



Foto: Jan Helm

Batterieelektrische Elektrofahrzeuge (BEV, HEV, PHEV)

Aufbau, Sicherheitseinrichtungen, Gefahren, Einsatztaktik

Jan Helm



1. Einführung

2. (B/H/PH)EV: Aufbau /
Sicherheitseinrichtungen / Elektrisches
System

3. Brennt BEV – Brandbekämpfung

4. Vorgehen Einsatzstelle / Sonstiges /
Zusammenarbeit mit Polizei



Einsätze an Elektrofahrzeugen

**OHNE ANGST
GANZ EINFACH**

Quelle: Dr. Rolf Erbe, Berliner Feuerwehr, 02.2024



Derzeit (27.08.2024) 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



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



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



1. IT - Netz (Isolée Terre) – nicht geerdetes HV-System
2. Isolationsüberwachung des HV-Systems
3. Stecker-Ab-Erkennung / Pilotlinie im HV-System
4. Schütze zum Abschalten des HV-Systems
5. HV-Deaktivierung bei Unfall (ggf. Pyrofuse)
6. Crashsichere Batteriegehäuse
7. ...

Batteriemodule

Beispiel Tesla und VW

Model S:
7104 Zellen (Typ 18650)

Model 3:
4416 Zellen (Typ 21700)

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



Bild bitte selbst suchen:

Stichwörter z. b.:

„Tesla Batterie Modul“

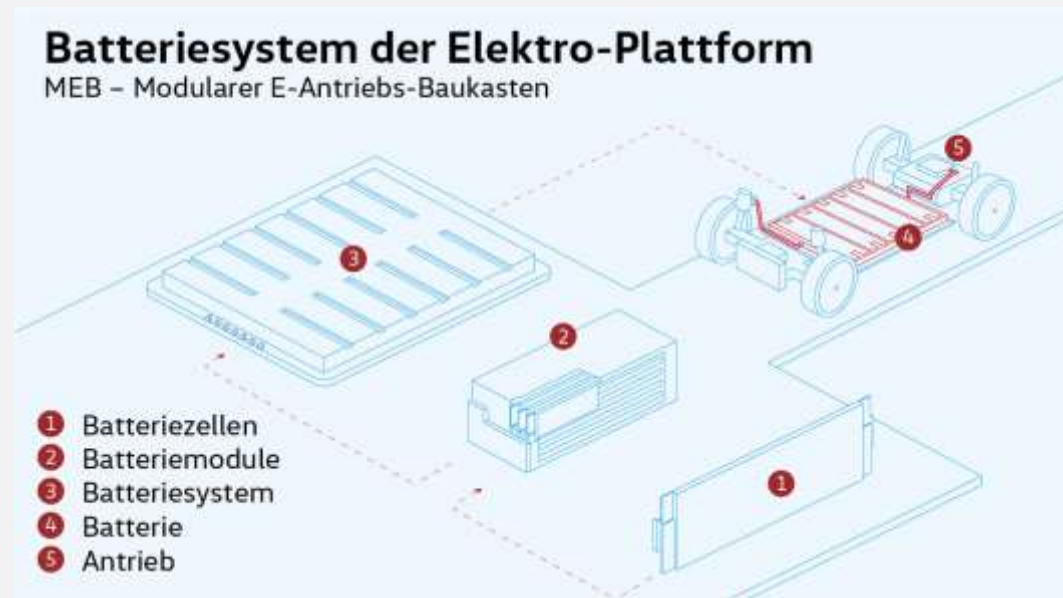




Foto: Jan Helm
17.02.2022 13:59



Foto: Jan Helm
17.02.2022 09:54



Foto: Jan Helm
17.02.2022 09:54

Sicherheitsmechanismen

Serienfahrzeuge ECE R100



Eindeutige und einfache
Identifizierung von

- HV-Leitungen (oranger Isolationsmantel – weltweit einheitlich) und
- HV-Komponenten



