

RECOVER-E

Gesamtprozess für den sicheren
Umgang mit verunfallten
batterieelektrischen Fahrzeugen

Impressum

Herausgeberin: Projektkonsortium RECOVER-E

Redaktion: Projektkonsortium RECOVER-E

Texte: Mitarbeiter:innen des Projektkonsortiums RECOVER-E (Michael Altendorfer, Iris Berneder, Rainer Dagn, Marie-Sophie Gahler, Robert Hermann, Dominik Hochenegger, Michael Hutterer, Katja Hüttenbrenner, Christoph Karall, Hannes Kern, Christian Klejna, Raphael Koller, Wolfgang Niederauer, Thomas Nigl, Roland Pomberger, Andrej Prosenc, Sebastian Raubinger, Hubert Springer)

Titelbild: Friedrich / dpa / picturedesk.com

Illustrationen und Bilder: Mitarbeiter:innen des Projektkonsortiums

Vorau, April 2023

Im Auftrag des Klima- und Energiefonds und dem Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) im Rahmen der FTI Initiative Zero Emission Mobility Implementation

RECOVER-E

Wissenschaftliche Studie zum Thema

Sicherheitsrelevante Fragen bei Unfallsituationen mit batterieelektrischen Fahrzeugen

Gesamtprozess für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen vom Unfallort bis zur Verwertungsstelle

Projektleitung

Hannes Kern, Katja Hüttenbrenner

IRIS - Industrial Risk and Safety Solutions e.U.

Autor:innen

Michael Altendorfer, Thomas Nigl, Roland Pomberger

Montanuniversität Leoben

Christoph Karall, Christian Klejna, Andrej Prosenc

Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club (ÖAMTC)

Marie-Sophie Gahler, Dominik Hochenegger, Michael Hutterer, Raphael Koller,

Wolfgang Niederauer, Hubert Springer

Österreichischer Bundesfeuerwehrverband

Rainer Dagn, Sebastian Raubinger

SEDA-Umwelttechnik GmbH

Iris Berneder, Robert Hermann

TÜV SÜD Landesgesellschaft Österreich GmbH

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Zusammenfassung.....	8
1. So wurde gearbeitet	13
2. Szenarien und Gesamtprozess.....	22
3. Statistik Unfälle und Brände mit batterieelektrischen Fahrzeugen.....	27
4. Unfallszenarien im Zusammenhang mit batterieelektrischen Fahrzeugen	32
4.1. Brand [15] [16] [17] [18].....	32
4.1.1. Brände im Freien	34
4.1.2. Brände in Bauwerken	35
4.1.3. Brände in/auf Transportmittel	37
4.1.4. Brände an der Ladestation und Tankstellen	37
4.2. Technischer Einsatz	39
4.2.1. Verkehrsunfall mit eingeklemmter oder eingeschlossener Person	39
4.2.2. Fahrzeug im Wasser	39
4.2.3. Fahrzeug anheben	39
5. Bearbeitung der Unfallszenarien durch Einsatzorganisationen	40
5.1. Erkennen von batterieelektrischen Fahrzeugen.....	40
5.1.1. Kennzeichen	40
5.1.2. Automatisches Notrufsystem Emergency Call „eCall“	40
5.1.3. Die AUTO-Regel der Feuerwehr	42
5.1.4. Kennzeichenabfrage	43
5.1.5. ISO 17840 - Teil 4.....	43
5.2. Informationsbeschaffung / Einsatzhilfen.....	44
5.2.1. Rettungsdatenblätter	44
5.2.2. Rettungsleitfäden	46
5.2.3. QR-Code am Fahrzeug.....	46
5.2.4. Informationen im Fahrzeugdisplay	46
5.3. Unfallbearbeitung durch die Feuerwehr im Brandfall [16]	47
5.3.1. Ablaufschema Brand Kfz.....	49
5.4. Löschmittel /-systeme.....	50
5.4.1. Wasser.....	51
5.4.2. Löschmittelzusätze (für Wasser)	54
5.4.3. Löschgase	54
5.4.4. Feste Löschmittel	55
5.4.5. Lösch-, Brandbegrenzungsdecke.....	55
5.5. Ablauf eines Technischen Einsatzes der Feuerwehr [15] [16]	56

5.5.1.	Ablaufschema Technischer Einsatz	57
5.6.	Sondergeräte für technischen Einsatz	58
5.6.1.	Elektrisch isolierende Schutzhandschuhe, störlichtbogensicher	59
5.6.2.	Isolierende Schutzmatte nach EN IEC 61112	59
5.7.	Unterschiede FCEV zu BEV [51]	59
5.7.1.	Wasserstoffflammen	61
5.7.2.	Unfallbearbeitung an einem FCEV-Fahrzeug	62
6.	Schnittstellen bei Unfall, Rettung, Abtransport, Demontage und Recycling.....	64
7.	Abtransport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen.....	67
7.1.	Qualifizierungsanforderung und Ausrüstung des Personals von Abschleppdiensten	68
7.2.	Sicherung während des Fahrzeugtransportes	70
7.3.	Sicherstellung der rechtlichen Zulässigkeit von Fahrzeugtransporten.....	72
7.4.	Spezialfahrzeuge bzw. Spezialgeräte für die Bergung von E-Fahrzeugen.....	76
8.	Sicherung und Lagerung von abtransportierten verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen	78
8.1.	Anforderungen an den Quarantäneplatz.....	79
8.2.	Lagerungsmöglichkeiten - Quarantäneplatz	82
9.	Schadensbewertung	86
10.	Demontage von batterieelektrischen Fahrzeugen	89
10.1.	Betriebsstätten(-genehmigung) für Demontagebetriebe	90
10.2.	Arbeitsschritte bzw. Teilprozess Demontage	90
10.2.1.	Anlieferung des Fahrzeuges	91
10.2.2.	Entfernen der Hochvoltbatterie aus dem Fahrzeug.....	91
10.2.3.	Zerlegeprozess von Traktionsbatterien.....	91
10.2.4.	Kritisches Fahrzeug in Quarantäne-Container mit Reaktion der Batterie	92
10.2.5.	Kritische Batteriesysteme in Sicherheitsboxen	92
10.3.	Zusätzliche Probleme und Schwierigkeiten	92
11.	Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen	95
11.1.	Potential an EoL-Lithium-Ionen-Batterien für Österreich	95
11.2.	Entsorgung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen	96
11.3.	Sammlung und Rücknahme von Batteriesystemen aus Elektro-PKW.....	97
11.4.	Informationen und Daten über die Batterien	98
11.5.	Second Life für Batteriesysteme	99
11.6.	Recycling von Lithium-Ionen-Batterien	100
11.6.1.	Recyclinganlagen in der EU	101
11.6.2.	Betrieb und Betriebsstätten für Recyclingbetriebe	102

11.6.3. Stand der Technik – Recycling.....	103
Literaturverzeichnis.....	107
Anhang A – Musterblatt OVE R19.....	114
Anhang B – Übergabeprotokoll des Landesfeuerwehrverbandes OÖ als Beispiel für ein solches ..	115
Anhang C – Sondervorschrift 666	117
Anhang D – Sondervorschrift 667	118
Anhang E – Beispiel eines betriebsinternen Annahme-Protokolls von batterieelektrischen Fahrzeugen für Demontagebetriebe.....	119
Anhang F – Auszüge aus der Batterieverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. 311/2021) [76]	121

Vorwort

Für die Energiewende im Mobilitätssektor sind Alternativen zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren eine notwendige Voraussetzung. Um auf sicherheitsrelevante Themen im Bereich E-Mobilität einzugehen, wurde im Rahmen des Programmes „Zero Emission Mobility Implementation“ des Klima- und Energiefonds das Projekt **RECOVER-E** gestartet. Der Anteil an batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV, HEV und FCEV) wächst von Jahr zu Jahr stark an und wird sich auch in den nächsten Jahren dynamisch entwickeln. Mit den steigenden Neuzulassungszahlen steigt auch das Potential der möglichen Unfälle und Brände. Im Zusammenhang mit der E-Mobilität sind allerdings immer noch einige sicherheitsrelevante Themen nicht ausreichend behandelt, darüber hinaus herrscht in der öffentlichen Debatte eine gewisse Unsicherheit gerade im Zusammenhang mit möglichen Unfallszenarien. Betroffen davon ist vor allem der Umgang mit Unfallfahrzeugen an der Einsatzstelle, die notwendige Identifikation der Antriebsart und der damit verbundenen spezifischen Gefahren, die Sicherung und Vorbereitung für den Abtransport sowie auch eine allfällige Brandbekämpfung. Je nachdem in welcher Umgebung es zum Unfall oder Brand eines Elektrofahrzeuges kommt – sei es auf der Straße, in einem Tunnel oder in einer Garage – gibt es unterschiedliche Rahmenbedingungen, die bei einem Einsatz beachtet werden müssen. Darüber hinaus ergeben sich Fragestellungen im Zusammenhang mit Bergung, Zwischenlagerung und Recycling von Unfallfahrzeugen und Fahrzeugkomponenten (z.B. Lithium-Ionen-Batteriemodulen).

Zu den grundsätzlichen Fragen in Bezug auf Recycling oder Unfallbearbeitung kommt es derzeit auch häufig zu Problemen in Bezug auf die Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern im Gesamtprozess. Um auf diesen Umstand intensiv eingehen zu können, wurde das Projekt RECOVER-E mit einem Konsortium bearbeitet, in welchem Vertreter:innen aus allen relevanten Teilbereichen der Unfallbearbeitung beteiligt waren.

