Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



Foto: Jan Helm

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Aufbau, Sicherheitseinrichtungen, Gefahren, Einsatztaktik

Jan Helm

IdF

Stand:
06.03.2025

Ablauf Vortrag

1. **Einführung**
2. BEV: Aufbau / Sicherheitseinrichtungen / Elektrisches System
3. Brennt BEV – Brandbekämpfung
4. Vorgehen Einsatzstelle / Sonstiges / Zusammenarbeit mit Polizei

Abkürzungen

Batterie-Elektrofahrzeuge (BEV)

Plugin-Hybrid-Elektrofahrzeuge (PHEV)

- mit Ladeanschluss

Hybrid-Elektrofahrzeuge (HEV)

- ggf. ohne Ladeanschluss

Einsätze an Elektrofahrzeugen

OHNE ANGST

GANZ EINFACH

Quelle: Dr. Rolf Erbe, Berliner Feuerwehr, 02.2024

Unfälle nach Unfällen

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen

Derzeit (31.10.2024) ist dem Autor weltweit kein einziger Fall bekannt, bei dem es an der Einsatzstelle zu einem Stromunfall gekommen wäre.

Unfälle bitte melden: DezernatB1@idf.nrw.de

Crashtest DEKRA 2019

Nissan Leaf und Renault Zoe

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

- Leaf und Zoe mit 60 km/h und 90° gegen Pfahl
- Leaf mit 75 km/h und 90° und 84 km/h frontal gegen Pfahl
- kein Fahrzeug hat sich selbst entzündet (SOC 100 %)



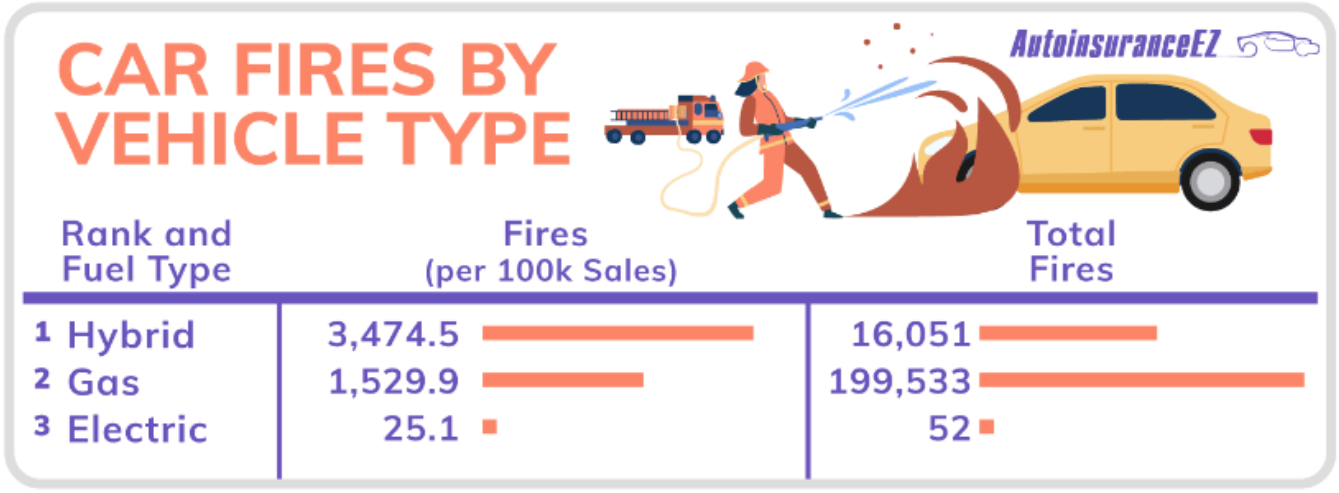


Bilder: T. Küppers/DEKRA

Video:
https://www.youtube.com/watch?v=dclFMzKSJMA

Risikobeurteilung

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen



Quelle: https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires/

Die Gefahr eines Brandes eines Elektrofahrzeuges ist nicht größer als die Gefahr eines Brandes eines Benziners oder Dieselfahrzeuges. Sie scheint sogar geringer zu sein.

Quelle: AUSWERTUNG VON UNFALLSTATISTIKEN VON ELEKTROFAHRZEUGEN IN BEZUG AUF DIE UNFALLURSACHE Arbeitspaket 2.2 Projekt ALBERO https://alberoprojekt.de/index_htm_files/AP%202.2%20Auswertung%20von%20Unfallstatistiken%20von%20Elektrofahrzeugen%20in%20Bezug%20auf%20die%20Unfallursache.pdf

Alle bisher vorliegenden Studien und Statistiken zeigen eine geringere Brandhäufigkeit von Elektrofahrzeugen. (Provinzial Versicherung, 2024)

IdF

Ablauf Vortrag

1. Einführung
2. **BEV: Aufbau / Sicherheitseinrichtungen / Elektrisches System**
3. Brennt BEV – Brandbekämpfung
4. Vorgehen Einsatzstelle / Sonstiges / Zusammenarbeit mit Polizei

Hochvolt (HV)

Alternativ / bisher: Niederspannung

(neuer Begriff – nicht Hochspannung!)

> 60 V und ≤1500 V Gleichspannung (DC) &

> 30 V und ≤1000 V Wechselspannung (AC)

Hochvolt (HV) ist für Menschen gefährlich

Gefahren an Hochvoltfahrzeugen

- Hochvoltsysteme sind **eigensicher**.
- Die Gefahr eines elektrischen Schlages ist durch verschiedene Sicherheitsmechanismen **praktisch ausgeschlossen**.
- ECE R100 gilt für alle BEV

Hochvoltsystem

Sicherheitseinrichtungen

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen

1. Crashsichere Batteriegehäuse / Fahrzeugstruktur
2. IT-Netz (Isolée Terre) – nicht geerdetes HV-System
3. Isolationsüberwachung und DC-Sicherung im HV-System
4. Stecker-Ab-Erkennung / Pilotlinie im HV-System
5. Orangefarbene HV-Kabel
6. Automatische HV-Deaktivierung bei Unfall (ggf. Pyrofuse)
7. HV-Trennstelle für die Feuerwehr

Batteriemodule

Beispiel Tesla und VW

Model S:
7104 Zellen (Typ 18650)

Model 3:
4416 Zellen (Typ 21700)

Bild bitte selbst suchen:

Stichwörter z. b.:

„Tesla Batterie Modul“

VW-Konzern (MEB) variabel:
16 oder 24 Zellen pro Modul
7,8,9,12 oder 13 Module
Beispiel: 24 * 12 = 288 Zellen

