichtungen am Fahrzeug unwahrscheinlich ist, beachtet werden.

Thermisches Durchgehen

Das Thermische Durchgehen beschreibt den kritischen Zustand einer Lithium-Ionen-Zelle, in dem die chemisch gebundene Energie in Form von Wärme freigesetzt wird. Die Ursache für ein thermisches Durchgehen einer Zelle ist die mechanische, elektrische oder thermische Belastung einer oder mehrerer Zellen in kritische Betriebsbereiche, welche zu irreversiblen Schäden führen. Beispiele für diese Belastungen sind in der Abbildung 8 aufgelistet.

Ursachen dieser Belastungen können, neben einem Verkehrsunfall, ein technischer Defekt (z. B. Softwarefehler, Produktionsfehler) oder auch die Alterung bzw. Überbeanspruchung der Zellen (z. B. übermäßig viele und mit hohen Spannungen versorgte Ladezyklen) sein.

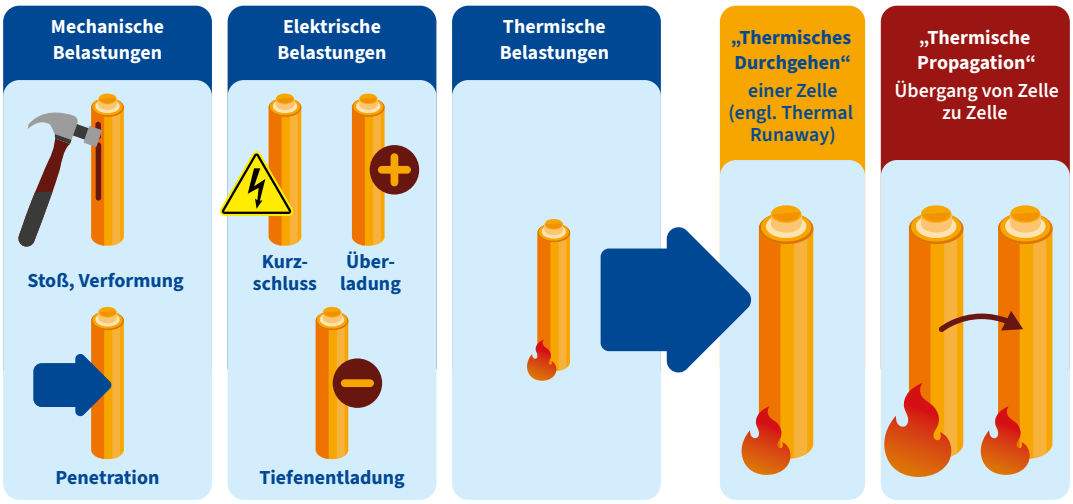


Abb. 8 Ursachen für das Thermische Durchgehen einer Lithium-Ionen-Zelle

Um äußerliche Belastungen auf die Zellen im Speicher zu reduzieren, sind Zellen durch ein mechanisch resistentes Gehäuse von der Umgebung abgeschirmt. Dadurch soll neben den erwähnten Belastungen auch ein Eindringen von Fremdkörpern, z. B. Wasser, verhindert werden.

Gelangt eine Zelle im HV-Speicher in den kritischen Zustand des thermischen Durchgehens, führen die chemischen und thermischen Reaktionen zu einer Freisetzung von toxischen sowie entzündbaren Gasen und Reaktionsprodukten. Die freiwerdende Wärme bei den Reaktionen bzw. beim Abbrand der brennbaren Gase und Bestandteile der Zelle führt zu einem Anstieg der Temperatur im HV-Speicher. Dadurch werden benachbarte Zellen einer thermischen Belastung ausgesetzt und können ebenfalls den kritischen Zustand des thermischen Durchgehens erreichen. Der Prozess des Überganges des thermischen Durchgehens von Zelle zu Zelle wird als thermische Propagation bezeichnet.

Durch die sich beim Prozess des Thermischen Durchgehens entwickelnden Gase entsteht ein Überdruck in den Zellen und im HV-Speicher. Um ein Bersten der Zellen und des HV-Speichers bei hohem Druck zu vermeiden, werden die Gase über mechanische Sicherheitseinrichtungen (Berstscheiben) abgeblasen. Auf diese Weise gelangt ein Gemisch von toxischen und entzündbaren Gasen, meist als heller bzw. grauer Rauch oder Nebel, ins Freie. Dieser Vorgang ist akustisch durch ein ploppendes mit darauffolgendem zischendem Geräusch wahrnehmbar.

Die Intensität des thermischen Durchgehens ist abhängig von der Kapazität und des Ladezustands eines HV-Speichers.

Elektrische Gefahren/Stromschlag durch die HV-Komponenten

Die Gefahr eines elektrischen Stromschlags ist aufgrund der HV-Komponenten nicht auszuschließen. Es ist aber festzuhalten, dass diese Gefahr für Einsatzkräfte keine Unbekannte ist. Die Brandbekämpfung an elektrischen Anlagen nach DIN VDE 0132[9] gehört beispielsweise zur Standardausbildung. Dabei wird auf die Mindestabstände hingewiesen, wenn zur Brandbekämpfung an solchen Anlagen ohne Spannungsfreiheit Löschwasser verwendet werden muss.

Im Gegensatz zu stationären elektrischen Anlagen, bei denen der Betreiber oder die Betreiberin eine Spannungsfreiheit herstellen kann, ist dies bei HV-Speichern in Fahrzeugen nicht möglich. Jedoch ist festzuhalten, dass bei einem technisch intakten Fahrzeug zu keiner Zeit HV-Spannungen an den Gehäusen von Komponenten anliegen. Die Gefahr eines elektrischen Schlags kann daher ausgeschlossen werden. Außerdem sorgen die Sicherheitseinrichtungen des HV-Systems (siehe Kapitel 2.3) für den höchsten Grad an Sicherheit.

Auch wenn das Sicherheitsniveau von Fahrzeugen mit HV-Komponenten hoch ist, bleibt bei beschädigten oder verunfallten Fahrzeugen ein Restrisiko bestehen. An solchen Fahrzeugen kann nicht beurteilt werden, ob sich das HV-System in einem störungsfreien[10] Zustand befindet. Die Spannungsfreiheit ist besonders dann ungeklärt, wenn:

- Analog- oder Digitalanzeigen im Fahrzeug zerstört oder nicht zu erkennen sind,
- unfallbedingt Fremdkörper in das HV-System eingedrungen sind, die das IT-System beeinflussen oder
- die Abschaltung von Sicherheitseinrichtungen nicht sicher erfolgt ist.

Sind Maßnahmen zur Deaktivierung ungeklärt, z. B. durch das Fehlen eines Rettungsdatenblattes, ist das Gefährdungspotential erhöht. Im äußerst unwahrscheinlichen Fall, dass sich eine HV-Leitung löst, und in Kontakt mit der Karosserie kommt, besteht für eine Person, die allein die Karosserie berührt, keine Gefahr. Für Einsatzkräfte ist die Gefahr eines Stromschlags erst nach dem Versagen mehrerer Sicherheitsvorkehrungen möglich. Beispielsweise müsste bei einem Unfall die Isolationsüberwachung und die automatische Deaktivierung aller HV-Komponenten (bis auf die des HV-Speichers) durch das BMS versagen. Außerdem müsste die Isolierung der HV-Leitungen an zwei Stellen beschädigt sein. Unter diesen Voraussetzungen kann eine Einsatzkraft bei gleichzeitiger Berührung beider nichtisolierter Stellen an der Leitung einen Stromschlag erhalten. Ebenfalls besteht eine Gefahr, wenn einer der offenliegenden Kontakte eine leitende Verbindung zum Erdpotenzial darstellt. Dann würde der Kontakt einer unisolierten Stelle ausreichen, wobei hier immer noch die Feuerwehrstiefel nach DIN EN 15090[11] eine ausreichende Isolierung zum Boden besitzen, um ein Potenzialausgleich durch den Körper der Einsatzkraft zu verhindern. Ansonsten kann die Gefahr von unisolierten HV-Leitungen durch Abschirmen defekter Leitungen mit beispielsweise HV-Schutzfolien oder -matten verhindert werden.

9 DIN VDE 0132 DIN VDE 0132:2018-07 „Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen“

10 Siehe Definition DGUV Information 203-052 (DGUV Information 203-052, 2011)

11 DIN EN 15090:2012-04 „Schuhe für die Feuerwehr“

2.5 Ladeinfrastruktur

Vorhandene Niederspannungsnetze weisen keine ausreichenden Leistungsreserven zum Betrieb von Schnellladesäulen auf. Daher sind Ladestationen im öffentlichen Raum sowie auch die Depotboxen auf Betriebshöfen in der Regel über Mittelspannungstransformatoren, wie sie in der Abbildung 9 zu sehen sind, an das Mittelspannungsnetz angeschlossen (10 kV oder 20 kV).



Abb. 9 links.: Schalterhäuschen, rechts.: Transformatorenhäuschen mit ID-Nummer

Im Havarie- und Brandfall richtet sich die Einsatztaktik nach der DGUV Information 203-052 „Elektrische Gefahren an der Einsatzstelle“ und der DGUV Information 205-010 „Sicherheit im Feuerwehrdienst“.

Darüber hinaus lassen sich einige Anlagen von der Betreiberin bzw. dem Betreiber (z. B. Energieversorgungsunternehmen) zentral abschalten. Sind Identifikationsnummern vorhanden und noch ablesbar, kann diese über die Leitstelle dem Energieversorgungsunternehmen mitgeteilt werden.

3 Einsatzmaßnahmen

3.1 Lagefeststellung/Erkundung

Nach FwDV 100[12] ist die Lagefeststellung die erste Phase des Führungsvorganges an einer Einsatzstelle und bildet somit die Grundlage für die zu treffenden Einsatzmaßnahmen. Die Abarbeitung von Verkehrsunfällen bzw. die Brandbekämpfung von Fahrzeugen stellt einen Standardeinsatz der Feuerwehren dar und wird bei der Standortausbildung unterrichtet. Jedoch haben sich in den letzten Jahren mit dem Aufkommen von immer komplexeren Fahrzeugen und alternativer Antriebe die Gefahren für die Einsatzkräfte bei der Abarbeitung solcher Einsätze geändert. Zur Unterstützung der Einsatzkräfte wurden Hilfsmittel entwickelt, die als neue Bestandteile in die Lagefeststellung bzw. in die Erkundung integriert werden müssen.

Die **erste** Erkundung bei Verkehrsunfällen mit Straßenfahrzeugen ist in der vfdb Richtlinie 06/01 „Technische-medizinische Rettung nach Verkehrsunfällen“ beschrieben. Viele der Bestandteile einer Erkundung sind unabhängig von der Antriebsart zu beachten. Die neuen Hilfsmittel, wie beispielsweise die AUTO-Regel für die Identifikation von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben oder das Rettungsdatenblatt eines Fahrzeugs, dienen zur schnellen Informationsbeschaffung und sollen die Abarbeitung solcher Einsätze erleichtern und die Sicherheit für Einsatzkräfte erhöhen. Entscheidend ist die Anwendung dieser Hilfsmittel bei der Lagefeststellung, da sonst eine Vielzahl an einsatzrelevanten Informationen bei der Beurteilung und Planung der Einsatztaktik nicht mit berücksichtig werden. Die Folgen fehlender Informationen können von längerer Einsatzdauer bis hin zur Verletzung von z. B. Einsatzkräften sein.

Nachfolgend wird auf die zusätzlichen Maßnahmen der Erkundung für Fahrzeuge mit HV-Komponenten eingegangen.

3.2 Erkennen von Fahrzeugen mit HV-Komponenten

Im Allgemeinen können unter Zuhilfenahme der AUTO-Regel Fahrzeuge mit alternativen Antrieben erkannt werden. Darunter zählen auch alle Fahrzeuge mit HV-Komponenten. Die Besonderheiten von Fahrzeugen mit HV-Komponenten sind auch in den dazugehörigen Rettungsdatenblättern zu finden. Mit den Informationen durch die Anwendung der AUTO-Regel ist es möglich, das korrekte Rettungsdatenblatt zu dem entsprechenden Fahrzeug zu erhalten.

An der Einsatzstelle ist zu beachten, dass die Informationen aus dem Rettungsdatenblatt für die weitere Vorgehensweise des Einsatzes entscheidend sind und ein falsches Rettungsdatenblatt zu Fehlern führen kann. Aus diesem Grund wird nach Erhalt des Rettungsdatenblattes ein Abgleich der darin enthaltenen Fahrzeuginformationen und den erkundeten Merkmalen des Fahrzeugs an der Einsatzstelle durch die AUTO-Regel dringend empfohlen. Die Abbildung 10 verdeutlicht die Vorgehensweise.

12 Feuerwehrdienstvorschrift 100 „Führung und Leitung im Einsatz“

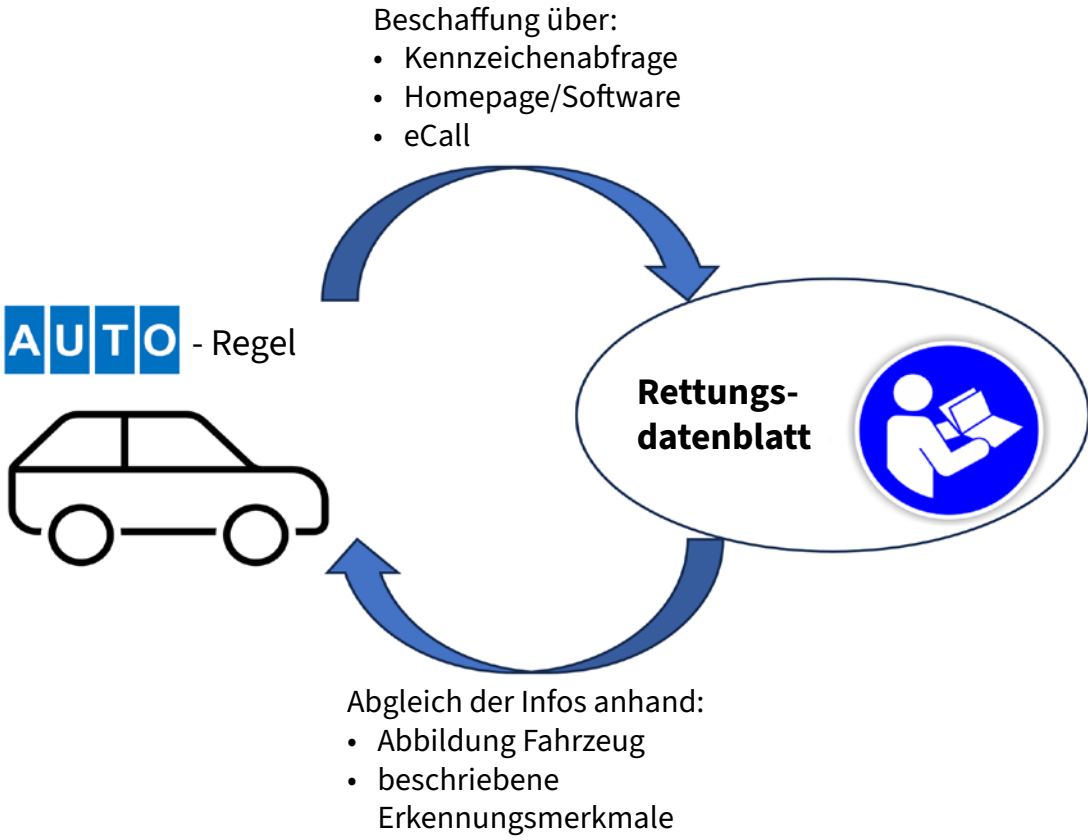


Abb. 10 Beschaffung und Abgleich des Rettungsdatenblattes anhand der erkundeten Informationen des Fahrzeugs mit der AUTO-Regel

Auto-Regel

Die AUTO-Regel wurde als Hilfestellung für die Identifizierung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben entwickelt. Durch Abarbeitung der formulierten Regeln soll zweifelsfrei festgestellt werden, ob das Fahrzeug über einen alternativen Antrieb verfügt. Im optimalen Fall sollte durch die Anwendung der AUTO-Regel sogar eine Aussage über die Art des Antriebes getroffen werden können. Die Bedeutung der einzelnen Buchstaben der AUTO-Regel wird in der Abbildung 11 erläutert.

Auto-Regel

A ustretende Betriebsstoffe
(z. B. mit Zisch- oder Knattergeräuschen, Gasgeruch, Lachen- oder Nebelbildung)

U nterboden, Motor- und Kofferraum erkunden
(z. B. nach Gastanks, orangefarbenen Hochvoltleitungen)

T ankdeckel öffnen
(z. B., um alternative Betankungs-/Ladesysteme zu erkennen, zusätzliche Tankdeckel)

O berfläche absuchen
(z. B. nach Überdruckventilen, einschlägigen Beschriftungen, fehlendem Auspuff)

Abb. 11 AUTO-Regel

Nachfolgend werden mögliche Erkennungsmerkmale von Fahrzeugen mit HV-Komponenten beschrieben. Ein Merkmal für Fahrzeuge mit HV-Komponenten sind bestimmte Designelemente (oftmals in Blau gestaltet) und Typenbezeichnungen der jeweiligen Fahrzeughersteller. Ebenfalls ist ein zusätzliches „E“ am Ende deutscher Fahrzeugkennzeichen, ein weiteres Merkmal für Fahrzeuge mit HV-Komponenten. Unter Anwendung des „O“ der AUTO-Regel sollten diese Merkmale identifizierbar sein. Jedoch muss beachtet werden, dass Schriftzüge an Fahrzeugen beim Kauf abgewählt werden können. Somit verweisen diese Schriftzüge zwar auf Fahrzeuge mit HV-Komponenten, jedoch darf bei Fehlen dieser Merkmale nicht automatisch von einem Fahrzeug ohne HV-Komponenten ausgegangen werden.

Neben den oben beschriebenen Merkmalen an dem Fahrzeug selbst oder dem Nummernschild, wurde für eine bessere Identifizierung der Antriebstechnologie ein internationaler Standard nach ISO 17840-4[13] geschaffen. Der Teil 4 definiert Piktogramme und dazugehörige Farben zur Angabe des Kraftstoffs und/oder der Energie, die zum Antrieb eines Straßenfahrzeugs verwendet werden. Insbesondere die Fahrzeugtechnologien und Energiequellen, einschließlich Hybridantriebssträngen, können durch Rettungskräfte auf diese Weise von außen schnell erkannt werden. Die entsprechenden Piktogramme sind in der Abbildung 12 dargestellt.

13 ISO 17840-4:2018-05 „Straßenfahrzeuge – Informationen für Ersthelfer und Rettungskräfte – Teil 4: Identifizierung der Antriebsart“

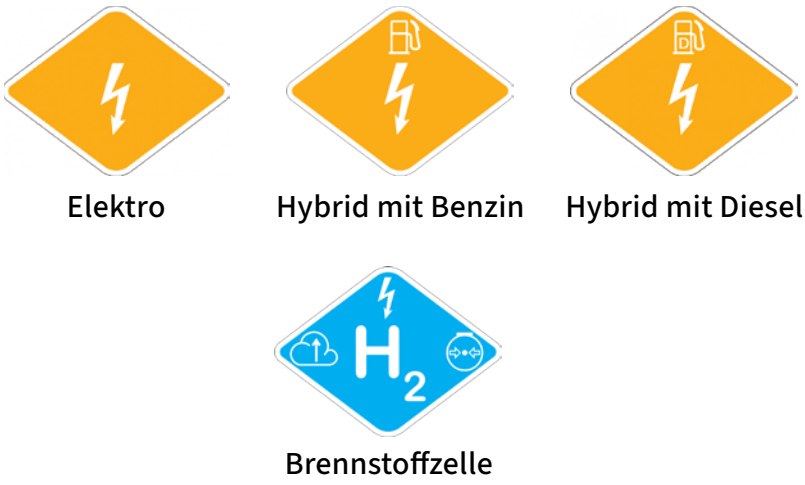


Abb. 12 Beispiele von Kennzeichnungen gem. ISO 17840-4:2018-05

Ein weiteres Merkmal von Fahrzeugen mit HV-Komponenten sind die HV-Leitungen und HV-Komponenten. Alle sichtbaren spannungsführenden HV-Leitungen und zum Teil HV-Komponenten werden in Orange ausgeführt. Zusätzlich müssen spannungsführende Bauteile mit dem Sicherheitswarnzeichen ISO 7010-W012 „Warnung vor elektrischer Spannung“ versehen sein. Diese besondere Kennzeichnung von Bauteilen an Fahrzeugen mit HV-Komponenten sollte bei der Anwendung des „U“, also bei der Erkundung unter dem Fahrzeug bzw. im Motorraum auffallen.