RECOVER-E baute auf Ergebnissen der Projekte BRAFA (Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen) und 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-Fährrschiffen) sowie SafeliBatt (Safety and risk assessment of 1st and 2nd life lithium-ion batteries), BAT-SAFE (Auswirkungen und Risikoanalyse von Batterien in abfallwirtschaftlichen Systemen) und AbER innovation (Innovationsnetzwerk Brandschutz in Abfallwirtschaft, Entsorgung und Recycling) auf. Darüber hinaus wurden Forschungsergebnisse aus dem internationalen Umfeld sowie Erfahrungen aus der bisherigen Praxis in das Projekt mitaufgenommen. Besonders berücksichtigt wurden die Anforderungen und Erfahrungen von Einsatzkräften, Straßenbetreiber:innen, Transportunternehmen, HV-Techniker:innen, Schredder- und Entsorgungsunternehmen, Sachverständigen sowie Fahrzeuglenkerinnen und Fahrzeuglenker. Aus dieser ausgewogenen Mischung an Stakeholdern und wissenschaftlichen Erkenntnissen wurden konkrete Handlungsempfehlungen für den Umgang mit batterieelektrischen Fahrzeugen bei Unfallereignissen abgeleitet. Die Rahmenbedingungen für zukünftige Fälle wurden definiert, um die Prozesse für beteiligte Parteien zu verbessern sowie Lösungswege, weiterführende Fragestellungen und erforderliche gesetzliche Anpassungen aufzuzeigen. Die in diesem Bericht beschriebenen Ergebnisse der Studie beziehen sich auf den Ist-Stand zum Zeitpunkt der Durchführung der Arbeiten im Jahr 2022. Da sich die Anforderungen an dieses Thema dynamisch entwickeln, wird darauf hingewiesen, dass dies nur eine Momentaufnahme darstellt und zukünftige Betrachtungen bzw. Entwicklungen die Ergebnisse der Studie verändern können.

Zusammenfassung

Um die gesteckten Klimaziele in Zukunft zu erreichen, braucht es in allen energieintensiven Industrie- bzw. Lebensbereichen eine Umstellung auf geringeren Energieverbrauch und auf neue und effizientere Technologien. Ein Beitrag hierzu ist die Umstellung von konventionellen Antrieben auf batterieelektrische Fahrzeuge. Mit den steigenden Neuzulassungszahlen steigt jedoch auch das Potential der möglichen Unfälle und Brände mit diesen verbauten Energiespeichern. Im Zusammenhang mit der e-Mobilität sind einige sicherheitsrelevante Themen noch nicht ausreichend behandelt, darüber hinaus herrscht in der öffentlichen Debatte eine gewisse Unsicherheit gerade im Zusammenhang mit möglichen Unfallszenarien. Um auf sicherheitsrelevante Themen im Bereich E-Mobilität einzugehen, wurde im Rahmen des Programmes „Zero Emission Mobility Implementation“ des Klima- und Energiefonds das Projekt **RECOVER-E** gestartet. Fragestellungen im Zusammenhang mit Bergung, Zwischenlagerung und Recycling von Unfallfahrzeugen und Fahrzeugkomponenten (z.B. Lithium-Ionen-Batteriemodulen) sind derzeit noch nicht vollständig geklärt bzw. besteht Handlungsbedarf einerseits für Industrie, andererseits aber auch für Politik und die Gesellschaft.

Die vorliegende Studie baut auf Ergebnissen von nationalen und internationalen Forschungsprojekten auf und verbindet diese mit Erfahrungen aus der bisherigen Praxis von Stakeholdern, welche im Handlungsfeld e-Mobilität aktiv sind. Aus dieser ausgewogenen Mischung wurden konkrete Handlungsempfehlungen für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen bei Unfallereignissen, über Abtransport und Sicherung, bis hin zur Verwertung ausgearbeitet.

Handlungsempfehlungen für Behörden und Gesetzgeber:

- Im Bereich e-Mobilität sind bisher keine spezifischen und belastbaren Unfalldaten und Ereignisdaten vorhanden. Diesbezügliche Daten sollen österreichweit verpflichtend gesammelt, verarbeitet und als Entscheidungsbasis aufbereitet werden.
- Ein verpflichtender eCall 112 mit SAO-Schnittstelle und einer Anlaufstelle für Einsatzorganisationen soll installiert werden.
- Der Gesetzgeber soll es ermöglichen, dass Einsatzorganisationen (Feuerwehr und Rettungsdienste) durch die Kennzeichenabfrage genauere Informationen über die beteiligten Fahrzeuge erhalten, die Information über lediglich die Antriebsart zeigte sich bisher als nicht ausreichend.
- Der Gesetzgeber soll die Möglichkeit schaffen die nationale Kennzeichendatenbank (bzw. mit internationalen Registern wie EUCARIS) mit der Euro RESCUE App der Organisation Euro NCAP zu verbinden.
- Der Gesetzgeber soll die ISO-Norm 17840-4 zur Kennzeichnung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben verpflichtend einführen.
- Der Gesetzgeber soll eine Verringerung der Flammenlänge von Jet-Flamme beim Ansprechen des TRPDs bei Wasserstofffahrzeugen vorschreiben.
- Der Gesetzgeber soll eine Öffnung zur Einbringung von Kühl- bzw. Löschmittel in die Fahrzeugbatterie vom Hersteller verpflichtend fordern.
- Die juristische Angreifbarkeit von Einsatzorganisationen bei der Erfüllung ihres gesetzlichen Auftrages in Hinblick auf patentrechtliche Anforderungen ist eindeutig zu klären. Die Handlungsfreiheit bei der Gefahrenabwehr sollte dadurch möglichst nicht eingeschränkt werden.
- Der Gesetzgeber soll die verpflichtende Einführung des Batterie-Passes weiter vorantreiben.

- Neben den vorgeschlagenen Informationen im Batterie-Pass sind auch Chemismus, Ladezyklen und ein Vermerk „Unfall“ aufzunehmen.
- Die Sinnhaftigkeit einer regelmäßigen Überprüfung der Batterie im Fahrzeug (im Rahmen der jährlichen §57a Überprüfung) sollte eingehend geprüft werden.
- Unterstützungsmaßnahmen (z.B. Förderungen) zur schnelleren Etablierung von Aus- und Weiterbildungsprogrammen für alle Stakeholder und Organisationen sollten auf den Weg gebracht werden.

Handlungsempfehlungen für gesetzliche Versicherungen:

- Die gesetzlichen Versicherungen sollen einen Vorschlag zur Standardisierung der PSA für Monteure in Kfz-Werkstätten und Demontagebetriebe für Elektrofahrzeuge erstellen.
- Die gesetzlichen Versicherungen sollen einen Vorschlag zur PSA für Personal in Recyclingbetrieben erstellen.
- Einheitliche Minimalstandards für Demontagebetriebe zur Bewertung von Fahrzeugen und Komponenten (z.B. einheitliche Bewertungsbögen) sollen erarbeitet werden.
- Die gesetzlichen Unfallversicherungen sollten einen Vorschlag für sicheres Arbeiten in Recyclingbetrieben erstellen.

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 im Alarmierungsablauf zu berücksichtigen bzw. vorzusehen.

Handlungsempfehlungen für die Standardisierung:

- Das OIB soll in die Richtlinie 2.2 folgende Punkte aufnehmen: Anfahrerschutz und Not-Aus-Schalter bei Ladestationen sowie bei Zwischenpuffern mit hohem Energieinhalt (>100 kWh) ein eigener Brandabschnitt.
- Die Handhabung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen (insbesondere Wasserstofffahrzeuge) in Parkgaragen, Tiefgaragen udg. soll bei der Überarbeitung der OIB-Richtlinie 2.2 diskutiert und der steigenden Zahl an alternativen Antrieben Rechnung getragen werden.
- Für Tiefgaragen, Parkhäuser und ähnliche Bauwerke soll die Installation von Sprinkleranlagen bereits ab einer Brandabschnittsfläche von 2.400 m² gefordert werden. Brandmeldeanlagen mit Automatischer Weiterleitung sind ab 1.200 m² gefordert, ab 8.000 m²

Brandabschnittsfläche wird gefordert Brandmeldeanlagen mit Weiterleitung, grundsätzlich vorzusehen.

- An Ladestationen oder Ladesäulen für Elektrofahrzeuge sowie an Wasserstofftankstellen und Betankungsanlagen soll ein Not-Aus-Schalter angebracht werden, welcher für Einsatzkräfte und Benutzer:innen dieser Anlagen gut zugänglich ist. Bei größeren Anlagen sollen zentrale Not-Aus-Schalter vorhanden sein.
- Ein österreichweiter Standard für die Befähigung zur Durchführung von HV-Ausbildungen soll gewährleistet werden.
- Ein österreichweiter Anforderungskatalog oder Standard für Ausstattung und Betrieb von Quarantäneplätzen soll erstellt werden.
- Die Möglichkeit der Entladung der Traktionsbatterie auf die Minimalkapazität soll im verbauten Zustand (auf Quarantäneplätzen) ermöglicht werden.
- Eine Richtlinie oder Norm für die Bewertung von Traktionsbatterien soll erstellt werden, um den weiteren Verlauf der Verwendung einer Batterie besser zu regeln.
- Ein Anforderungskatalog oder Standard für die Betriebsstättengenehmigungen von Demontagebetrieben (baulicher Brandschutz, Überwachungsmaßnahmen, etc.) sollte österreichweit aufgelegt werden.
- Ein Anforderungskatalog oder Standard für Betriebsstättengenehmigungen von Recyclingbetrieben für Traktionsbatterien soll österreichweit aufgelegt werden.

Handlungsempfehlungen für eCall-Betreiber:innen:

- Die/der eCall-Betreiber:in soll es ermöglichen, dass Einsatzkräfte auf Informationen über das Fahrzeug über den eCall auch im Einsatzverlauf weiter zugreifen können.
- Die/der eCall-Betreiber:in soll es ermöglichen, dass auch thermische Ereignisse inkl. aktuellem Ladezustand (SoC) über den eCall gemeldet werden.

Handlungsempfehlungen für OEMs, Hersteller, Industrie:

- Von Herstellern herausgegebene Handlungsempfehlungen über Notfall-Maßnahmen sollen klar, eindeutig und möglichst einheitlich sein.
- Eine Öffnung zur Einbringung von Löschwasser als Kühlmittel in die Fahrzeugbatterie soll vom Hersteller verpflichtend gefordert werden.
- Von Herstellern soll eine einheitliche Position und Markierung des Service Disconnect gefordert werden.
- Die Feuerwiderstandsfähigkeit von Wasserstofftanks für Fahrzeuge soll auf eine Dauer von mind. 50 Minuten erhöht werden.
- OEM sollen den Zugang zu den Daten des Batteriemagementsystems ermöglichen.
- Die Voraussetzung für ein sachgemäßes Recycling ist das Kennen des Chemismus der entsorgten Batterie, dieser sollte soweit als dies für ein sachgemäßes Recycling notwendig ist, bekannt gemacht werden.