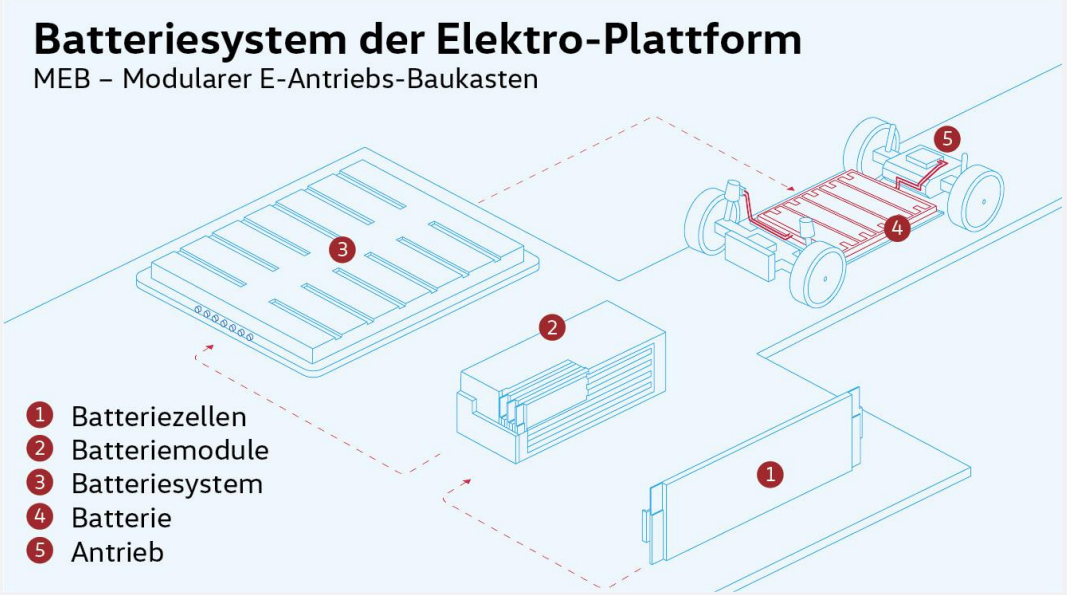


Bild: www.volkswagen-newsroom.com


Foto: Jan Helm
17.02.2022 13:59

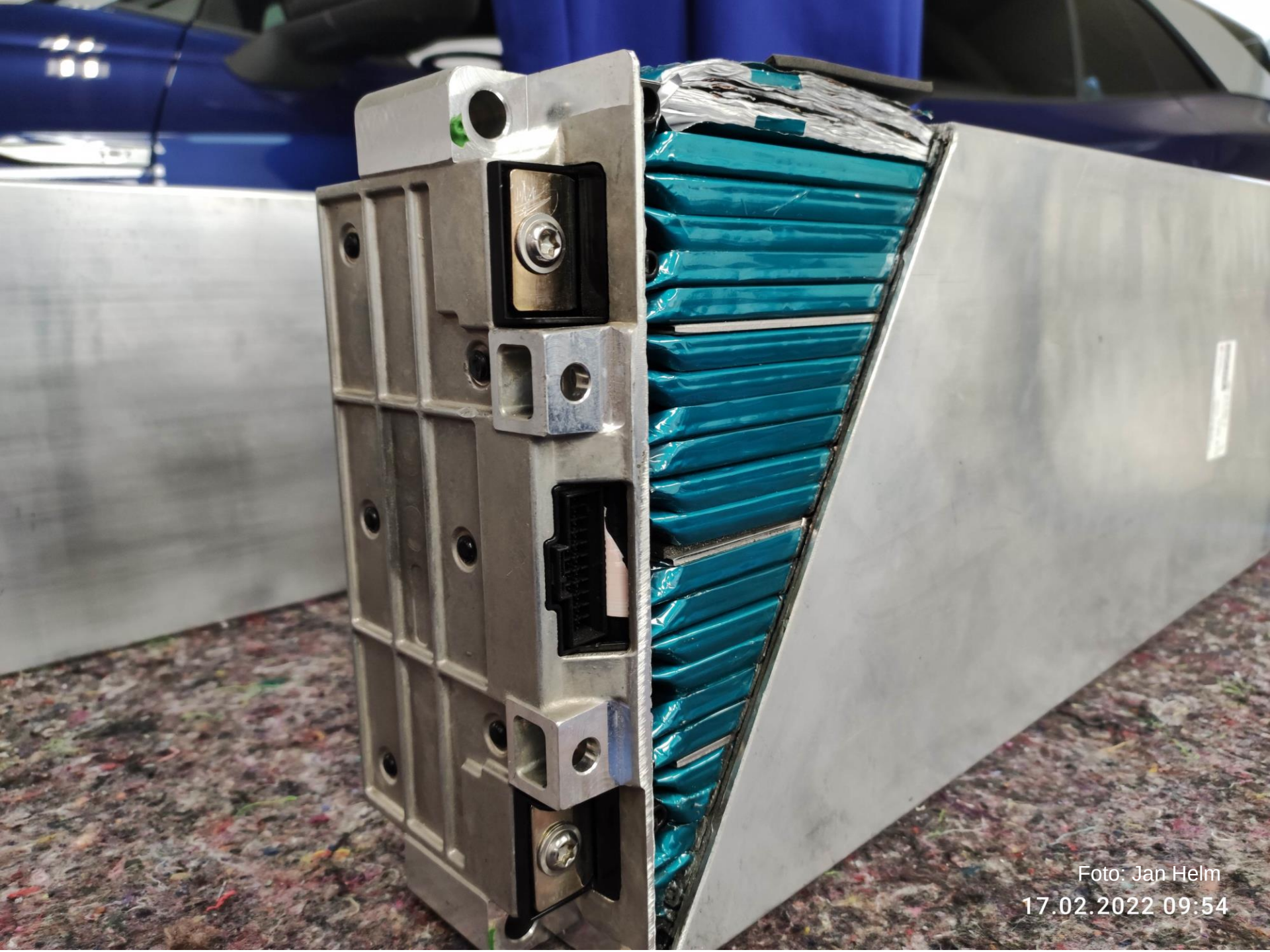

Foto: Jan Helm
17.02.2022 09:54

Foto: Jan Helm
17.02.2022 09:57


Foto: Jan Helm
17.02.2022 09:54

IT-Netz (Isolée Terre)

- HV-System zur Umgebung hin potenzialfrei
- Geschlossenes DC-System (Gleichspannung 400 V / 800 V) ohne galvanische Verbindung zu geerdeten Teilen
- HV-Komponenten (Gehäuse) geerdet zum Fahrzeug (nicht HV-Minus!)