Foto: Jan Helm

17.02.2022 13:59



HV-System ist berührungssicher + Lichtbogensicher



Foto: Jan Helm



Foto: Jan Helm



Foto: Jan Helm

17.02.2022 12:16

Sicherheitsmechanismen

Stecker-ab-Erkennung (ggf. Pilotlinie)



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-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



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>)

2 * Daten

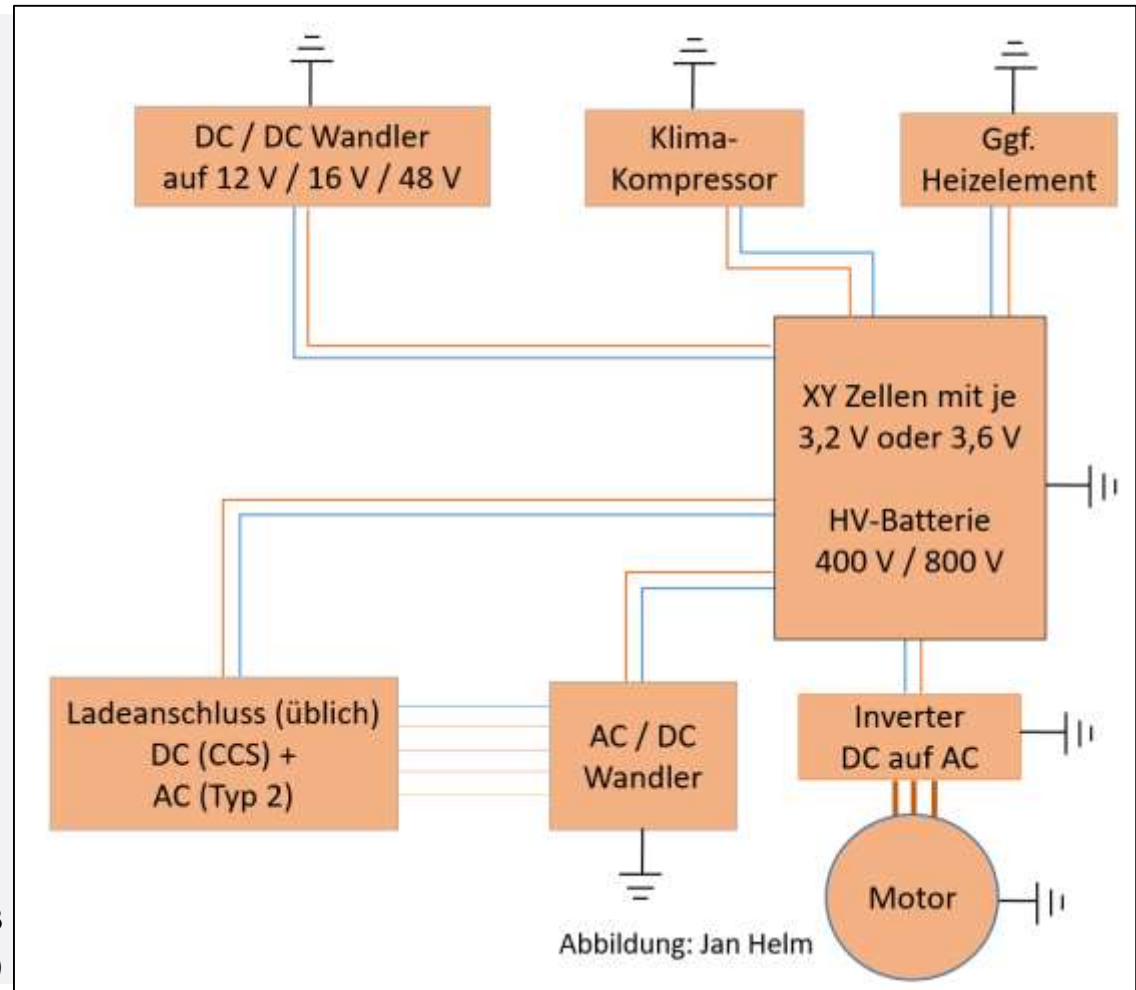
5 * AC

2 * DC



Typ 2
CCS

Foto: BMW i3
(Jan Helm)