Handlungsempfehlungen für Gewerbe:

- Fahrschulen sollen ihre Ausbildung in Richtung sicherer Umgang mit Fahrzeugen mit alternativen Antrieben anpassen.
- Abschleppdienstleister sollen ihren Mitarbeiter:innen aktiv angepasstes Ausbildungsmaterial anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.

- Werkstätten für batterieelektrische Fahrzeuge sollen ihren Mitarbeiter:innen aktiv angepasstes Ausbildungsmaterial anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.
- Demontagebetriebe sollen ihren Mitarbeiter:innen aktiv angepasstes Ausbildungsmaterial anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.
- Recyclingbetriebe sollen ihren Mitarbeiter:innen aktiv angepasstes Ausbildungsmaterial anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.

Handlungsempfehlungen für Interessensvertretungen und Wirtschaft:

- Die Installierung eines österreichweiten Systems zum Buchen von Quarantäneplätzen ist wünschenswert.

Handlungsempfehlungen für die Gesellschaft:

- Eine virtuelle und/oder physische Plattform zum Informations- und Erfahrungsaustausch im Bereich e-Mobilität sollte etabliert werden.

Handlungsempfehlungen für Wissenschaft und Forschung:

- Eine wissenschaftliche Studie zu sicherheitsrelevanten Fragen bei batterieelektrischen Nutzfahrzeugen ist aus Mangel an diesbezüglichen Informationen erstrebenswert.
- Ein Verfahren zur Beurteilung der Effektivität von Löschmittelzusätzen in Hinblick auf den Einsatz von Bränden bei batterieelektrischen Fahrzeugen soll entwickelt und standardisiert werden.

RECOVER-E

Sicherheitsrelevante Fragen bei Unfallsituationen mit batterieelektrischen Fahrzeugen

Gesamtprozess für den sicheren Umgang mit
verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen
vom Unfallort bis zur Verwertungsstelle



Landesgesellschaft
Österreich



ÖSTERREICHISCHER
BUNDES **FEUERWEHR** VERBAND



1. So wurde gearbeitet

Für das Projekt wurden mögliche Szenarien mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen ausgearbeitet und auf Grundlage dieser der Umgang bei Unfallereignissen von der Unfallbearbeitung, über Abtransport bis hin zu Reparatur, Demontage und Recycling beschrieben. Durch diesen holistischen Ansatz wurde es möglich, für beteiligte Parteien Prozesse zu erstellen und Rahmenbedingungen möglichst genau zu definieren. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde der Stand der Technik bei Brand oder Unfallereignissen gegliedert in drei aufeinander folgende Phasen dargestellt: (1) Unfall und Rettung, (2) Abtransport und Sicherung und (3) Reparatur, Demontage und Recycling. Diese Gliederung erfolgte angepasst an den logischen Fluss der jeweiligen Aufgabenbereiche der Stakeholder, also prozessbezogen und nicht rein inhaltlich (z.B. Rettungstechniken, Ausbildung, Fahrzeugtechnik, etc.) gegliedert. Da sich zwischen den Stakeholdern unterschiedliche Schnittstellenbereiche ergeben, wurde besonderer Wert auf eine möglichst präzise Untersuchung und Definition dieser Schnittstellen gelegt.

Der Informationsbeschaffungsprozess beinhaltete eine Literaturrecherche und die Aufarbeitung von wissenschaftlichen Projektergebnissen, aber auch Fallanalysen und -studien aus dem nationalen wie internationalen Umfeld dienten der Entwicklung der Prozessgestaltung. Expert:innenbefragungen rundeten die durchgeführten Rechercharbeiten ab. Ein zentraler Bestandteil jedes Teilprozesses war ein zweitägiger Workshop, bei welchem am ersten Tag Expert:innen eingeladen und am zweiten Tag die Ergebnisse innerhalb des Projektkonsortiums aufgearbeitet wurden. Um die jeweiligen Workshops möglichst effizient zu gestalten, ging jedem Workshop eine umfassende Analyse und Aufbereitung bereits vorhandener Literaturdaten und Projektergebnisse voraus. Die Formulierung von Handlungsempfehlungen und die detaillierte Ausarbeitung der aufgegriffenen Themenstellungen erfolgte im Anschluss an die Workshops. So können diese als zentrale Informationsdrehscheibe gesehen werden, in deren Vorfeld und Nachgang die inhaltliche Detailarbeit erfolgte.

Die Organisationen hinter dem Projekt RECOVER-E

Fragestellungen in Bezug auf Unfallbearbeitung über Abtransport und Sicherung bis hin zu Recycling werden von unterschiedlichen Stakeholdern bearbeitet. An den Schnittstellen treten daher häufiger Abstimmungsprobleme auf und führen zu Schwierigkeiten in der gesamtheitlichen Bearbeitung eines Unfallereignisses. Um auf diesen Umstand intensiv eingehen zu können, wurde das Projekt RECOVER-E mit einem Konsortium bearbeitet, in welchem Vertreter aus allen relevanten Teilbereichen der Unfallbearbeitung beteiligt waren. Diese sind wie folgt:

Projektkoordinator:

IRIS - Industrial Risk and Safety Solutions e.U.

Projektpartner:

Montanuniversität Leoben

Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club (ÖAMTC)

Österreichischer Bundesfeuerwehrverband (ÖBFV)

SEDA-Umwelttechnik GmbH

TÜV SÜD Landesgesellschaft Österreich GmbH

Für das Projekt konnten wesentliche Partner gewonnen werden, welche das Projekt im Rahmen von Letters of Intent (LOI) unterstützten. Diese sind wie folgt:

- DEKRA Automobil GmbH
- ESA Energy Security Agency
- Österreichische Shredder -Altautoentsorgungs- und Entwicklungs GmbH&Co KG
- Saubermacher Dienstleistungs AG
- WEBER HYDRAULIK GmbH

Für fachspezifische Fragen und detaillierte Informationen erfolgten Befragungen von folgenden Expert:innen:

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- EV FireSafe
- Österreichische Shredder -Altautoentsorgungs- und Entwicklungs GmbH&Co KG
- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
- Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO)

Workshop 1 - 01.02.2022 in Linz

Anfang Februar 2022 fand der erste Expert:innenworkshop im Landes-Feuerwehrkommando Oberösterreich in Linz statt. Dieser erste Workshop behandelte das Thema „Sicherer Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen vom Unfall bis zum Abtransport“, das Hauptaugenmerk lag daher auf Rettungs- und Lösch Tätigkeiten durch Einsatzorganisationen. Nach dem Start des Workshops am Morgen wurde zu Beginn ein halbstündiger Erfahrungsbericht seitens der Feuerwehr St. Agatha zu einem Unfall mit anschließendem Brand eines batterieelektrischen Fahrzeuges am 18.07.2020 in Lupitsch gebracht. So konnte den Teilnehmer:innen am Workshop ein realitätsnaher Einstieg in das Thema gegeben werden. Mit diesen Impressionen wurde anschließend sofort mit Diskussionsrunden, in Form eines World Café, gestartet. Fragen und Meinungen zu den Gebieten Vorbeugender Brandschutz, Brandbekämpfung und die Informationsbeschaffung durch Einsatzkräfte wurden ausgetauscht und besprochen. Die Mittagspause bildete einen Teilungspunkt der Veranstaltung, den die Teilnehmer:innen für Gespräche und dem Knüpfen von Kontakten nutzen konnten. Mit der Präsentation zweier penetrierender Löschgeräte für die Brandbekämpfung von Batteriemodulen wurde der Nachmittag eingeleitet, um diesen mit weiteren Diskussionsgruppen zur technischen Rettung sowie zum Schulungsbedarf von Einsatzorganisationen zu füllen. Schnittstellenfragen zwischen Einsatzorganisationen und Fahrzeughersteller- bzw. besitzer und hier dringend benötigte Informationsweitergabe konnten ebenfalls im Rahmen dieses Workshops besprochen werden. Den Abschluss bildete eine Zusammenfassung der Inhalte des Tages durch die Moderator:innen. Der Tag diente neben der Informationssammlung auch der Förderung des aktiven Austausches und der Kontaktaufnahme zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern.

Die Einbindung der Stakeholder

Um das Themengebiet sicherer Umgang bei Unfall und Rettung mit batterieelektrischen Fahrzeugen allumseitig umspannen zu können, wurden verschiedene Stakeholdergruppen eingeladen. Insgesamt nahmen 30 Personen aus nachfolgend angeführten Fachbereichen/Organisationen am ersten Workshop Anfang Februar teil:

- Auto-, Motor- und Radfahrerbund Österreichs (ARBÖ)
- Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG)
- Autoentwickler
- Autodemontage und -Recycling
- Batterieentwickler
- Bundesministerium für Inneres (BMI)
- Consulting im Bereich Sicherheitstechnik
- Feuerwehr
- Feuerwehrausstatter
- Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub (ÖAMTC)
- Sachverständige für Brandschutz
- Testcenter für Batterien
- Technische Prüforganisation
- Universität



Workshop 2 – 19.04.2022 in Wien

Der zweite Expert:innenworkshop wurde Mitte April 2022 in der ÖAMTC Zentrale Erdberg in Wien abgehalten und stand in Zeichen des „Sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen bei Abtransport und Quarantäne“. Einleitend fand ein Vortrag des Österreichischen Automobil-, Motorrad- und Touringclub (ÖAMTC) über ihr selbst entwickeltes Temperaturüberwachungssystem der Batterie von verunfallten Fahrzeugen statt. Mit diesem Input konnten danach Diskussionsrunden der Expert:innen in Form eines World Cafés zu den Themenbereichen Abtransport von verunfallten Fahrzeugen und Bewertung von Fahrzeugen sowie die Thematik Quarantänefläche bzw. -platz, Abstell- und Sicherungsplatz stattfinden. Der Schulungs- und Ausbildungsbedarf wurde in Form eines Online-Fragebogens erhoben und im Nachgang des Workshops ausgewertet. Nach einer Mittagspause gab es zur Auflockerung der sehr interessanten und intensiven Gespräche eine Vorführung zu den Möglichkeiten von ferngesteuertem Abtransport, Verwahrung und Überwachung von beschädigten Fahrzeugen. Nach diesem abwechslungsreichen Start in den Nachmittag hieß der nächste Tagesordnungspunkt Prozessdiskussion. Hierzu wurden die Teilnehmer:innen in Gruppen aufgeteilt, welche unterschiedliche Unfallszenarien gedanklich durchspielten und so den Ablauf vom Unfall bis zum Sicherungsplatz und die sich dadurch ergebenden Schnittstellen der beteiligten Stakeholder herausarbeiteten. Den Abschluss bildete eine Zusammenfassung der Inhalte des Tages durch die Moderator:innen. Neben der Informationssammlung förderte der Tag auch den aktiven Austausch und den Kontakt zwischen den Stakeholdern.

