



RECOVER-E

Wissenschaftliche Studie zum Thema

„Sicherheitsrelevante Fragen bei Unfallsituationen mit batterieelektrischen Fahrzeugen“

Gesamtprozess für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen

FT Manfred Haslinger

Niederösterreichischer Landesfeuerwehrverband
SCHADSTOFFBERATUNGSDIENST



ÖSTERREICHISCHER
BUNDES **FEUERWEHR** VERBAND



Landesgesellschaft
Österreich



AbfallverwertungSTECHNIK
& AbfallWIRTSCHAFT

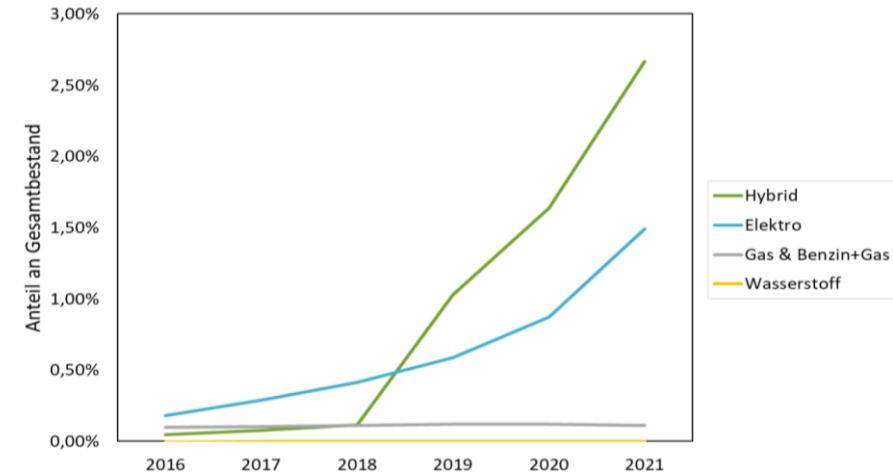
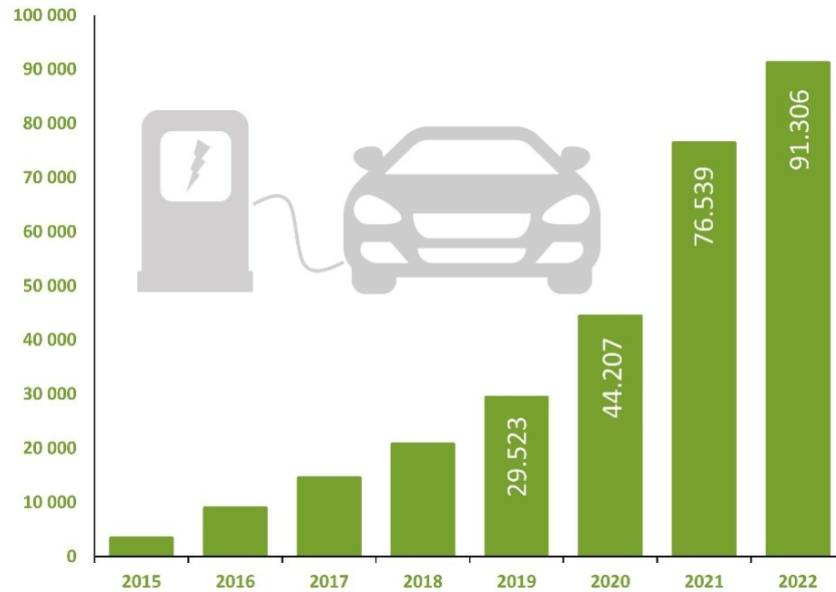


Ergebnisse der Projekte

- **BRAFA** (Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen)
- **BEVITUN** (Auswirkungen von Bränden mit Fahrzeugen alternativer Antriebssysteme und Kraftstoffe in Tunnelanlagen)
- **SUVEREN** (Verbesserung der Sicherheit in unterirdischen städtischen Verkehrsbereichen bei Einsatz neuer Energieträger)
- **ALBERO** (Transport alternativ betriebener Fahrzeuge auf RoRo-Fähren)
- **SafeLiBatt** (Safety and risk assessment of 1st and 2nd life lithium-ion batteries)
- **BAT-SAFE** (Auswirkungen und Risikoanalyse von Batterien in abfallwirtschaftlichen Systemen)
- **AbER innovation** (Innovationsnetzwerk Brandschutz in Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling)



Anteil PKW mit alternativen Antrieben:



Statistik aus NL zeigt ungefähren Trend :

0,6-1 Brände / 10.000 PKW mit elektr. / Hybridantrieb
3-6 Brände / 10.000 PKW mit konventionellen Antrieb

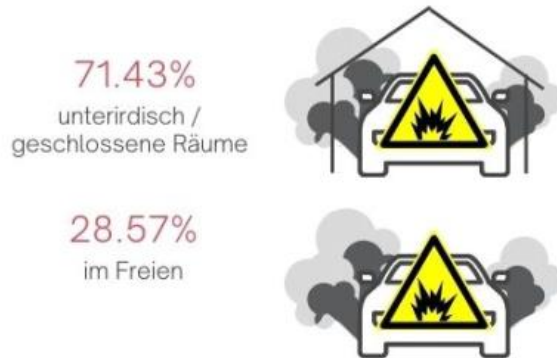
(Mehr zukünftige Brände bei alten e-Autos ??)