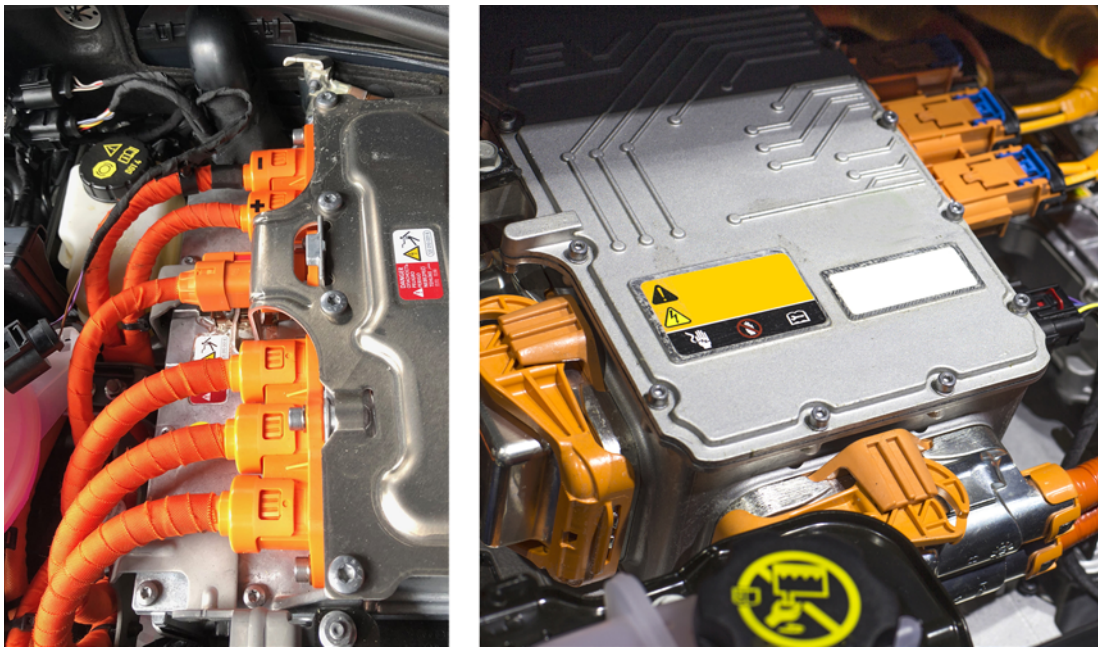


Abb. 13 Beispiele von möglichen Merkmalen für die Identifizierung von Fahrzeugen mit HV-Komponenten

Neben der Anwendung der Buchstaben in der AUTO-Regel zur Identifikation des Antriebes, sollten bei der Erkundung alle sachdienlichen Informationen (Kennzeichen, Fahrzeugidentifikationsnummer etc.), die bei der Beschaffung des Rettungsdatenblattes helfen können, gesammelt und an den Einsatzleiter oder die Einsatzleiterin weitergeben werden. Dadurch kann parallel das Rettungsdatenblatt angefordert oder der Abgleich des Rettungsdatenblattes mit dem vorliegenden Fahrzeug sichergestellt werden.

3.2.1 Rettungsdatenblätter

Eines der wichtigsten Hilfsmittel für Einsatzkräfte, um bei der großen Vielfalt und Komplexität der Fahrzeuge und Antriebe den Überblick zu behalten, ist das Rettungsdatenblatt. An der Einsatzstelle ist die Beschaffung des korrekten Datenblattes zu dem verunfallten oder brennenden Fahrzeug essenziell. Die Informationen aus den Rettungsdatenblättern verschaffen den Einsatzkräften eine Übersicht sicherheitsrelevanter Bauteile. Am Einsatzort sind sie somit eine wichtige Informationsquelle über das havarierte Fahrzeug, weshalb der Inhalt dieser Dokumente im Folgenden anhand eines Beispiels detaillierter beschrieben wird.

Die Rettungsdatenblätter beginnen mit allgemeinen Informationen zum Fahrzeug, wozu eine Darstellung des Fahrzeugs, die Bezeichnung mit entsprechendem Baujahr sowie das Piktogramm für die Antriebsart gehört. Danach folgt eine Drauf- und Seitenansicht des Fahrzeugs mit farblich gekennzeichneten Bauteilen, die für die Rettungskräfte eine Gefahr darstellen können oder die Position für Möglichkeiten zur Gefahrenbeseitigung liefern. Als Beispiel ist eine Grafik eines Fahrzeugs mit HV-Speicher in der Abbildung 14 zu sehen.

Notwendige Qualifizierung von Einsatzkräften

Frage:
Gemäß DGUV Information 209-093 ist für das Rettungs- und Einsatzpersonal mindestens eine Qualifikation der Stufe 1S zur Fachkundig unterwiesenen Person (FuP) erforderlich. FuPen müssen durch Fachkundige Personen Hochvolt (FHV) unterwiesen werden. Bedeutet das, dass auch eine Qualifizierung von Einsatzkräften der Feuerwehr und der Hilfeleistungsorganisationen gemäß der DGUV Information 209-093 notwendig ist?

Antwort:
Abschnitt 5 der DGUV Information 209-093 befasst sich mit der Qualifizierung für Arbeiten an Serienfahrzeugen mit Hochvoltsystemen in Servicewerkstätten. Die Tätigkeiten der Einsatzkräfte der Feuerwehr und der Hilfeleistungsorganisationen an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen, zum Beispiel zu Rettungszwecken, unterscheiden sich deutlich von denen in Servicewerkstätten und stellen keine Tätigkeiten in Sinne der DGUV Information 209-093 dar. Die Unterweisung dieser Einsatzkräfte kann daher auch, wie bereits in anderen Bereichen mit elektrischen Gefährdungen bewährt, von den organisationsinternen Ausbildern und Ausbilderinnen oder an Ausbildungsstätten wie Landesfeuerwehrschulen, unter Berücksichtigung der potenziellen (Rettungs-)Tätigkeiten, der Feuerwehrdienstvorschriften, des feuerwehrspezifischen Regelwerks der DGUV und der Rettungsdatenblätter der Herstellfirmen fachkundig durchgeführt werden.

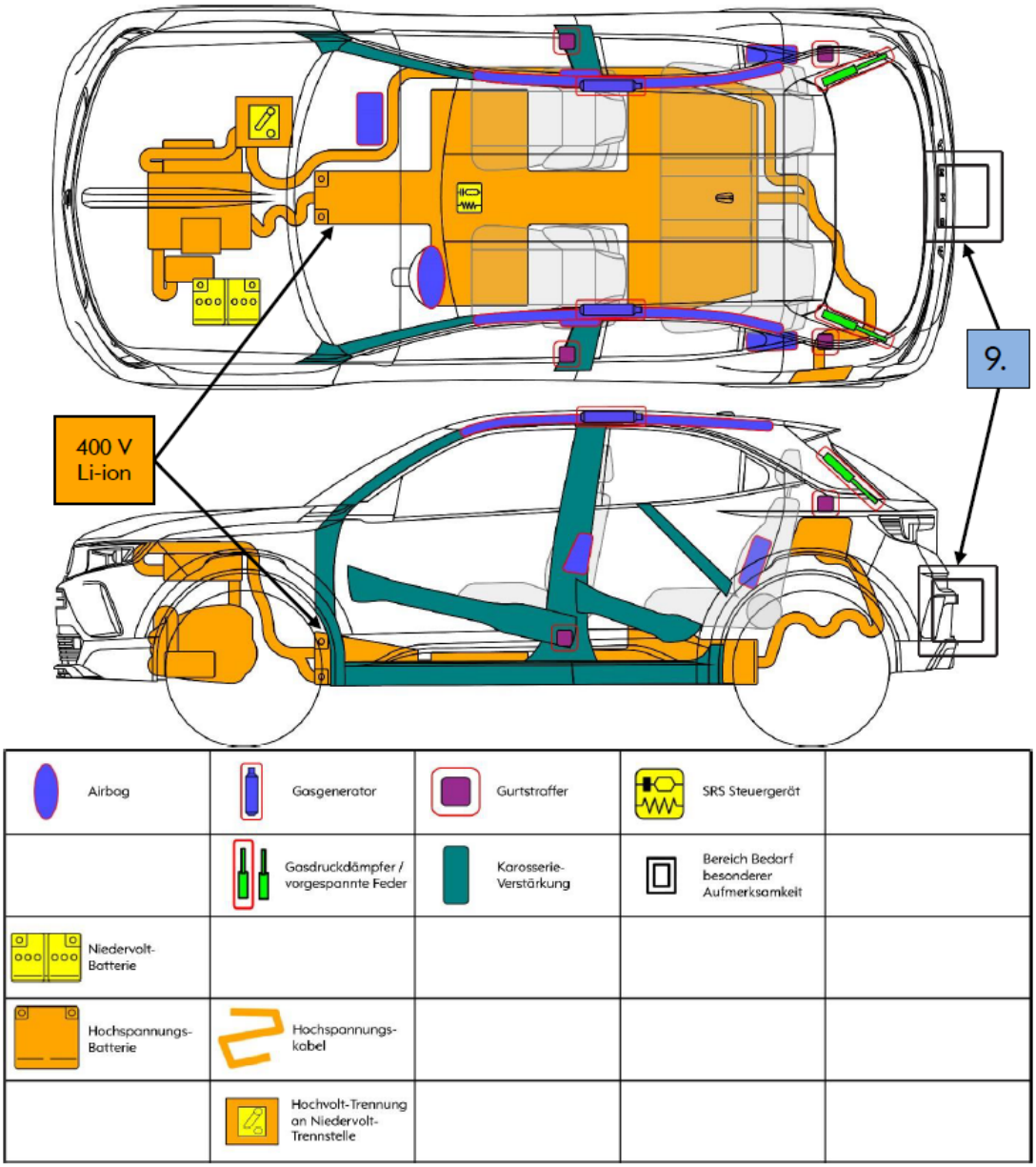


Abb. 14 Beispiel Rettungsdatenblatt mit Legende

In orange sind der HV-Speicher, die HV-Leitungen und andere HV-Komponenten dargestellt. Auch die Position der HV-Trennstelle bzw. des Sicherungskastens zur Deaktivierung des HV-Systems ist eingezeichnet. Ansonsten sind Bauteile, von denen Gefahren ausgehen können, wie Airbags, Gurtstraffer und Gasgeneratoren oder Gasdruckdämpfer eingezeichnet. Die ersten beiden Seiten liefern demnach einen guten Überblick über den Aufbau des Fahrzeugs. In den darauffolgenden Seiten werden themenspezifische Informationen für die Einsatzkräfte behandelt, die bei der Abarbeitung des Einsatzes bzw. bei der Rettung von Personen helfen sollen.

Zuerst werden noch einmal die Möglichkeiten zur Erkennung bzw. Identifizierung des Fahrzeugs beschrieben. Dabei wird auf Merkmale der Fahrzeugreihe verwiesen, um einen Abgleich mit dem Rettungsdatenblatt vornehmen zu können. Danach folgen Hinweise zur Immobilisierung und Stabilisierung des Fahrzeugs. In Punkt 3 werden Maßnahmen zur Beseitigung von direkten Gefahren beschrieben, wie z. B. die Deaktivierung der HV-Komponenten oder wie ein Fahrzeug von der Ladestation über die Notentriegelung getrennt werden kann. Es folgen Hinweise bezüglich der Zugangsmöglichkeiten zu den Insassen und der gespeicherten Energie, z. B. wird an dieser Stelle die Höhe der Spannung des HV-Speichers angegeben. Abschließend sind Informationen über Gefahren im Brandfall bzw. wie mit dem Fahrzeug umzugehen ist, wenn es sich unter Wasser befindet, aufgelistet. Das letzte Kapitel im Rettungsdatenblatt thematisiert die Möglichkeiten des Abschleppens, des Transportes und der Lagerung. Dieses Kapitel ist entscheidend für Abschlepp-/Bergeunternehmen.

Die Planung von weiteren einsatztaktischen Maßnahmen, wie Deaktivierung der HV-Komponenten und die technische Rettung mit angetriebenen Rettungsgeräten, kann durch die Informationen aus den Rettungsdatenblättern unterstützt werden. Die Ausführungen zeigen, dass das Rettungsdatenblatt ein wichtiges Hilfsmittel zur Informationsgewinnung darstellt und zum Stand der Technik bei der Technischen Rettung gehört.

Beschaffung von Rettungsdatenblättern an der Einsatzstelle

Die Beschaffung von Rettungsdatenblättern setzt einen gewissen Digitalisierungsgrad bei den Einsatzkräften der Feuerwehr voraus. In den wenigsten Fällen ist das Rettungsdatenblatt in ausgedruckter Form im Fahrzeug vorzufinden, auch wenn der ADAC empfiehlt, das Rettungsdatenblatt unter einer Sonnenblende zu platzieren.

Im Regelfall muss das Rettungsdatenblatt mit Hilfe der Informationen aus der Lageerkundung durch die Einsatzkräfte digital beschafft werden. Die möglichen Beschaffungswege werden nachfolgend erläutert. Bei einigen Unternehmen kann das Rettungsdatenblatt über einen QR-Code abgerufen werden.

Software für Rettungsdatenblätter

Auf dem Markt existieren eine Reihe von Softwarelösungen mit hinterlegten Datenbanken für Rettungsdatenblätter. Der Vorteil solcher Software ist, dass die Datenbanken regelmäßig aktualisiert werden und die Nutzung der Software am Einsatzort nicht zwingend eine Internetverbindung erfordert. Zusätzlich werden die Inhalte der Rettungsdatenblätter in der Software noch einmal detaillierter aufbereitet. So wird beispielsweise die Deaktivierung der HV-Komponenten durch eine schrittweise Anleitung mit interaktiven Bildern beschrieben. Die Einsatzkraft wird also durch die einzelnen Schritte geführt und erhält in vielen Fällen zusätzliche Informationen, die auf einem standardisierten Rettungsdatenblatt, aus Gründen der Übersicht, nicht enthalten sind.

Zum Teil gehen die Softwarelösungen schon über die alleinige Bereitstellung von Rettungsdatenblättern hinaus. Die Software unterstützt die Einsatzleitung bei der gesamten Abwicklung des Einsatzes, bis hin zur Übergabe durch die Bereitstellung eines Übergabeprotokolls, welches in der Software ausgefüllt und abgespeichert werden kann.

Es wird ausdrücklich empfohlen, die organisationsspezifischen Anforderungen an eine solche Software zu ermitteln und auf deren Basis vor dem Beschaffungsvorgang eine Marktrecherche durchzuführen.

Internetrecherche zu Rettungsdatenblättern auf der Homepage des ADAC oder der Fahrzeughersteller

Sollten die Einsatzkräfte nicht mit einer Softwarelösung an der Einsatzstelle arbeiten, besteht die Möglichkeit, das entsprechende Rettungsdatenblatt mit Hilfe der eigenen Informationen über das Fahrzeug und der Leitstelle im Internet zu recherchieren bzw. herunterzuladen. Hierfür ist jedoch eine Internetverbindung am Einsatzort notwendig und es muss durch die Einsatzleitung sichergestellt werden, dass das korrekte, fahrzeugspezifische Rettungsdatenblatt gefunden wird. Diese Vorgehensweise ist fehleranfälliger und zeitintensiver als die oben beschriebenen Softwarelösungen.

Sammlungen von Links zu den Rettungsdatenblättern der verschiedenen Automobilunternehmen sind z. B. hier verfügbar

- https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/unfall-schaden-panne/rettungskarte/
- https://rescue.euroncap.com/

Rettungsdatenblätter über die Kennzeichenabfrage bei der Leitstelle

Über das Fahrzeugkennzeichen besteht die Möglichkeit einer genauen Zuordnung des fahrzeugspezifischen Rettungsdatenblattes zu einem Fahrzeug. Wenn die Leitstellen über die entsprechende Software verfügen, erhalten sie nicht nur die Fahrzeugdaten und das Rettungsdatenblatt, sondern auch eine entsprechende ID für marktübliche Softwarelösungen. Wenn die Einsatzkräfte mit den entsprechenden Softwarelösungen vor Ort arbeiten, kann die ID verwendet werden, um sich das passende Rettungsdatenblatt direkt anzeigen zu lassen.

Durch die unterschiedlichen Digitalisierungsgrade werden in der Praxis häufig noch keine Apps verwendet, sodass die Beschaffung von Rettungsdatenblättern an der Einsatzstelle eine große Herausforderung darstellt. Oftmals besitzen die Feuerwehren keine passenden Endgeräte, wie beispielsweise ein Tablet, um die Rettungsdatenblätter von der Leitstelle übermittelt zu bekommen. Zum Teil sind Leitstellen technisch noch nicht in die Lage, fahrzeugspezifische Rettungsdatenblätter aus der Kennzeichenabfrage an die Einsatzkräfte vor Ort zu übermitteln. In solchen Fällen ist, ein Internetzugang vorausgesetzt, die eigene Recherche mit vorhanden Mitteln und der Unterstützung der Leitstelle nach dem Rettungsdatenblatt notwendig. Auch eine Übertragung des Rettungsdatenblattes auf eine E-Mail-Adresse, beispielweise der Feuerwehr vor Ort, ist ein möglicher Weg. In der Abbildung 15 ist der Weg der Informationen zwischen Einsatzstelle und Leitstelle in einer Übersicht beschrieben.

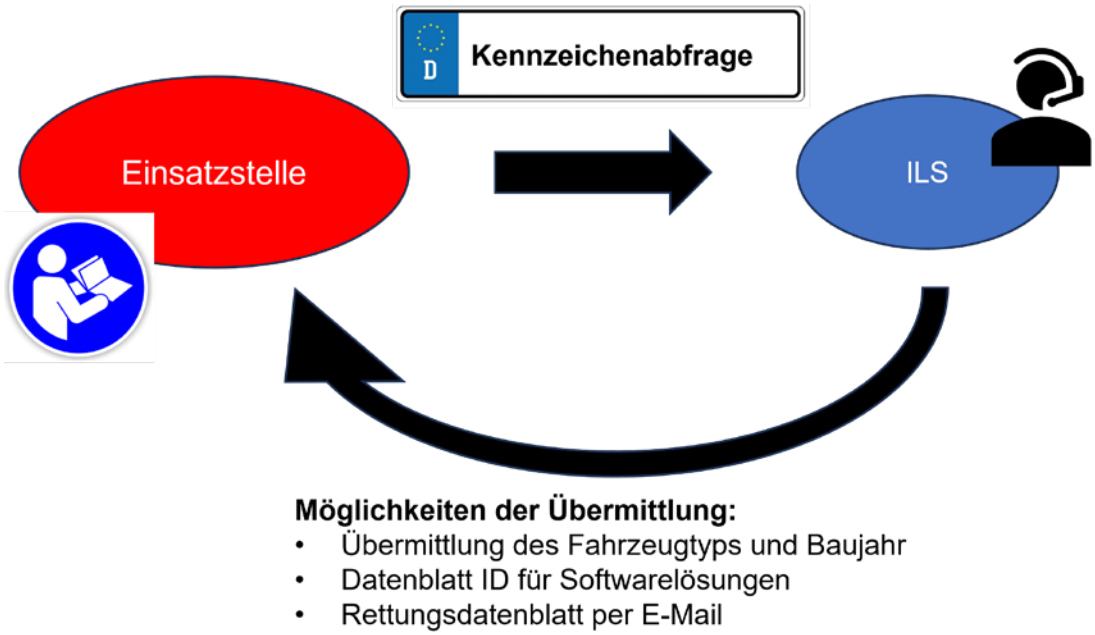


Abb. 15 Datenübermittlung zwischen Einsatzstelle und Leitstelle für die Beschaffung des Rettungsdatenblattes

3.2.2 *eCall* – Notrufsystem

Der *eCall* ist ein elektronisches Notrufsystem, das bei einem Notfall aktiviert wird und Hilfe anfordert. Alle Fahrzeuge mit neuer Typgenehmigung ab 1. April 2018 müssen mit solch einem System ausgestattet sein. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, gibt es eine manuelle und automatische Auslösung des Notrufsystems.