Die Einbindung der Stakeholder

Das Themengebiet Abtransport und Sicherung von batterieelektrischen Fahrzeugen wurde von verschiedenen Stakeholdergruppen diskutiert. Insgesamt nahmen 43 Personen aus nachfolgend angeführten Fachbereichen/Organisationen am zweiten Workshop Mitte April 2022 teil:

Abschleppunternehmen

- Auto-, Motor- und Radfahrerbund Österreichs (ARBÖ)
- Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG)
- Autotransporteur
- Autodemontage und -Recycling
- Consulting im Bereich Sicherheitstechnik
- ElektroMobilitätsClub Austria (EMC)
- Feuerwehr
- Entsorger
- Kfz-Innung
- Land Steiermark – Chemiealarmdienst, Wasserrecht
- Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub (ÖAMTC)
- Sachverständige für Brandschutz
- Stadt Wien – MA48
- Testcenter für Batterien
- Technische Prüforganisation
- Universität
- Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO)



Workshop 3 – 30.06.2022 in Kössen

Der dritte und letzte Expert:innenworkshop im Rahmen des Projektes RECOVER-E wurde Ende Juni 2022 in Kössen mit einem Praxisbericht zum Brandfall im E-Car Center eingeleitet. In diesem Workshop wurde der „Sichere Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen bei Reparatur, Demontage und Recycling“ bearbeitet. Aus diesem Grund konnten sich die Teilnehmer:innen nach dem Eröffnungsvortrag in Diskussionsgruppen über die Teilbereiche Übernahme und Vorbereitung von verunfallten Fahrzeugen, Demontage und die Voraussetzungen für die Betriebsstätte (wie Betrieblicher Brandschutz, Genehmigungen, udg.) und den Bereich Reuse, Second Life, Recycling und Entsorgung austauschen. Die Form des World Cafés konnte durch den hohen Zuspruch der vorhergehenden Workshops beibehalten werden. Ein Online-Fragebogen zum Schulungs- und Ausbildungsbedarf bildete den Abschluss des Vormittages. Nach einem kurzen Standortwechsel nach der Mittagspause war es den Teilnehmer:innen möglich, sich direkt am Standort der Fa. SEDA-Umwelttechnik GmbH über Demontagemöglichkeiten und aktuelle Recyclingtools auszutauschen und diese vor Ort zu besichtigen. Eine Zusammenfassung der Inhalte des Tages durch die Moderator:innen bildete den Abschluss des sehr interessanten und informativen Tages. Neben der Informationssammlung förderten die Expert:innenrunden auch den aktiven Austausch und den Kontakt zwischen den Stakeholdern.

Die Einbindung der Stakeholder

Diskussionen zum Thema Demontage und Recyclingmöglichkeit von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen wurden von Stakeholdergruppen geführt. Insgesamt nahmen 29 Personen aus nachfolgend angeführten Fachbereichen/Organisationen am dritten Expert:innenworkshop teil:

Auto-, Motor- und Radfahrerbund Österreichs (ARBÖ)

- Autodemontage und -Recycling
- Consulting im Bereich Sicherheitstechnik
- Feuerwehr
- Entsorger
- Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub (ÖAMTC)
- Sachverständige für Brandschutz
- Technische Prüforganisation
- Universität
- Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs (VVO)
- Wirtschaftskammer Österreich, Fachverband Entsorgungs- und Ressourcenmanagement



Agenda

- Einführung
- 10. September
- 11. September
- 12. September
- 13. September
- 14. September
- 15. September
- 16. September
- 17. September
- 18. September
- 19. September
- 20. September
- 21. September
- 22. September
- 23. September
- 24. September
- 25. September
- 26. September
- 27. September
- 28. September
- 29. September
- 30. September
- 1. Oktober
- 2. Oktober
- 3. Oktober
- 4. Oktober
- 5. Oktober
- 6. Oktober
- 7. Oktober
- 8. Oktober
- 9. Oktober
- 10. Oktober
- 11. Oktober
- 12. Oktober
- 13. Oktober
- 14. Oktober
- 15. Oktober
- 16. Oktober
- 17. Oktober
- 18. Oktober
- 19. Oktober
- 20. Oktober
- 21. Oktober
- 22. Oktober
- 23. Oktober
- 24. Oktober
- 25. Oktober
- 26. Oktober
- 27. Oktober
- 28. Oktober
- 29. Oktober
- 30. Oktober
- 31. Oktober
- 1. November
- 2. November
- 3. November
- 4. November
- 5. November
- 6. November
- 7. November
- 8. November
- 9. November
- 10. November
- 11. November
- 12. November
- 13. November
- 14. November
- 15. November
- 16. November
- 17. November
- 18. November
- 19. November
- 20. November
- 21. November
- 22. November
- 23. November
- 24. November
- 25. November
- 26. November
- 27. November
- 28. November
- 29. November
- 30. November
- 1. Dezember
- 2. Dezember
- 3. Dezember
- 4. Dezember
- 5. Dezember
- 6. Dezember
- 7. Dezember
- 8. Dezember
- 9. Dezember
- 10. Dezember
- 11. Dezember
- 12. Dezember
- 13. Dezember
- 14. Dezember
- 15. Dezember
- 16. Dezember
- 17. Dezember
- 18. Dezember
- 19. Dezember
- 20. Dezember
- 21. Dezember
- 22. Dezember
- 23. Dezember
- 24. Dezember
- 25. Dezember
- 26. Dezember
- 27. Dezember
- 28. Dezember
- 29. Dezember
- 30. Dezember
- 31. Dezember

Szenarien und Gesamtprozess für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



RECOVER-E

2. Szenarien und Gesamtprozess

Für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen ist das Wissen um die Funktionsweise der Batterie bzw. die Art der Beschädigung dieser essenziell. Eine Lithium-Ionen Zelle als ein Teil der Batterie kann prinzipiell durch folgende Arten ihren sicheren Zustand verlassen:

- Mechanischer Stress
- Operativer Stress
- Thermischer Stress

Unter mechanischen Stress fallen Penetration, Stoß, Quetschung, udg., operativer Stress bezeichnet Stress, welcher durch die falsche Verwendung hervorgerufen wird, wie u.a. Dendritenbildung¹, Aging², falsche Ladeströme ($> \text{SoC}_{\max}^3$, $> I_{\max}$) oder Tiefenentladung⁴ ($< \text{SoC}_{\min}$). Thermischer Stress bezeichnet externe Hitzeeinwirkung, fehlende Kühlung, Kälte, udg. Der unsichere Zustand ist durch die Möglichkeit des thermischen Durchgehens (thermal runaway⁵) gekennzeichnet, welcher durch die Prozesse in der Batterie zu externen Gefährdungen wie Feuer (Rauch, Wärmestrahlung), Ausgasen von giftigen und brennbaren Dämpfen oder aber auch zum Bersten des Gehäuses führen kann. Zu beachten ist jedoch, dass nicht jede in einem Fahrzeug verbaute (Hochvolt-) Batterie eine Lithium-Ionen-Batterie sein muss. Andere Typen können sich reaktionsträger und weniger dynamisch im Brandgeschehen verhalten. Auch zukünftige Technologien (u.a. Feststoffbatterien) können ein abweichendes Reaktionsverhalten zeigen.

Aus den beschriebenen drei Arten der Einwirkung auf eine im Fahrzeug verbaute Batterie konnten Szenarien entwickelt werden, welche die Grundlage für die Prozessgestaltung zum sicheren Ablauf vom Unfallort bis zur Verwertungsstelle bildet.

Die Form und Art der Unfallbearbeitung, also die Herangehensweise der Einsatzkräfte, richtet sich jedoch nicht nur nach den angeführten Szenarien. Umgebungsbedingungen und andere Faktoren, welche nicht direkt auf die Batterie im Fahrzeug selbst wirken, müssen von Einsatzkräften immer mit in Betracht gezogen werden.

¹ Im Inneren von Lithium-Ionen-Batterien können sich Dendriten bilden können. Sie entstehen, wenn die Ionen des Alkalimetalls beim Laden und Entladen zwischen den beiden Polen der Batterie hin und herwandern und auf winzige Kristallisationskeime treffen. [122]

² Kalendarische Alterungsprozess und Zyklenalterung (vgl. [123])

³ Der State of Charge (SOC) ist der Kennwert einer Batterie, welcher den Ladezustand in Prozent im Vergleich zum vollgeladenen Zustand der Batterie beschreibt. [106]

⁴ Beträgt die Entladetiefe (Depth of Discharge – DoD) 80 % oder mehr spricht man von einer Tiefenentladung. [124] Eine Spannung in der Batterie kann sich nicht mehr aufbauen, d.h. die Batterie kann nicht wieder verwendet werden, sie ist aber somit auch sicher in der Handhabung.