Brände von Antriebsbatterien elektrischer Fahrzeuge sind selten aber bringen neue Risiken und Herausforderungen für Einsatzkräfte mit sich. Von den bestätigten Vorfällen fanden wir heraus:



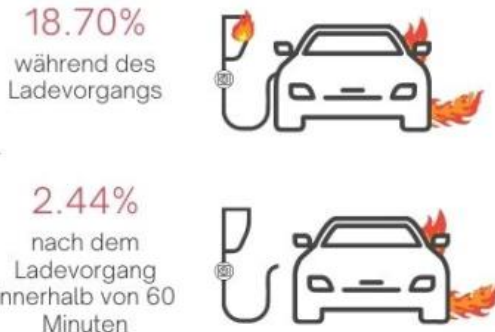
Explosion von Elektrolytendämpfen

aus allen Vorfällen mit Explosion nach Notentgasung:



Laden

aus allen Vorfällen:



Stromschlag

Wir fanden KEINE Aufzeichnungen zu Stromschlägen oder Beinaheunfällen durch Strom:



2. Szenarien und Gesamtprozess

Verlassen des Sicheren Zustandes einer Li-Ionen Zelle durch:

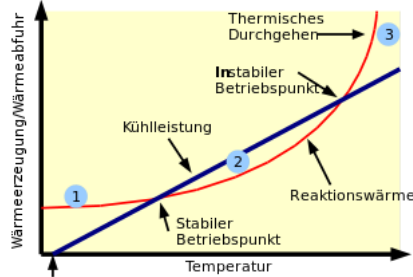
- **Mechanischer Stress**
Penetration, Stoß, Quetschung
- **Operativer Stress**
Verwendung (Dendritenbildung, Aging, falsche Ladeströme)
- **Thermischer Stress**
Externe Hitzeentwicklung, fehlende Kühlung,..



Mögliche Szenarien

Thermal Runaway (Thermisches Durchgehen) von Batteriezellen bezeichnet die Überhitzung der Zelle durch einen sich selbst verstärkenden wärmeproduzierenden Prozesses.

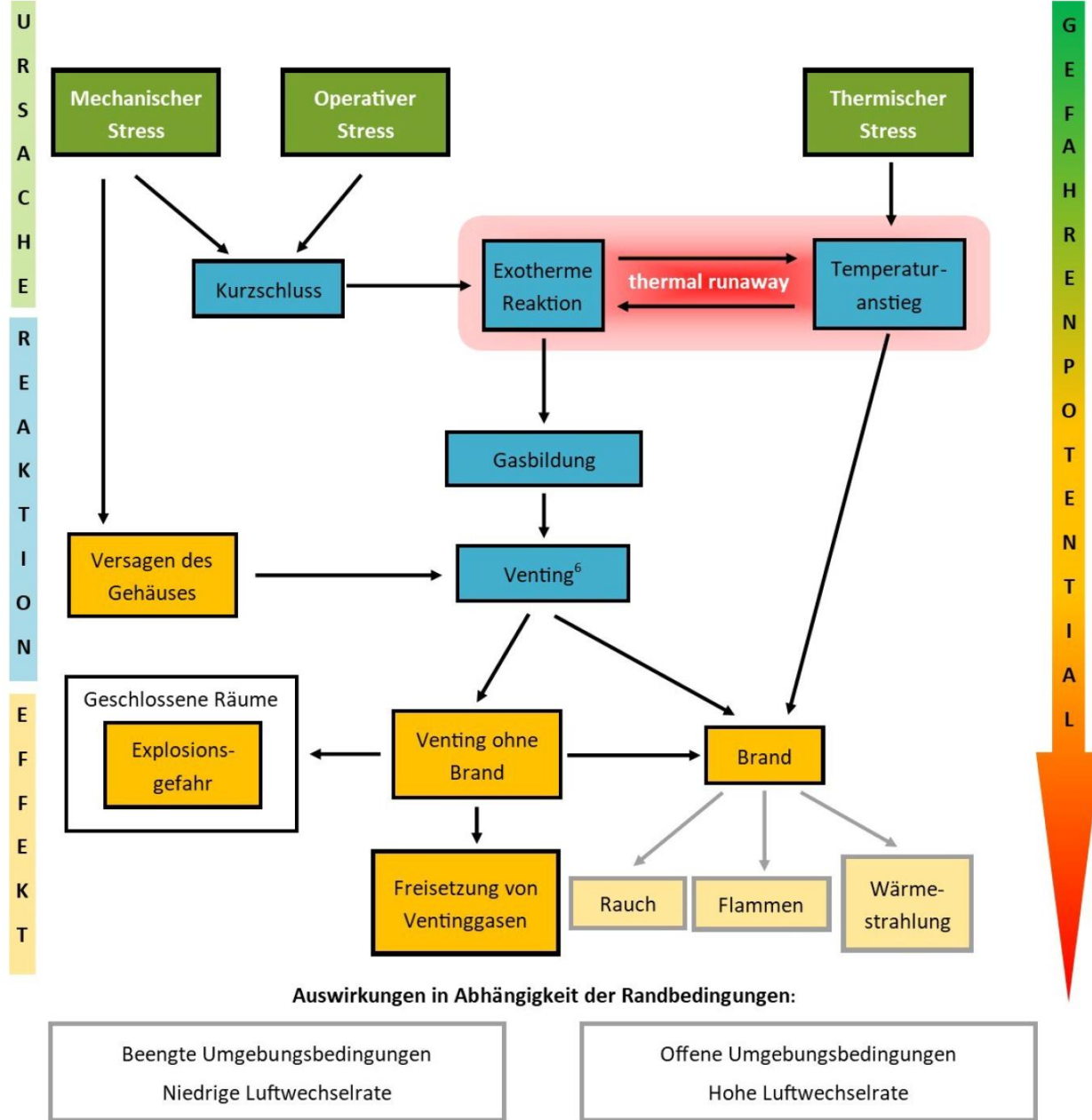
Wärmebilanz eines Reaktors mit exothermer Reaktion (schematisch)