Die Fahrzeugbesitzerin bzw. der Fahrzeugbesitzer kann per Knopfdruck den *eCall* manuell auslösen, wodurch eine direkte Verbindung zur Notrufnummer 112 oder zu einem eingerichteten Notruf/*Callcenter* vom Hersteller hergestellt wird. Die automatische Auslösung erfolgt im Falle eines Unfalls, z. B. initiiert durch das Auslösen eines Airbags. Auch in diesem Fall wird über die eingerichtete Notrufnummer Kontakt mit einer Person im Fahrzeug hergestellt. Bei der Auslösung des *eCalls* werden zusätzlich fahrzeugspezifische Daten übermittelt. Unter anderem wird die Fahrzeug- sowie Antriebsart, der Unfallort, die Uhrzeit und die Anzahl der Insassen weitergeleitet. Die Leitstelle kann in diesem Fall bereits bei Alarmierung der Einsatzkräfte wichtige Informationen und das Rettungsdatenblatt zur Verfügung stellen. Wenn dieses System flächendeckend eingesetzt wird und die Feuerwehren mit der entsprechenden IT-Technik ausgerüstet sind, werden die Einsatzkräfte zukünftig auf der Anfahrt zum Unfallort alle einsatzrelevanten Unterlagen zur Verfügung haben.

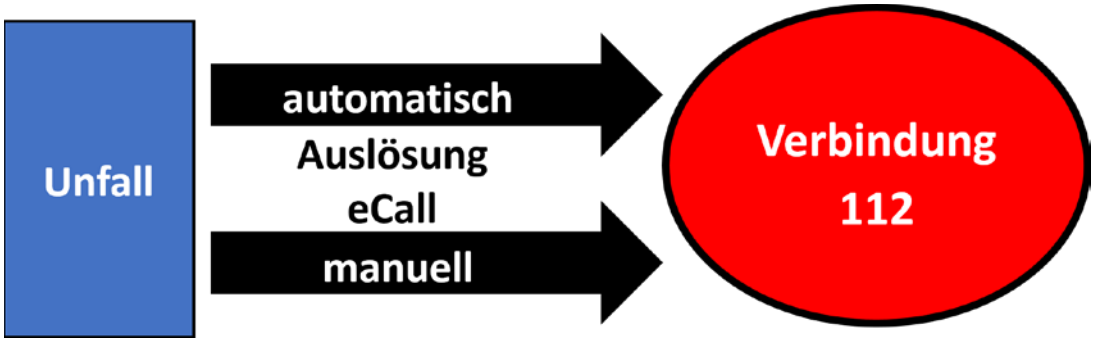


Abb. 16 Auslösearten des eCall-Notrufsystems

3.3 Erkennbare Beschädigungen und Reaktionen des HV-Speichers

Im Falle eines Unfalls können hohe Belastungen, wie sie in der Abbildung 8 beschrieben sind, auf den HV-Speicher einwirken. Die Zellen im HV-Speicher können einen kritischen Zustand erreichen und thermisch Durchgehen. Dieser Prozess ist verbunden mit einer Wärmefreisetzung und austretenden Gasen/Dämpfen, die zündfähig und zum Teil sehr giftig sind.

Im Falle eines Unfalls und einer Reaktion im HV-Speicher muss die Gefährdung für Personen und die Umgebung neu bewertet werden.

Entsprechend ist bei der Lageerkundung das Erkennen von Schäden und einer möglichen Reaktion im HV-Speicher für die Planung nachfolgender Einsatzmaßnahmen entscheidend. Deshalb wird an dieser Stelle beschrieben, wie ein kritischer HV-Speicher erkannt werden kann.

Eine Reaktion im HV-Speicher ist aufgrund der starken Kapselung durch das Gehäuse von außen nicht immer wahrnehmbar. Ein Hinweis für ein thermisches Durchgehen einer oder mehrerer Zellen ist ein untypischer aromatischer Geruch, der oftmals als süßlich beschrieben wird. Warnhinweise auf der Instrumententafel des Fahrzeugs können ebenfalls ein Indiz auf einen kritischen HV-Speicher sein. Ein Blick auf die Instrumententafel kann daher wertvolle Informationen liefern.

Ansonsten geht der Prozess des thermischen Durchgehens einer oder mehrerer Zellen oftmals einher mit ploppenden Geräuschen, welche von der mechanischen Druckentlastung der einzelnen Zellen verursacht wird. Nach der Druckentlastung der Zelle strömt Gas aus, was zu einem zischenden Geräusch mit anschließender zyklischer Rauch- bzw. Gasfreisetzung im Bereich der Batterie führt. Die austretenden Gas- und Rauchmengen, wie in den beiden Beispielen in der Abbildung 17 zu sehen ist, werden allgemein als Ventinggase bezeichnet.



Abb. 17 Austretende Ventinggase aus Fahrzeugen mit HV-Speicher[14] (Neske, et al., 2025)

Mit fortschreitender Reaktion im HV-Speicher können auch zyklische Funken oder Stichflammen, ähnlich wie sie bei einzelnen Modulen in der Abbildung 18 zu sehen sind, im Bereich des HV-Speichers auftreten.

14 Die Initiierung des *Thermal Runaway* wurde für Forschungszwecke vorsätzlich durch einen Metalldorn herbeigeführt.



Abb. 18 Beispiele für Funkenflug und Stichflammen aus einem Modul, wie sie in HV-Speichern für Fahrzeug verbaut sein können (Neske, et al., 2022)

Sollte keines dieser Merkmale vorhanden sein, empfiehlt es sich die Temperatur des HV-Speichers mittels Temperaturmessung, z. B. unter Verwendung einer Wärmebildkamera, zu prüfen. Diese Messungen sollten an den gleichen Positionen in Zeitintervallen von beispielsweise 5 Minuten wiederholt und dokumentiert werden. Sollte sich die Temperatur des Speichers in kurzer Zeit deutlich erhöhen oder auf hohem Temperaturniveau, weit über der Umgebungstemperatur verweilen, muss davon ausgegangen werden, dass eine Reaktion im HV-Speicher stattfindet und Gefahrenabwehrmaßnahmen eingeleitet werden müssen.

Selbst wenn keine der beschriebenen Erkennungsmerkmale auftreten, sollten die Einsatzkräfte auf eine mögliche Reaktion des HV-Speichers vorbereitet sein. Ist das Gehäuse beschädigt oder sind Fremdkörper bzw. Wasser in den HV-Speicher eingedrungen, kann dieser Prozess im Einsatzverlauf mit den oben beschriebenen Merkmalen starten. Auch im Falle der technischen Rettung, bei der oftmals Rettungsgeräte zum Einsatz kommen, ist eine Beschädigung des HV-Speichers zu vermeiden.

Es ist zu beachten, dass ein vom Fahrzeug separierter HV-Speicher grundsätzlich noch unter Spannung stehen kann und nicht berührt werden darf.

3.4 Sicherungsmaßnahmen

Nach der Lagefeststellung folgt die Planung und Durchführung von Einsatzmaßnahmen, beispielsweise zur Sicherung des Fahrzeugs oder Beseitigung von Gefahren. An dieser Stelle wird nicht auf Standardmaßnahmen, wie z. B. die Verkehrsabsicherung eingegangen. Diese gelten weiterhin. Der Fokus in diesem Abschnitt liegt in der Beschreibung von Besonderheiten, die es bei Einsätzen an Fahrzeugen mit HV-Komponenten zu beachten gilt.

3.4.1 Fahrzeug sichern und Spannungsfreiheit überprüfen

Bei Einsätzen an Fahrzeugen mit HV-Komponenten ist, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, die Gefahr eines Stromschlages aufgrund vieler Sicherheitsvorkehrungen am Fahrzeug unwahrscheinlich, aber dennoch nicht vollständig ausgeschlossen. Aus diesem Grund sollte seitens der Rettungskräfte versucht werden festzustellen, ob eine Deaktivierung der HV-Komponenten bereits erfolgt ist oder seitens der Einsatzkräfte vorgenommen werden kann. Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten. Wahrscheinlich ist, dass aufgrund der Registrierung eines Unfalls, z. B. durch Auslösen von Airbags (siehe Kapitel 2.3), die HV-Komponenten bereits automatisch deaktiviert wurden. Alternativ kann der Antrieb durch Betätigung des Start-/Stopp-Knopfes oder durch Nutzung einer der Möglichkeiten zur Deaktivierung der HV-Komponenten gemäß Rettungsdatenblatt deaktiviert werden. Die Überprüfung, ob die HV-Komponenten spannungsfrei sind, ist insbesondere bei der Verwendung von angetriebenen Rettungsgeräten essenziell. Im Kapitel 2.4 wird deshalb genauer auf dieses Thema eingegangen. Es wird an dieser Stelle darauf verwiesen, dass die Spannungsfreiheit an Fahrzeugen mit HV-Komponenten ohne Hilfsmittel der Hersteller, also durch Anzeige im Display der Armatur nicht feststellbar ist. Aus diesem Grund sollte davon ausgegangen werden, dass die Spannungsfreiheit besonders dann ungeklärt ist, wenn die aufgeführten Punkte im Kapitel 2.4 gegeben sind.

3.4.2 Immobilisierung von Fahrzeugen mit HV-Komponenten

Nach der Verkehrsabsicherung ist die Sicherung des eigentlichen Unfallfahrzeugs eine der ersten durchzuführenden Maßnahmen. Darunter zählt die Sicherung gegen Wegrollen. Bei besonderen Lagen ist das Fahrzeug gegen Abstürzen, Wegrutschen, Kippen und Nachsacken zu sichern. All diese Maßnahmen sind auch bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben zu beachten, jedoch gibt es bei der Immobilisierung von Fahrzeugen mit Elektroantrieben gewisse Besonderheiten.

Zum Beispiel kann bei einigen Hybridfahrzeugen, nach dem Wegfall der elektrischen Energie, der Verbrennungsmotor starten und sich das Fahrzeug in Bewegung setzen. Der Einsatz von Radkeilen bei Fahrzeugen mit Elektromotor ist aufgrund des sofort anliegenden hohen Drehmomentes nicht immer ausreichend, um das Fahrzeug gegen Wegrollen zu sichern. Es sollte die Feststellbremse oder der Automatikwahlhebel auf „P“ gestellt werden.

Eine weitere Besonderheit von Elektromotoren ist der lautlose Betrieb. Ist der Fahrzeugantrieb noch aktiv, können sich Fahrzeuge unkontrolliert in Bewegung setzen. Deshalb muss die Betriebsbereitschaft durch einen Blick auf Anzeigen (Digitalanzeige, Powermeter) im Armaturenbrett geprüft werden. In der Abbildung 19 sind Beispiele für Anzeigen, die die Betriebsbereitschaft anzeigen, zu sehen. Aufgrund verschiedener Schadensszenarien nach einem Unfall ist dies nicht immer möglich[15].

15 Siehe auch: VDA „Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen“ (VDA)



Abb. 19 Beispiele von Anzeigen der Betriebsbereitschaft

Die einfachste Möglichkeit, die Betriebsbereitschaft eines Fahrzeugs zu unterbrechen, ist die Betätigung des Start-/Stopp-Schalters (*Power*) oder des Fahrzeugschlüssels („Zündung aus"). Die Spannungsversorgung des Fahrzeugs aus dem HV-Speicher zu den Elektromotoren wird dadurch unterbrochen. Bei Hybridfahrzeugen wird auch der Verbrennungsmotor abgeschaltet.

Eine sichere Immobilisierung ist gewährleistet, wenn die Deaktivierungsmaßnahmen nach Herstellerangaben (Rettungsdatenblatt) an den dafür vorgesehenen Trennstellen durchgeführt wurden.

Airbagauslösung

Nach dem VDA-Leitfaden „Unfallhilfe & Bergen bei Fahrzeugen mit HV-Systemen", ist „*ein Unfall als schwer einzustufen, sofern eine deutliche Deformation der Fahrzeugstruktur erkennbar ist, die über die äußere Beschädigung von Blech-, Karosserie- oder Anbauteilen hinausgeht. In der Regel gehen schwere Unfälle mit einer Airbagauslösung einher.*" Im Falle des Auslösens eines Airbags wird der Unfall vom System registriert, wodurch mehrere Maßnahmen automatisch ausgelöst werden. Bei vorhandenem *eCall*-System (siehe Kapitel 3.2.2) wird ein Notruf mit Datenübermittlung vom Fahrzeug an die Leitstelle gesendet. Außerdem unterbricht das System den Stromfluss zwischen den HV-Komponenten und dem HV-Speicher. Trotz der automatischen Deaktivierung im Falle einer Airbagauslösung sollte die Spannungsfreiheit bei unklarem Deaktivierungsstatus zusätzlich an einer der vom Hersteller vorgesehenen Trennstellen herbeigeführt werden.

Beschädigung von HV-Leitungen oder HV-Komponenten

HV-Leitungen und -Komponenten in Fahrzeugen sind orange und mit Sicherheitswarnzeichen nach ISO 7010-W012 „Warnung vor elektrischer Spannung" gekennzeichnet. Im Allgemeinen dürfen diese Bauteile nicht berührt, geöffnet oder beschädigt bzw. getrennt werden! Das gilt auch nach der Deaktivierung von HV-Komponenten, beispielsweise durch die Nutzung von Trennstellen nach den Angaben im Rettungsdatenblatt. Sind HV-Komponenten in Folge des Unfalles frei zugänglich, abgerissen oder ist die Isolierung beschädigt, dürfen diese nicht berührt werden! Sollten dennoch Arbeiten in diesen Bereichen unvermeidbar sein, sind die beschädigten Teile gemäß IEC 61112[16] elektrisch isolierend abzudecken.

HV-System deaktivieren

Die Deaktivierung des HV-Systems stellt eine der größten Besonderheiten bei Fahrzeugen mit diesen Komponenten dar. Ähnlich wie das Abklemmen der Hilfsbatterie bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben, ist das HV-System zur Reduzierung der Gefährdung von Personen und Einsatzkräften zu deaktivieren. Derzeitig ist bei einigen Herstellern über die Anzeigen an den Armaturen des Fahrzeugs eine Spannungsfreiheit erkennbar. Zwar kann, wie im vorangegangenen Kapitel 3.4.1 beschrieben, bei geöffneten Airbags der Stromkreis vom HV-Speicher zum HV-System über die Schütze unterbrochen sein, dennoch sollte als eine erweiterte Sicherungsmaßnahme das HV-System zusätzlich manuell deaktiviert werden. Hierzu kann nach Möglichkeit das Fahrzeug über den Start/Stopp-Schalter, wenn dieser vorhanden ist, ausgeschaltet werden. Hierbei ist zu beachten, dass nicht bei allen Modellen die Betätigung des Start-/Stopp-Schalters eine sichere Deaktivierung der HV-Komponenten gewährleistet. Eine sicherere Vorgehensweise zur Deaktivierung der HV-Komponenten ist die Nutzung der im Rettungsdatenblatt beschriebenen Trennstellen. Im Falle einer technischen Rettung oder bei einer erheblichen Deformation des Fahrzeugs ist die Trennstelle,

16 DIN EN 61112 VDE 0682-511:2010-03 Arbeiten unter Spannung Elektrisch-isolierende Abdecktücher (IEC 61112:2009); Deutsche Fassung EN 61112:2009

wenn möglich, zu verwenden. Die Restspannung auf den HV-Komponenten baut sich sukzessive ab. Die Sicherheitssysteme, zum Beispiel Airbags, können aber noch aktiv sein. Auch hier variieren die Zeiträume herstellerspezifisch und können in den Rettungsdatenblättern eingesehen werden. Die Varianten und Anzahl an Trennstellen sind fahrzeug-/herstellerabhängig. Aus diesem Grund sollte diese Maßnahme immer unter Nutzung der Informationen des Rettungsdatenblattes durchgeführt werden.

Die Schulung der Einsatzkräfte über mögliche Varianten an Trennstellen sollte bereits bei der Standortausbildung erfolgen. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Trennstellen vorgestellt.

Sicherung entfernen (*low voltage fuse*) 12/24 V

Einige Fahrzeughersteller empfehlen für ihre Fahrzeuge das Entfernen der Sicherungen für die Steuerleitung. In den Rettungsdatenblättern ist die Position im Fahrzeug mit einem Piktogramm, wie in Abbildung 20a dargestellt, zu finden. Die entsprechende Sicherung ist oftmals im Sicherungskasten mit einer Markierung, wie beispielsweise einem Fähnchen, versehen. Diese Trennstelle ist in manchen Fahrzeugen im Bereich der Fahrerkabine oder im Motorraum zu finden.



Abb. 20a Deaktivierung des HV-Systems durch Entfernen der Sicherung oder



Abb. 20b Trennen der Pilotlinie

Steuerleitung durchtrennen (*cable cut*) 12/24 V

Einige Hersteller empfehlen das Durchtrennen der Steuerleitung (Pilotlinie) an einer oder mehreren definierten Stellen mit einem Seitenschneider. Auch die Positionen dieser Trennstellen werden in den Rettungsdatenblättern angegeben. Die Leitungen sind am Fahrzeug ebenfalls mit Piktogrammen oder Fähnchen gekennzeichnet, siehe Abbildung 21.



Abb. 21 Beispiel zur Position und Kennzeichnung der Steuerleitung

Steckverbindung als Trennstelle betätigen (*low voltage*) 12/24 V

Diese Trennstelle ähnelt sehr der Trennstelle *cable cutting*, nur, dass hier keine Leitung durchschnitten, sondern meist ein Stecker für die Leitungsunterbrechung gezogen werden muss. Die Stecker sind oftmals vor dem Ziehen zu entriegeln, wodurch sie gesichert sind und ein Wiedereinstecken nicht möglich ist.

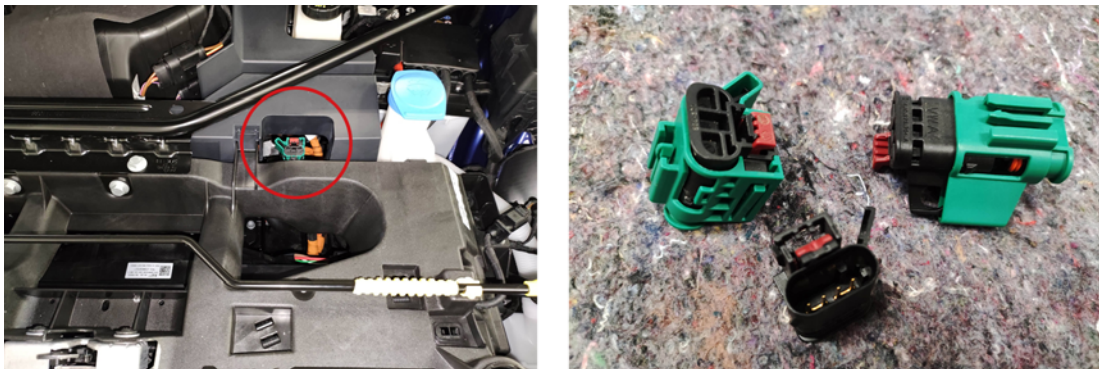


Abb. 22 12/24 V-Stecker als Trennstelle

Hochvolt-Trennstelle (*high voltage service disconnect*)

Die HV-Trennstelle ist im Gegensatz zu den davor beschriebenen Trennstellen ein Stecker, der sich direkt am HV-Speicher befindet. In der Regel wird über die HV-Trennstelle das HV-System im HV-Speicher direkt unterbrochen.

Hinweis: nicht alle Fahrzeughersteller verbauen HV-Trennstellen in ihren Fahrzeugen. Ein Beispiel für solch einen Stecker ist in der Abbildung 23 zu sehen.

Das Betätigen der HV-Trennstelle ist eine Tätigkeit am HV-System, deshalb sind die Regelungen der Fahrzeughersteller abweichend. Die HV-Trennstelle ist nur für Rettungskräfte vorgesehen, wenn diese im Rettungsdatenblatt oder Rettungsleitfaden explizit aufgeführt ist. Außerdem kann bei den HV-Trennstellen eine gesonderte Schutzausrüstung, wie Visier und entsprechend geeignete Handschuhe für Arbeiten an HV-Anlagen notwendig sein, wenn diese im Rettungsdatenblatt durch die

entsprechenden Piktogramme aufgeführt sind. Die erforderliche Ausrüstung für diese Arbeiten ist seit November 2022 als Normbeladung im Verkehrsunfallkasten gemäß DIN 14800-13[17] mit enthalten.