⁵ Das thermische Durchgehen von Batteriezellen bezeichnet laut der Gesellschaft für Werkstoffprüfung die Überhitzung der Zelle durch einen sich selbst verstärkenden wärmeproduzierenden Prozess. Dies löst weitere Reaktionen aus (thermische Propagation). Von thermischer Propagation (engl. Von Ausbreitung oder Ausdehnung) spricht man, wenn das Ereignis eines thermal runaway auf benachbarte Zellen und Batteriemodule überspringt und es zu einer Art Kettenreaktion kommt. [125]

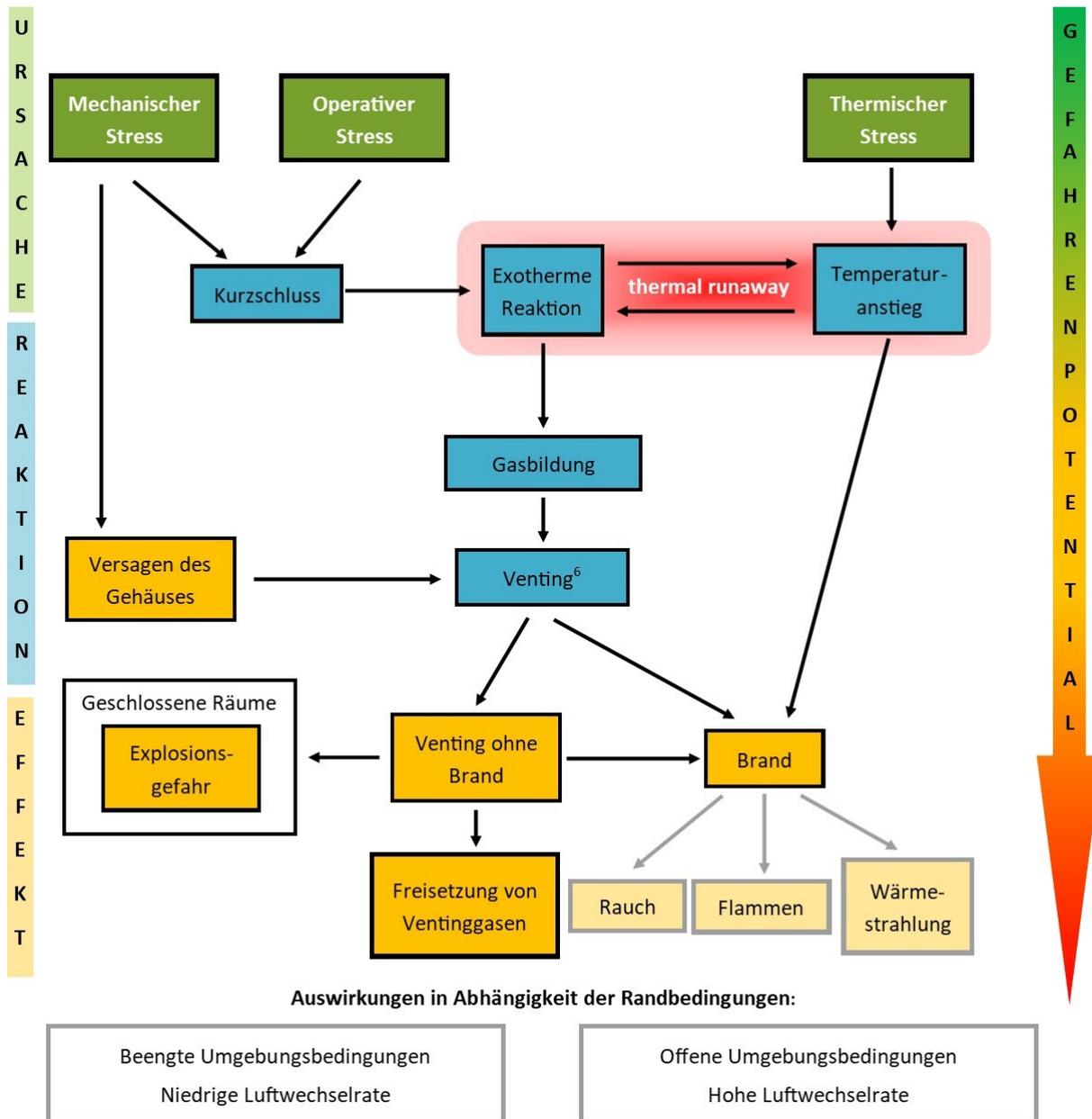
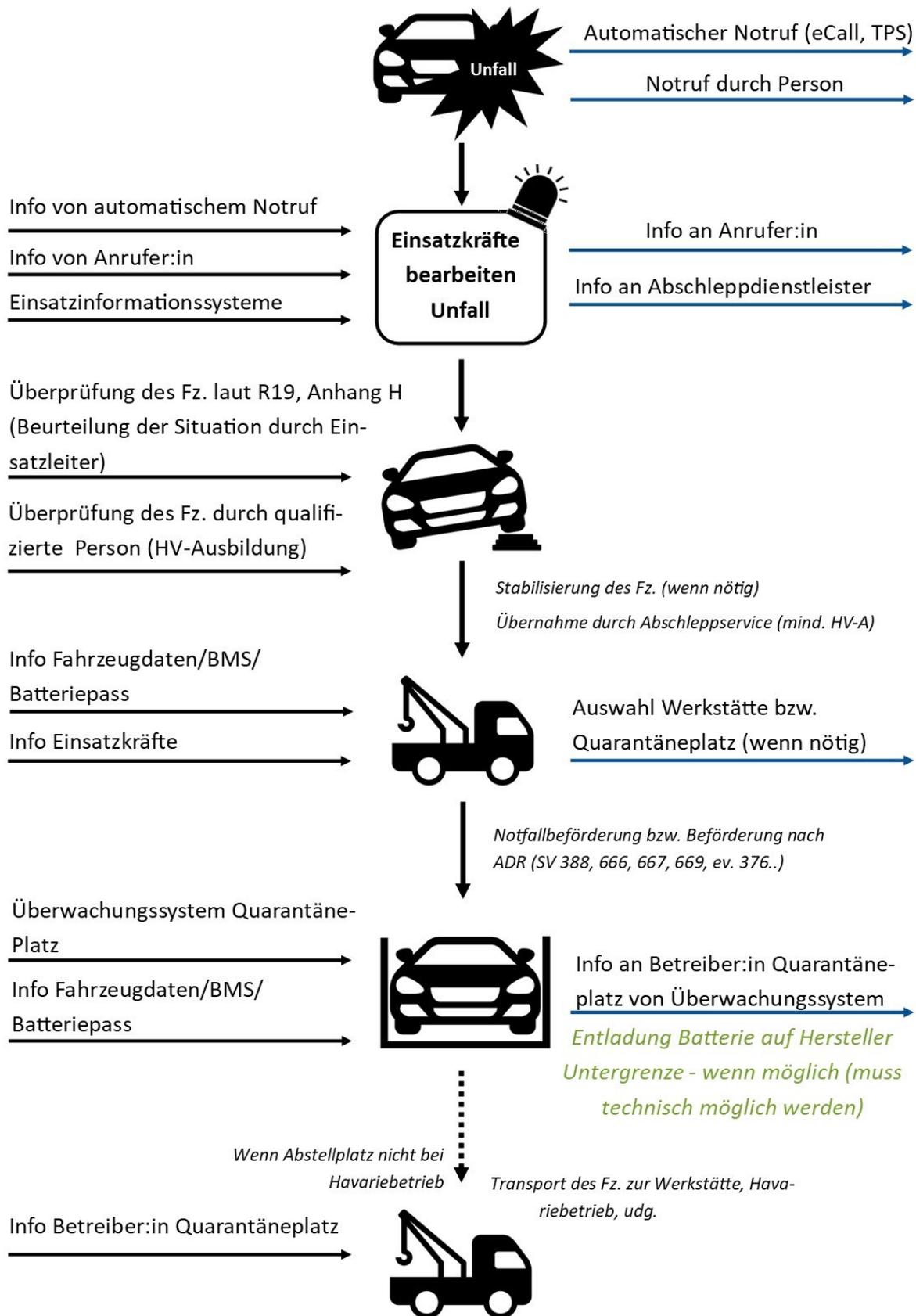


Abbildung 1: Darstellung möglicher Szenarien für Ereignisse mit Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit unterschiedlicher Randbedingungen

Durch die systematische Aufarbeitung der Teilprozesse gemäß der gewählten Unterteilung der Unfall- und Rettungskette bis zur Verwertung konnte der empfohlene Gesamtprozess für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen vom Unfallort bis zur Verwertungsstelle entworfen werden. Dieser ist auf den folgenden Seiten dargestellt und zeigt entlang der laufenden Kette die Stationen des batterieelektrischen Fahrzeuges mit der Informationsbeschaffung für die Arbeitsschritte von links und die Informations- und Tätigkeitsweitergabe nach rechts. Am Ende des Prozesses steht, falls eine Reparatur nicht vollständig möglich ist, die sichere Trennung des Fahrzeuges von der Batterie und die Aufteilung des Moduls in Zellen, welche ihrem Weiterverwertungsziel zugeführt werden.

⁶ Unter Venting wird das potenziell brandgefährliche Ausgasen einer Batteriezelle verstanden. Tritt dieses Gas in Kontakt zu einer Zündquelle kann es zur Entflammung kommen.