Kühlmitteltemperatur

- 1 Reaktion startet, es wird mehr Wärme erzeugt als abgeführt
- 2 Mehr Wärme wird abgeführt als erzeugt, Rückkehr zum stabilen Betrieb
- 3 Die Kühlleistung reicht nicht mehr aus, thermisches Durchgehen

Unter **Venting** wird das potenziell brandgefährliche Ausgasen einer Batteriezelle verstanden. Tritt dieses Gas in Kontakt zu einer Zündquelle kann es zur Entflammung kommen.



Auswirkungen in Abhängigkeit der Randbedingungen:

Beengte Umgebungsbedingungen
Niedrige Luftwechselrate

Offene Umgebungsbedingungen
Hohe Luftwechselrate



4.1 Brand

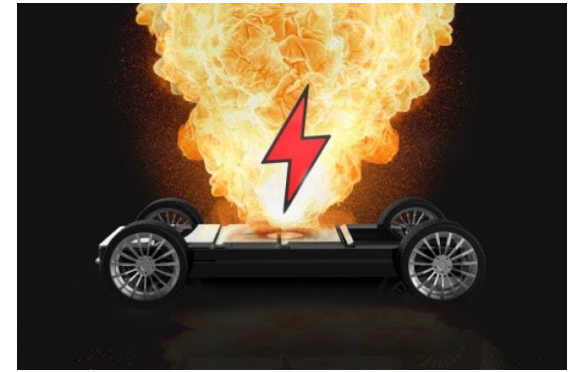
Nicht alle Brände eines e-Autos stehen in Zusammenhang mit der Antriebsart

→ ist Hochvoltbatterie betroffen ?

→ Wissen über Einbauort der Batterie bzw. die verbaute Technologie wichtig !!



Indikatoren für Brand Hochvoltbatterie

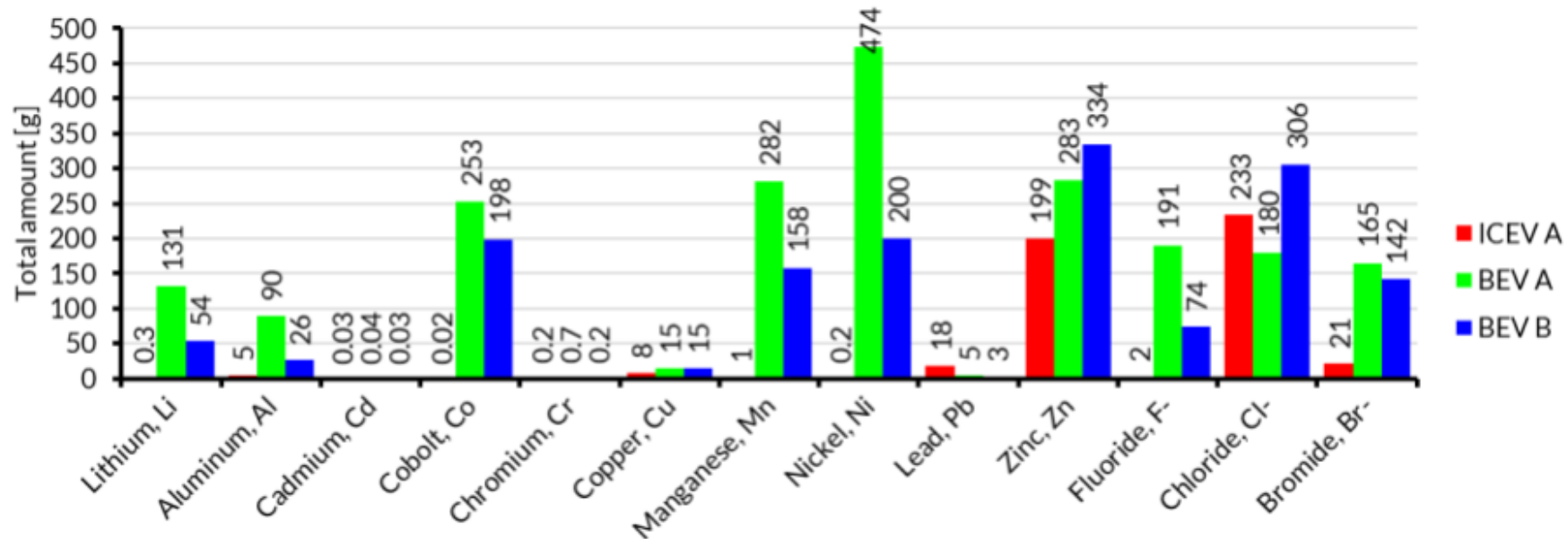


- Rauchentwicklung / austretende Dämpfe aus der Hochvoltbatterie
- Geräuschentwicklung (Zischen, Pfeifen, Knattern)
- Funkenflug und Stichflammenbildung
- Abnormer, aromatischer, verschmorter Geruch (Kaugummi, Kirsche)
- Temperaturerhöhung über längeren Zeitraum



: Batteriemodul (linkes Bild) und ausreagiertes Batteriemodul nach einem thermal runaway (rechtes Bild)

Metallfreisetzung beim Abbrand verschiedener Fahrzeuge



ICEV A – konventionell

BEV A, BEV B - elektrisch

- Umluft unabhängiger Atemschutz !!
- Schutzbekleidung (Flammschutzhaube,..)
- **Hygiene**

**Größter Unterschied zu konventionellen Antrieb
bei Metallen Li, Al, Co, Mn, Ni sowie HF**

4.1.1.1. Brände im Freien ohne versiegelte Fläche bzw. Kanalisation

Effektive Löschwasserrückhaltung im Erstangriff meist nicht möglich

Löschwasser welches direkt in die Batterie eingebracht wird,
überschreitet die Grenzwerte für Industrieabwässer
→ Gegebenenfalls Wasserrechtsbehörde zuziehen.