Sicherheitsmechanismen

Isolationswächter (HV zur Karosserie)



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

Quelle: VW Bildungsinstitut GmbH

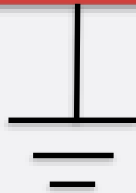
1 Isolationsfehler

Egal wo, egal ob + oder -



HV-Batterie
400 V / 800 V

HV-Inverter



- Stromkreis nicht geschlossen
- Keine elektrische Gefahr
- Isolationswächter erkennt, warnt und deaktiviert ggf. HV

Kontaktfehler

HV-Klima-
Kompressor

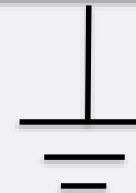
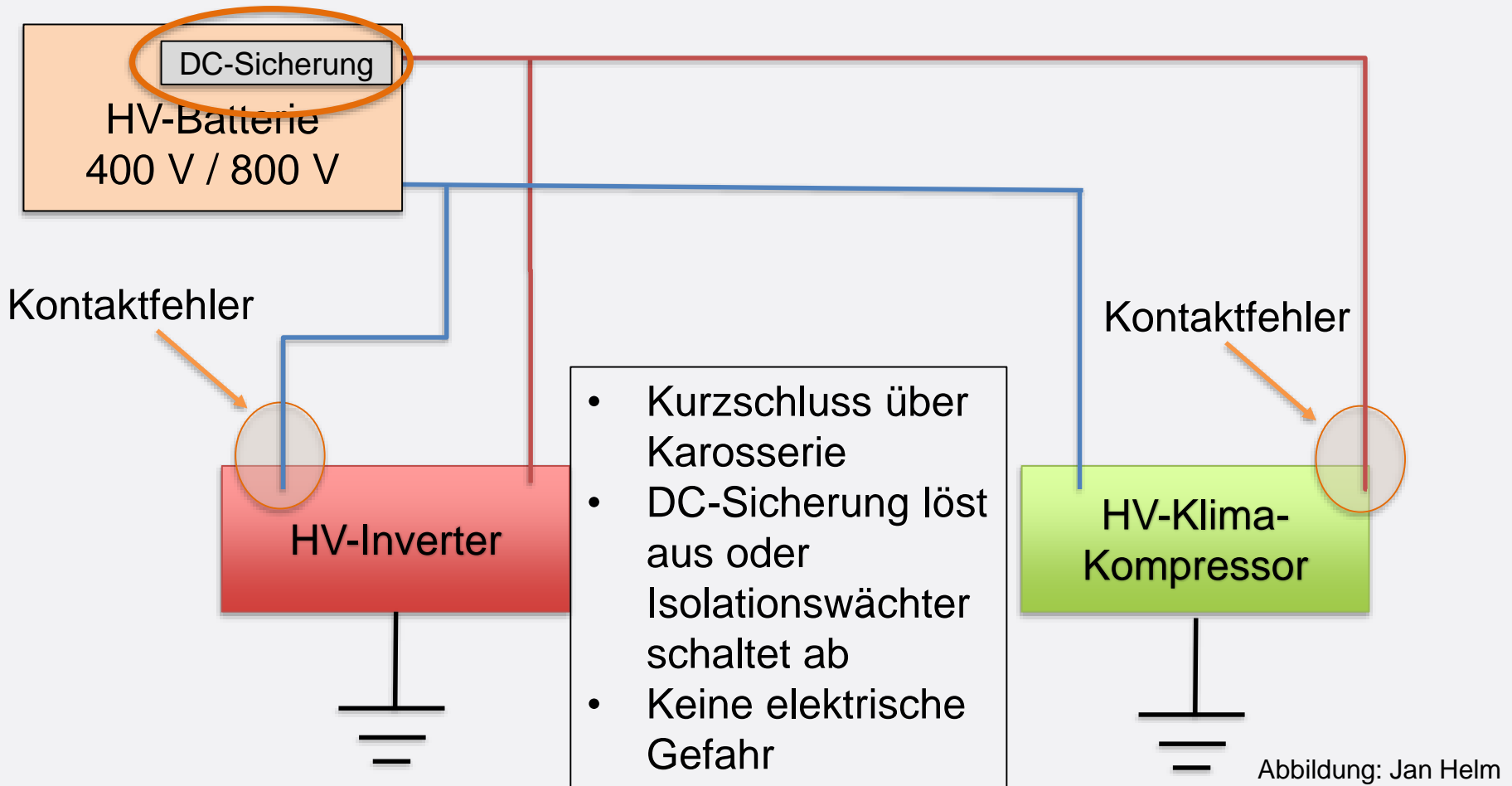