Beispiel Hochvoltnetz

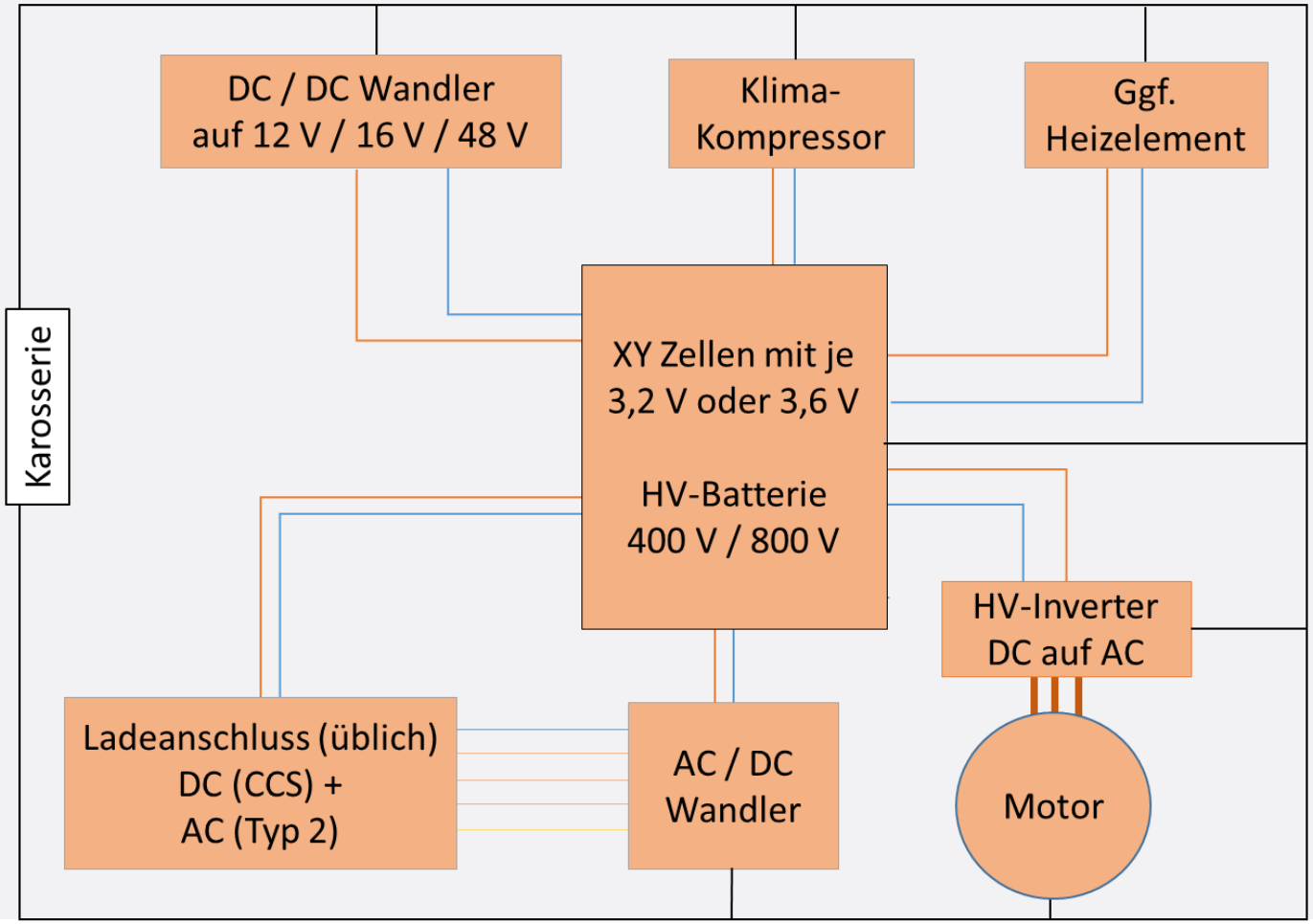


Abbildung: Jan Helm

Ladeanschluss

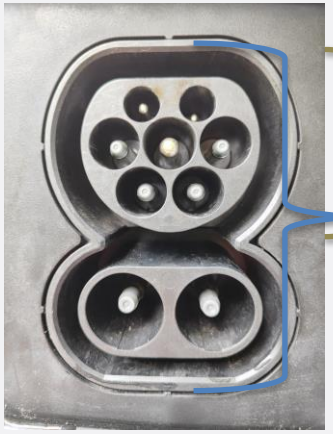
Reale Stromschlaggefahr bei fehlerhafter Nutzung

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

2 * Daten

5 * AC

2 * DC



Typ 2

CCS

Foto: BMW i3
(Jan Helm)

Vorsicht bei AC-Ladung mit nicht geerdeter Steckdose (unzulässig).

Modellabhängig Stromschlag mit bis zu 1,9 mA und 150 V gemessen.

(Quelle: https://nextmove.de/nicht-anfassen-nextmove-deckt-stromschlag-risiko-bei-elektroautos-auf)

Sicherheitsmechanismen

Isolationswächter (HV zur Karosserie)

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

- Zyklische Überwachung des Isolationswiderstands alle 15-30 Sekunden
- Info an Fahrer (geringe Fehler) oder sofortige Abschaltung HV-System