4.1.1.2. Brände im Freien auf versiegelten Flächen mit Kanalisation

In der Kanalisation wäre Löschwasserrückhaltung denkbar -
Wasserrechtsbehörde und Betreiber der Abwasserklärung beiziehen.
Verdünnungseffekt je nach Abwassersituation



4.1.2. Brände in Bauwerken

Bei schlechter Belüftung explosionsfähige Atmosphäre bei Notentgasung der Batterie möglich



Explosion einer Garage in Neuss bei Brand eines e-Autos

2023-04-11 08:30:46 -0600
AXON BODY 3 X60AC497T



4.1.2.1. Parkhaus

Brandlast eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeuges ähnlich dem mit konventionellem Antrieb ist. (bei vollgeladenen e-Fahrzeug ca 1 MW größer (statt 2,5-4,5 → 3,5 bis 5,5 MW))

Brandlast neuer Fahrzeug unabhängig Antriebsart größer

Ladeinfrastruktur nicht in Nähe von Fluchtwegen, Stiegen, Lifte ...

Problem bei Sprinkleranlagen:

Ventinggase lösen keine Sprinkler aus (Auslösetemperatur 68°C)



4.2. Technischer Einsatz

4.2.1. Verkehrsunfall mit eingeklemmter oder eingeschlossener Person

Standardeinsatzmaßnahmen grundsätzlich gleich wie derer konventioneller Antriebe und es sollte aufgrund vieler Schutzsysteme vom Hochvoltsystem keine Gefahr ausgehen.

Sind offene spannungsführende Teile erkennbar so sind diese mit isolierenden Schutzdecken abzudecken.

Bei Manipulationen – störlichtbogen-sichere, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe zu tragen.

4.2.2. Fahrzeug im Wasser

Grundsätzlich keine Gefahr, Havariefahrzeug muss in Quarantäne gestellt werden.



4.2.3 Fahrzeug anheben:

Nach Herstellervorgaben um eine Beschädigung des Batteriepakets zu vermeiden.

- Verwendung erlaubter Hebepunkte
- Anheben über Räder möglich.
- Gewicht generell höher aufgrund der Batterie



[Von Dinkun Chen - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0](#)

5. Bearbeitung der Unfallszenarien durch Einsatzorganisationen

5.1. Erkennen der Antriebsart von Fahrzeugen (Konventionell, Wasserstoff, Elektrisch)

- Kennzeichen (Grün für AT, Deutschland – letzter Buchstabe „E“)
- eCall – System 112: Minimaldatensatz zur Polizei (bei Auslösung Airbag).
- eCall – System TPS: Über Callcenter des Betreibers

5.1.4 Kennzeichenabfrage:

<https://feuerwehrapp.at/>


(Logindaten werden durch den Bundesfeuerwehrverband vergeben)

Suche nach Kennzeichen

Behörde: FW Vormerkzeichen: KFZ1

SUCHEN

Daten aus Zulassung:

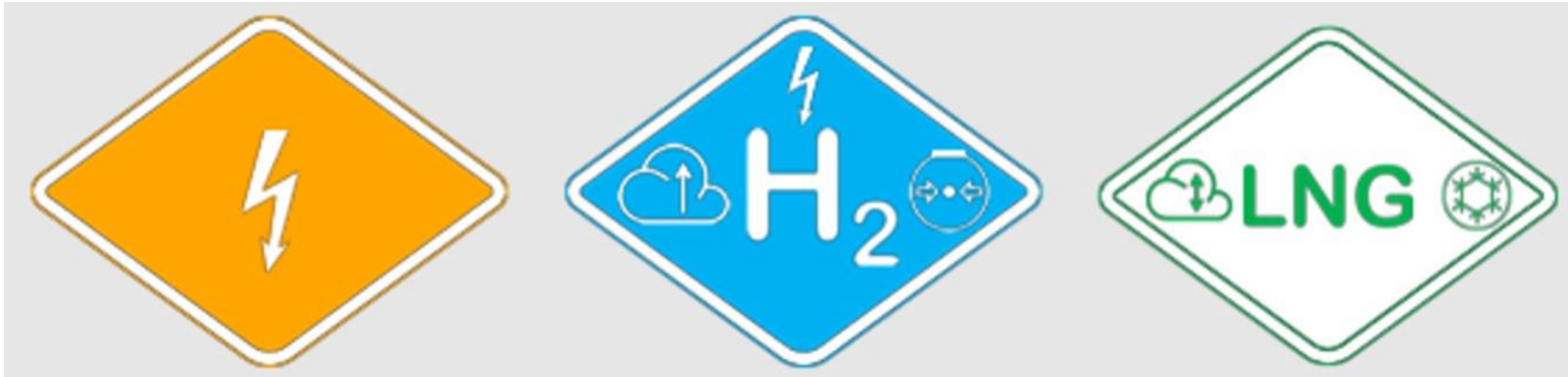
Antrieb	Diesel 
Marke	Opel
Name	ASTRA SPORTS TOURER+
Type	B-K
Höchstzul. Masse	1930
Erstzulassung	2018-04-04
FIN	W0VBXXEK5J8012345
Variante	DA0FCB12
Version	BK2G2JBDK5

Nur österreichische Kennzeichen → Auskunft über Antriebsart zu wenig →
Rettungsdatenblatt (Euro Rescue App)



5.1.5. ISO 17840 - Teil 4

Kennzeichnungssymbole nach ISO **17840-4** für



Elektrofahrzeuge

- Wasserstofffahrzeuge

- LNG-Fahrzeuge

In Österreich verläuft die Implementierung des Teils Nummer 4 [46] sehr schleppend.