Abbildung: Jan Helm

2 Isolationsfehler

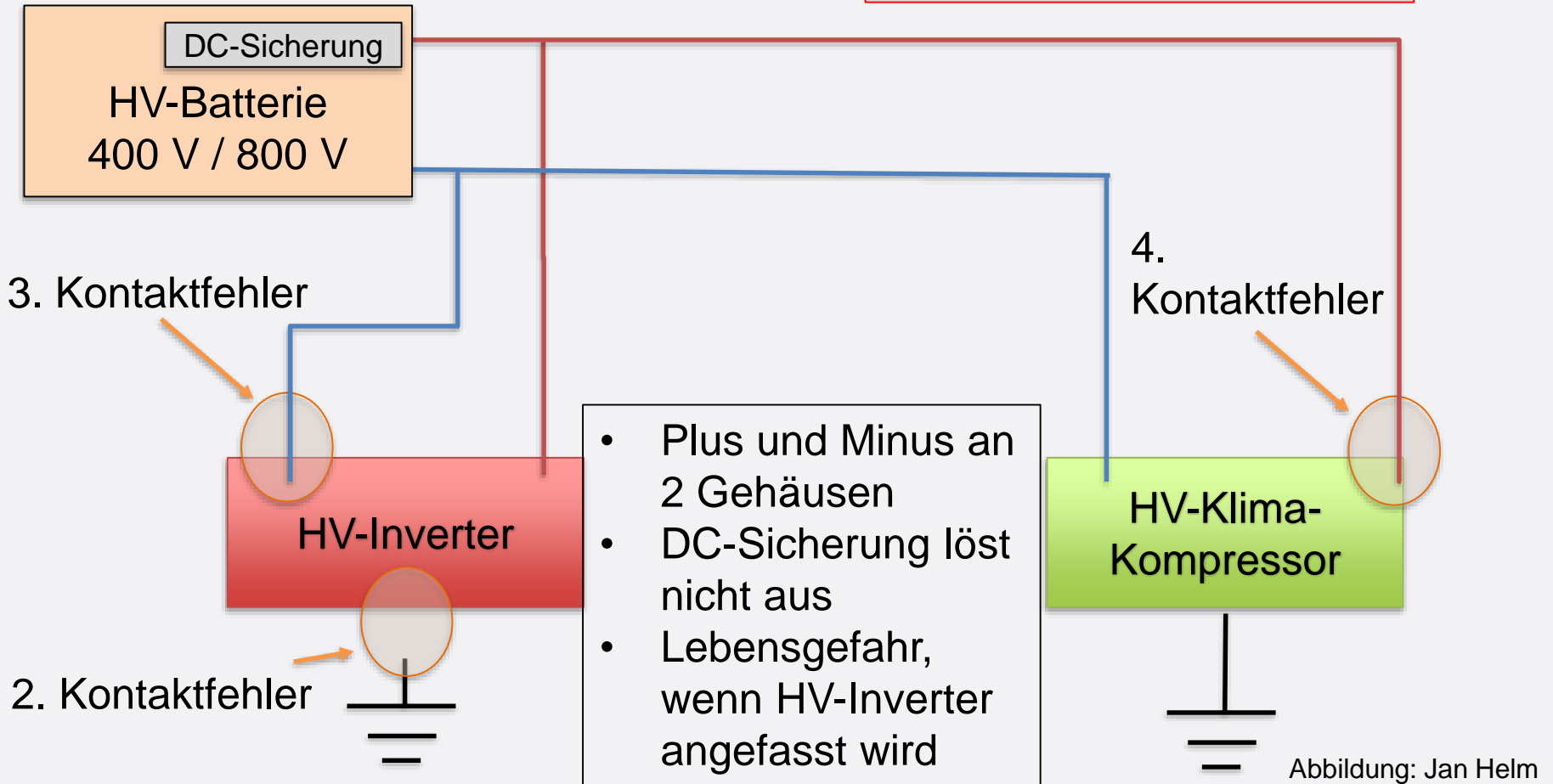
+ und -



4 Fehler in bestimmter Reihenfolge



1. Isolationswächter defekt



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, ...



VW ID.4, Motorhaube vorne



Bild: Jan Helm
17.02.2022 13:34



Bild: Jan Helm
17.02.2022 13:10

Trennstellen VW ID.4



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“