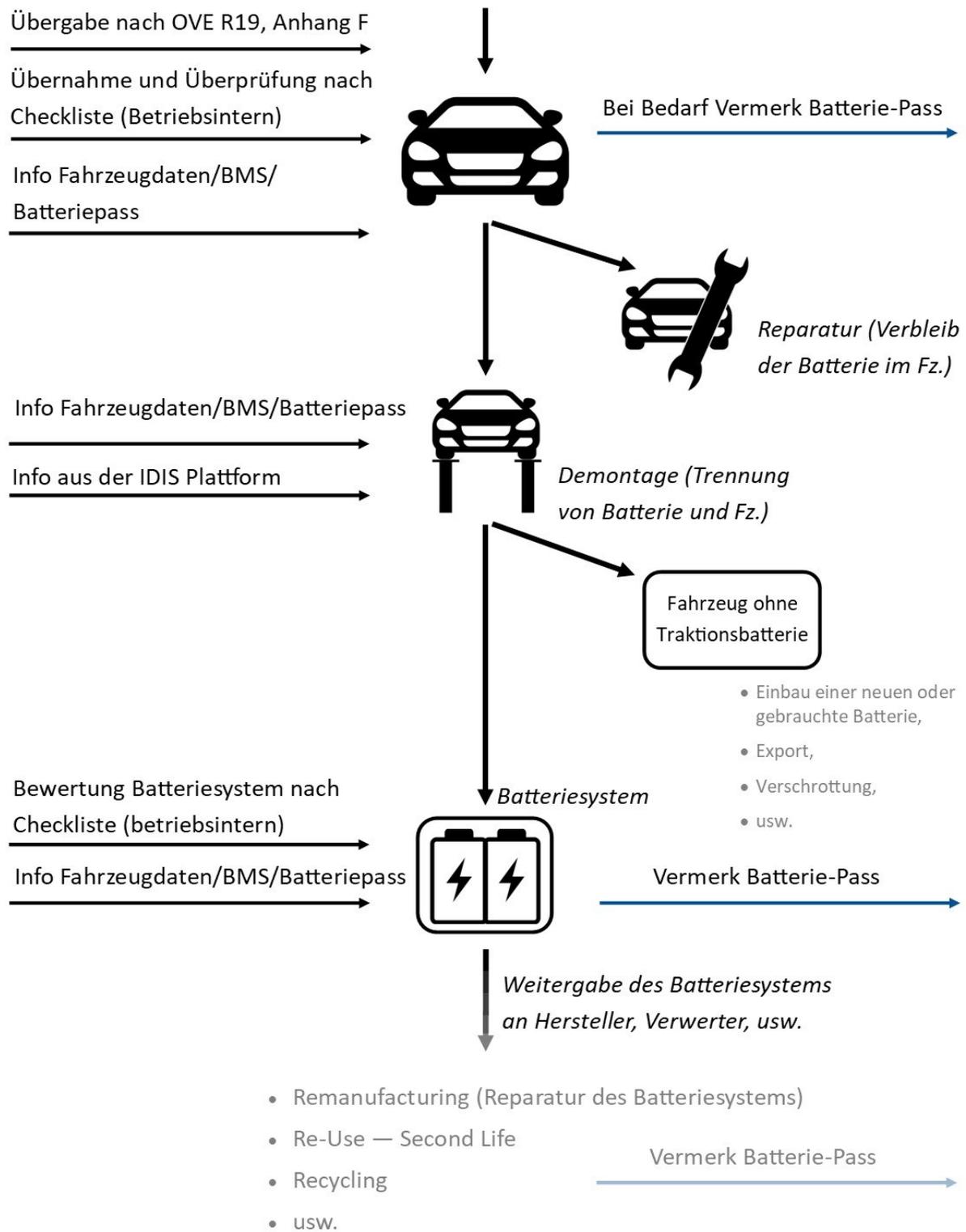
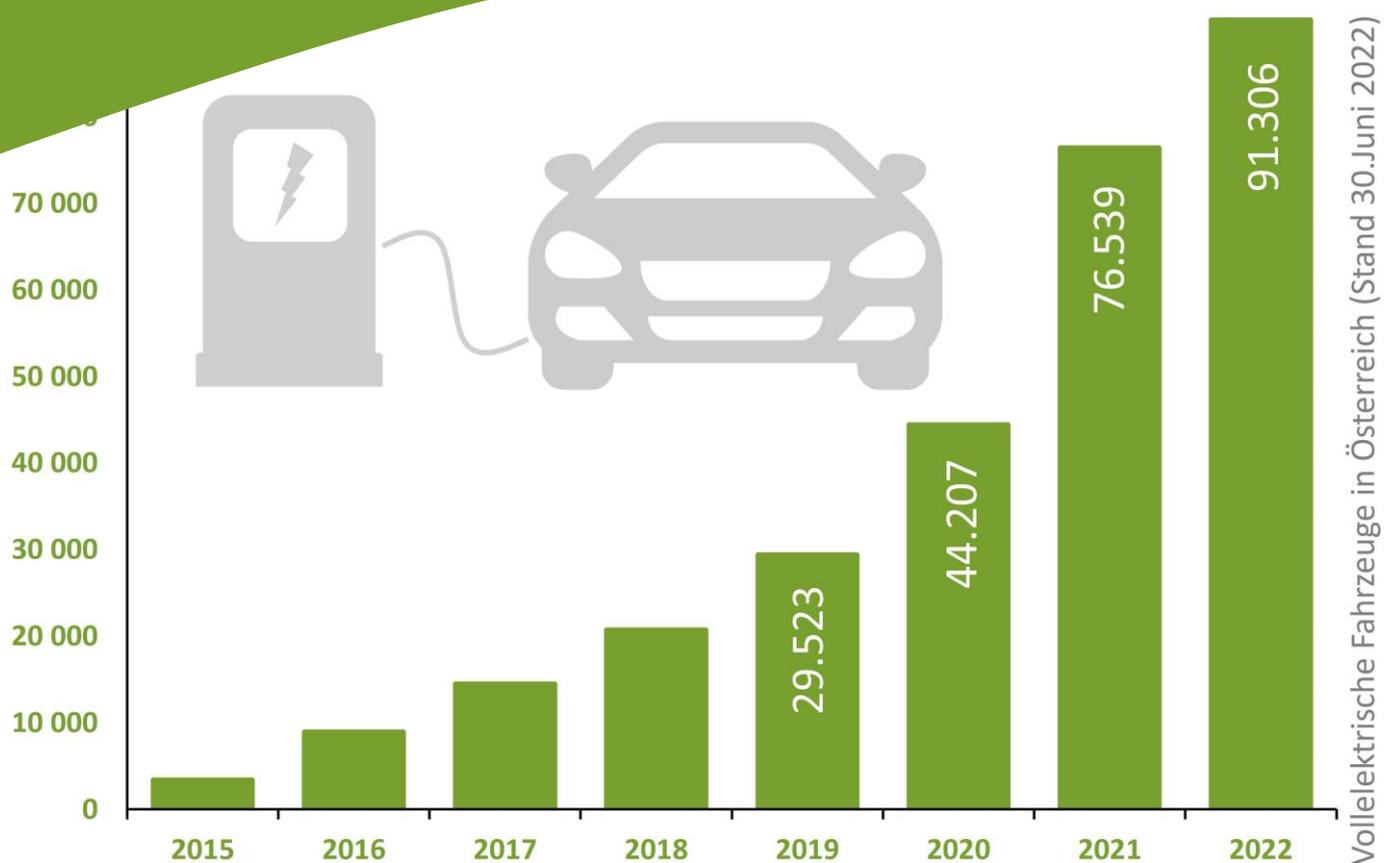


Abbildung 2: Erarbeiteter Gesamtprozess zum sicheren Umgang mit batterieelektrischen Fahrzeugen

Statistik Unfälle und Brände mit batterieelektrischen Fahrzeugen



3. Statistik Unfälle und Brände mit batterieelektrischen Fahrzeugen

Die Datenlage zu Unfällen mit der Beteiligung von batterieelektrischen Fahrzeugen ist nach wie vor leider sehr dünn und kann daher nur mit entsprechender Vorsicht als Grundlage für allgemein gültige Betrachtungen herangezogen werden. Eine Prognose zu den in Zukunft wahrscheinlichen Unfallzahlen ist aus demselben Grund nicht seriös durchführbar. Die in Folge beschriebene Datenrecherche (Quellen [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13]) soll die Schwierigkeiten zeigen, und ist daher auf Basis der genannten Gründe nur eingeschränkt belastbar. Die Statistik von Bränden an Traktionsbatterien von EV Fire Safe zeigt bei einer geschätzten Anzahl von ca. 16 Millionen Elektrofahrzeugen weltweit seit 2010 bisher 246 bestätigte Fälle sowie 27 unbestätigte Fälle (Quelle unzureichend oder nicht prüfbar) und 40 Fälle, welche aktuell in Untersuchung sind (vgl. Seite 29). [14]

Der Gesamtbestand an PKW im Jahr 2021 in Österreich betrug 5.133.836 Fahrzeuge. Dabei sind über 200.000 PKW mit Hybrid- oder vollelektrischem Antrieb ausgestattet und lediglich 55 PKW mit Wasserstoffantrieb im Bestand. Der Anteil von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ist in den letzten Jahren stetig gestiegen, dieser Trend wird sich aller Voraussicht nach in den nächsten Jahren verstärken.

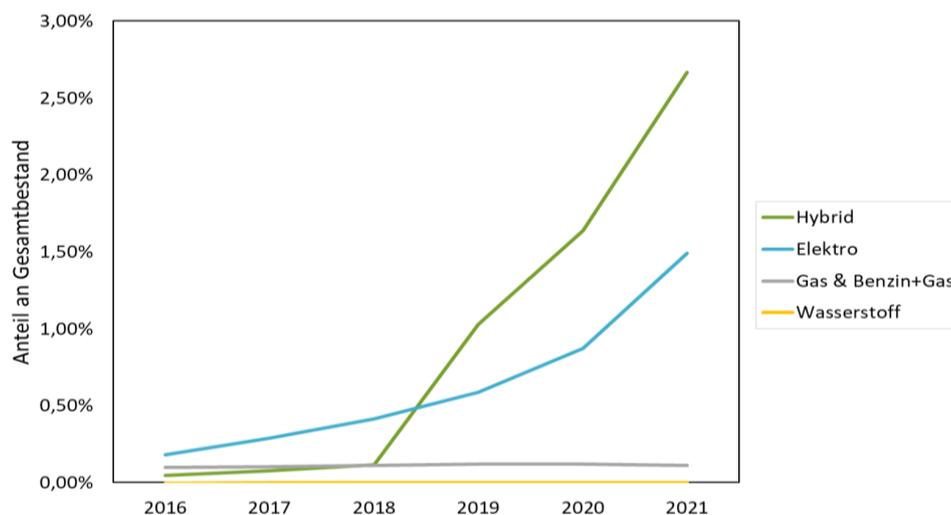


Abbildung 3: Anteil von Pkw mit alternativen Antrieben in Österreich für die Jahre 2016 bis 2021 [9]

Medial hervorgehoben werden derzeit Brände von Fahrzeugen mit batterieelektrischen Antrieben, wenngleich der Anteil im PKW-Bestand 2021 erst knapp über 4 % betrug. Jedoch brennen elektrisch angetriebene Fahrzeuge nicht öfter als Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben [2]. Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) [3] sieht in der Elektromobilität kein erhöhtes Sicherheitsrisiko.

Im Jahr 2020 und 2021 wurden vom österreichischen Bundesfeuerwehrverband (ÖBFV) zwei Brände von PKW und LKW mit alternativen Antrieben dokumentiert. Bezogen auf den Bestand der jeweiligen Jahre bedeutet dies 0,18 bzw. 0,11 Brände pro 10.000 PKW mit alternativem Antrieb.