Abb. 23 Beispiel einer HV-Trennstelle (*service disconnect*) zur Deaktivierung des HV-Systems

3.4.3 48 V-Bordnetz

In modernen Fahrzeugen sind eine zunehmende Anzahl elektrischer Verbraucher, unterstützende Elektromotoren und vieles mehr verbaut, was die Anforderungen an das Bordstromnetz steigen lässt. So wird in Fahrzeugen zunehmend das 12 V-Bordnetz von 48 V-Systemen unterstützt. Ein 48 V-Bordnetz besteht aus einem 48 V-Speicher, DC/DC-Wandler und dazu gehörigen Stromleitungen und Verbindungen. 12 V- und 48 V-Bordnetze sind über diesen Spannungswandler miteinander verbunden. Der 48 V-Speicher wird in der Regel ebenfalls als LIB ausgelegt. Damit stellt dieser keine so hohe elektrische Gefahr wie die HV-Speicher dar. Dennoch kann es im Falle einer zu hohen Belastung in diesem Speicher zu einem kritischen Zustand der Zellen kommen, weshalb auch bei diesem System mit einem Thermischen Durchgehen und allen weiteren Folgen zu rechnen ist. Aus diesem Grund ist der Einbauort der 48 V-LIB ebenfalls aus dem entsprechenden Rettungsdatenblatt zu entnehmen.

Erkennen eines 48 V-Bordnetzes

Derzeit gibt es keine einheitliche Darstellung in den Rettungsdatenblättern. Die 48 V-LIB ist im Rettungsdatenblatt in der Regel gelb dargestellt und besonders gekennzeichnet. Die 48 V-Stromleitungen sind bei einigen Fahrzeugherstellern wiederum in der Farbe Blau bzw. Lila gehalten.

Deaktivierung 48 V-Bordnetz

Bei einer Unfallerkennung, beispielsweise bei Auslösung von Airbags, erfolgt in der Regel auch eine Deaktivierung des 48 V-Bordnetzes. Das Abklemmen oder Trennen von 48 V-Leitungen kann zur

17 DIN 14800-13:2020-11 „Feuerwehrtechnische Ausrüstung für Feuerwehrfahrzeuge – Teil 13: Verkehrsunfallkasten“

Entstehung eines Lichtbogens führen. Außerdem können an einigen Komponenten eines 48 V-Systems Spannungen über dem Berührungsschutzgrenzwert von 30 V-Wechselspannung auftreten.

Bei einer manuellen Deaktivierung ist darum folgende Reihenfolge einzuhalten.

1. Zündung ausschalten,
2. Minuspol des 12 V-Energiespeichers abklemmen,
3. die 48 V-LIB gemäß den Vorgaben aus dem Rettungsdatenblatt abklemmen.

Für die Beurteilung des Zustandes einer 48 V-LIB sowie für die Brandbekämpfung gelten die Maßnahmen analog zu HV-Speichern.

3.4.4 Temperaturüberwachung als Mittel zum Erkennen eines möglichen Thermischen Durchgehens im HV-Speicher

Ein HV-Speicher kann nach einem Unfall in einen kritischen Zustand geraten. Deshalb ist bereits in der Erkundungsphase, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, auf die spezifischen Merkmale eines reagierenden HV-Speichers zu achten. Sind keine derartigen Erscheinungen feststellbar, ist eine Temperaturüberwachung über die gesamte Einsatzdauer zu veranlassen. Die Messwerte sind zu dokumentieren. Hierfür wurde ein Temperaturmessprotokoll entwickelt. In der Abbildung 24 ist ein QR-Code für den Download hinterlegt.

Das thermische Durchgehen einer Zelle im HV-Speicher setzt Wärme frei, die zu einem Anstieg der Temperatur im Inneren des HV-Speichers führt. Diese Temperaturerhöhung im Inneren ist aufgrund der starken Kapselung und Isolierung des HV-Speichers erst nach einer Verzögerung an der Oberfläche des Gehäuses feststellbar. Oftmals sind Änderungen der Oberflächentemperaturen als ein Hotspot auf der Oberfläche des Speichers erkennbar, weshalb eine Temperaturüberwachung an mehreren Stellen des Speichers vorzunehmen ist.

Ist eine gleichbleibend hohe Temperatur des HV-Speichers über die Umgebungstemperatur hinaus feststellbar bzw. ist die Temperatur ansteigend, ist von einem kritischen Zustand des Speichers auszugehen.



QR-Code zum Temperaturmessprotokoll der vfdb

Abb. 24 Temperaturüberwachung mit Wärmebildkamera und QR-Code zum Temperaturmessprotokoll der vfdb e.V.

Gefahrenabwehrmaßnahmen in einer Tiefgarage

Die Gefahrenabwehr bei einem Fahrzeug mit HV-Komponenten kann die Einsatzkräfte vor besondere Herausforderungen stellen. Ein Beispiel hierfür ist ein Fahrzeug mit HV-Komponenten, welches sich in einem schwer zugänglichen Bereich, wie einer Tiefgarage, befindet. Wenn ein thermisches Durchgehen des HV-Speichers sehr wahrscheinlich wird, sollte das Fahrzeug aus dem schwer zugänglichen Bereich entfernt werden. Oftmals ist in diesem Fall das HV-System bereits deaktiviert, weshalb ein eigenständiges Bewegen des Fahrzeugs nicht mehr möglich ist. Für diesen Fall können Hilfsmittel, wie z. B. Abschlepphilfen oder Gleitkeile zum Einsatz kommen. Diese Hilfsmittel werden an allen vier Rädern montiert, sodass das Fahrzeug auf befestigten Untergründen verschoben werden kann. Abbildung 25 zeigt ein Beispiel hierzu.



Abb. 25 Eine Möglichkeit für Einsatzkräfte ein nicht mehr fahrfähiges Fahrzeug aus einer baulichen Anlage zu verbringen sind z. B. Rangierhilfen.

Im Freien können die im nachfolgenden Kapitel 3.5 beschriebenen Gefahrenabwehrmaßnahmen einfacher durchgeführt werden.

3.5 Gefahrenabwehr bei einem Fahrzeugbrand mit HV-System

Das Kapitel Gefahrenabwehr baut auf den vorangegangenen Kapiteln auf und befasst sich mit der Brandentwicklung und den Gefahrenabwehrmaßnahmen eines Fahrzeugs mit HV-Komponenten. Somit sind die Informationen aus den vorangegangenen Kapiteln, wie beispielsweise die Beschaffung des Rettungsdatenblattes oder das Sichern des Fahrzeugs, weiterhin zu beachten und besonders im Falle eines Einsatzes ohne feststellbare Reaktion im HV-Speicher oder einer Brandentwicklung des Fahrzeugs, durchzuführen. Auch sollten sich die Einsatzkräfte der Tatsache bewusst sein, dass die Möglichkeit einer Reaktion im HV-Speicher mit oder ohne Brandentwicklung (siehe Kapitel 3.5.3) besteht. Daher müssen umgehend entsprechende Einsatzmittel zur Verfügung stehen.

In diesem Kapitel werden ergänzende Informationen und Handlungsempfehlungen für den Fall, dass das Fahrzeug in Brand geraten könnte oder bereits brennt, vermittelt. Dabei wird zwischen einem Fahrzeugbrand mit bzw. ohne Beteiligung des HV-Speichers unterschieden. Es gilt zu beachten, dass bei einem brennenden Fahrzeug der HV-Speicher aufgrund seiner starken Kapselung nicht zwingend vom Brand betroffen sein muss. Aus diesem Grund ist es notwendig, permanent den Zustand des HV-Speichers hinsichtlich möglicher Reaktionen im Blick zu behalten (siehe Kapitel 3.3).

Allgemeine Maßnahmen

Sollte es zu einer Reaktion im HV-Speicher bzw. zu einem Brand des Fahrzeugs kommen, sind bei der Brandbekämpfung folgende allgemeine Hinweise zu beachten. Die Einsatzkräfte müssen sich vor der Wärmeentwicklung und den Rauchgasen schützen, weshalb die Brandbekämpfung mit vollständiger Schutzausrüstung für die Innenbrandbekämpfung und umluftunabhängigem Atemschutz durchzuführen ist. Entsprechend sollten Personen unter Beachtung der Rauch- und Brandausbreitung aus dem Gefahrenbereich gerettet werden (Sofortrettung). Ist eine Sofortrettung nicht unmittelbar umzusetzen, weil die Person beispielsweise eingeklemmt ist, gilt es, mit allen Mitteln die Person vor den Gefahren zu schützen. In den nachfolgenden Kapiteln werden Beispiele für die Einsatztaktik unterschiedlicher Brandphasen vorgestellt.

Außerdem ist eine ausreichende Löschwasserversorgung sicherzustellen, da es ggf. zu einem erhöhten Löschwasserbedarf kommen kann. Die Brandbekämpfung sollte mind. durch zwei Trupps realisiert werden, wie in der Abbildung 26 dargestellt. Aufgrund der Brandentwicklung kann es zu umherfliegenden Teilen kommen (z. B. Airbags, Gasdruckdämpfer, Reifen oder brennende Leichtmetalle), weshalb die Angriffsrichtung diagonal von der Front und dem Heck des Fahrzeugs gewählt werden sollte. Beide Trupps sollten den Löschangriff zeitgleich durchführen, um den Brand von zwei Seiten effektiv zu bekämpfen. Bei der Brandbekämpfung müssen wegen den verbauten HV-Komponenten die Strahlrohrabstände nach VDE 0132 für Niederspannungsanlagen berücksichtigt werden.

Weiterführende Information enthalten die DGUV Information 205-010 „Sicherheit im Feuerwehrdienst“ und das FBFHB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“.

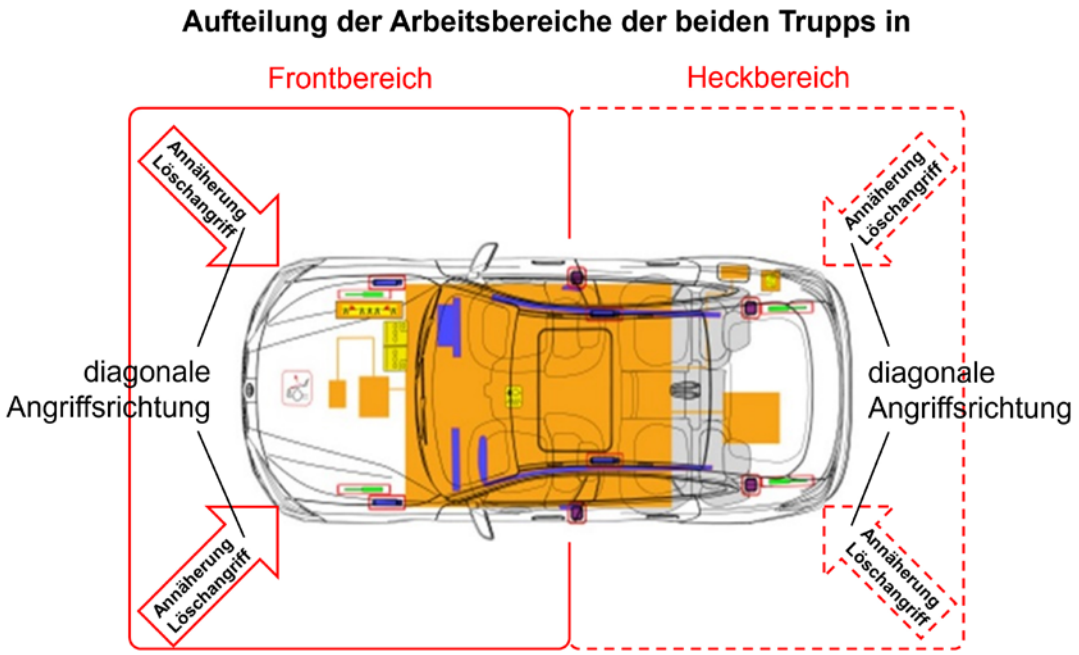


Abb. 26 Mögliche Löschangriffsrichtungen

3.5.1 Maßnahmen bei Fahrzeugbränden ohne Beteiligung des HV-Speichers

Der Brand eines Fahrzeugs mit HV-Komponenten muss nicht zwangsläufig vom HV-Speicher ausgehen. Brandausbreitung durch ein Feuer in der Umgebung, Brandstiftung oder ein technischer Defekt können den Brand initiieren, ohne den HV-Speicher in einen kritischen Zustand zu versetzen. Sollte ein derartiger Fall auftreten, ist ein Löschangriff, vorzugsweise mit Wasser, zu veranlassen.

Beim Löschangriff sind die Strahlrohrabstände nach VDE 0132 für Niederspannungsanlagen zu beachten. Bei einem Ausgangsdruck von 5 bar sind folgende Strahlrohrabstände einzuhalten:

- Sprühstrahlmodus 1 m,
- Vollstrahlmodus 5 m.

Ziel des Löschangriffes ist es, den Fahrzeugbrand so schnell wie möglich zu bekämpfen, um den weiteren Wärmeeintrag in den HV-Speicher und den möglichen Batteriebrand zu unterbinden.

Nach erfolgter Brandbekämpfung ist das Fahrzeug mit seinen HV-Komponenten und die Bordnetzspannung zu deaktivieren.

Um sicherzustellen, dass es in der Folge nicht zu einem thermischen Durchgehen im HV-Speicher kommt, muss eine Temperaturkontrolle an mehreren Stellen des HV-Speichers unter Verwendung einer Wärmebildkamera (alternativ kann auch ein Fernthermometer verwendet werden) durchgeführt werden. Hierbei hat sich bewährt, die Messungen an den festgelegten Stellen alle fünf Minuten über eine Dauer von mindestens 30 Minuten zu wiederholen. Es ist sinnvoll, die Temperaturen an den Messpunkten mittels eines Temperaturmessprotokolls (siehe z. B. QR-Code in der Abbildung 35) zu dokumentieren.

3.5.2 Maßnahmen bei Fahrzeugbränden mit Beteiligung des HV-Speichers

Geht der Brand des Fahrzeugs von einer Reaktion im HV-Speicher aus, durchläuft das Fahrzeug, ohne dass Löschmaßnahmen durchgeführt werden, mehrere Phasen der Brandentwicklung. Die Einsatzkräfte müssen auf die vorgefundene Brandphase und das vorliegende Szenario lageangepasst reagieren. Für vollelektrische Fahrzeuge konnten in einem Forschungsprojekt am Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge (IBK) drei Brandphasen identifiziert werden (Neske, et al., 2025). Einen Überblick über diese möglichen Brandphasen zeigt das nachfolgende Kapitel. Zu beachten ist, dass bei Hybridfahrzeugen die Brandentwicklung, ausgehend vom HV-Speicher, zu Beginn ähnlich verlaufen kann. Spätestens bei der Entzündung von Kraftstoffen überlagern sich die Merkmale des Batteriebrandes und die Brandcharakteristik eines Fahrzeugs mit konventionellem Antrieb.

Eine übersichtliche Zusammenfassung der empfohlenen Maßnahmen bei Lösch- und Rettungsarbeiten an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben enthält die DGUV Information 205-042 „Einsatzgrundsätze bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben“ in Form einer Taschenkarte. Siehe hierzu außerdem Kapitel 7 „Weiterführende Informationen“.

3.5.3 Brandentwicklung eines vollelektrischen Fahrzeugs mit Beteiligung des HV-Speichers

In Versuchen an vollelektrischen Fahrzeugen, bei welchen der Ursprung des Brandes in einem thermischen Durchgehen von Zellen im HV-Speicher lag, konnten insgesamt drei Brandphasen identifiziert werden, die in ihrer zeitlichen Entwicklung sehr unterschiedlich ausfallen können. Wenn keine Brandbekämpfungsmaßnahmen eingeleitet werden, durchläuft der Brand des Fahrzeugs die in der Abbildung 27 dargestellten drei Phasen. Es wurden zwei Referenzversuche durchgeführt, bei denen auf Löschmaßnahmen verzichtet wurde. Die Dauer, bis die Vollbrandphase (Phase 3) abgeschlossen war, lag bei 38 bis 43 Minuten. Die gesamte Abbrandzeit der Fahrzeuge belief sich auf mehr als eine Stunde, weil nach der Vollbrandphase eine langandauernde Abklingphase folgte (Neske, et al., 2025).

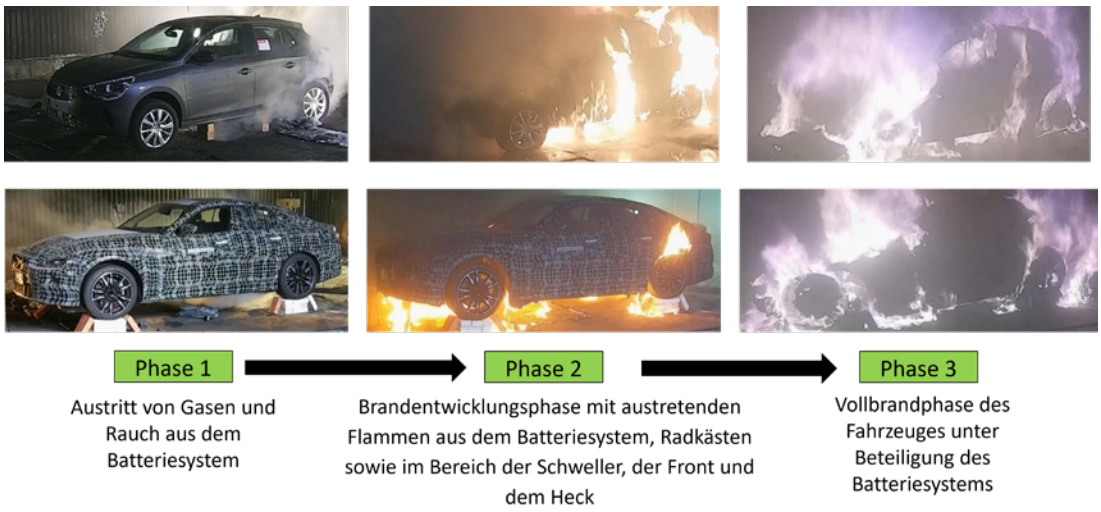


Abb. 27 Brandentwicklung eines vollelektrischen Fahrzeugs[18] – Brandinitial ist das thermische Durchgehen einer oder mehrerer Zellen im HV-Speicher (Neske, et al., 2025)

Phase 1: Ausgasen

Ein reagierender HV-Speicher kann aufgrund der chemischen Vorgänge und der daraus entstehenden Reaktionsprodukte einen hohen Druck in der Zelle bzw. im Batteriegehäuse aufbauen. Aus diesem Grund sind beide, sowohl die Zellen (Pouch-Zellen verfügen über keine Druckentlastungsventile) wie auch das Gehäuse mit Sicherheitsventilen versehen, die sich bei einem Druckanstieg öffnen und die Gase freisetzen. Das Bersten der Ventile ist durch ein ploppendes Geräusch mit anschließendem Zischen des abströmenden Gases akustisch wahrnehmbar. Der Großteil der austretenden Gase ist brennbar (siehe Kapitel 4). Entsprechend kann sich in geschlossenen Räumen (z. B. im Innenraum des Fahrzeugs oder in einer schlecht belüfteten Garage) eine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Außerdem sind einzelne Gaskomponenten ätzend, toxisch oder reizend. Deshalb ist bereits in dieser Phase die Persönliche Schutzausrüstung (PSA) für die Brandbekämpfung im Innenangriff zu tragen, z. B. PSA 12 gemäß DGUV Information 205-014 „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung für Einsätze bei der Feuerwehr“.

Personen müssen aus dem Gefahrenbereich gerettet werden. Ist eine Sofortrettung nicht möglich sind auch hier alle erdenklich möglichen Mittel zum Schutze der Person zu ergreifen. Zum Schutz der Person ist dann die Anwendung einer Fluchthaube unumgänglich. Sollten es die Gegebenheiten an der Einsatzstelle zulassen, kann ein Drucklüfter eingesetzt werden, um die entstehenden Gase/Dämpfe zu verdünnen und die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern. Auch der Einsatz von Sprühstößen kann zweckmäßig sein, um die Ventinggase zu verdünnen und durch Befeuchtung partiell zu inertisieren. Beide Maßnahmen tragen dazu bei, die Belastung aller Personen im Gefahrenbereich durch die entstehenden, potenziell brennbaren Ventinggase zu reduzieren.