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



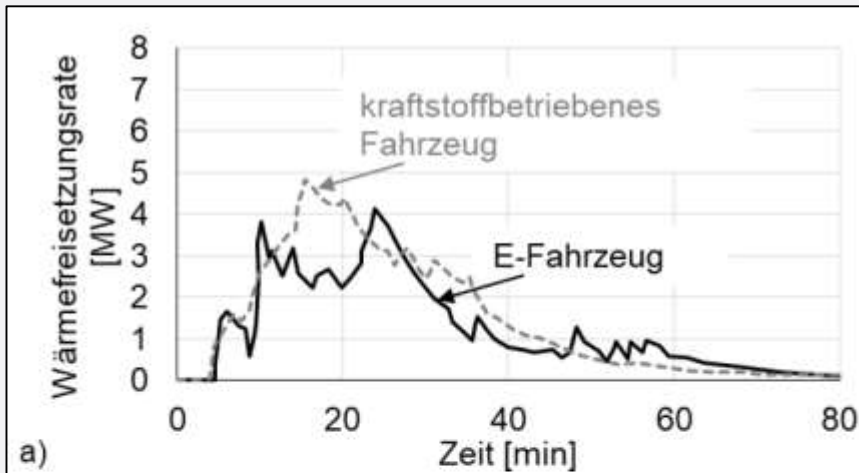
1. Einführung
2. BEV: Aufbau / Sicherheitseinrichtungen / Elektrisches System
3. **Brennt BEV – Brandbekämpfung**
4. Vorgehen Einsatzstelle / Sonstiges / Zusammenarbeit mit Polizei

Brandlast Diesel / Elektro

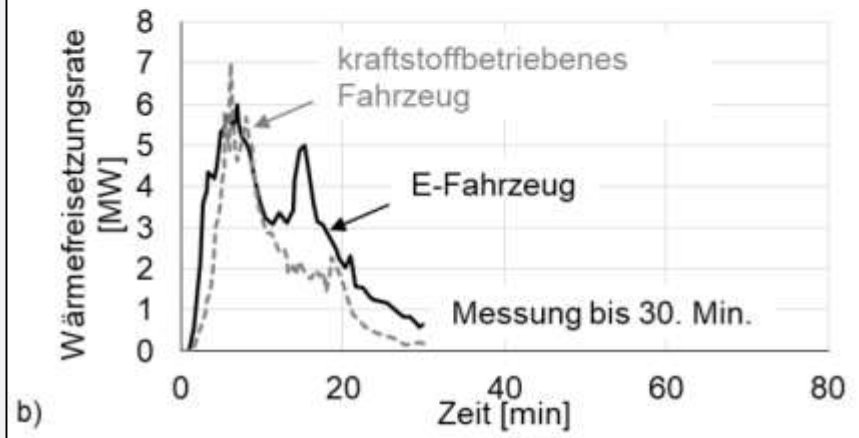
keine Abhängigkeit vom Antrieb



Kleinwagen



Kompaktklasse



100% SOC
voller Diesel Tank

Ergebnis:

Maßgeblich ist die
Fahrzeuggröße, keine
Abhängigkeit vom
Antrieb

Quelle:

Brandverhalten von Elektrofahrzeugen,
J. Zehfuß, L. Sander, TH Braunschweig,
Braunschweiger Brandschutz-Tage 2020



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



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

Vollbrand: sicher beherrschbar



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



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_Hochvoltpeicher_Stand_230222_online.pdf

Spezialfall, Ausnahmesituation

Brandbegrenzungsdecken

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



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



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



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](#)



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

Handlungsempfehlung FW

Technische Rettung BEV



- 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



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, Unfallhilfe 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

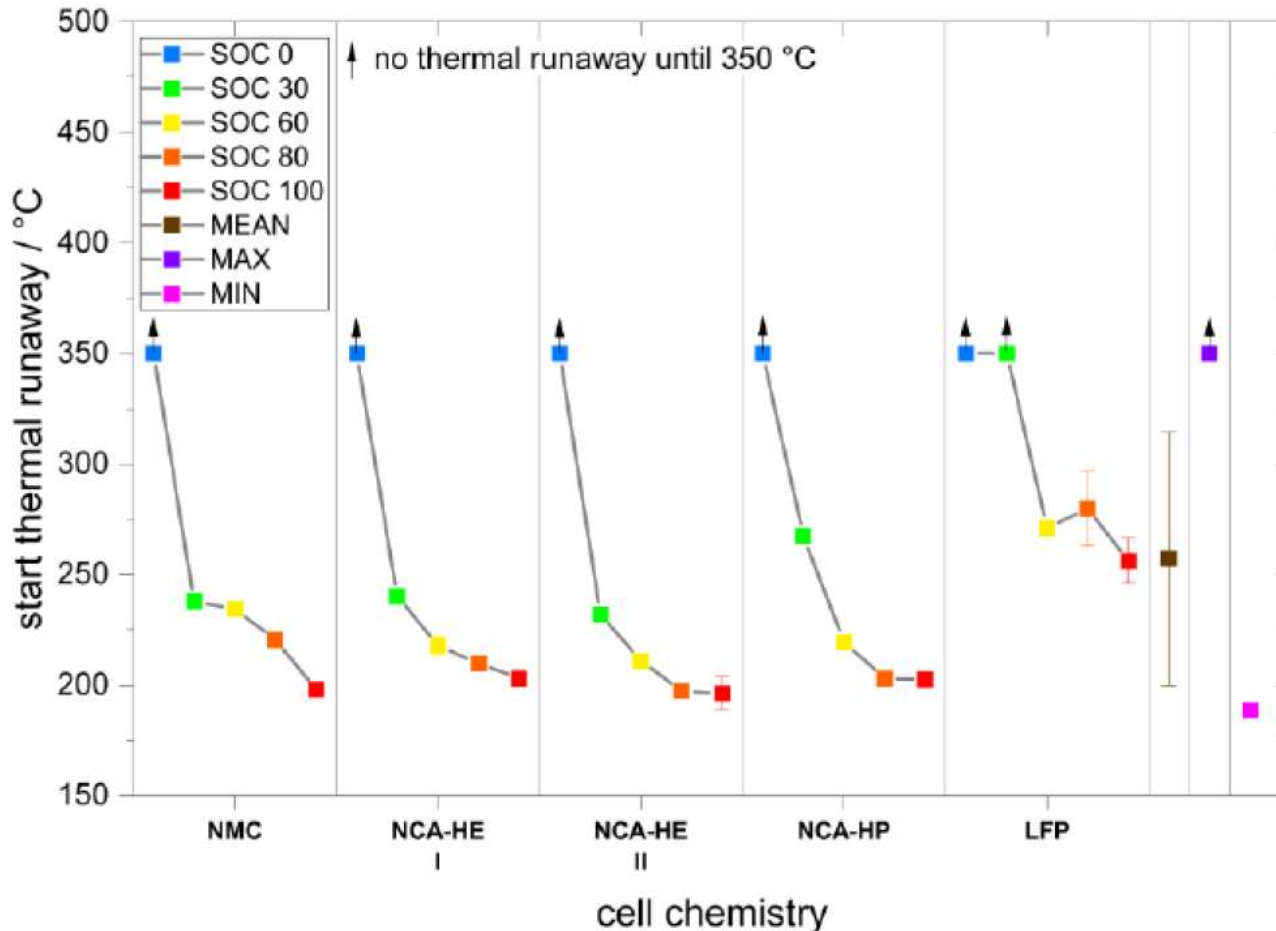


- Zellchemie (LFP, NCA, NMC / Natrium-Ionen)
- Geometrie der Zellen (Form / Größe)
- Aufbau der Batteriemodule
- **Aktueller SOC (je höher desto kritischer – kann ggf. erfragt bzw. abgelesen werden)**

Kritische Temperatur Zelle



Start Thermal Runaway (SOC [%] + Zellchemie)



Quelle:

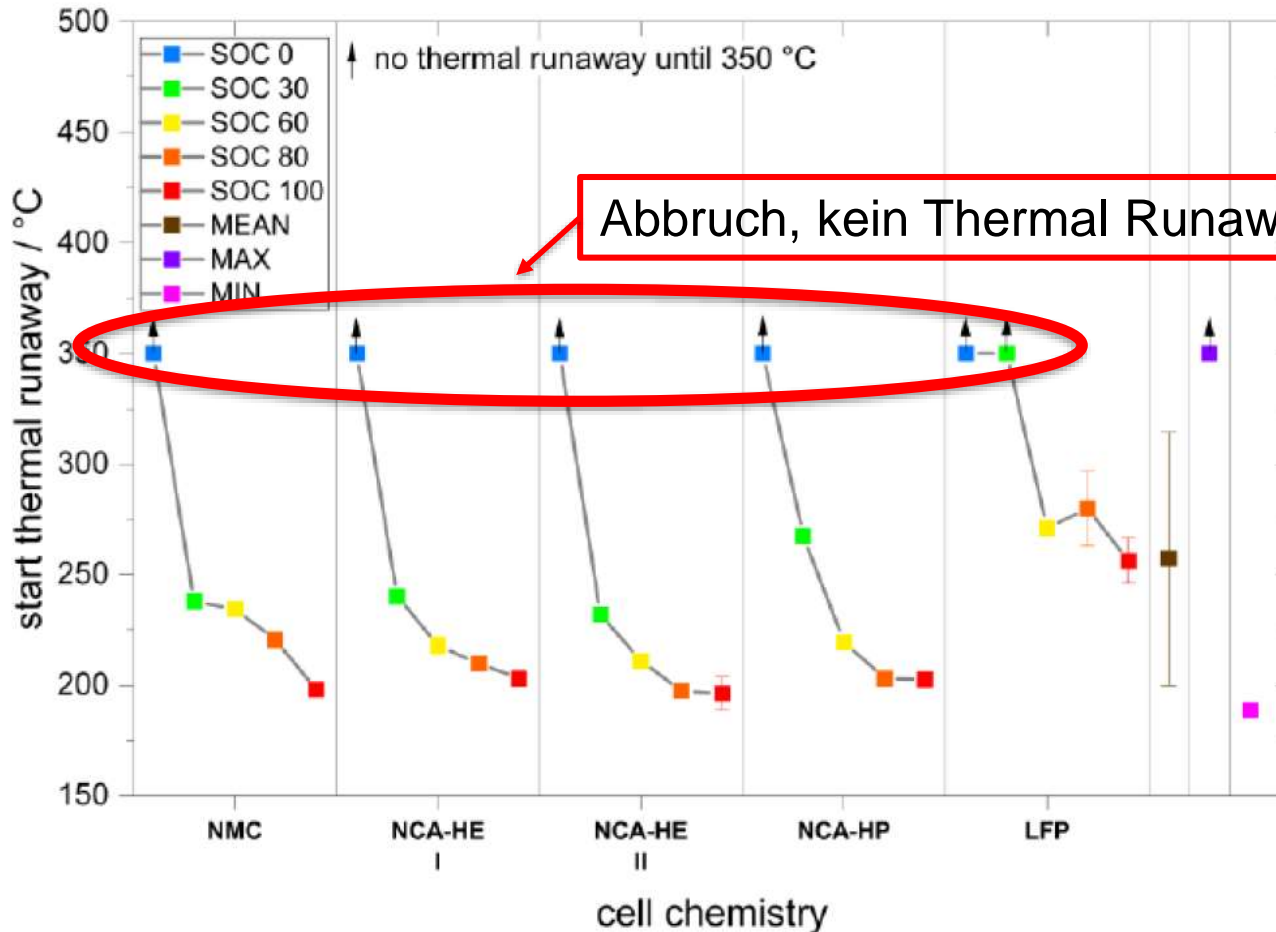
Ohneseit, Sebastian et al. (2023): „Thermal and Mechanical Safety Assessment of Type 21700 Lithium-Ion Batteries with NMC, NCA and LFP Cathodes— Investigation of Cell Abuse by Means of Accelerating Rate Calorimetry (ARC)“. In: Batteries 2023, 9(5), 237;