Quelle: VW Bildungsinstitut GmbH

1 Isolationsfehler

Egal wo, egal ob + oder -

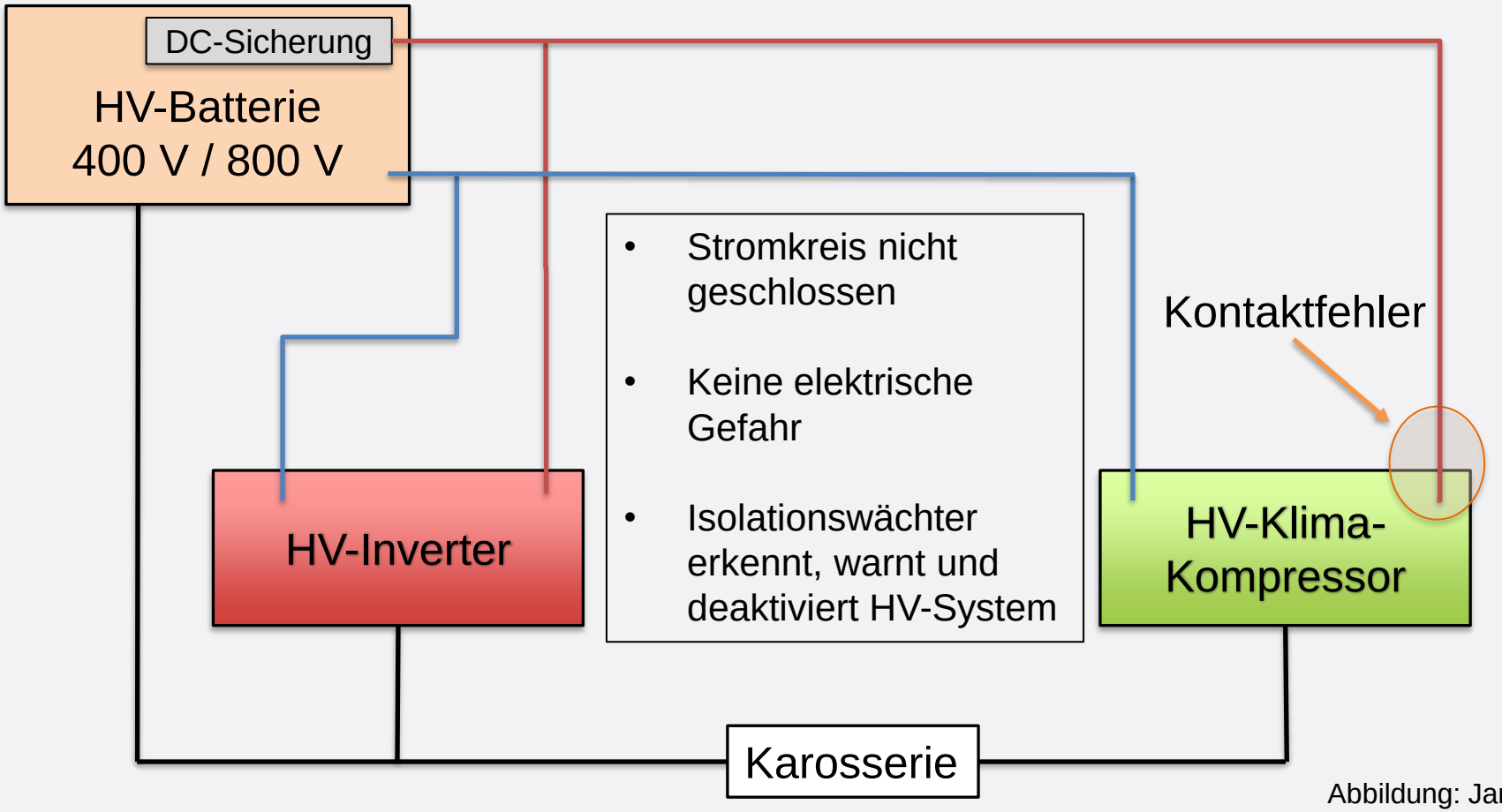


Abbildung: Jan Helm

2 Isolationsfehler

+ und -

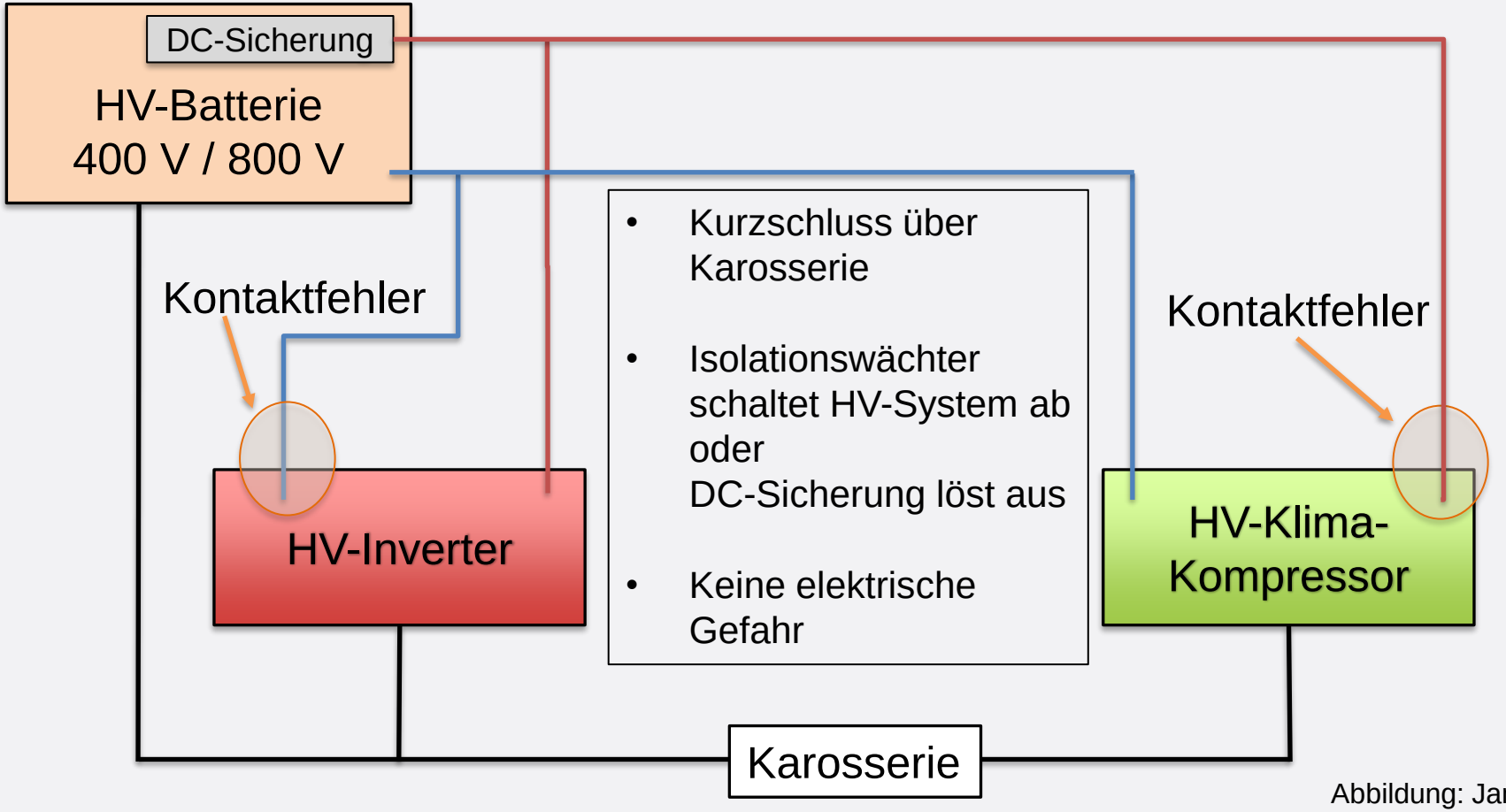


Abbildung: Jan Helm

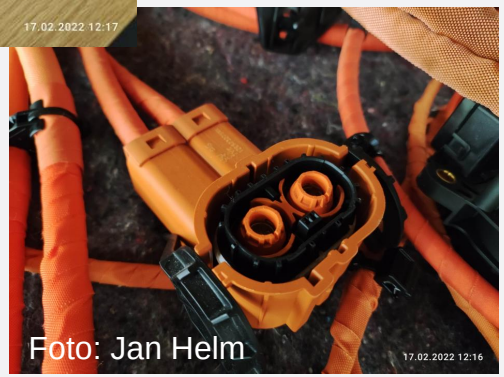
Sicherheitsmechanismen

Farbe: orange

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

HV-System ist berührungssicher + Lichtbogensicher



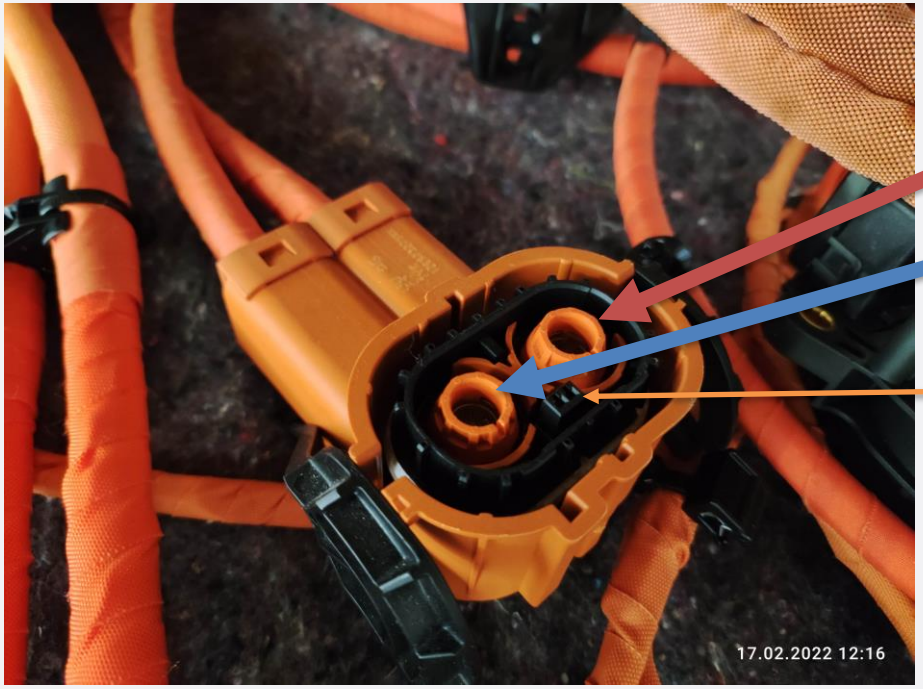




Sicherheitsmechanismen

Stecker-ab-Erkennung (ggf. Pilotlinie)

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen



HV – Plus

HV – Minus

12 V Pilotlinie (nicht bei allen Fahrzeugen)

Foto: Jan Helm

Sicherheitsmechanismen

Pilotlinie / Stecker-ab-Erkennung

Pilotlinie:

Abziehen einer der Steckverbindungen öffnet umgehend die HV-Schütze und schaltet die HV-Anlage allpolig spannungsfrei.

Stecker-ab-Erkennung:

Verhalten wie oben oder Warnhinweis (rote Lampe) an Fahrer bei geringem Fehler.