Aus einem Bericht des Kuratoriums für Verkehrssicherheit (KFV) [13] geht hervor, dass es in Österreich fast 1.800 Fahrzeugbrände im Jahr 2021 gab. Der Österreichische Bundesfeuerwehrverband (ÖBFV) hat für die Jahre 2019 bis 2021 Brände von PKW und LKW dokumentiert. Bezogen auf den Mittelwert

des PKW und LKW- Gesamtbestandes der jeweiligen Jahre, kommt es zu 3,05 bis 3,44 Brände pro 10.000 PKW und LKW.

Aufgrund einer für Österreich nicht vollständig repräsentativen Hochrechnung mit Zahlen vom Jahr 2021 aus den Niederlanden ereignen sich – bei einem Bestand von 1 Million E-PKW (vollelektrisch bzw. Hybrid) – jährlich zwischen 115 und 178 Brände, wobei bei 67 bis 104 Ereignissen die Batterie betroffen ist. Wären nahezu alle PKW in Österreich elektrifiziert (Bestand von 5 Millionen E-PKW (vollelektrisch bzw. Hybrid)), so würde das jährlich zwischen 577 und 892 Brände bedeuten, wobei bei 336 bis 520 Brände die Batterie betroffen wäre.

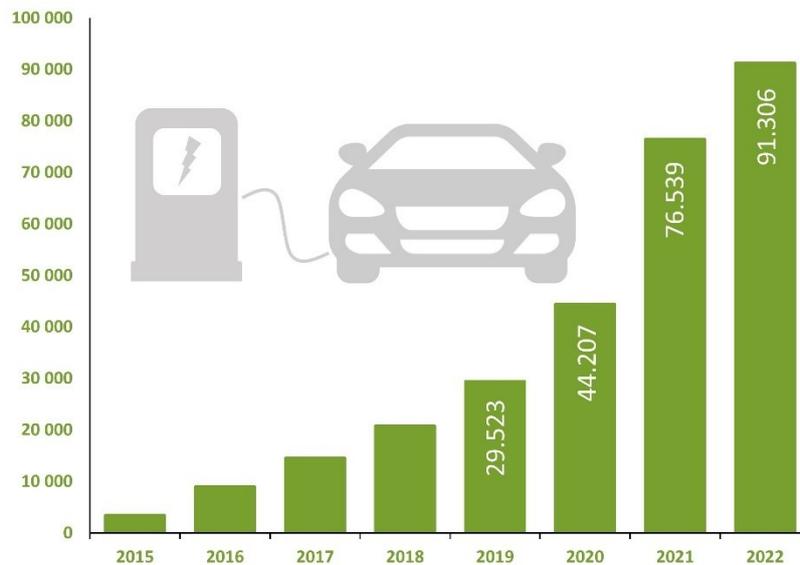


Abbildung 4: Vollelektrische Fahrzeuge in Österreich (Stand 30. Juni 2022) [9]

Obwohl Daten über Brände von Fahrzeugen nur wenig dokumentiert werden, lässt sich aus den vorhandenen Zahlen eine Richtung ablesen. So kommt man auf 3,05 bis 6,38 Brände pro 10.000 PKW (allgemein). Auf Basis der oben genannten Studie wurden Zahlen von 0,67 bzw. 1,04 Brände pro 10.000 PKW mit vollelektrischem bzw. Hybridantrieb berechnet. Daraus erschließt sich, dass vollelektrische bzw. Hybrid-PKW etwa um den Faktor 4,5 bis 6,1 weniger oft in Brand geraten als PKW mit konventionellem Antrieb (Benzin und Diesel). Datenlage ist für Österreich sicherlich nicht vollständig repräsentativ, lässt aber einen Trend erkennen. Es muss allerdings davon ausgegangen werden, dass sich Brände bei Fahrzeugen erst mit fortgeschrittenem Alter häufen, derzeit befinden sich weltweit nahezu nur Neufahrzeuge im Gesamtbestand. Es gilt daher genau zu beobachten, wie sich die Ereigniszahlen, vor allem bei Hybrid- bzw. vollelektrischen Fahrzeugen in Zukunft entwickeln. Hersteller sind jedoch durchwegs bestrebt und verpflichtet, auch in Zukunft immer sicherere batterieelektrische Fahrzeuge zu produzieren. So könnte das Batteriesystem im Fahrzeug in Zukunft noch besser geschützt sein. Zusätzlich führen weitere Technologiesprünge zu Batterien mit noch höherer Sicherheit, vor allem auch in Bezug auf das thermische Durchgehen (thermal runaway).

Aus der Schwierigkeit belastbare Daten generieren zu können, wird empfohlen eine Grundlage zu schaffen, um Unfälle sowie Brände von Kraftfahrzeugen dokumentieren und österreichweit sammeln zu können. Dadurch können Gesetzgeber, Normungsinstitute aber auch Einsatzkräfte oder Fahrzeugnutzer die erforderlichen Maßnahmen und Ressourcen besser kalkulieren und planen. Mit belastbaren Daten ist es möglich, wissenschaftliche Studien durchzuführen und nebenbei die Aufklärung der Bevölkerung bezüglich Elektromobilität konstruktiv und nachvollziehbar zu gestalten.

Eine fortdauernde Dokumentation ermöglicht Alterserscheinungen der Batterie im Fahrzeug frühzeitig zu erfassen und so die Sicherheit auf Straßen, in Werkstätten und Havariebetrieben zu erhöhen. Es wird empfohlen in eine statistische Erhebung folgende Punkte miteinfließen zu lassen: Antriebsart (Vollelektrisch, Hybrid, CNG, Wasserstoff, LNG, usw.), Typ des Fahrzeuges (PKW, Motorrad, Bus, LKW, usw.), Art des Vorfalls (Unfall/Brand), Einfluss des Antriebs, Ort und Umgebung des Vorfalls, Beteiligung der Batterie und Ursache für die Beteiligung, Beteiligung der Ladeinfrastruktur, gesetzte Maßnahmen zur Schadensminimierung (z.B. Brandbekämpfung).

Im Bereich e-Mobilität sind bisher keine spezifischen und belastbaren Unfalldaten und Ereignisdaten vorhanden. Diesbezügliche Daten sollen österreichweit gesammelt, verarbeitet und als Entscheidungsbasis aufbereitet werden.

WELTWEITE BATTERIEBRÄNDE AN ELEKTROFAHRZEUGEN

bis zum 7. Juli 2022

Elektrofahrzeuge brennen weniger oft als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor...hier ist was wir wissen

Warum EV FireSafe?

Emissionen aus dem Verkehr sind für:

25%

der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich, die führte zu einer raschen Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen

Vorfälle mit Bränden von Elektrofahrzeugen führten zu Unsicherheit bei Einsatzkräften, wenn es heißt

Feuer bei Lithium Ionen Antriebsbatterien

Um die Sicherheit für Einsatzkräfte zu erhöhen untersuchten wir Brände von Antriebsbatterien bei Elektrofahrzeugen (BEV & PHEV) von

2010 - 2022

und legen unsere Ergebnisse hier und auf evfiresafe.com dar

Wie viele Batteriebrände an Elektrofahrzeugen?

Seit 2010, fand das EV FireSafe Team:

261

bestätigte* Batteriebrände an Elektrofahrzeugen weltweit

+ 27

unbestätigte - aus einer verlässlichen Quelle, weitere Informationen werden erwartet

+ 40

in Untersuchung - Onlinequellen, Hinweise,...

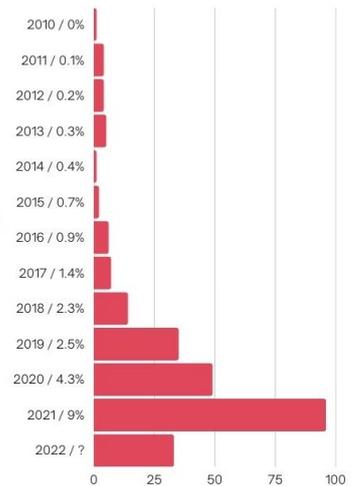


'In der Welt der sauberen Energie ist nur wenig so dynamisch wie der Markt für Elektrofahrzeuge. Wir schätzen, dass aktuell ca. 16 Millionen batterieelektrische Fahrzeuge weltweit auf den Straßen unterwegs sind...'

International Energy Agency, Jänner 2022

Wann traten diese auf?

Pro Jahr & globaler Marktanteil:

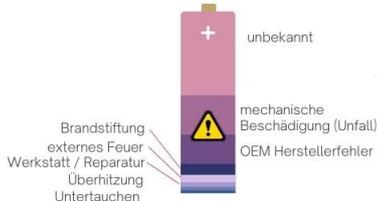


*nicht taxativ. Aus mehr als einer Online-Quelle, Interviews, Berichten aus erster Hand, Videos, Bildern, akademischen und Feuerwehrberichten und Online-Schulungen

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

Ursache

Stress auf Batteriezellen führt zu thermischen Durchgehen & Zündung oder Explosion, verursacht durch:



Einsatzort*

*20.32% unbekannt



Zündung / Explosion



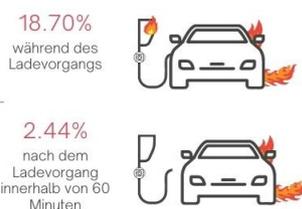
Explosion von Elektrolytdämpfen

aus allen Vorfällen mit Explosion nach Notentgasung:



Laden

aus allen Vorfällen:



Stromschlag

Wir fanden KEINE Aufzeichnungen zu Stromschlägen oder Beinaheunfällen durch Strom:



Aber die elektrische Gefährdung bleibt ein Restrisiko!