5.2.1. Rettungsdatenblätter

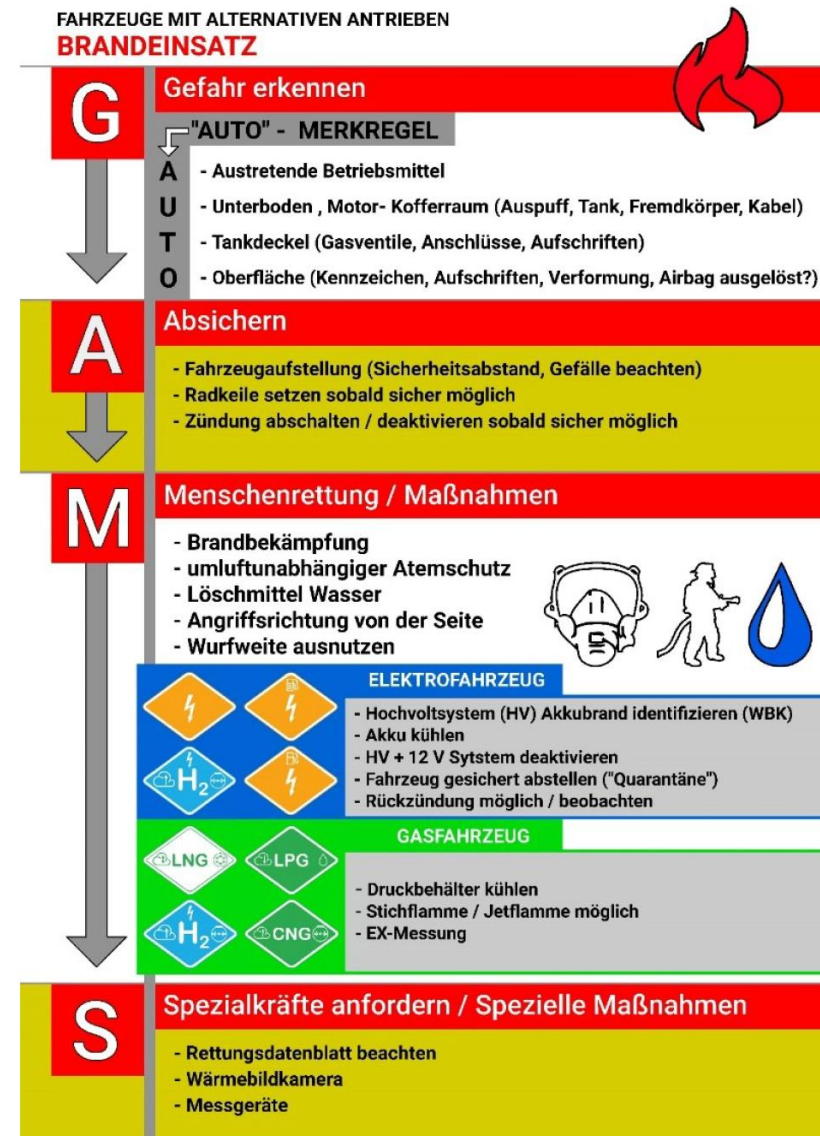
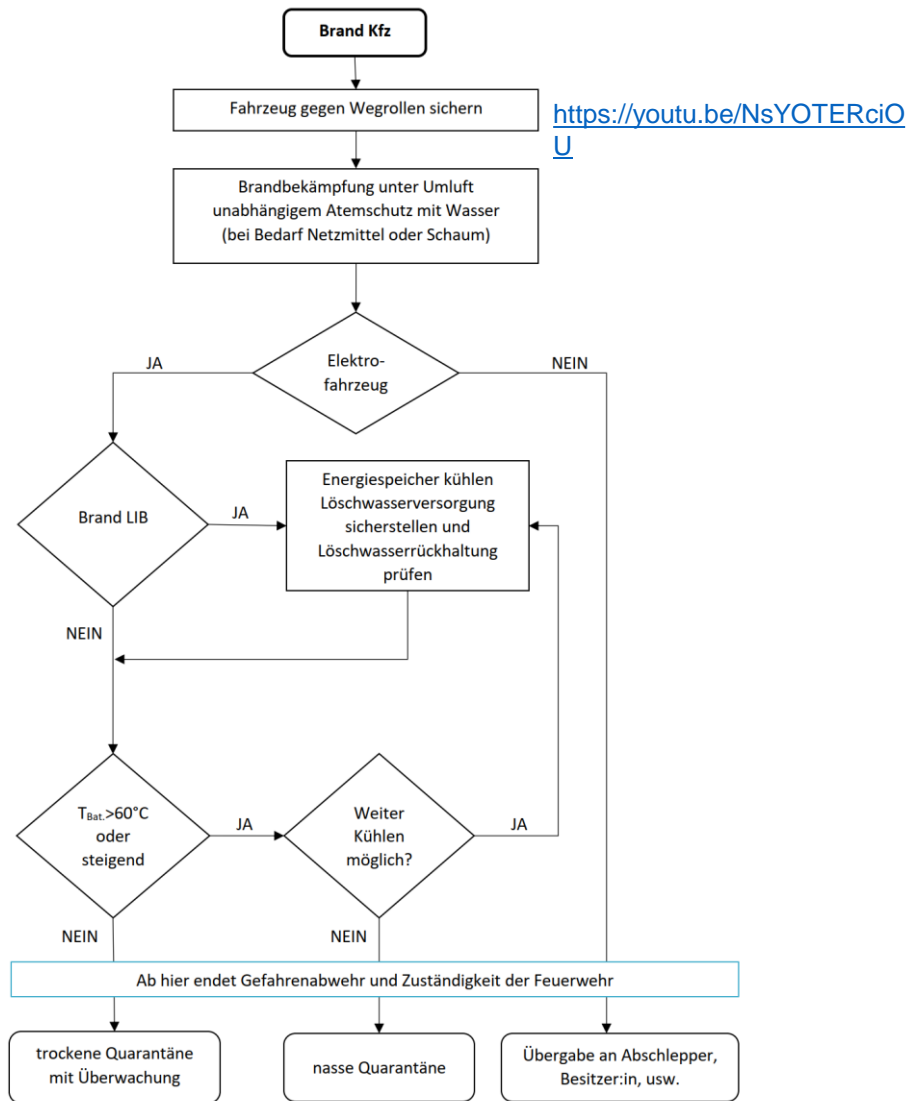
Euro RESCUE App