HV-Trennstelle

Sichere Deaktivierung HV-System

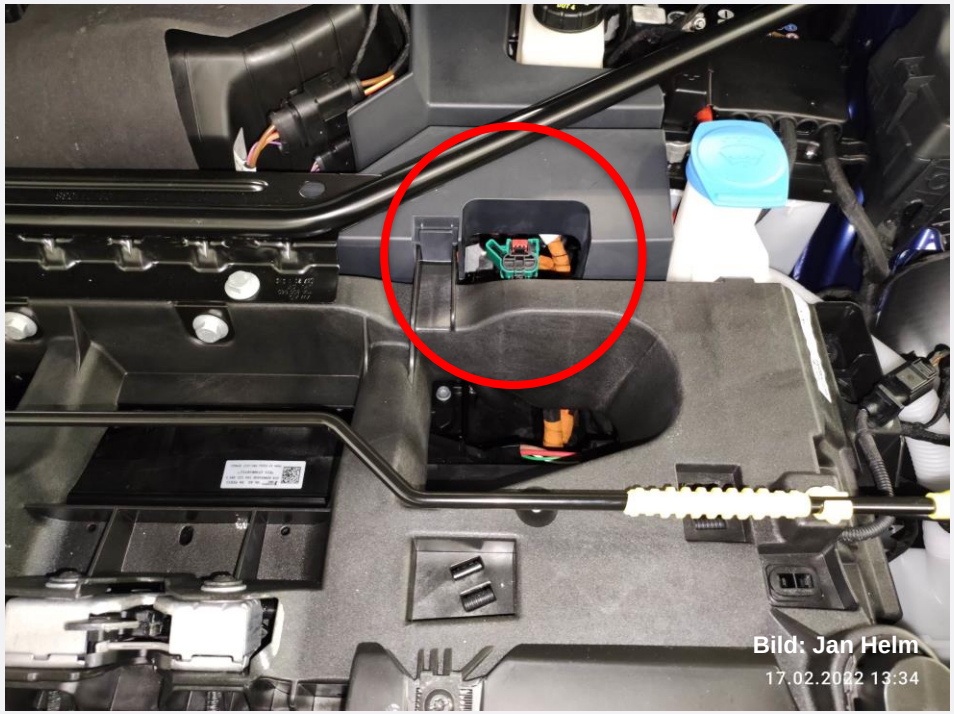
- **Nicht genormt → unterschiedlich**
- **Rettungsdatenblatt erforderlich**
- **meist 12 V Stecker oder 12 V Kabel der Pilotlinie**
  (Renault Zoe: HV-Stecker Fußraum Beifahrer)