18 Die Initiierung des Thermal Runaway wurde für Forschungszwecke vorsätzlich durch einen Metalldorn herbeigeführt.

Aufgrund der Rauchentwicklung, die mit fortschreitender Einsatzdauer zunehmen kann, weil die Reaktionsgeschwindigkeit im HV-Speicher durch die Propagation steigt, ist die Beachtung der Umgebung wichtig. Steht das Fahrzeug beispielsweise in einem geschlossenen Raum, sollte die Bildung einer explosiven Atmosphäre beachtet werden. Auch im Freien kann es zu einer Entzündung der Ventinggase kommen. Die Gefahr der Ansammlung von potenziell explosionsfähigen Gasen/Dämpfen ist im Freien geringer. Es ist jedoch zu beachten, dass der Innenraum des Fahrzeugs in dieser Phase geschlossen sein kann und sich dort durch die Ventinggase eine explosive Atmosphäre bilden kann. Aus diesem Grund sollte bereits zu Beginn des Einsatzes der Innenraum des Fahrzeugs geöffnet werden, um diese Gefahr zu verringern.

Eine Unterbrechung der Reaktion im HV-Speicher ist mit dem Einsatz von Hohlstrahlrohren nur möglich, wenn Öffnungen im Batteriegehäuse entstanden sind oder vom Hersteller oder der Herstellerin für die Löschmitteleinbringung vorgesehen wurden und deren Lage im Rettungsdatenblatt ersichtlich ist. Ansonsten bleibt nur die Möglichkeit, durch das Löschen mit Hohlstrahlrohren die nachfolgenden Brandphasen in ihrer Entwicklung zu behindern oder vollständig zu vermeiden. Die Brandbekämpfung ist abgeschlossen, wenn alle Zellen im HV-Speicher reagiert haben oder die Reaktion selbstständig stoppt. Zu beachten ist, dass die externe Kühlung des Batteriegehäuses mit Löschwasser das Thermische Durchgehen der Zellen bzw. die Propagation nicht stoppt und somit wenig effektiv ist. Zur Feststellung, wann die Brandbekämpfung beendet werden kann, sind Temperaturmessungen am HV-Speicher und die Dokumentation mit einem Temperaturmessprotokoll (siehe Abbildung 35) dringend empfohlen.

Löschhilfen, wie Systeme zur Löschmitteleinbringung, können in begründeten Fällen die Einsatzabarbeitung unterstützen und stellen einen alternativen Weg zur Brandbekämpfung dar, siehe hierzu auch das FBFHB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“. Der Einsatzleitung obliegt die Prüfung, ob diese Hilfsmittel Anwendung bei der Brandbekämpfung finden. Hierbei sind die einschlägigen Fachempfehlungen bzw. Herstellerangaben zu beachten.

Phase 2: Brandentstehungsphase

Die Brandentstehungsphase ist der Zeitraum in der Brandentwicklung eines Elektrofahrzeugs, bei dem sich die aus dem HV-Speicher austretenden Ventinggase entzünden und somit eine Brandausbreitung auf Bestandteile des Fahrzeugs folgt. Entsprechend der Abbildung 26 sind in dieser Phase vereinzelt Flammen im Bereich der Schweller, Radkästen sowie an der Front oder dem Heck des Fahrzeugs zu erkennen. In den Versuchen am IBK Heyrothsberge (Neske, et al., 2025) dauerte diese Phase 10 bis 17 Minuten bis anschließend die Vollbrandphase eintrat. Hierbei ist zu beachten, dass die Brandintensität ohne Löschmaßnahmen schnell (exponentiell) zunimmt.

Die Brandbekämpfung in dieser Phase gestaltet sich ähnlich, wie in der Phase 1. Zu Beginn sind alle brennenden Teile unter Anwendung von Hohlstrahlrohren abzulöschen. Die Versuche am IBK zeigten, dass ein frühzeitiges Löschen der ersten Flammen dazu führt, dass das Fahrzeug nicht in den Vollbrand übergeht. Auf diese Weise wird der Brand auf den HV-Speicher eingegrenzt. In den Versuchen am IBK wurden für die Fortsetzung der Brandbekämpfung des Batteriebrandes die ausschließliche Nutzung von Hohlstrahlrohren und die Verwendung von Systemen zur Löschmitteleinbringungen untersucht. Auf die Ergebnisse wird nachfolgend genauer eingegangen. Während der Brandbekämpfungsmaßnahmen am Fahrzeug besteht in dieser Phase die Gefahr von Flammenschlägen durch die sich entzündenden Ventinggase aus dem HV-Speicher. Sind alle Flammen

abgelöscht, kann es wie in der Phase 1 zum Austritt von Ventinggasen kommen, weshalb in dieser Phase die gleichen Gefahren auftreten können, wie in der Ausgasungsphase (Durchzündung sich ansammelnder Ventinggase).

Taktische Vorgehensweise bei ausschließlichem Einsatz von Hohlstrahlrohren

Die Reaktion im HV-Speicher kann mit Hilfe von Hohlstrahlrohren nur dann beendet werden, wenn über Öffnungen Löschwasser in den Batterietrog eingebracht werden kann. Jedoch sind in dieser Brandphase Öffnungen im Gehäuse des HV-Speichers aufgrund der geringen Brandentwicklung eher unwahrscheinlich. Mit Hilfe der Hohlstrahlrohre sollte deshalb die erneute Brandausbreitung auf das Fahrzeug und die Umgebung verhindert werden. Hierzu werden die austretenden Ventinggase durch kurze Sprühstöße niedergeschlagen oder im Falle von brennenden Ventinggasen abgelöscht. Dadurch wird der Brand auf den HV-Speicher begrenzt. Auftretende Jetflammen in der Brandentstehungsphase sind schwierig zu löschen.

Wie auch in der Phase 1 ist die Brandbekämpfung so lange durchzuführen, bis alle Zellen im HV-Speicher reagiert haben oder die Reaktion selbstständig stoppt. Die Überwachung des HV-Speichers mit Hilfe von Temperaturmessungen und deren Dokumentation ist zu empfehlen, um das Ende der Brandbekämpfung und der Reaktion im HV-Speicher festzustellen.

Die Versuche am IBK Heyrothsberge zeigten, dass unter ausschließlicher Verwendung von Hohlstrahlrohren sich die Einsatzdauer für die Brandbekämpfung in dieser Phase über einen Zeitraum von 63 bis hin zu 86 Minuten erstrecken kann. Die verwendete Löschwassermenge kann bis zu 6.700 l betragen (Neske, et al., 2025). Bei reduziertem Löschwassereinsatz mit sehr kurzen Sprühstößen kann die Löschwassermenge auf bis zu 1.150 l reduziert werden. Die Ergebnisse der beiden Versuche am IBK sind in der nachfolgenden Abbildung 28 dargestellt.

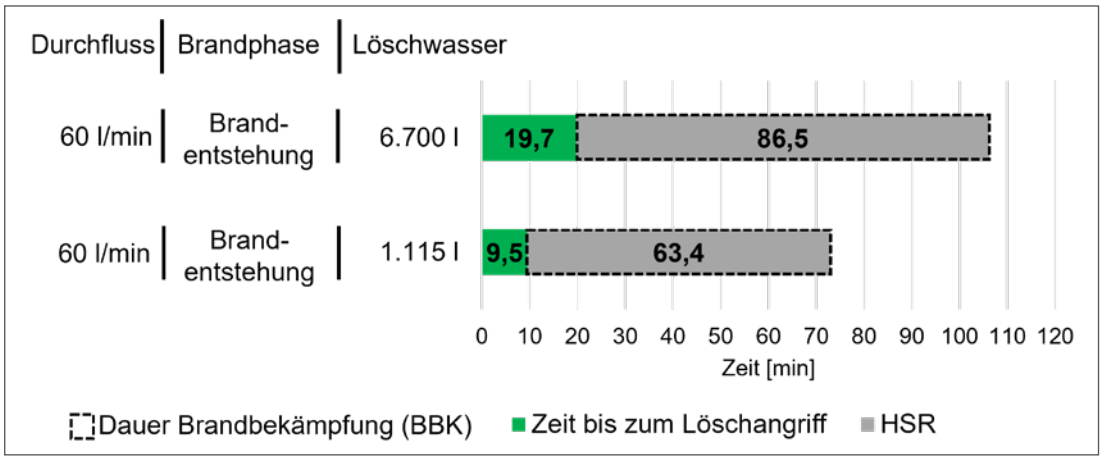


Abb. 28 Einsatzdauer und Löschwassermenge bei ausschließlicher Anwendung von Hohlstrahlrohren in der Brandentstehungsphase von E-Fahrzeugen unter Beteiligung des HV-Speichers

Taktische Vorgehensweise beim Einsatz von Hohlstrahlrohren und Sondereinsatzmitteln zur Löschwassereinbringung in den HV-Speicher

In zwei Versuchen am IBK wurde untersucht, ob Systeme zur Löschwassereinbringung in der Brandentstehungsphase einen größeren Mehrwert haben als die ausschließliche Nutzung von Hohlstrahlrohren. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Einsatzzeiten aufgrund der direkten Kühlung der Zellen im HV-Speicher in der Brandentstehungsphase in beiden Fällen auf ca. 34 min belaufen. Das zur Löschung des Batteriebrandes notwendige Lösch-/Kühlwasservolumen ist bei der Verwendung von Systemen zur Löschwassereinbringung in der Brandentstehungsphase geringer als bei der ausschließlichen Verwendung von Hohlstrahlrohren. Ursache hierfür ist die kurze Nutzung der Hohlstrahlrohre zu Beginn der Brandbekämpfung, um brennende Fahrzeugteile abzulöschen. Das ermöglicht bereits nach wenigen Minuten den Einsatz eines Systems zur Löschmitteleinbringung. Aus diesem Grund konnten in den Versuchen für die Brandbekämpfung von E-Fahrzeugen in der Brandentstehungsphase Löschwassermengen unterhalb von 1.000 l gemessen werden. Die Ergebnisse werden in der Abbildung 29 noch einmal übersichtlich dargestellt.

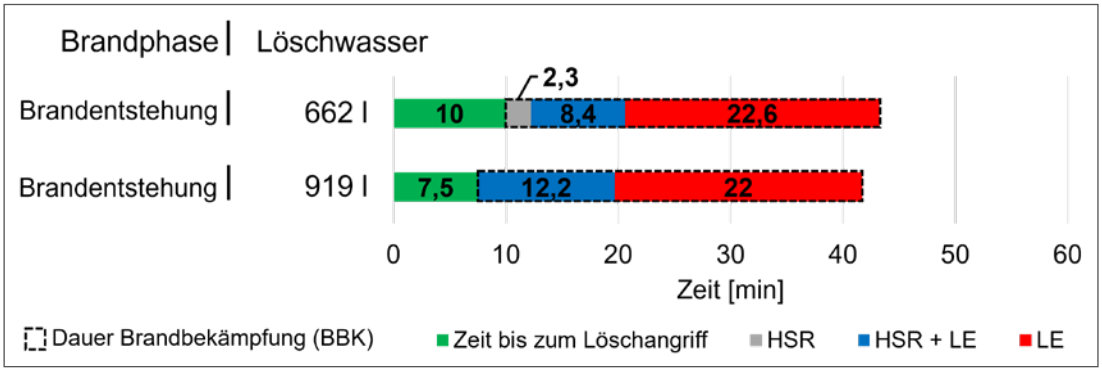


Abb. 29 Einsatzdauer und Löschwassermenge bei der Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren (HSR) und Sonderlöschgerät (LE) zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher an E-Fahrzeugen in der Brandentstehungsphase mit Beteiligung des HV-Speichers.

Phase 3: Vollbrand

Die Vollbrandphase ist daran zu erkennen, dass der Brand auf das gesamte Fahrzeug übergegriffen und die Brandintensität ihr Maximum erreicht hat. Im Falle des Vollbrandes eines Elektrofahrzeugs unter Beteiligung des HV-Speichers ist davon auszugehen, dass beim Eintreffen der Einsatzkräfte bereits ein Teil der Zellen im HV-Speicher unter Flammenbildung reagiert haben. Zudem sollte damit gerechnet werden, dass aufgrund des Thermofeedbacks sowie der Entwicklungsdauer des Brandes viele der Zellen im HV-Speicher bereits thermisch aufbereitet sind. Folglich werden sich diese Zellen am Brand beteiligen.

Die Vorgehensweise bei der Brandbekämpfung in der Vollbrandphase sieht vor, den Fahrzeugbrand unter Nutzung zweier zeitgleich agierender Trupps zu löschen Die Messdaten aus den Versuchen am IBK zeigen, dass die Brandintensität des Fahrzeugbrandes sehr schnell zurückgeht.

Unter Beachtung der Strahlrohrabstände kann sich dem brennenden Fahrzeug genähert und Löschmaßnahmen bzw. zusätzliche Löschhilfen, wie Einsatzmittel zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher oder Brandbegrenzungsdecken gezielt angewendet werden.

Nachfolgend werden mögliche Einsatztaktiken mit unterschiedlichen Einsatzmitteln vorgestellt und die Vor- bzw. Nachteile dieser Einsatzmittel anhand von Messdaten aus dem Forschungsprojekt des IBK verdeutlicht (Neske, et al., 2025).

Taktische Vorgehensweise bei ausschließlichem Einsatz von Hohlstrahlrohren

Nach der Bekämpfung des Fahrzeugbrandes (Interieur und Exterieur) wird empfohlen, die Bekämpfung des Batteriebrandes mit zwei Trupps und zwei Hohlstrahlrohren (HSR) durchzuführen. Hauptaufgabe der beiden Angriffstrupps ist es, die aus dem HV-Speicher austretenden Gase mit wenigen Sprühstößen und wenig Wasser zu verdünnen oder bei Entzündung zu löschen. Auf diese Weise soll eine Brandausbreitung auf das Fahrzeug und eine erneute Brandentwicklung in die Vollbrandphase verhindert werden. Diese Vorgehensweise ist so lange beizubehalten, bis alle Zellen im HV-Speicher ausreagiert sind oder über entstandene Öffnungen eingebrachtes Wasser den Batteriebrand gelöscht hat. Die Vorgehensweise ist mit Wartezeiten bei beiden Trupps verbunden, weil zwischen dem thermischen Durchgehen einzelner Zellen mehrere Minuten vergehen können. Charakteristisch für die Reaktion einer Zelle ist das Auslösen des Überdruckventils durch ein ploppendes Geräusch mit anschließendem Zischen aufgrund der Gasfreisetzung.

Zusätzlich zur Unterdrückung der austretenden Gase bzw. Flammen aus dem HV-Speicher, können beide Trupps unter Verwendung einer Wärmebildkamera nach Öffnungen im HV-Speicher suchen. Sollten Öffnungen vorhanden sein, kann über diese Wege versucht werden, durch Sprühstöße auf die Öffnung, gezielt Wasser in den HV-Speicher einzubringen. Die Versuche am IBK haben gezeigt, dass dadurch eine Unterbrechung des thermischen Durchgehens im HV-Speicher möglich aber nicht garantiert ist. Außerdem sind solche Schäden am Gehäuse des HV-Speichers aufgrund der massiven Bauweise eher selten bzw. schwer zu finden.

Die beschriebene Vorgehensweise wird unter Verwendung zweier Trupps empfohlen, die sich, wie in Abbildung 26 dargestellt, am Fahrzeug aufteilen können. Es konnte im Rahmen des Forschungsprojektes am IBK Heyrothsberge bei einem Versuch gezeigt werden, dass die Brandbekämpfung mit nur einem Trupp ebenfalls möglich ist. Jedoch ist die Umsetzung der Brandbekämpfung in diesem Fall erheblich kräftezehrender, weil der Trupp auf alle Gasaustritte und Flammen über das gesamte Fahrzeug reagieren muss und entsprechende Laufstrecken zu überwinden hat. Außerdem ergeben sich dadurch höhere Reaktionszeiten des einen Trupps auf austretende Flammen aus dem HV-Speicher, weshalb eine Brandausbreitung auf Fahrzeugteile sowie auf benachbarte brennbare Objekte nicht ausgeschlossen werden kann.

Abbildung 30 zeigt eine Übersicht der ermittelten Löschzeiten und die verbrauchten Löschwassermengen bei der Brandbekämpfung an im Vollbrand[19] befindlichen Fahrzeugen mit HV-Komponenten, bei denen ausschließlich Hohlstrahlrohre eingesetzt wurden. Es ist ersichtlich, dass die maximale Einsatzzeit bei etwa 35 min lag. Wenn die Durchflussrate an beiden Hohlstrahlrohren konstant bei 60 l/min eingestellt war, betrug der Löschwasserverbrauch maximal 1.550 l. Bei höheren Durchflussraten je Strahlrohr ergab sich eine Löschwassermenge von 6.000 l, was verdeutlicht, dass ein Großteil des eingesetzten Wassers nicht lösch-/kühlwirksam wurde. (Neske, et al., 2025)

19 Der Brand im HV-Speicher war ursächlich für den Fahrzeugbrand.

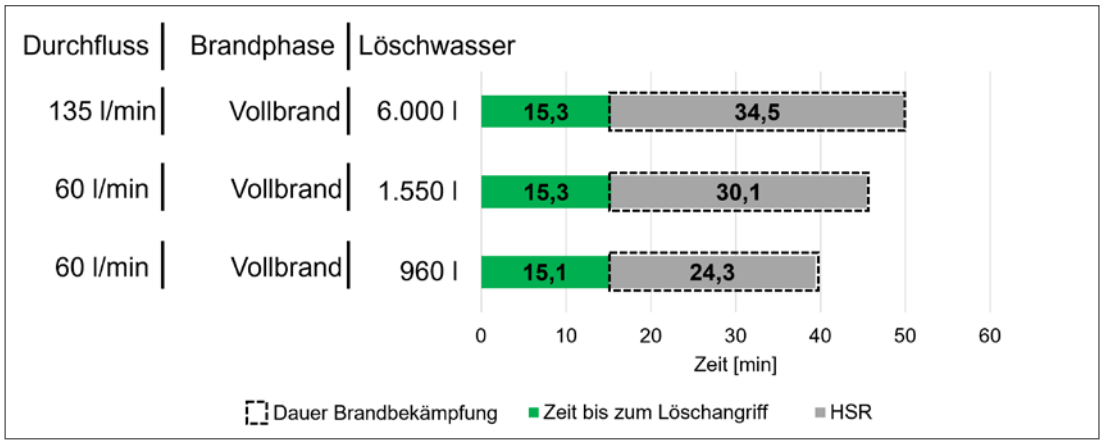


Abb. 30 Einsatzdauer und Löschwassermenge bei Anwendung von Hohlstrahlrohren bei Vollbränden von E-Fahrzeugen unter Beteiligung des HV-Speichers (Neske, et al., 2025)

Taktische Vorgehensweise bei Einsatz von Hohlstrahlrohren und Sondereinsatzmitteln zur Löschwassereinbringung in den HV-Speicher

Steht den Einsatzkräften ein Sonderlöschgerät zur Löschmitteleinbringung (LE) in den HV-Speicher zur Verfügung, kann dieses nach dem Ablöschen des peripheren Fahrzeugbrandes durch einen zusätzlichen Trupp zum Einsatz gebracht werden. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Trupp in der Handhabung des Sonderlöschgerätes ausgebildet sein muss. Andernfalls können Fehler in der Handhabung auftreten, die zu schwerwiegenden Folgen führen können, da die Systeme direkt in den HV-Speicher eingetrieben werden. Der zusätzliche Trupp muss sich für die Anwendung des Sonderlöschgerätes dem Fahrzeug nähern, weshalb die anderen beiden Trupps diesen mit ihren Hohlstrahlrohren vor möglichen austretenden Flammen aus dem HV-Speicher schützen. Die Abbildung 31 zeigt ein entsprechendes Taktikschema.