Jeep	Jeep Renegade 4xe - 5 Türen 2020-06								
5.									
	Airbag		Aufblasvorrichtung in seiner Box		Gurtstraffer		SRS-Steuergerät		Aktives Fußgänger-Schutzsystem
	Automatisches Überrollschutzsystem		Gasdruckstoßdämpfer / vorgespannte Feder		Hochfeste Zone		Zone, die besondere Aufmerksamkeit erfordert		
	Niederspannungsbatterie		Ultrakondensator, Niederspannung		Kraftstofftank		Gas-Tank		Sicherheitsventil
	Hochspannungsbatteriepaket		Hochspannungs-Stromversorgungskabel/-Komponente		Hochspannungs-Notabschaltung		Sicherungskästen zur Abschaltung der Hochspannung		Ultrakondensator, Hochspannung
	Niederspannungstrennung für Hochspannung		Kabelschnitt		Hochspannungskomponenten		Kraftstofftank		
				ID-Num.	57_609_RENEGADE_000.00.000_DE_02_06.20_TH	Version-Num.	02	Seite N°	1/4

5.3. Unfallbearbeitung durch die Feuerwehr im Brandfall (ÖBFV Info E20)

Unterschied in Löscharbeiten von normalen PKW nur wenn Hochvoltbatterie direkt betroffen ist.



5.4 Löschmittel / -systeme

5.4.1 Wasser

Grundsätzlich das in Rettungsleitfäden empfohlene Löschmittel
Bei Batteriebrand nur effektiv wenn in Batterieraum gelang

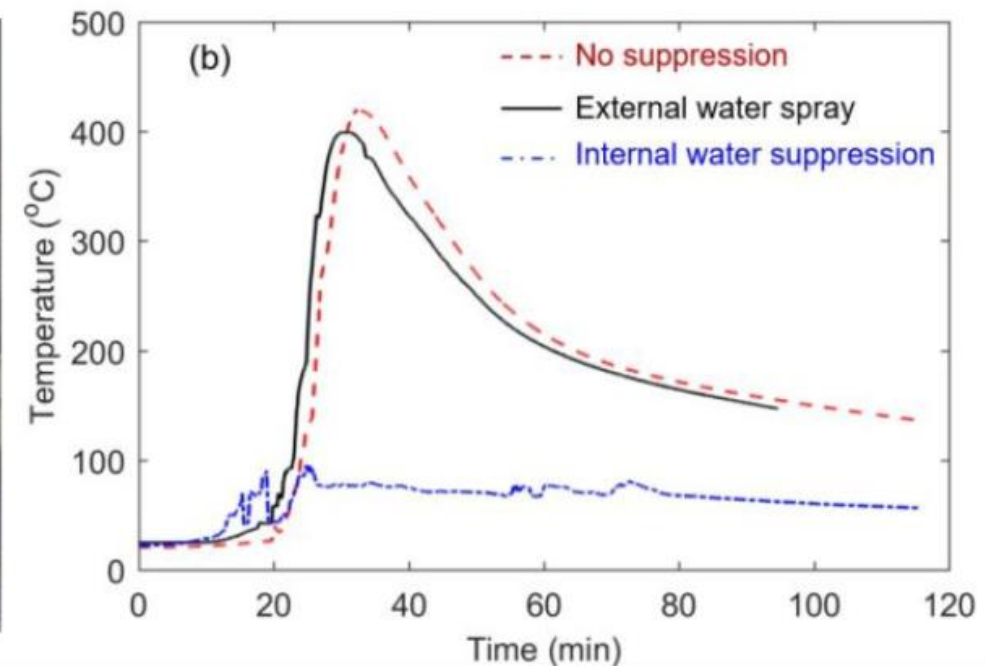


Abbildung 12: Vergleich keine (rote Linie) / externe (schwarze Linie) / interne (blaue Linie) Kühlung [49]

5.4.1.1 Systeme zur Flutung

Für Löscherfolg muss Wasser in das Batteriegehäuse gelangen

→ Flutung in einer Wanne bis zur Höhe Batterieniveau.