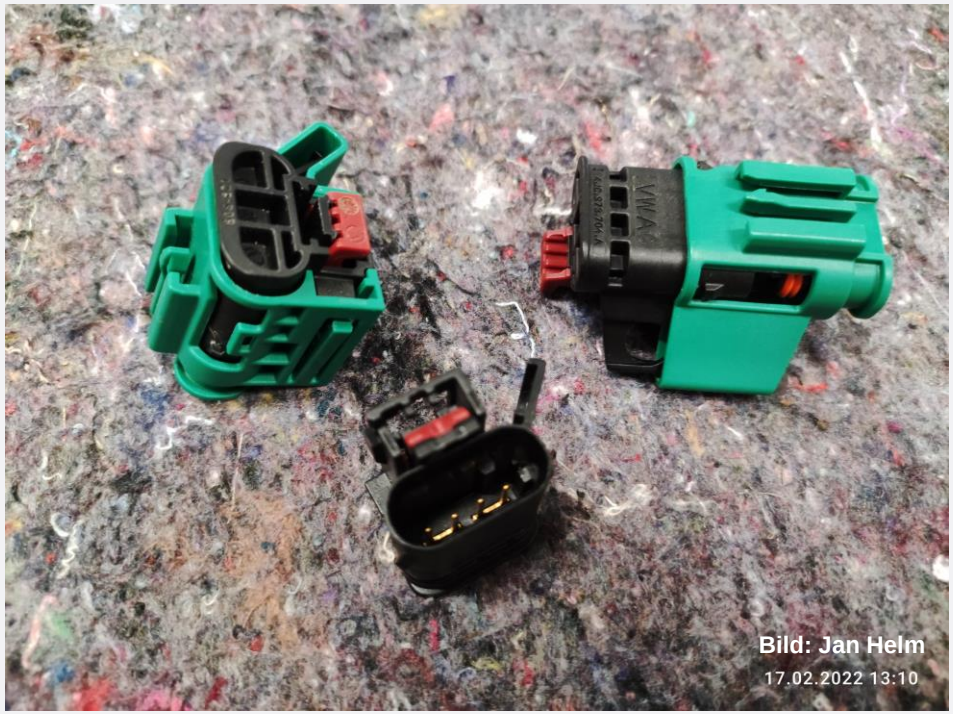
HV-Trennstecker

VW-Konzern, BMW i3, …

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen

VW ID.4, Motorhaube vorne





Trennstellen VW ID.4

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen

Sicherung Fahrer

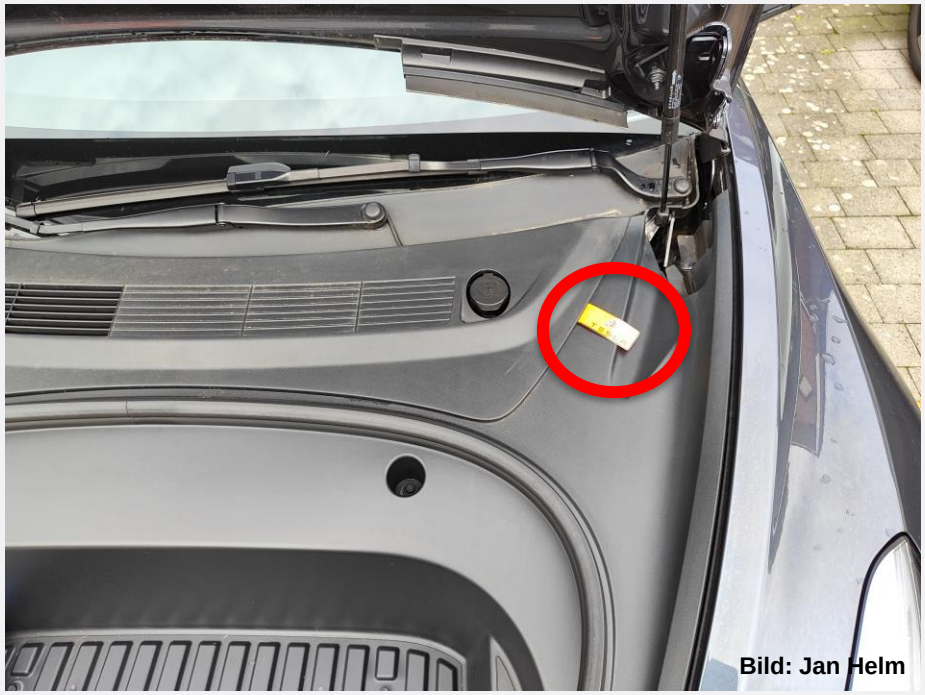


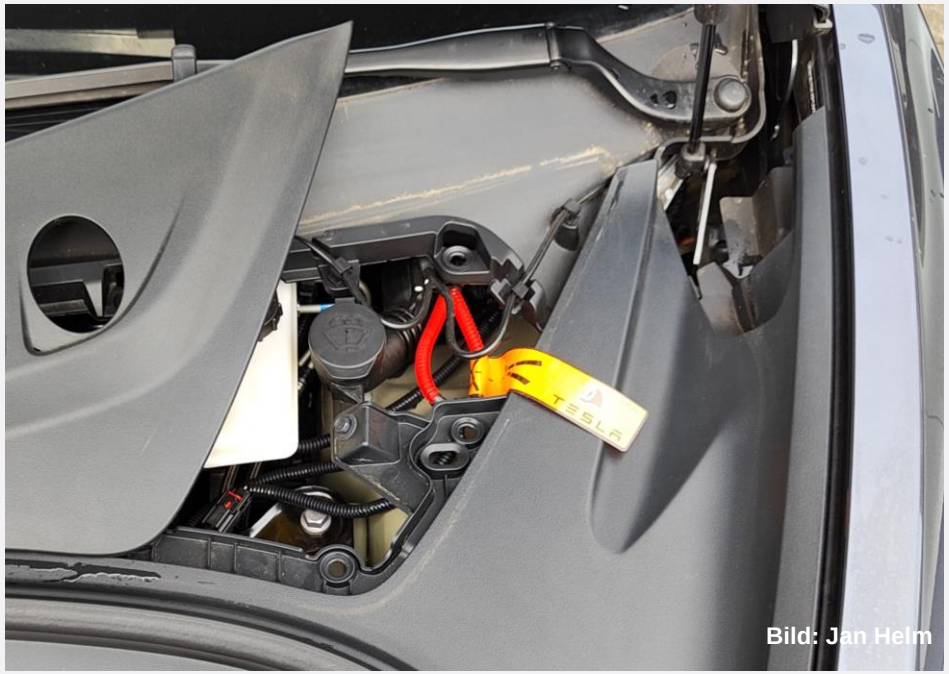
12V Kabel Rücklicht



Trennstelle Tesla Model 3

12V Kabel im Frunk





Volkswagen **ID.3**

5-Türer, ab 2020

Möglichkeit 2: vom Fahrgastraum aus

Linkslenker:



Rechtslenker:





Möglichkeit 3: vom Fahrzeugheck aus





Hochvolt-Komponenten und Hochvolt-Batterie nicht berühren, schneiden oder öffnen!
Entsprechende Schutzausrüstung tragen!

Bei Unfällen mit Airbagauslösung wird das Hochvoltsystem automatisch deaktiviert.
Das Hochvoltsystem ist ca. 20 Sek. nach Deaktivierung spannungsfrei.

Quelle:
Rettungsdatenblatt
VW ID.3

HV-Deaktivierung bei Unfall

„Pyrofuse“

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Selbstständige HV-Deaktivierung (ggf. Pyrofuse) bei Unfallerkennung.

Info Rettungsdatenblatt (z. b. VW Id.3/Id.4 + Tesla M3/MY + Volvo C40 Recharge): Deaktivierung HV bei jeglicher Airbagauslösung.

Aber:

Airbagauslösung kein zwingender Indikator bei allen Typen

14 Brandversuche BEV

https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/forschungstaetigkeit/e-mobilitaet



Quelle: https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/forschungstaetigkeit/e-mobilitaet

Brennt BEV

Beginn Batteriebrand

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Zuerst Austritt von Ventinggasen (weißgraue Dämpfe, ploppende Geräusche + zischen)

Quelle: IBK Heyrothsberge, Dr. Neske et al

brennbar + explosiv – u. a. Wasserstoff und Kohlenmonoxid

Gefährlichster Zustand, insbesondere in geschlossenen Garagen etc.

Brennt BEV

Brandentstehungsphase / Vollbrand

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Flammenbildung an Radkästen, Schweller, Front und Heck

schneller Übergang zum Vollbrand

Quelle: IBK Heyrothsberge, Dr. Neske et al

Brennt BEV

Vollbrand: sicher beherrschbar

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Ca. 11- 25 Minuten nach Penetration:

- **2 * Holstrahlrohr je 60 l/min im Nahbereich**
- **960 L – 1550 L Löschwasser und max. 35 Minuten Einsatzzeit**
- **Brandbekämpfung über Löcher in Batteriesystem**

Quelle: IBK Heyrothsberge, Dr. Neske et al

14 Brandversuche BEV am IBK Heyrothsberge

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Die Versuche zeigten, dass die Reaktion im Batteriesystem durch Hohlstrahlrohre nur dann gestoppt werden kann, wenn über Löcher und sonstige Öffnungen Wasser in das Batteriesystem eingebracht wird. Sollte keine Möglichkeit zur Löschwassereinbringung in das Batteriesystem bestehen, muss die Taktik auf die Verhinderung der Brandausbreitung auf die Umgebung des Fahrzeugs und den kontrollierten Abbrand der Zellen im Batteriesystem ausgerichtet werden.

Quelle: https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/Hey_Manusk/IBK_Broschuere_Hochvoltspeicher_Stand_230222_online.pdf

Spezialfall, Ausnahmesituation

Brandbegrenzungsdecken

Zunächst muss Fahrzeugbrand mit Wasser reduziert werden

Flammen werden wirksam unterdrückt

50 Minuten Austritt von Ventinggasen

- längere Einsatzzeit, Ex-Gefahr, extrem teuer

+ weniger Löschwasserverbrauch

Quelle: IBK Heyrothsberge, Dr. Neske et al

Spezialfall, Ausnahmesituation

Löschen mittels Penetration

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Achtung!

Das gezielte Einbringen von Löschwasser in eine LIB darf nur dann erfolgen, wenn durch das Vorliegen der Indikatoren gemäß Punkt 5 von einem Brand in der LIB ausgegangen werden muss!
Werden vom Brand nicht betroffene Bereiche einer LIB mit einem invasiven Löschsystem penetriert, führt das mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Kurzschluss und damit zu einem Brand in diesem Bereich! Darüber hinaus können invasive Löschtechniken durch das gewaltsame Öffnen der LIB die Gefahr von Potenzialverschleppungen an der Hochvoltanlage bergen.

https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3907

Quelle: DGUV, FBFHB-024, 29.11.2023

absolute Ausnahme

Löschen mittels Versenken

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Fachpersonal beendet werden. Eine fachgerechte Entsorgung des Löschwassers ist erforderlich. Diese Methode sollte nur im absoluten Ausnahmefall angewandt werden, da sie mit einem großen logistischen Aufwand verbunden ist (z. B. bei der Löschwasserentsorgung). Eine präventive nasse Quarantäne ohne Anzeichen einer aktiv reagierenden LIB (siehe Punkt 5.) ist zu unterlassen. In diesem Fall ist eine trockene

Quelle: DGUV, FBFHB-024, 29.11.2023

Brennt BEV

Karosseriebrand

- **Brandbekämpfung wie bisher.**

Ablauf Vortrag

1. Einführung
2. BEV: Aufbau / Sicherheitseinrichtungen / Elektrisches System
3. Brennt BEV – Brandbekämpfung
4. **Vorgehen Einsatzstelle / Sonstiges / Zusammenarbeit mit Polizei**

Handlungsempfehlung FW

Technische Rettung BEV

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

- Allg. Grundsätze einhalten
  (Brandschutz, Wegrollen, Unterbauen, Verkehrsabsicherung, …)
- HV - Trennstelle auslösen (Rettungsdatenblatt)
- Not-Türentriegelung mechanisch von innen
  (Rettungsdatenblatt, gilt auch für Verbrenner)
- Beschädigung der Batterie unbedingt vermeiden
- weißgraue Dämpfe / Ausgasung Batterie:
  - Sofortrettung
  - Nebel verdünnen (aktiv belüften) / Explosionsgefahr

Vorgehen am Einsatzort

Ergänzende Hinweise

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Trümmerteile von Elektromotoren können u. U. einen hohen Magnetismus aufweisen und sollten daher nicht nah am Körper transportiert/ getragen werden (insbesondere bei Vorhandensein von elektronischen Implantaten).

Quelle: Handlungsempfehlung für Einsatzkräfte

Vorgehen am Einsatzort

Elektrofahrzeuge im Wasser

(…) besteht durch das Hochvoltsystem kein erhöhtes Stromschlagrisiko.

Die Vorgehensweise beim Bergen ist identisch zu der bei konventionellen Fahrzeugen, unabhängig vom Material der Fahrzeugkarosserie (Stahl, Aluminium, Carbon). Dies gilt auch bei Salzwasser.