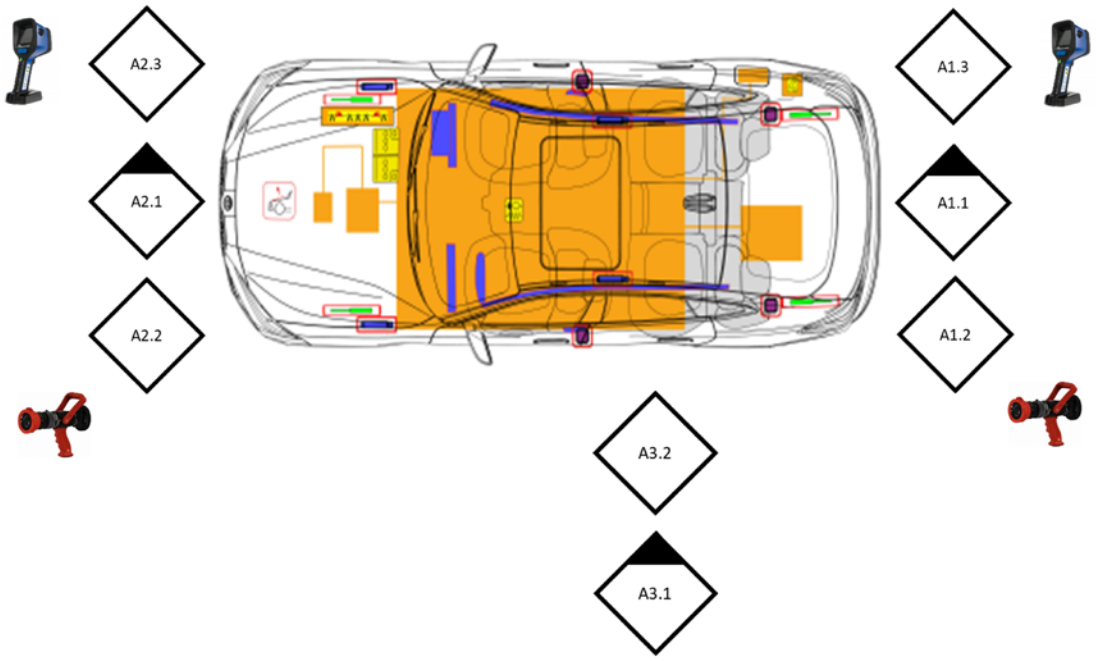


Abb. 31 Taktik bei Einsatz eines Sonderlöschgerätes zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher (Neske, et al., 2025)

Unmittelbar nach dem ersten Einsatz des Sonderlöschgerätes kommt es oftmals kurzfristig zu einer Steigerung der Intensität an austretenden Gasen und Flammen, weil das sich im HV-Speicher befindende Gas durch die Löschwassereinbringung verdrängt wird. Danach sorgt die Kühlwirkung des Löschwassers im HV-Speicher zu einer Reduzierung an Gasproduktion und Flammenbildung. Die Ausbreitung der Reaktion bzw. die Aufbereitung weiterer Zellen wird auf diese Weise effektiv unterbunden, solange über das Sonderlöschgerät kontinuierlich Wasser in den HV-Speicher eingebracht wird.

Der zusätzliche dritte Trupp kann sich in den meisten Fällen nach sicherer Anwendung des Sonderlöschgerätes zurückziehen. Die beiden anderen Trupps sollten in dieser Phase mögliche kleinere Brände am Fahrzeug löschen oder bei Reaktion von Zellen den Gasaustritt niederschlagen.

Insgesamt stellt sich die Brandbekämpfung eines E-Fahrzeugs nach Anwendung des Sonderlöschgerätes und der Einbringung von Löschwasser in den HV-Speicher weniger kräftezehrend dar als die ausschließliche Brandbekämpfung mit Hohlstrahlrohren. Die Kräfte können entsprechend der Lage auf nur noch einen Trupp zur Überwachung reduziert werden. Auch die Durchflussrate an Löschwasser über das Sonderlöschgerät kann je nach Situation angepasst werden. Die Messdaten aus den Versuchen am IBK zeigen bzgl. der Einsatzzeit und der benötigten Löschwassermenge keinen Vorteil beim Einsatz eines Sonderlöschgerätes zur Löschwassereinbringung im Vergleich zum ausschließlichen Einsatz von Hohlstrahlrohren. Ursache hierfür ist die lange Laufzeit des Sonderlöschgeräts, bis ein sicherer Zustand im HV-Speicher erreicht wird. Die Messdaten für die Versuche sind in der Abbildung 32 dargestellt.

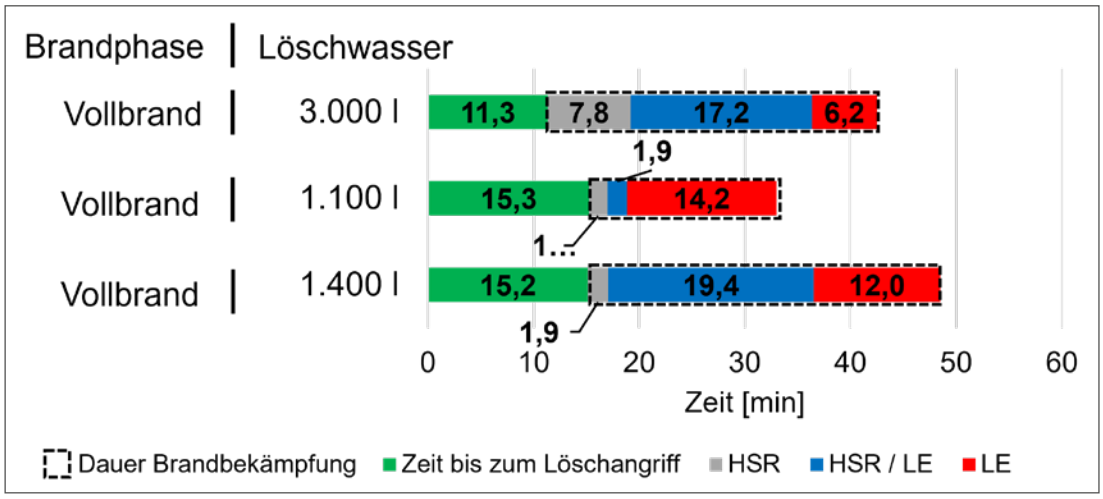


Abb. 32 Einsatzdauer und Löschwassermenge bei der Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohre (HSR) und Sonderlöschgerät (LE) zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher an E-Fahrzeugen im Vollbrand mit Beteiligung des HV-Speichers (Neske, et al., 2025)

Taktische Vorgehensweise bei Einsatz von Hohlstrahlrohren und Brandbegrenzungsdecke

Der Einsatz einer Brandbegrenzungsdecke kann von der Einsatzleitung in Abhängigkeit der vorliegenden Lage angeordnet werden. Bei der Einsatzentscheidung muss berücksichtigt werden, dass eine Brandbegrenzungsdecke (BBD) den Batteriebrand, aufgrund fehlender Kühlwirkung in Ermangelung von Wasser nicht löscht, sondern lediglich eingrenzt. Im Forschungsprojekt am IBK kamen bei zwei Versuchen mit brennenden HV-Speichern je eine Brandbegrenzungsdecke zum Einsatz (Neske, et al., 2025). Die BBD kamen jeweils zum Einsatz, als die anwesenden Einsatzkräfte den peripheren Fahrzeugbrand soweit abgelöscht hatten, dass die BBD unter Wahrung der Eigensicherheit über dem Fahrzeug platziert werden konnten. Während der Anwendung der BBD über dem Fahrzeug ist deutlich geworden, dass über den gesamten Einsatzzeitraum durch weitere Reaktion der Zellen im HV-Speicher brennbare Gase freigesetzt wurden. In der Abbildung 33 ist die Freisetzung der Gase bei Anwendung einer Brandbegrenzungsdecke im Brandraum des IBK über einen Zeitraum von fast 13 Minuten in einer Bildfolge zu erkennen.

Achtung!

Die freigesetzten brennbaren Gase können sich beim Einsatz einer BBD darunter ansammeln und z. B. in geschlossen oder engen Räumen zu einer gefährlichen explosiven Atmosphäre führen. Sollte die Einsatzleitung die Verwendung einer BBD in Betracht ziehen, muss die Einsatzlage einen sicheren Umgang mit den entstehenden brennbaren Gasen ermöglichen. Die Einsatztaktik ist unter Berücksichtigung der Explosionsgefahr anzupassen.

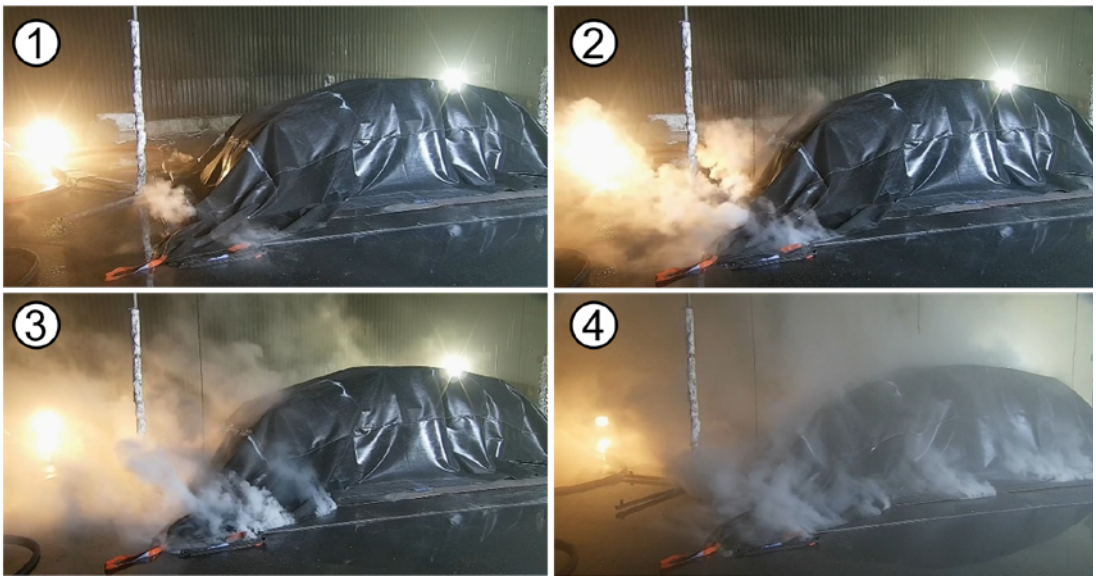


Abb. 33 Gasfreisetzung im Brandraum des IBK bei Anwendung einer Brandbegrenzungsdecke an einem Fahrzeug mit HV-Komponenten und aktiven Reaktionen im HV-Speicher (Neske, et al., 2025)

Neben der verstärkten Produktion von Gasen muss außerdem mit einer verlängerten Einsatzzeit gerechnet werden. Im Vergleich zur Brandbekämpfung mit Hohlstrahlrohren, die ca. 35 min andauerte, waren die Einsatzkräfte bei beiden Versuchen mit Verwendung von BBD bis zu 50 min tätig. Der Vorteil der Anwendung der BBD ist der geringe Wasserverbrauch, da nach dem Ablöschen des Fahrzeugbrandes und dem Platzieren der Decke über dem Fahrzeug, kein Löschmittel mehr zum Einsatz kam. Lediglich nach dem Abnehmen der BBD könnte der Einsatz von Löschwasser unter Anwendung von HSR notwendig sein, um den kurzzeitig wiederentflammenden Brand zu löschen. In der Abbildung 34 sind die Einsatzzeiten und Löschwassermengen aus den Versuchen des IBKs ersichtlich. In den unteren Messdaten ist zu sehen, dass die BBD zu früh vom Fahrzeug genommen wurde und es zu einer Wiederentzündung kam, weshalb der Einsatz von HSR vor dem nochmaligen Positionieren der BBD notwendig war.

Brandbegrenzungsdecken gemäß DIN SPEC 91489:2024-04 sind keine aktiven Löschmittel. Sie sind für die proaktive Brandbegrenzung vorgesehen und sollen bei HV-Speichern von Elektrofahrzeugen, bei welchen die Gefahr eines Thermischen Durchgehens nicht auszuschließen ist, die Ausbreitung eines Feuers und die damit verbundene Rauch- und Wärmeentwicklung auf die Umgebung temporär begrenzen. Ein Anwendungsfall ist zum Beispiel das prophylaktische Abdecken eines verunfallten Elektrofahrzeugs während der Lagerung auf einer Quarantänefläche[20] eines Bergeunternehmens.

20 Siehe z. B. hier https://www.vda.de/de/aktuelles/publikationen/publication/technische-quarant-nefl-chen-f-r-besch-digte-fahrzeuge-mit-lithium-ionen-batterien#publication-title

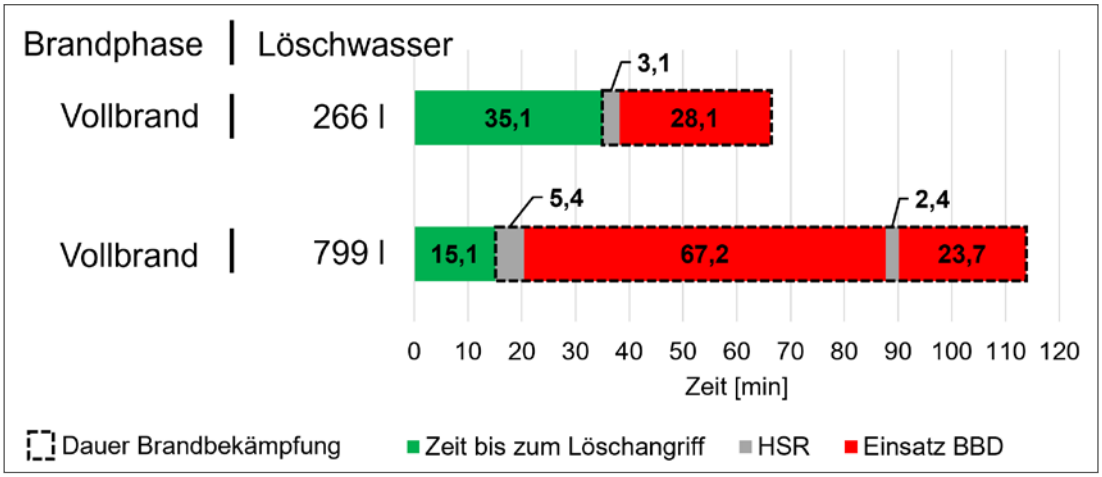


Abb. 34 Einsatzdauer und Löschwassermenge bei der Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren (HSR) und Brandbegrenzungsdecke (BBD) an Fahrzeugen im Vollbrand mit Beteiligung des HV-Speichers (Neske, et al., 2025)

Zusammenfassung der Wirksamkeit von Sonderlöschgeräten

Alle vorgestellten Einsatzmittel (Hohlstrahlrohre und Systeme zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher) besitzen Vor- und Nachteile bei der Brandbekämpfung von Fahrzeugen mit HV-Speichern, sind aber für diese Aufgabe als geeignet zu bewerten. Entscheidend ist, dass die Einsatzleitung Kenntnisse über die erforderlichen Voraussetzungen für die Verwendung von Sonderlöschgeräten und deren Eigenschaften besitzt, um auf die möglichen Nachteile vorbereitet zu sein. Eine der wichtigsten Voraussetzungen stellt die Ausbildung der Einsatzkräfte an diesen Gerätschaften dar. Die Anwendung der Systeme zur Löschmitteleinbringung muss geschult und trainiert werden, sonst kann es zu Fehlern kommen, woraus sich zusätzliche Gefahren im Einsatz entwickeln können. Allein die Tatsache, dass sich ein Trupp bei beiden Systemen zur Löschmitteleinbringung über einen gewissen Zeitraum dem betroffenen Fahrzeug nähern muss, birgt bereits zusätzliche Gefahren. Daher ist es sinnvoll, dass der Trupp mit dem Sonderlöschgerät durch einen zweiten Trupp mit Hohlstrahlrohr geschützt wird.

Ist das betroffene Fahrzeug mit einer Ladeinfrastruktur verbunden, sind die Sonderlöschgeräte zur Löschmitteleinbringung in den HV-Speicher nicht anzuwenden!

Neben diesen einsatzbezogenen Voraussetzungen für die Verwendung von Sonderlöschgerätschaften sind bei der Anschaffung noch weitere Punkte zu beachten. Dazu zählt zum einen der bereits erwähnte zusätzliche Aufwand für eine regelmäßige Aus- und Fortbildung am Standort. Zum anderen benötigen die Gerätschaften Wartung und Pflege. Insbesondere nach einem Einsatz stellen die Sonderlöschgerätschaften einen nicht zu unterschätzenden Aufwand bzgl. deren Reinigung dar. Die Sonderlöschgeräte werden im Einsatzfall einer hohen Belastung und Kontamination mit Gefahrstoffen, aufgrund des unmittelbaren Einsatzes am brennenden Fahrzeug oder HV-Speicher, ausgesetzt.

Die Verwendung von Hohlstrahlrohren als Standardeinsatzmittel zur Brandbekämpfung ist auch an Fahrzeugen mit HV-Komponenten immer möglich. Hohlstrahlrohre sind auf jedem Löschfahrzeug vorhanden und jede Einsatzkraft wird bereits in der Grundausbildung in der Handhabung eines Hohlstrahlrohres geschult. Auch bei der Anwendung von Hohlstrahlrohren sind

sicherheitsrelevante Aspekte zu beachten, wie beispielsweise die Einhaltung der Sicherheitsabstände in Abhängigkeit des jeweils verwendeten Sprühmodus des Hohlstrahlrohres. Die Brand- und Löschversuche am Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge haben nur wenige Nachteile im Vergleich zu den Sonderlöschgeräten gezeigt, wohingegen viele Vorteile für die Anwendung der Hohlstrahlrohre sprechen.

3.5.4 Elektrofahrzeuge im oder unter Wasser

Durch Umwelteinflüsse oder ein unvorhersehbares Schadensereignis kann es vorkommen, dass sich Elektrofahrzeuge im Wasser, bzw. schlimmstenfalls sogar unter Wasser befinden.

Der HV-Speicher ist dicht geschlossen und weitestgehend **wasserdicht** verbaut und es besteht kein erhöhtes Stromschlagrisiko. Zahlreiche Sicherungen des HV-Systems sorgen für einen hohen Grad an Sicherheit. Sollte sich beispielsweise eine HV-Leitung lösen und mit der Karosserie in Kontakt kommen, ist ein berühren der Karosserie durch Einsatzkräfte weiterhin möglich. Dennoch ist bei Wasserschäden die Frage zu stellen: Wie weit das Wasser am oder ins Fahrzeug vorgedrungen ist? Besonders Kabeldurchführungen im Innern des Fahrzeugs stellen in diesen Einsatzlagen die Schwachstellen dar.

Elektrische und elektronische Bauelemente sind in den Fahrzeugen je nach Einbauposition unterschiedlich gegen Feuchtigkeit abgesichert. Grundsätzlich sind diese Bauteile gegen den Eintritt von Wasser geschützt, beispielsweise durch Regen, Waschanlage oder Hochdruckreinigung. Für die einzelnen Bauteile gibt es entsprechende Vorgaben der Schutzklassen, die davon abhängen, ob sich ein Bauteil in einem Nassbereich, IP-Spritzwasserbereich oder im Innenraum befindet. Es gilt auch hier, dass sobald das Fahrzeug eine relevante Abweichung im Isolationswiderstand des HV-Systems erkennt, der HV-Speicher mit Schützen vom Fahrzeug getrennt und das Gesamtsystem, mit Ausnahme des HV-Speichers, stromlos geschaltet wird.

Die HV-Speicher selbst befinden sich in einem geschlossenen Gehäuse (siehe Kapitel 2.3), so dass von außen kein Wasser eindringen kann. Sollte sich ein Elektrofahrzeug nach einem Unfallereignis in einem Gewässer unterhalb der Wasseroberfläche befinden, kann es dennoch vorkommen, dass Wasser eindringt, was unter Umständen zu lokalen Kurzschlüssen in den HV-Komponenten führen kann. Die Folgen können von einer Erwärmung von Zellen, bis hin zum thermischen Durchgehen reichen.

Bergung des Fahrzeugs

Die Bergung eines solchen Fahrzeugs sollte möglichst so erfolgen, dass es in einer Schräglage gezogen oder gehoben wird. Auf diese Weise kann Wasser aus dem Fahrzeug entweichen. Anschließend erfolgt eine manuelle Deaktivierung des HV-Systems nach Vorgabe des Rettungsdatenblattes.

Vor dem Anschlagen des Fahrzeugs sollte geprüft werden, ob das Batteriegehäuse durch diese Maßnahme nicht zusätzlich beschädigt wird.