Achtung: Nur sinnvoll wenn Batterie am Brandgeschehen

teilnimmt und exotherm reagiert ansonsten Herbeiführung kritischer Zustand der Batterie

→ Temperaturmessung gehäuse > 60-70°C.

→ Wenn nach Kühlung innerhalb kurzer Zeit wieder erwärmt – Indikation für exotherme Reaktion

Löschsystem „Flutung mit Hilfe von Container“ nur bis zu einer gewissen Fahrzeuggröße (keine Busse, LKW, ..)

Achtung: System Patentiert von Fa. Ellermann GmbH. !!



Red Boxx System der Firma Ellermann

5.4.1.2. Penetrierende Systeme zur internen Kühlung

- Dorn / Lanze durchsticht Batteriegehäuse → Löschwasser in die Batterie
- Modul wird beschädigt und ein Thermal Runaway eingeleitet
- Nur wenn Reaktion bereits stattfindet ansonsten wird mit der Aktion ein Thermal Runaway gestartet

Hochvoltsystem ist ein IT-System (isolé terre – isoliert gegenüber Erde).

Wird jedoch durch das Penetrieren eines noch nicht beschädigten Moduls über das handgeführte Penetrationswerkzeug ein zweites Potenzial abgegriffen, könnte es im Worst-Case-Fall zu einem Potenzialausgleich über die Bedienmannschaft kommen.

DGUV empfiehlt solche Systeme nicht einzusetzen. (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung)



5.4.5 Lösch-, Brandbegrenzungsdecke

Lösch- bzw. Brandbegrenzungsdecken nutzen den Effekt des Ersticken

Brand in der Batterie kann nicht erstickt werden da dieser durch die chem. Reaktion frei wird.

Ausblasende Gase/Dämpfe sind brennbar und benötigen Umgebungssauerstoff

→ Brandbegrenzungsdecke

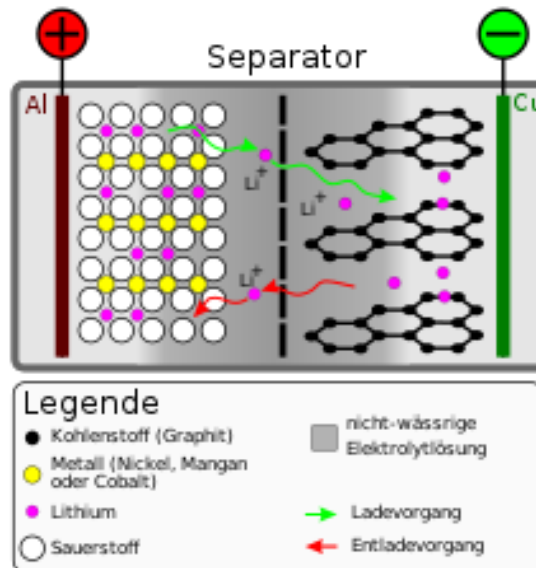


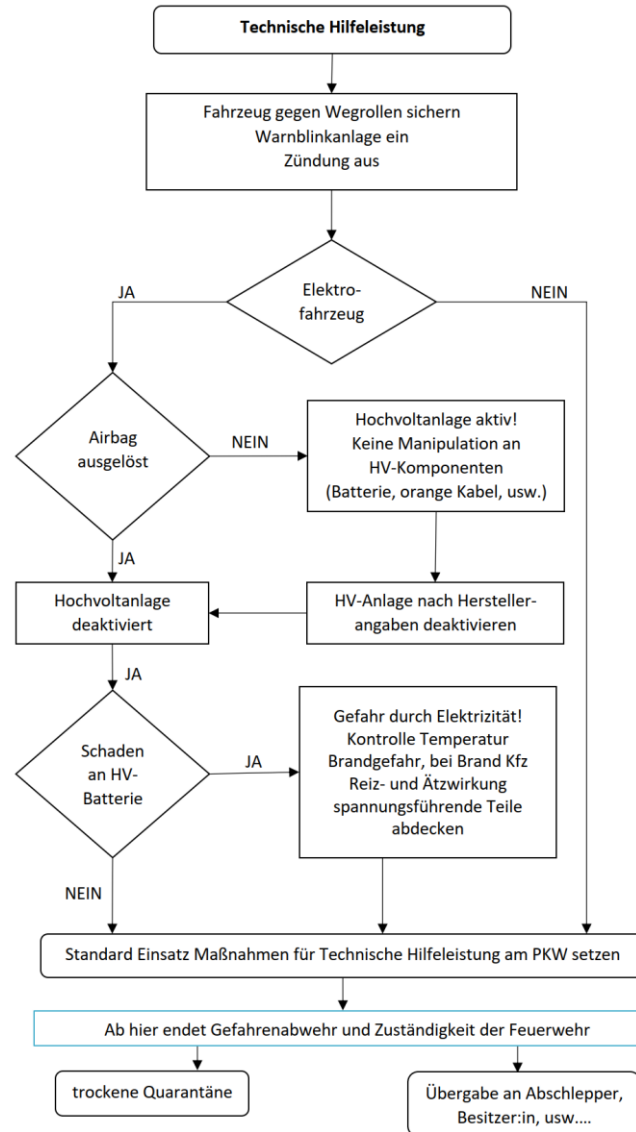
Abbildung 13: Beispiel für eine Elektro-Fahrzeug-Sicherheitshülle (Quelle: SEDA Umwelttechnik GmbH)