Quelle: VDA, Unfallhile und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt- und 48-Volt-Systemen, FAQ
Auch: https://www.vfdb.de/media/doc/merkblaetter/MB_06_04_2017.pdf

Batterie ≠ Batterie

Im Einsatz kaum erkennbar

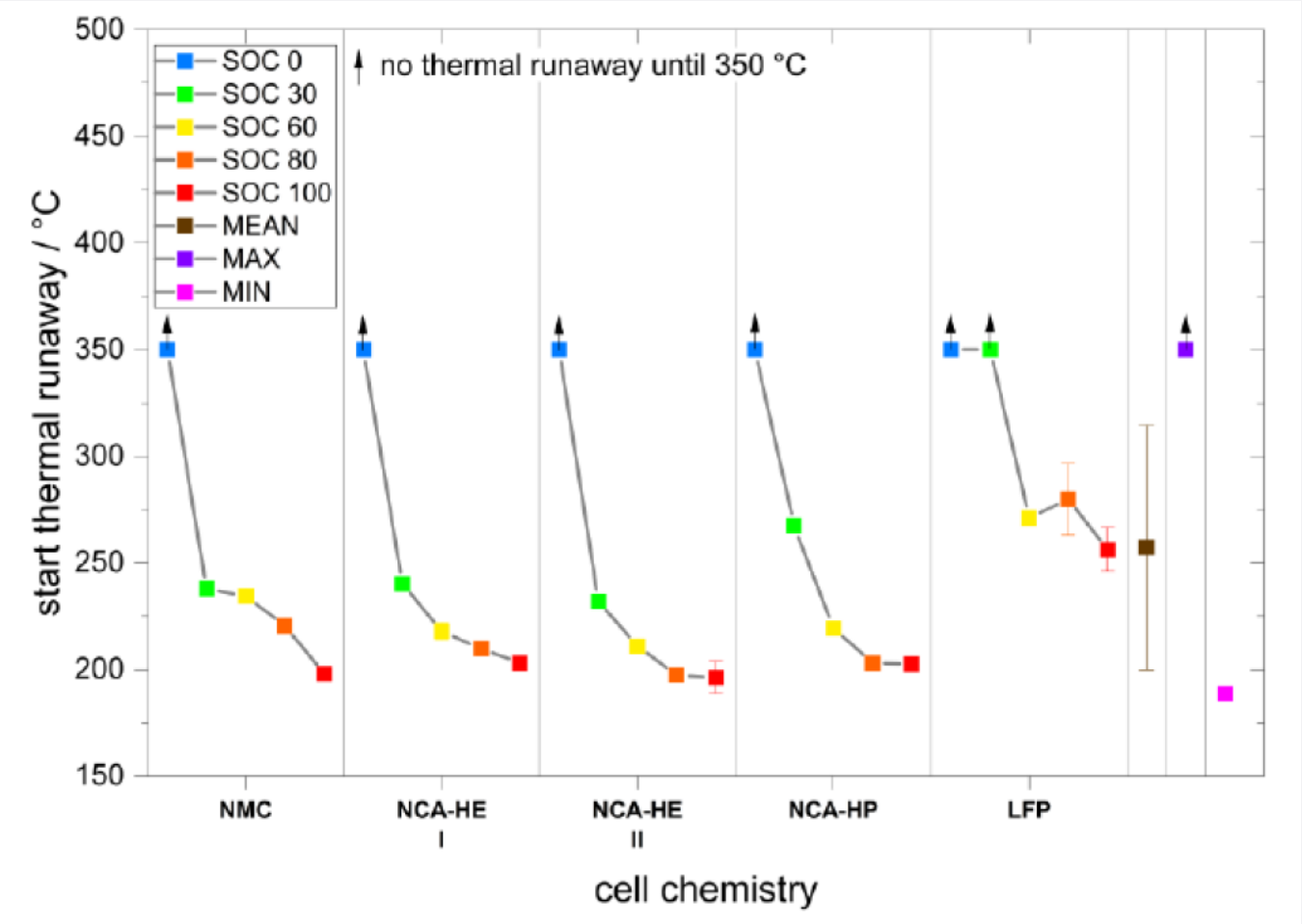
Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

- Zellchemie (LFP, NCA, NMC / Natrium-Ionen)
- Geometrie der Zellen (Form / Größe)
- Aufbau der Batteriemodule
- **Aktueller SOC (je höher desto kritischer – kann ggf. erfragt bzw. abgelesen werden)**

Kritische Temperatur Zelle

Start Thermal Runaway (SOC [%] + Zellchemie)

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen



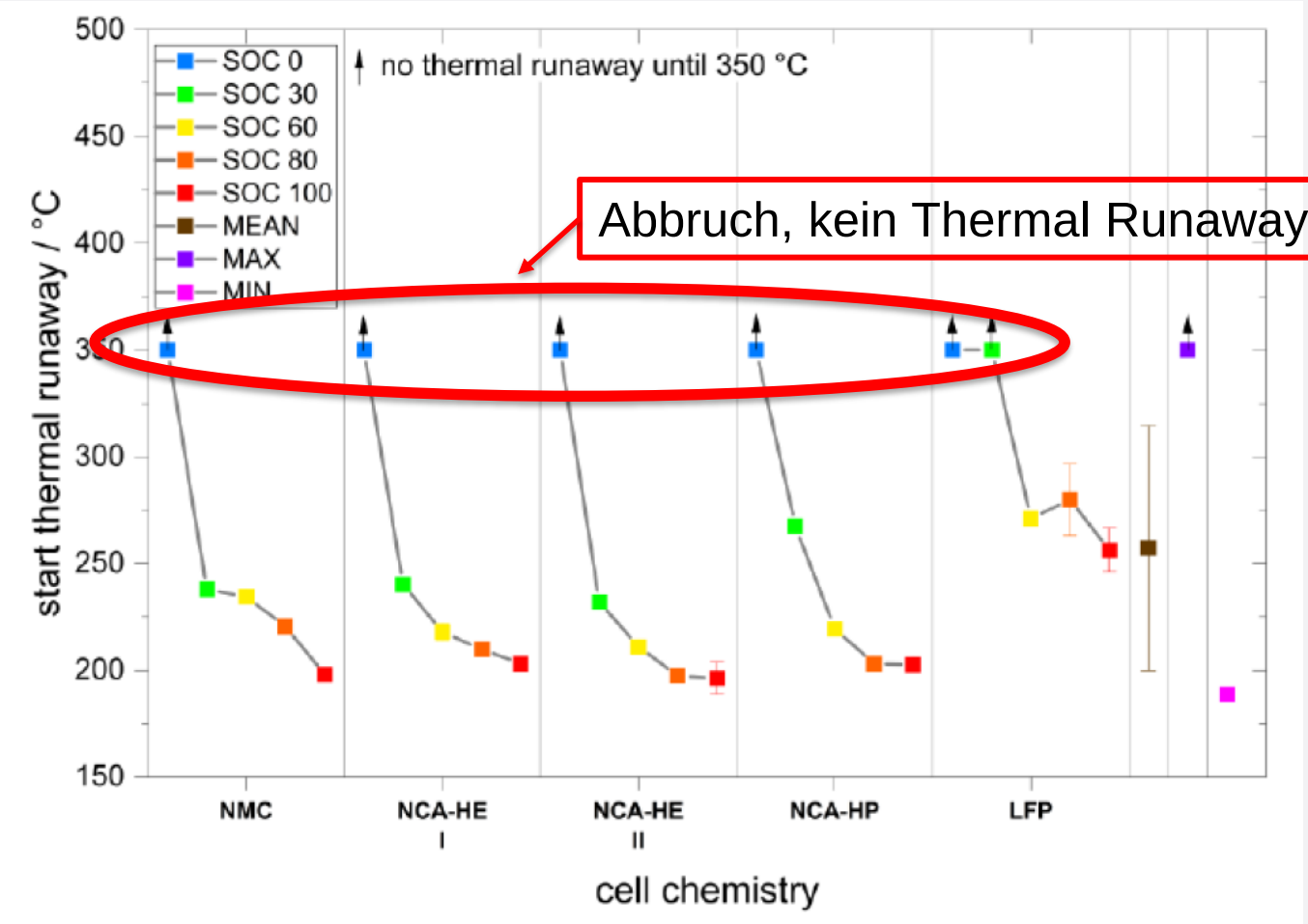
Quelle:

Ohneseit, Sebastian et al. (2023): „Thermal and Mechanical Safety Assessment of Type 21700 Lithium-Ion Batteries with NMC, NCA and LFP Cathodes–Investigation of Cell Abuse by Means of Accelerating Rate Calorimetry (ARC)“. In: Batteries 2023, 9(5), 237; https://doi.org/10.3390/batteries9050237.