Nachdem das Fahrzeug aus dem Gewässer gezogen bzw. gehoben wurde, folgt die Temperaturüberwachung des HV-Speichers. Hierfür kann das Temperaturmessprotokoll der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. verwendet werden (siehe Abbildung 24 und Anlage 6.1).

4 Spezifische Schadstoffe bei Bränden von HV-Speichern

Im Grunde treten bei Bränden mit Elektro- und Hybridfahrzeugen ähnliche Schadstoffe auf, welche auch bei Fahrzeugbränden mit konventionellen Antrieben frei werden.

Grundsätzlich gilt, dass austretende Gase aus dem HV-Speicher und der Brandrauch bei brennenden Fahrzeugen, unabhängig welche Antriebsart vorliegt, äußerst gesundheitsschädigend sind. Die brennbaren Gase können sich in schlecht belüfteten Räumen, wie z. B. Fahrzeuginnenräumen, ansammeln und zu einem zündfähigen Gas-Luft-Gemisch führen.

Unter Beachtung dieser Eigenschaften der austretenden oder produzierten Gase sind die Einsatzkräfte zur Gefahrenabwehr mit vollständiger Schutzausrüstung für die Innenbrandbekämpfung und umluftunabhängigem Atemschutz auszurüsten. Eine Ausbreitung von Feuer und Rauch sollte verhindert und die Reaktionsprodukte ggf. verdünnt/niedergeschlagen werden. Es sind die oben erläuterten Empfehlungen für die taktische Vorgehensweise in Abhängigkeit der Brandphase des Fahrzeugs zu beachten (siehe Kapitel 3).

In diesem Kapitel soll ein kurzer Überblick über die bei havarierten Fahrzeugen mit HV-Komponenten auftretenden gasförmigen, flüssigen und festen Schadstoffe gegeben werden. Entsprechend der auftretenden Schadstoffe ist immer auch die Einsatzstellenhygiene zu beachten. Im Zusammenhang mit der Brandbekämpfung bei Fahrzeugen mit HV-Komponenten werden am Ende dieses Kapitels auch Empfehlungen für die Reinigung der Ausrüstung gegeben.

4.1 Messung gefährlicher Stoffe

Neben den üblicherweise bei Oxidationsprozessen auftretenden Rauchgasen, wie z. B. CO, CO_2, Cyanwasserstoff, Chlorwasserstoff, Stickoxide, Ammoniak, Benzol etc., treten insbesondere bei Fahrzeugen mit HV-Komponenten Gefahr- und Schadstoffe, wie z. B.:

- Fluorverbindungen (aus den Leitsalzen), z. B. Fluorwasserstoff (HF) und dessen Vorstufen und Zwischenprodukte, wie POF_2 und COF_2,
- Organische Carbonate (aus den Elektrolyten), z. B. Dimethylcarbonat und Diethylcarbonat sowie
- Wasserstoff und
- Schwermetallverbindungen, unter anderem aus Nickel und Cobalt

auf.

Die Zusammensetzung der Brand-/Zersetzungsprodukte ist davon abhängig, ob eine Freisetzung mit oder ohne Verbrennung vorliegt. Die Masseanteile sind darüber hinaus stark von der verwendeten Zellchemie und dem Ladezustand abhängig. Nur wenige Inhaltsstoffe sind mit den bei Feuerwehren verfügbaren Messgeräten qualitativ oder quantitativ zu bestimmen. Mit Hilfe von Prüfröhrchen können z. B. Verbindungen, wie Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Ammoniak und Benzol quantitativ bestimmt werden. Der Einsatz solcher Messgeräte und -methoden sollte jedoch auf Einsatzszenarien in geschlossenen Räumen, wie (Tief-)Garagen und Tunnel beschränkt werden. Bei derartigen Szenarien sollte außerdem ein Messsystem zum Ausschluss explosionsfähiger Atmosphären verwendet werden. In diesem Zusammenhang ist besondere Vorsicht beim Austreten von Zersetzungsprodukten infolge des Thermischen Durchgehens geboten, wenn sich die freigesetzten Verbindungen im weiteren Verlauf nicht unmittelbar am Fahrzeug entzünden. Hier herrscht die akute Gefahr einer Rauchgasdurchzündung/-explosion.

4.2 Schadstoffe in den Rauch- und Ventinggasen

Insbesondere während der Freisetzung des Batterieinhaltes (ohne Branderscheinung) infolge des thermischen Durchgehens von Zellen kann mit der Bildung von Lachen gerechnet werden. Durch die zum Teil leicht flüchtigen Inhaltsstoffe muss von einer raschen Verdampfung ausgegangen werden. Ausgenommen hiervon sind die bei der Konfektionierung der Batteriezellen/-module verwendeten Kunststoffe (brennendes Abtropfen im Brandfall). In den meisten Fällen resultiert diese Lache aber aus dem Austritt des Kühlmediums aus dem HV-Speicher.

Ansonsten ist mit durch Metalle kontaminierten toxischen Stäuben (vornehmlich Schwermetallverbindungen im Zusammenwirken mit Ruß) zu rechnen.

4.3 Schadstoffe im Lösch- und Kühlwasser

Bei der Betrachtung der Schadstoffe im Lösch- bzw. dem Kühlwasser muss zwischen dem verwendeten Wasser für die direkte Brandbekämpfung unter Anwendung von Einsatzmitteln wie Hohlstrahlrohre oder Sondergeräte (fließender Wassereinsatz) und der Behälterlösung für das Tauchen eines Fahrzeugs unterschieden werden.

Lösch-/Kühlwasser fließend

Lösch- und Kühlwässer, welche bei Maßnahmen zur Bekämpfung des Primärbrandes (Fahrzeuginnenraum) anfallen, treten nur in begrenztem Umfang mit den aus dem Batteriesystem austretenden Brand-/Zersetzungsgasen und –dämpfen des HV-Speichers in Kontakt. Sie sind aufgrund von Verdünnungseffekten weniger stark mit batteriespezifischen Schadstoffen belastet. Die Kontaminationen resultieren vor allem aus dem partiellen Auswaschen saurer Gase, wie Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff und Cyanwasserstoff. Der pH-Wert der entstehenden Lösch-/Kühlwässer liegt tendenziell im leicht sauren Bereich. Darüber hinaus treten im Lösch-/Kühlwasser in geringem Umfang gelöste Brandfolgeprodukte, wie z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe auf. Diese entstehen allerdings sowohl im Prozess des Primärbandes im Fahrzeuginnenraum als auch bei Brand/Zersetzung der Inhaltsstoffe des HV-Speichers. Durch die Verwendung von Schwermetallen, wie Nickel, Cobalt, Mangan, bei der Herstellung von Batteriezellen, treten diese auch im Löschwasser auf.

Wie bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben ist eine mögliche Kontamination von Löschwasser zu beachten und eventuelle Folgemaßnahmen einzuleiten (z. B. Informieren der zuständigen Fachbehörde).

Kühlwasser bei Behälterlösungen

Werden havarierte Fahrzeuge mit HV-Komponenten in mit Wasser befüllte Abrollbehälter verbracht, tritt Wasser in die Traktionsbatterie ein. Auf diese Weise kommt es zum Herausspülen von Inhaltsstoffen. Durch den direkten Kontakt der Batterie mit dem umgebenden Wasser und der längeren Kontaktzeit erhöhen sich die Schadstoffkonzentrationen um ein Vielfaches (ca. um den Faktor 10) im Vergleich zur äußerlichen Applikation von Lösch-/Kühlwasser. Die Schadstoffkonzentrationen

sind unter anderem abhängig von der Menge des eingesetzten Kühlwassers im Behälter. Die Zunahme der Kühlwassermenge führt im Allgemeinen zu abnehmenden Konzentrationen auf Grund der Verdünnung. Zu beachten ist, dass die Konzentrationen mit steigender Verweilzeit im mit Wasser befüllten Behälter wieder ansteigen kann. Wegen dem hohen Lithium-Anteil muss mit pH-Werten im basischen Bereich gerechnet werden (pH-Werte von 10–12). Weiterhin treten hohe Schwermetallkonzentrationen auf. Durch den direkten Kontakt des Wassers mit dem HV-Speicher und dem Fahrzeug im Allgemeinen, ist das Lösch-/Kühlwasser durch Kohlenwasserstoffe (vornehmlich organische Carbonate aus dem Elektrolyten), Schwermetalle und sonstigen organischen Betriebsstoffen kontaminiert.

Das Lösch-/Kühlwasser ist einer fachgerechten Entsorgung zuzuführen.



Das Lagern von Elektrofahrzeugen in wassergefüllten Behältern sollte nur im absoluten Ausnahmefall erfolgen!

4.4 Einsatzstellenhygiene für Einsatzkräfte und Ausrüstung

Die chemische Zusammensetzung der Kontaminationen (gas-/dampfförmig, flüssig und fest) ist, neben den ohnehin bei herkömmlichen Fahrzeugbränden auftretenden Schadstoffen, wesentlich von der Zellchemie der Batterien abhängig. Die daraus resultierenden Gefährdungen werden davon bestimmt, ob die aus einer Batterie austretenden Stoffe und Verbindungen im Zuge der Freisetzung verbrennen oder ob sie unverbrannt vorliegen. Dies berührt folglich die chemische Zusammensetzung des Lösch-/Kühlwassers und der Brandfolgeprodukte.

Die Grobreinigung von mit Brandrückständen verschmutzten (z. B. Staub, Ruß, schwerflüchtige Gefahrstoffe) Geräten und Ausrüstungsgegenständen, wie Wärmebildkameras, Knickkopflampen, Feuerwehrhelmen und Funkgeräten sollte mit reichlich Wasser-/Tensid-Gemisch erfolgen. Im Bedarfsfall kann eine gezielte Feinreinigung gemäß Herstellerangaben erforderlich werden.

Textile PSA-Komponenten sind gemäß den Herstellerangaben zu waschen. Kontaminierte Kleidung ist, wie nach jedem Brandeinsatz, zu reinigen. Weitere Dekontaminationsmaßnahmen sind nach aktuellem Erkenntnisstand nicht erforderlich. Im Übrigen sind die allgemeinen Vorgaben zur Einsatzstellenhygiene nach der DGUV Information 205-035 „Hygiene und Kontaminationsvermeidung bei der Feuerwehr“ zu beachten.

5 Übergabe der Einsatzstelle

Besonders bei Einsätzen unter Beteiligung eines mechanisch oder thermisch beschädigten HV-Speichers treten Fragen auf, die nicht mehr so einfach zu beantworten sind. Diese können beispielsweise wie folgt lauten:

- Wann wird eine Einsatzstelle übergeben?
- An wen kann die Einsatzstelle übergeben werden?
- Unter welchen Bedingungen und/oder Grenzwerten können Fahrzeuge mit havarierten HV-Speichern möglichst sicher übergeben werden?
- Wie sieht die Einsatzstellenübergabe aus und welche Informationen müssen übermittelt werden?

5.1 Rechtsgrundlagen der Einsatzstellenübergabe

Grundsätzlich wird eine Übergabe der Einsatzstelle notwendig, wenn:

- keine Zuständigkeit der Feuerwehr besteht,
- Wechsel der Einsatzleitung/nachrückender Führungskräfte ansteht und
- die Zuständigkeit der Feuerwehr beendet ist, auch wenn noch weitere Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung oder aufgrund des Schadensereignisses schutzlose private Rechte bestehen (Fischer, 2017).

Bestehen noch weitere Gefahren, die nicht von der Feuerwehr abgewehrt werden können, hat sie eine Hinweis- und Warnpflicht (Fischer, 2017).

Mit der Übergabe der Einsatzstelle geht die Verantwortung der Einsatzstelle oder des Einsatzobjektes (z. B. abgebrannter PKW) auf die übernehmende Person über.

Die Übergabe beinhaltet:

- vorgefundene Lage,
- durchgeführte Maßnahmen,
- Hinweis auf weitere Gefahren (keine Zuständigkeit der Feuerwehr) und
- Erklärung über die Beendigung der Arbeit der Feuerwehr.

Potenzielle weitere Gefahren bzw. Sicherheitshinweise sollten der übernehmenden Person daher eindeutig und ausdrücklich verständlich gemacht werden. Es wird empfohlen, dies zu dokumentieren.

5.2 Übernehmende

Die Einsatzstelle bzw. das verunfallte/in Brand geratene Kraftfahrzeug kann an folgende Dritte übergeben werden:

- Polizei,
- Qualifizierte Berge-/Abschleppunternehmen,
- Fahrzeughalter bzw. Fahrzeughalterin oder
- Hersteller.

5.3 Dokumentation des Einsatzes

Nach FwDV 100 müssen Einsatzleitungen ihre Einsatzstellen dokumentieren, sobald sie ihre Arbeit aufgenommen haben.

Dokumentation ist das Erfassen, Sammeln, Ordnen und Aufbewahren von Informationen und Sachverhalten, die für den Einsatz zum Zwecke des Nachweises des verantwortlichen Handelns, der Information und zur späteren Auswertung wesentlich sind.

Besonderheiten mit HV-Speichern

Aufgrund der verlängerten Rückzündungsgefahr bzw. einer potenziellen Brandgefahr nach einer mechanischen Beschädigung, stellt sich die Frage ab wann diese „sicher“ übergeben werden können.

Zeigten LIB Anzeichen einer Temperaturerhöhung/chemischen Reaktion oder sind diese bereits in Brand geraten, ist es sinnvoll, sie nach der Brandbekämpfung mittels Temperaturmessungen über einen längeren Zeitraum zu überwachen und die Werte zu protokollieren.

Die derzeitig empfohlene Handlungsanweisung im Umgang mit HV-Speichern wird im Kapitel 3 beschrieben. Ein Temperaturmessprotokoll kann über den QR-Code in der Abbildung 24 eingesehen werden. Im Anhang 6.1 ist ein beispielhaftes Messprotokoll abgebildet.

Aus dem Vorschriften- und Regelwerk der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V. (DGUV e.V.) sowie aus den Technischen Regelwerken der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., ergeben sich für die Einsatzstellenübergabe Empfehlungs- und Handlungsanweisungen.

5.4 Einsatzstellenübergabe nach einer Brandbekämpfung

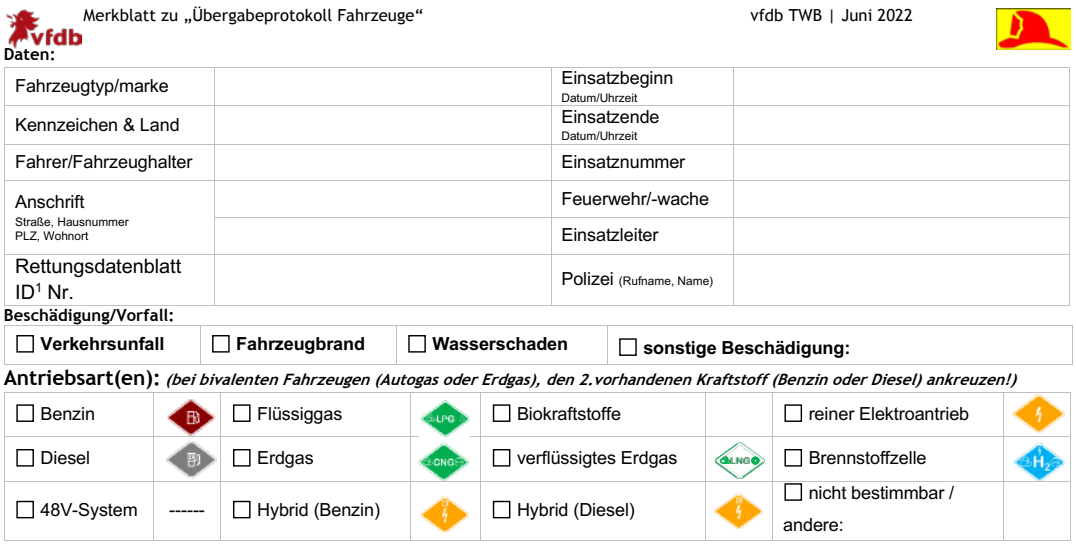
Durch mechanische oder thermische Einwirkung beschädigte LIB in Fahrzeugen, die keine Anzeichen für einen fortbestehenden Brand innerhalb der Batterien zeigen, sollten mit Sicherheitshinweisen an den Berge-/Abschleppdienst übergeben werden.

Folgende Beispiele von Sicherheitshinweisen für den Übernehmenden sind empfehlenswert:

- Empfehlung auf eine ordnungsgemäße Verwahrung (gemäß Herstellervorgabe).
- Das Fahrzeug ist im Freien und isoliert von anderen Fahrzeugen abzustellen (Gefahr einer Brandausbreitung).
- Das Fahrzeug soll nach Möglichkeit vor Witterungseinflüssen geschützt werden, z. B. durch Abdecken mit einer Plane.
- Der HV-Speicher (bzw. das Fahrzeug) sollte am Abstellplatz (gemäß Herstellervorgabe) gekennzeichnet werden.
- Ggf. gegen „Wiedereinschalten“ sichern.
- Geltende Sicherheitsvorschriften der Hersteller (HV-Speicher und -Anlage) beachten.
- Es geht weiterhin von dem Batteriespeicher/Fahrzeug eine potenzielle Brandgefahr aus.

- Es sollte der Fahrzeughersteller bzw. einer seiner Servicepartner kontaktiert bzw. informiert werden, damit der betroffene HV-Speicher sachgerecht ausgebaut, entladen und transportiert werden kann. Für beschädigte HV-Speicher können besondere Vorschriften, z. B. gemäß ADR[21] gelten.

Übersichtlich zusammengefasst sind diese Sicherheitshinweise z. B. im Übergabeprotokoll des Referat 6 der vfdb e.V., welches in der Anlage 6.2 zu finden ist oder über den QR-Code in der Abbildung 35 heruntergeladen werden kann.



Merkblatt zu „Übergabeprotokoll Fahrzeuge“ vfdb TWB | Juni 2022

Daten:

Fahrzeugtyp/marke		Einsatzbeginn Datum/Uhrzeit	
Kennzeichen & Land		Einsatzende Datum/Uhrzeit	
Fahrer/Fahrzeughalter		Einsatznummer	
Anschrift Straße, Hausnummer PLZ, Wohnort		Feuerwehr/-wache	
		Einsatzleiter	
Rettungsdatenblatt ID[1] Nr.		Polizei (Rufname, Name)	

Beschädigung/Vorfall:

☐ **Verkehrsunfall**	☐ **Fahrzeugbrand**	☐ **Wasserschaden**	☐ **sonstige Beschädigung:**

Antriebsart(en): ***(bei bivalenten Fahrzeugen (Autogas oder Erdgas), den 2.vorhandenen Kraftstoff (Benzin oder Diesel) ankreuzen!)***

☐ Benzin		☐ Flüssiggas		☐ Biokraftstoffe		☐ reiner Elektroantrieb	
☐ Diesel		☐ Erdgas		☐ verflüssigtes Erdgas		☐ Brennstoffzelle	
☐ 48V-System	------	☐ Hybrid (Benzin)		☐ Hybrid (Diesel)		☐ nicht bestimmbar / andere:	

QR-Code zum Übergabeprotokoll der vfdb

Abb. 35 Einblick in das Übergabeprotokoll und QR-Code zum Download des Übergabeprotokolls der vfdb e.V.

Auch für den Fall einer mechanischen Beschädigung oder der Flutung des Fahrzeugs durch Überschwemmung, den Sturz in einen Bach/Kanal o. Ä. ist das Übergabeprotokoll anwendbar, damit keine einsatzrelevanten Sicherheitshinweise übersehen werden. Das Übergabeprotokoll wird unabhängig vom Antrieb bei jeder Einsatzstelle unter Beteiligung von Kraftfahrzeugen ausgefüllt und dient der Einsatzleitung als entsprechender Handlungsleitfaden.

Das Übergabeprotokoll enthält wesentliche Einsatzdokumentationen, z. B.:

- Alle einsatzrelevanten Daten des Kraftfahrzeugs, Fahrzeughalter, vor Ort befindliche weitere Behörden, wie z. B. die Polizei sowie zur Einsatzstelle (z. B. Ort, Uhrzeit, Dauer).
- Art der Beschädigung (z. B. Verkehrsunfall, Fahrzeugbrand, Flutung),
- Antriebsart,
- Betriebszustände (z. B., ob die Zündung sich ausschalten lässt, ausgelöste Rückhaltesysteme, Anzahl und Lage von 12 V-Batterien),
- Angaben zu vorhandenen/nicht vorhandenen Betriebsmitteln und -Speichersystemen (z. B. Austritt von Betriebsstoffen, Ladezustand der HV-Batterie),
- Angaben zu Druckgasbehältern (wenn vorhanden),
- Angaben bei Betätigung von Trennstellen bei einem Fahrzeug mir HV-Speicher.