<https://doi.org/10.3390/batteries9050237>.

Kritische Temperatur Zelle



Start Thermal Runaway (SOC [%] + Zellchemie)



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



Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



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:

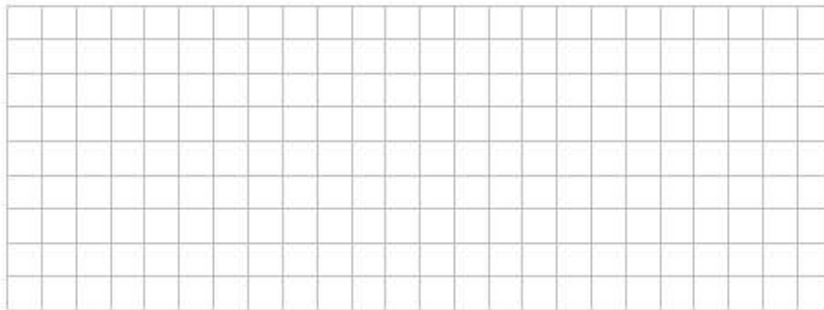
Durchführung:

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	+ min
MP 1	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
MP 2	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
MP 3	°C	°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?):



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

Quelle: vfdb e. V.

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

¹ Startuhrzeit

² Als Ergänzung können Fotos für die Dokumentation hilfreich sein

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)



Sicherer Umgang mit Elektrofahrzeugen Handlungsempfehlung für Einsatzkräfte

Stand: November 2023

Erstellt durch das Landesamt für Zentrale Polizeiliche Dienste NRW
in Kooperation mit dem Institut der Feuerwehr des Landes NRW



Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



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 -



- 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](#)



Freigabe des Fahrzeuges durch die Feuerwehr

Anschließend:

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



Drahtloses Auslesen an der Unfallstelle:

- **HV aktiv / inaktiv**
- **max. Zelltemperatur [$^{\circ}$ C] (+ Tendenz)**
- **SOC [%]**

Ende

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



Herzlichen Dank!