Ablauf eines Technischen Einsatzes der Feuerwehr

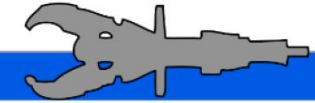
Frühzeitig Antriebsart Erkunden
Einschätzung Beschädigung

Wenn Batterie offensichtlich
beschädigt
→ Brandschutz mit AS

Beobachtung Batterie mit
Wärmebildkamera
(Temperaturanstiege /
Rauchentwicklung)



FAHRZEUGE MIT ALTERNATIVEN ANTRIEBEN TECHNISCHER EINSATZ



G

Gefahr erkennen

"AUTO" - MERKREGEL

- A** - Austretende Betriebsmittel
- U** - Unterboden, Motor- Kofferraum (Auspuff, Tank, Fremdkörper, Kabel)
- T** - Tankdeckel (Gasventile, Anschlüsse, Aufschriften)
- O** - Oberfläche (Kennzeichen, Aufschriften, Verformung, Airbag ausgelöst?)

A

Absichern

- Fahrzeugaufstellung (Sicherheitsabstand, Gefälle beachten)
- Radkeile setzen sobald sicher möglich
- Zündung abschalten /deaktivieren sobald sicher möglich

M

Menschenrettung / Maßnahmen

- 12 V System deaktivieren (Kontrolle mit Warnblinkanlage)
- Rettungsdatenblatt verwenden

ELEKTROFAHRZEUG

- Hochvoltssystem (HV) deaktivieren - lt. Herstellerangaben
- beschädigte, freiliegende HV-Komponenten abdecken
- mechanische Krafteinwirkung an HV Komponenten vermeiden
- Brandgefahr durch beschädigte HV-Batterie beachten
- rasche Rettung bei Rauchentwicklung aus HV-Bereich
- bei verformten HV-Batteriegehäuse Quarantäne

GASFAHRZEUG

- bei Gasgeruch Zündquellen vermeiden und für Belüftung sorgen
- EX- Messung

S

Spezialkräfte anfordern / spezielle Maßnahmen

- Wärmebildkamera
- Messgeräte
- gesicherter Abtransport



Handlungsempfehlungen für Einsatzorganisationen:

- Einsatzorganisationen sollen ihren Mitgliedern bzw. Mitarbeiter:innen Ausbildungsmaterial für das Arbeiten an batterieelektrischen Fahrzeugen und auch in Bezug auf Einsatzhygiene aktiv anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.
- Wasser ist als Löschmittel für batterieelektrische Fahrzeuge und als Kühlmittel für die Batterie grundsätzlich geeignet und soll daher primär als Löschmittel eingesetzt werden.
- Grundsätzlich sind KEINE Löschmittelzusätze notwendig, um einen Fahrzeugbrand unter Beteiligung einer Lithium-Ionen-Batterie zu löschen. Wasser soll daher vorwiegend als Kühl- und Löschmittel in Betracht gezogen werden.
- Für Einsatzorganisationen werden derzeit folgende zusätzliche Ausrüstung für den technischen Einsatz empfohlen: Störlichtbogengeprüfte, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe (lt. EN 60903 UND IEC 61482 Kl.2) und eine isolierende Schutzmatte nach EN IEC 61112.
- Seitens der Feuerwehren ist das Vorhandensein von Wärmebildkameras bei Unfällen und Bränden von FCEVs (Fuel Cell Electric Vehicles – Brennstoffzellen) im Alarmierungsablauf zu berücksichtigen bzw. vorzusehen.



Ausbildungsunterlagen ÖBFV Info E-20:

Einsatz mit Alternativ angetriebenen Fahrzeugen und deren Peripherie

<https://www.bundesfeuerwehrverband.at/wp-content/uploads/2022/11/E-20-2022.pdf>

<https://www.bundesfeuerwehrverband.at/wp-content/uploads/2022/11/20221128-E-20-Beilage-V4.0.zip>



Video – Links:

- <https://www.youtube.com/watch?v=Le6KNI9YsH0>
- <https://www.youtube.com/watch?v=mIldMkwKLp4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=wxr1iXEf9lY>



Sonstige Links

[Mitschnitt einer Bodycam, Vermutlich Explosion von Venting Gasen eines Hybridfahrzeuges April 23](#)

Auto fängt Feuer, nachdem es vom Frachter Fremantle Highway entladen wurde

<https://nos.nl/artikel/2488608-auto-vat-vlam-na-lossen-van-vrachtschip-fremantle-highway>

Defekter E-Auto-Akku löste Explosion aus - Garagen zerstört, Wohnhäuser beschädigt

<https://www.spiegel.de/panorama/neuss-defekter-e-auto-akku-loeste-explosion-aus-a-f0533b58-90cf-4cf1-91d6-816f8fa39416>

<https://www1.wdr.de/nachrichten/explosion-neuss-elektroauto-100.html>

<https://www.feuerwehrmagazin.de/nachrichten/news/zwei-hybrid-pkw-sorgen-fuer-gebaeude-vollbrand-123454>

[https://wiki.einsatzleiterwiki.de/doku.php?id=cbrn:chemisch:klasse_9:stoffe:lithium-ionen-akkumulatoren&s\[\]=lithium&s\[\]=akku](https://wiki.einsatzleiterwiki.de/doku.php?id=cbrn:chemisch:klasse_9:stoffe:lithium-ionen-akkumulatoren&s[]=lithium&s[]=akku)

<https://www.ff-ried.at/einsatz/brand-kfz-e-brand-container-poetschenpass/>



Danke für die Aufmerksamkeit