Kritische Temperatur Zelle

Start Thermal Runaway (SOC [%] + Zellchemie)

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen



Quelle:

Ohneseit, Sebastian et al. (2023): „Thermal and Mechanical Safety Assessment of Type 21700 Lithium-Ion Batteries with NMC, NCA and LFP Cathodes– Investigation of Cell Abuse by Means of Accelerating Rate Calorimetry (ARC)“. In: Batteries 2023, 9(5), 237; https://doi.org/10.3390/batteries9050237.

Freigabe durch die FW

- Verantwortung des Einsatzleiters -

Keine thermische Reaktion der Batterie (mehr) zu erkennen / erwarten.

Quantitative Temperaturmessung an mehreren Stellen der Batterie zeitlich versetzt -> Temperatur muss sinken oder gleich niedrig bleiben

Dokumentieren!

2 Temperaturmessprotokoll für beschädigte Energiespeicher

vfdb

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

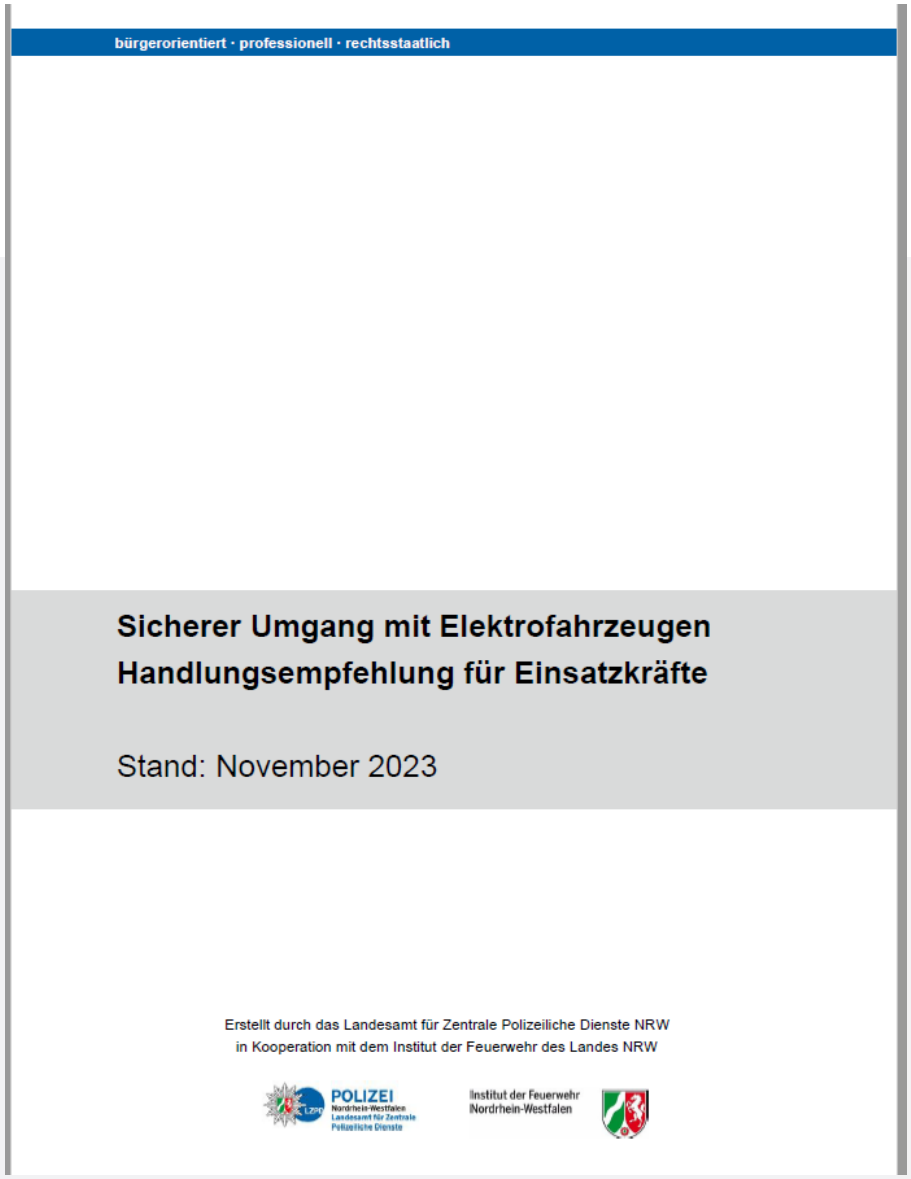
Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

Quelle: vfdb e. V.
https://www.vfdb.de/media/doc/merkblaetter/MB_06_13_Temperaturmessprotokoll_fuer_beschaedigte_Energiespeicher.pdf

Freigabe durch die FW

- Verantwortung des Einsatzleiters -

- Feuer ist aus
- Keine auslaufenden / ausgasenden Stoffe (Elektrolyte / Dämpfe)
- Keine thermischen Reaktionen in Batterie
- Keine elektrischen Gefahren (Trennung / Abschaltung HV-System durch die FW)



Fundstelle: Lernkompass IdF NRW
https://lernkompass.idf.nrw/ilias.php?ref_id=38307&cmd=infoScreen&cmdClass=ilrepositorygui&cmdNode=x0&baseClass=ilrepositorygui

Taktische Grundsätze

(Polizei)

- Von den Seiten nähern und arbeiten (geräuschloser Fahrbetrieb)
- Personenrettung hat Vorrang
- Entstehungsbrand mit Feuerlöscher bekämpfen
- Abschleppen nur mit Schrittgeschwindigkeit

Quelle: Handlungsempfehlung für Einsatzkräfte

Grundsätze in NRW

- Polizei -

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen

- Keine Arbeiten am Fahrzeug durch Einsatzkräfte der Polizei
- Bei unklarer Lage immer Nachforderung der FW durch die Polizei
- Arbeiten am Fahrzeug ausschließlich durch die Feuerwehr

Quelle: Handlungsempfehlung für Einsatzkräfte

Erwartungshaltung an FW

Freigabe des Fahrzeuges durch die Feuerwehr

Anschließend:

- Spurensicherung,
- Sicherung elektronischer Daten,
- Sicherstellung Fahrzeug (Abschleppen),
- …

Ende

Fragen ?

Nachtrag: ehrlich sein + Wunsch an Hersteller

Wunsch an Hersteller

Drahtloses Auslesen an der Unfallstelle:

- **HV aktiv / inaktiv**
- **max. Zelltemperatur [° C] (+ Tendenz)**
- **SOC [%]**