21 Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)

Als Hilfestellung sind in dem Protokoll Grafiken mit eingearbeitet. Hier hat man die Möglichkeit wichtige Informationen festzuhalten bzw. Gefährdungen (z. B. nicht ausgelöster Airbag) zu kennzeichnen.

Das Dokument kann an der Einsatzstelle von der Einsatzleitung unter dem Beisein der übernehmenden Person zweifach ausgefüllt und unterschrieben werden. Eine Ausfertigung verbleibt bei der Feuerwehr, die zweite Ausfertigung erhält die übernehmende Person.

5.5 Einsatzstellenübergabe nach einem Verkehrsunfall

In der vfdb-Richtlinie 06/04 „Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen“ wird auf folgendes hingewiesen:

Was ist beim Verladen eines Elektro-/Hybrid-Fahrzeugs nach einem Unfall zu beachten?

Achtung: Hinweise dazu sind der Betriebsanleitung des Fahrzeugs bzw. dem Rettungsdatenblatt zu entnehmen.

Vor dem Verladen sollte das HV-System deaktiviert sein (z. B. Zündung ausschalten, ggf. vorhandene Trennstelle nutzen, 12 V Batterie abklemmen). Bei der Übergabe an eine Behördenvertretung oder ein Bergeunternehmen sind die Antriebsart des Fahrzeugs und die erfolgten Feuerwehrmaßnahmen (z. B. HV-Deaktivierung) mitzuteilen. Insbesondere ist auf eine mögliche Gefährdung durch beschädigte HV-Komponenten oder mit Wasser in Berührung gekommene HV-Komponenten (z. B. Stromschlag oder Brandrisiko, auch zeitlich verzögert, durch den HV-Speicher) hinzuweisen.

Auch hierzu kann das Übergabeprotokoll der vfdb e.V. verwendet werden, um keine relevanten Informationen zu vergessen.

6 Anlagen

6.1 Temperaturmessprotokoll für beschädigte Energiespeicher (Auszug) Merkblatt 06/13 der vfdb e.V.

2 Temperaturmessprotokoll für beschädigte Energiespeicher

Das Protokoll ist auszufüllen, wenn eine Annahme auf Beschädigung des Speichers besteht, Anzeichen einer thermischen/chemischen Reaktion o.ä. bestehen oder wenn der Speicher bereits gebrannt hat:

Durchführung:
Die Temperaturmessung (z.B. mittels WBK, Fernthermometer, Temperaturmesssonde) des Energiespeichers wird über einen Zeitraum von mindestens 30 min. (nach erfolgter Brandbekämpfung) z.B. alle 5 min. (lageabhängig anpassen) an min. 3 verschiedenen Messpunkten (MP) durchgeführt:

	Kontrollmessung (Werte in °C)											
	Uhr[1]	+	min	+	min	+	min	+	min	+	min	+ min
MP 1	°C		°C		°C		°C		°C		°C	°C
MP 2	°C		°C		°C		°C		°C		°C	°C
MP 3	°C		°C		°C		°C		°C		°C	°C

[ ] weitere Messwerte siehe Anlage ____

Zeichnen Sie im nachfolgenden Raster eine Skizze vom betroffenen Speicher, aus dem die Messpunkte sowie die Lage der erkundeten Druckentlastungsventile hervorgehen, ein. (48V-Speicher kann aufgrund geringer Größe entfallen[2]):

Wichtig:
- Bei der Messung geht es nicht um eine absolute Temperaturmessung, sondern lediglich um die qualitative Veränderung. Bei der Messung sollten immer die gleichen Messpunkte gewählt werden.
- Messpunkte sollten auf der gesamten Fläche verteilt sein. Wenn ein stetiger, deutlich über der Außentemperatur liegender Temperaturanstieg feststellbar ist, besteht weiterhin die konkrete Gefahr einer erneuten Entzündung. Daher ist der Energiespeicher erneut mit Wasser für ca. **10 min** zu kühlen und danach die Temperaturüberwachung fortzusetzen.
- Energiespeicher bzw. deren Überdruckventile (Druckentlastungsventile) auf (Rauch-)/Gasaustritt beobachten. Gasaustritt mit Sprühstrahl niederschlagen, bei vorhandener Gefahr ggf. Brandbekämpfungsmaßnahmen am Druckentlastungsventil einleiten.

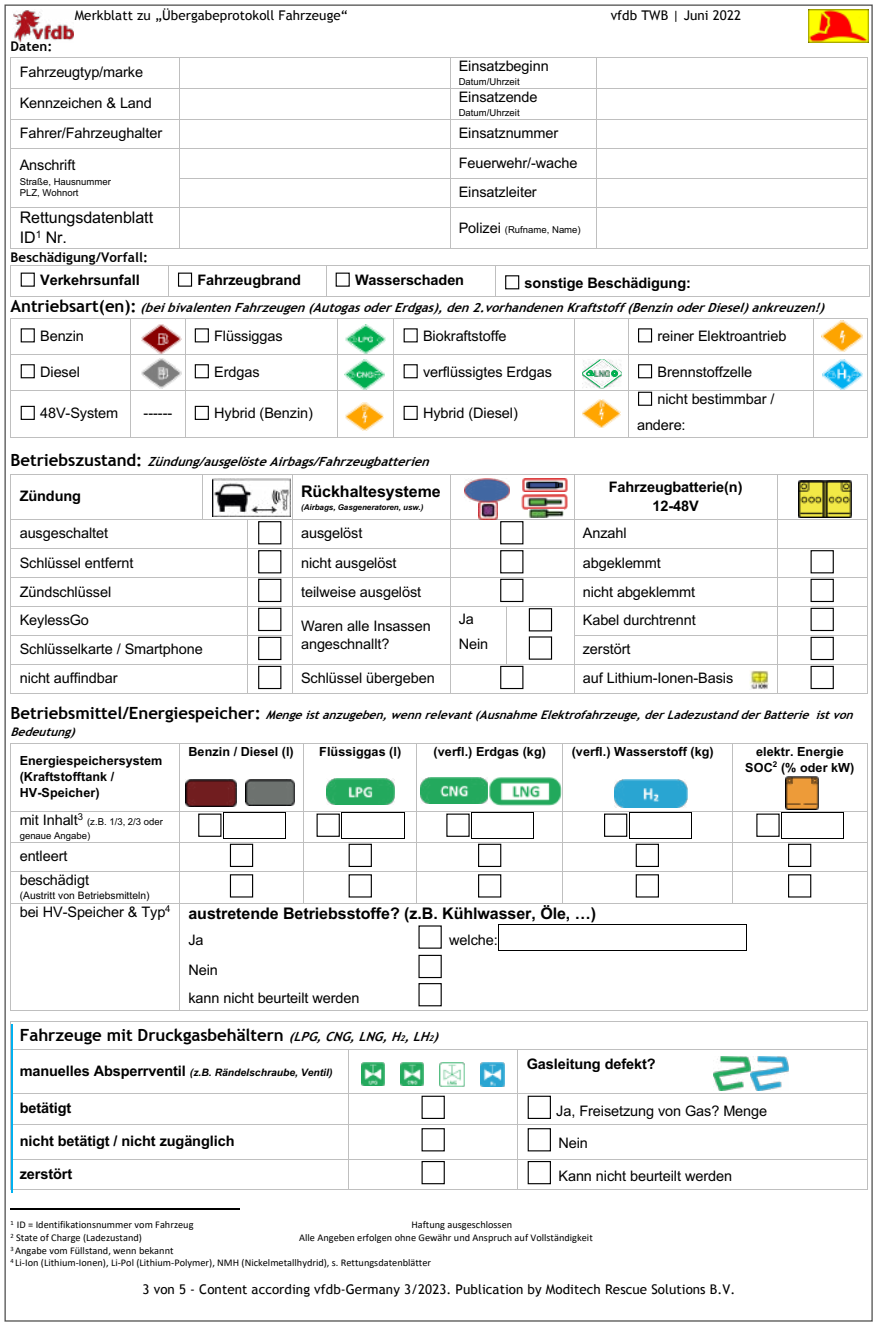
Haftung ausgeschlossen
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit

[1] Startuhrzeit
[2] Als Ergänzung können Fotos für die Dokumentation hilfreich sein

3 von 5 - Content according vfdb-Germany 3/2023. Publication by Moditech Rescue Solutions B.V.

Abb. 36 Auszug aus dem Merkblatt 06/13 der vfdb e.V.

6.2 Übergabeprotokoll Fahrzeuge (Auszug) Merkblatt 06/12 der vfdb e.V.



Merkblatt zu „Übergabeprotokoll Fahrzeuge“ vfdb TWB | Juni 2022

Daten:

Fahrzeugtyp/marke		Einsatzbeginn Datum/Uhrzeit	
Kennzeichen & Land		Einsatzende Datum/Uhrzeit	
Fahrer/Fahrzeughalter		Einsatznummer	
Anschrift Straße, Hausnummer PLZ, Wohnort		Feuerwehr/-wache	
		Einsatzleiter	
Rettungsdatenblatt ID[1] Nr.		Polizei (Rufname, Name)	

Beschädigung/Vorfall:

☐ **Verkehrsunfall** ☐ **Fahrzeugbrand** ☐ **Wasserschaden** ☐ **sonstige Beschädigung:**

Antriebsart(en): *(bei bivalenten Fahrzeugen (Autogas oder Erdgas), den 2.vorhandenen Kraftstoff (Benzin oder Diesel) ankreuzen!)*

☐ Benzin		☐ Flüssiggas		☐ Biokraftstoffe		☐ reiner Elektroantrieb	
☐ Diesel		☐ Erdgas		☐ verflüssigtes Erdgas		☐ Brennstoffzelle	
☐ 48V-System	------	☐ Hybrid (Benzin)		☐ Hybrid (Diesel)		☐ nicht bestimmbar / andere:	

Betriebszustand: *Zündung/ausgelöste Airbags/Fahrzeugbatterien*

Zündung		**Rückhaltesysteme** *(Airbags, Gasgeneratoren, usw.)*		**Fahrzeugbatterie(n) 12-48V**	
ausgeschaltet	☐	ausgelöst	☐	Anzahl	
Schlüssel entfernt	☐	nicht ausgelöst	☐	abgeklemmt	☐
Zündschlüssel	☐	teilweise ausgelöst	☐	nicht abgeklemmt	☐
KeylessGo	☐	Waren alle Insassen angeschnallt?	Ja ☐	Kabel durchtrennt	☐
Schlüsselkarte / Smartphone	☐		Nein ☐	zerstört	☐
nicht auffindbar	☐	Schlüssel übergeben	☐	auf Lithium-Ionen-Basis	☐

Betriebsmittel/Energiespeicher: *Menge ist anzugeben, wenn relevant (Ausnahme Elektrofahrzeuge, der Ladezustand der Batterie ist von Bedeutung)*

Energiespeichersystem (Kraftstofftank / HV-Speicher)	**Benzin / Diesel (l)**	**Flüssiggas (l)**	**(verfl.) Erdgas (kg)**	**(verfl.) Wasserstoff (kg)**	**elektr. Energie SOC[2] (% oder kW)**
		LPG	CNG LNG	H_2	
mit Inhalt[3] (z.B. 1/3, 2/3 oder genaue Angabe)	☐	☐	☐	☐	☐
entleert	☐	☐	☐	☐	☐
beschädigt (Austritt von Betriebsmitteln)	☐	☐	☐	☐	☐
bei HV-Speicher & Typ[4]	**austretende Betriebsstoffe? (z.B. Kühlwasser, Öle, …)**				
	Ja ☐ welche:				
	Nein ☐				
	kann nicht beurteilt werden ☐				

Fahrzeuge mit Druckgasbehältern *(LPG, CNG, LNG, H_2, LH_2)*

manuelles Absperrventil *(z.B. Rändelschraube, Ventil)*		**Gasleitung defekt?**
betätigt	☐	☐ Ja, Freisetzung von Gas? Menge
nicht betätigt / nicht zugänglich	☐	☐ Nein
zerstört	☐	☐ Kann nicht beurteilt werden

[1] ID = Identifikationsnummer vom Fahrzeug
[2] State of Charge (Ladezustand)
[3] Angabe vom Füllstand, wenn bekannt
[4] Li-Ion (Lithium-Ionen), Li-Pol (Lithium-Polymer), NMH (Nickelmetallhydrid), s. Rettungsdatenblätter

Haftung ausgeschlossen
Alle Angeben erfolgen ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit

3 von 5 - Content according vfdb-Germany 3/2023. Publication by Moditech Rescue Solutions B.V.

Abb. 37 Auszug aus dem Merkblatt 06/12 der vfdb e.V.

7 Weiterführende Informationen

- Forschungsbericht und Videoreihe „Löschen von Elektrofahrzeugen“ des IBK Heyrothsberge, einzusehen unter:
  https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/forschungstaetigkeit/e-mobilitaet
  oder direkt:



- Fachempfehlung Elektrofahrzeuge der ABGF, 2021:
  https://www.agbf.de/downloads-fachausschuss-vorbeugender-brand-und-gefahrenschutz/category/28-fa-vbg-oeffentlich-empfehlungen?download=356:2021-01-fachempfehlung-elektrofahrzeuge
- Video: Brandbekämpfung bei Lithium-Ionen-Akkus
  https://www.youtube.com/watch?v=j-nzZjU8mEs
- Video: Elektromobilität – Eine Herausforderung für Einsatzkräfte
  https://www.youtube.com/watch?v=uYBG2cjT8Tk&t=8s
- Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen, Merkblatt 06–04 der vfdb e.V.
- Lithium-Ionen-Batterien, Merkblatt 10–17 der vfdb e.V.
- Elektromobilität – aber sicher!
  Informationen der AG „Handlungsrahmen Elektromobilität“ der DGUV
- Handlungsempfehlung zum Bergen, Abschleppen und Transportieren von verunfallten Elektrofahrzeugen; Information des VDA, 2025
  https://www.vda.de/dam/jcr:2f308b92-2301-4044-a61c-c84a21c06f86/251201_Handlungsempfehlung.pdf

Literaturverzeichnis

DGUV Vorschriften- und Regelwerk

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

DGUV Informationen

- DGUV Information 203-052 „Elektrische Gefahren an der Einsatzstelle“
- DGUV Information 205-010 „Sicherheit im Feuerwehrdienst“
- DGUV Information 205-035 „Hygiene und Kontaminationsvermeidung bei der Feuerwehr“
- DGUV Information 209-093 „Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen“

Normen und Richtlinien

Bezugsquelle: DIN Media GmbH, Am DIN-Platz, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

- DIN EN 15090:2012-04. 2012. Schuhe für die Feuerwehr; Deutsche Fassung EN 15090:2012. Berlin: Beuth-Verlag, 04 2012.
- DIN VDE 0132 VDE 0132:2018-07. 2018. Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen. Berlin: VDE-Verlag GmbH.
- ISO 17840-4:2018-05. 2018. Straßenfahrzeuge – Informationen für Ersthelfer und Rettungskräfte – Teil 4: Identifizierung der Antriebsart. [Norm] Berlin: Beuth Verlag, 5 2018.

Weitere Quellen und Empfehlungen

- Fachbereich AKTUELL FBFHB-024: Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien bei Fahrzeugbränden. 2023 Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien bei Fahrzeugbränden. 2023
- Fragen und Antworten zur Elektromobilität, FAQ-Liste Handlungsrahmen Elektromobilität, DGUV 2025. https://www.dguv.de/fb-holzundmetall/sg/fahrzeug/mechatronik/faq/index.jsp
- ADAC. 2023. Die Rettungskarte zum Download. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., 20.122023. https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/unfall-schaden-panne/rettungskarte/.
- Bisschop, Roeland, et al. 2019. Fire Safety of Lithium-Ionen Batteries in Road Vehicles. RISE Research Institutes of Sweden AB. Boras: s.n., 2019.ISBN:978-91-88907-78-3.
- Fischer, Ralf. 2017. Rechtsfragen beim Feuerwehreinsatz. s.l.: Kohlhammer Verlag, 2017.
- KBA. 2023. Neuzulassungen von Personenkraftwagen (Pkw) im Jahresverlauf 2023 nach Marken und alternativen Antriebe. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 2023. Pressemitteilung Nr. 46/2023.
- Neske et al. 2025. Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher – Untersuchungen zum taktischen Mehrwert gegenüber anderen Löschtechniken und -taktiken bei Vollbränden (Teilschritt 1 – Berichtsnummer 210) und Entstehungsbränden (Teilschritt 2 – Berichtsnummer 216). Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge. Heyrothsberge: s.n., 2025. Forschungsbericht Nr. 210/216. ISSN 170-0060Heyrothsberge: s.n., 2022. Forschungsbericht Nr. 210. ISSN 0170-0060.
- Opel Automobile GmbH, Rettungsdatenblatt Opel Mokka-B electric, ab Baujahr 2020. Stand: 03/2021

- Opel Automobile GmbH, Rettungsdatenblatt Opel Astra-L Hybrid, ab Baujahr 2021. Stand: 05/2022
- Opel Automobile GmbH, Rettungsdatenblatt Opel Vivaro-C electric fuel cell, ab Baujahr 2021. Stand: 11/2021
- Staatliche Feuerwehrschule Würzburg. 2023. Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns – Alternativ angetriebene Fahrzeuge, Würzburg, Bayern.
- Thermoelectrics goes E-Mobility – Wärmemanagement der Lithium-Ionen-Batterie. Jänsch, Daniel, et al. 2010. s.l.: Haus der Technik, 2010. 7te Tagung Wärmemanagement des Kraftfahrzeugs (incl. Energiemanagement).
- VDA. Unfallhilfe & Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen.
- vfdb-06/01 Technische-medizinische Rettung nach Verkehrsunfällen. Münster: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2020.
- vfdb-06/12 Übergabeprotokoll Fahrzeuge. Münster: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2023. Merkblatt.
- vfdb-06/13 Temperaturmessprotokoll für beschädigte Energiespeicher. Münster: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2023.

Mitwirkende an der Publikation

Die vorliegende DGUV Information entstand im Rahmen einer Arbeitsgruppe zahlreicher Feuerwehrschulen, Forschungsinstitute und weiteren Einrichtungen mit dem Ziel eine bundesweite Lehrunterlage zu diesem Thema für die Einsatzkräfte der deutschen Feuerwehren zu erstellen. Die Arbeitsgruppe hat beschlossen, diese Lehrunterlage auch in Form einer DGUV Information zur Verfügung zu stellen.

An der Erstellung der bundesweiten Lehrunterlage bzw. der inhaltsgleichen DGUV Information haben mitgewirkt:

- Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg
- Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen
- Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
- Berliner Feuerwehr- und Rettungsdienstakademie
- Staatliche Landesfeuerwehrschulen Bayern
- Hessische Landesfeuerwehrschule
- Feuerwehr- und Rettungsdienstakademie der Branddirektion Frankfurt am Main
- Landesamt für Brand- und Katastrophenschutz Rheinland-Pfalz
- Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzschule Sachsen
- Feuerwehrakademie Hamburg
- Landesfeuerwehrschule Schleswig-Holstein
- Landesschule für Brand- und Katastrophenschutz Mecklenburg-Vorpommern
- Landesschule für Brand- und Katastrophenschutz Brandenburg
- Thüringer Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzschule
- Feuerwehrschule Bremen
- Landesfeuerwehrschule Saarland
- Fachbereich Feuerwehren, Hilfeleistungen, Brandschutz (FB FHB) der DGUV e.V.
- Sachgebiet Feuerwehren & Hilfeleistungsorganisationen im FB FHB der DGUV e.V.
- Referat 6 „Fahrzeuge und Technische Hilfeleistung“ der Vereinigung zur Förderung des dt. Brandschutzes – vfdb e.V.
- Feuerwehr Herne
- Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Chemische Sicherheit und abwehrenden Brandschutz
- Deutscher Feuerwehrverband – DFV e.V.
- Kreishandwerkerschaft Oldenburg
- AK „Retten“ der Vereinigung der deutschen Automobilhersteller – VDA e.V.

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

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