All information remains the property of EV FireSafe & any misuse will result in our taking necessary steps to assert ownership of our intellectual property. Consent is given to republish information contained within this website subject to credit being given as 'Source: evfiresafe.com' with hyperlink - noting that by republishing information, you are deemed to have acknowledged & accepted the legal statement on our website. Translation from the original by Dipl.-Päd. Ing. Hubert Springer, ÖBFV

Abbildung 5: Statistik über Batteriebrände an Elektrofahrzeugen, weltweit, dokumentiert von EV Fire Safe, mit Genehmigung zur Übersetzung und Veröffentlichung [14]

Unfallrettung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



4. Unfallszenarien im Zusammenhang mit batterieelektrischen Fahrzeugen

Unfälle im Straßenverkehr oder Schadensfälle, welche im Zusammenhang mit Fahrzeugen stehen, unterscheiden sich je nach Ereignisort und Hergang in zahlreichen Aspekten. Der Einsatz von Kräften der Feuerwehr, des Rettungsdienstes oder der Polizei ist vor allem bei Unfällen ab einer gewissen Schwere oder einem entsprechenden Umfang notwendig. Unfallsituationen ohne nennenswerte Personen- oder Sachschäden bzw. ohne weitere Gefährdung für Umwelt oder Sachgüter können oftmals unter Mithilfe von Pannen- oder Abschleppdiensten direkt behoben werden. Diese Art von Ereignissen wird im Kapitel 7 näher behandelt.

Vor allem bei der Feuerwehr wird zwischen „Brandeinsätzen“ und „technischen Einsätzen“ unterschieden. Die Unterscheidung ist hauptsächlich in Hinblick auf die Disponierung entsprechender Einsatzmittel relevant. In weiterer Folge diene die Betrachtung von Brandereignissen und reinen technischen Unfallereignissen aber auch hier als Grundlage für die weitere Analyse.

4.1. Brand [15] [16] [17] [18]

Brände im Zusammenhang mit batterieelektrischen Fahrzeugen stehen nicht automatisch im Zusammenhang mit der Antriebsart. Das Szenario „Brand“ bedingt also nicht grundsätzlich eine Involvierung des vorhandenen Speicher- bzw. Traktionssystems. Brandversuche zeigen, dass Lithium-Ionen-Batterien erst über einen längeren Zeitraum erhitzt oder erheblich mechanisch beschädigt werden müssen, um eine interne Reaktion zu starten.

Das Wissen um den Einbauort der Batterie ermöglicht aus diesem Grund eine Abschätzung, ob die Hochvoltbatterie betroffen sein kann bzw. ist das Wissen um die verbaute Technologie notwendig, um festzustellen, ob es sich bei dem vorliegenden Brandereignis überhaupt um eine Lithium-Ionen-Batterie handelt.

Folgende Indikatoren können ein Anzeichen zur Beteiligung der Hochvoltbatterie am Brandgeschehen sein:

- Rauchentwicklung / austretende Dämpfe aus der Hochvoltbatterie
- Geräuschentwicklung (Zischen, Pfeifen, Knattern)
- Funkenflug und Stichflammenbildung aus dem Bereich der Hochvoltbatterie
- Abnormer, aromatischer (Kaugummi mit Kirschgeschmack), verschmorter Geruch
- Temperaturerhöhung des Gehäuses über einen längeren Beobachtungszeitraum (z.B. mit Hilfe einer Wärmebildkamera)



Abbildung 6: Batteriemodul (linkes Bild) und ausreagiertes Batteriemodul nach einem thermal runaway (rechtes Bild)

Im Zuge des Projekts BRAFA [19] wurden Brände batterieelektrischer Fahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugbränden verglichen und die in den Brandgasen enthaltenen Stoffe (Kohlenstoffmonoxid, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Schwermetalle) untersucht. Bei einer schwedischen Studie [20] zeigten sich im Brandtest zwischen einem konventionell angetriebenen Fahrzeug (ICEV A in Abbildung 7) und zwei batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV A, BEV B, in Abbildung 7), dass die größten Unterschiede im Abgas bei den Metallen Lithium, Aluminium, Kobalt, Mangan und Nickel liegen.

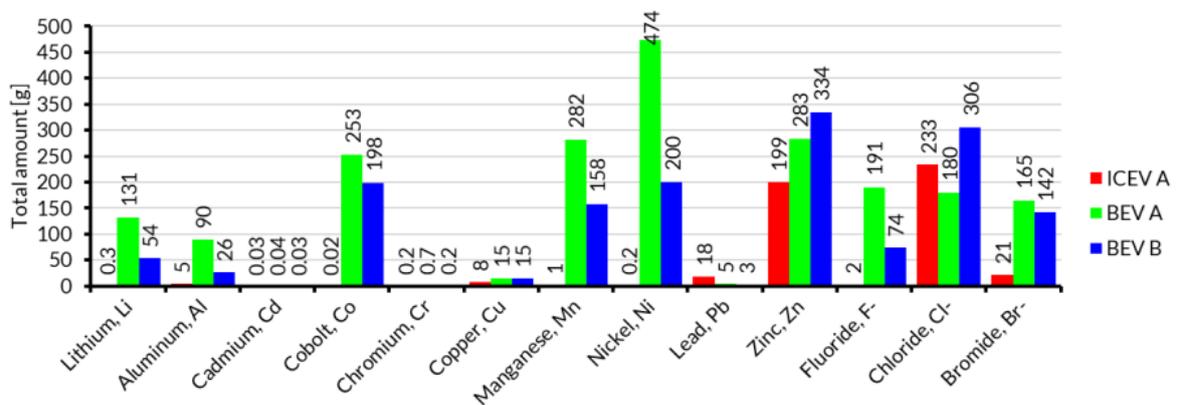


Abbildung 7: Metallfreisetzung beim Abbrand verschiedener Fahrzeuge [21]

In der gleichen Studie [21] wurden bisherige Versuchsergebnisse aus Literaturstudien zu den Ergebnissen von E-TOX ausgewertet. Es lässt sich festhalten, dass der größte Unterschied zu konventionellen Fahrzeugen bei den Gasemissionen im Bereich von Fluorwasserstoff (HF) liegt.

Aus den genannten Studien ist abzuleiten, dass Einsatzkräfte ausschließlich mit Umluft unabhängigen Atemschutz arbeiten sollten und sämtliche Haut durch Schutzbekleidung abgedeckt sein müssen (Übergänge Handschuh zu Schutzjacke, Flamschutzhaube, udg.). Nach dem Einsatz ist zeitnah sämtliche Bekleidung inklusive Unterwäsche abzulegen und eine geeignete Körperpflege (z.B. Duschen) sowie die Reinigung der Kleidung durchzuführen. [20] Dabei muss ausdrücklich erwähnt werden, dass eine notwendige Optimierung von Maßnahmen zur Einsatzhygiene nicht ausschließlich aus der Einführung der Elektromobilität abzuleiten ist. Auch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren

oder bei Brandereignissen im Allgemeinen stieg die Belastung von Einsatzkräften durch Langzeitgifte aufgrund der vermehrten Verwendung von Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen in den letzten Jahren deutlich an.

Aus den oben beschriebenen Studien zum Szenario „Brand von batterieelektrischen Fahrzeugen“ ergibt sich für den sicheren Umgang für Einsatzorganisationen folgender Schluss: Eine Intensivierung der Ausbildung bei allen beteiligten Parteien wird empfohlen, die theoretischen Grundlagen dafür sind geschaffen. Handlungsbedarf besteht vor allem noch beim Thema Einsatzhygiene und Schutzmaßnahmen. Am besten erscheint hier die Feuerwehr ausgestattet und vorbereitet zu sein, jedoch ist die Bewusstseinsbildung auch hier noch nicht flächendeckend erfolgt. Aufgrund von freiwerdenden Schadstoffen müssen Einsatzkräfte bei Bränden mit Umluft unabhängigen Atemschutz arbeiten und sämtliche Hautstellen sind durch Schutzbekleidung abzudecken. Nach dem Einsatz ist zeitnah sämtliche Bekleidung inklusive Unterwäsche abzulegen und eine geeignete Körperpflege sowie Reinigung der Kleidung durchzuführen.

Einsatzorganisationen sollen ihren Mitgliedern bzw. Mitarbeiter:innen aktiv Ausbildungsmaterial, auch in Bezug auf Einsatzhygiene, anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.

4.1.1. Brände im Freien

Bei einem Fahrzeugbrand im Freien sind die Gefahren für Mensch, Umwelt und Sachwerte geringer als bei Bränden in Bauwerken, da sich die Brandgase verflüchtigen und Hitze/Rauch abgeführt wird. [22] Nichtsdestotrotz können Gefährdungen durch den elektrischen Strom und durch das verbaute Hochvolt-System im Fahrzeug entstehen. Grundsätzlich sorgen mehrere Schutzmechanismen jedoch für einen sicheren Betrieb im Regelfall. Bei einem Abblasen von Gasen aus der Batterie, hervorgerufen durch einen Thermal Runaway, können die Dämpfe des Elektrolyten mit dem Sauerstoff der Umgebung ein zündfähiges Gemisch bilden.

4.1.1.1. Brände im Freien ohne versiegelte Fläche bzw. Kanalisation

Auf nicht versiegelten Flächen bzw. bei fehlender Einleitung von abfließendem Löschwasser in eine Kanalisation erfolgt eine Anreicherung mit Schadstoffen in der Erde und ein Verdünnungseffekt kommt kaum zu tragen. Eine effektive Löschwasserrückhaltung kann hier durch die Einsatzkräfte im Erstangriff meist nicht erfolgen. Das Löschwasser weist ähnliche Kontaminationen wie bei konventionellen Antrieben auf [23]. Löschwasser, welches direkt in die Batterie eingebracht wird, überschreitet jedoch die Grenzwerte für Industrieabwässer. Lokale Besonderheiten wie Quellschutzgebiete, Abfließen in Gewässer, Rückhaltebecken von Straßenanlagen, etc. müssen daher berücksichtigt werden und gegebenenfalls die Wasserrechtsbehörde zur Abklärung beigezogen werden.

4.1.1.2. Brände im Freien auf versiegelten Flächen mit Kanalisation

Findet der Einsatz auf versiegelten Flächen mit einer kontrollierten Ableitung über die Kanalisation statt, ist eventuell eine Löschwasserrückhaltung durch Maßnahmen der Einsatzkräfte denkbar.

Berücksichtigt werden kann aber auch ein Verdünnungseffekt je nach Abwassersituation. Bei Unklarheit ist die Wasserrechtsbehörde bzw. der Betreiber:innen der Abwasserklärung beizuziehen.

4.1.2. Brände in Bauwerken

In Bauwerken tritt aufgrund der abgeschlossenen Strukturen eine erhöhte Gefahrenlage auf [22]. Eine zusätzliche Gefährdung resultiert durch den Umstand, dass kritische Hochvoltbatterien bei einer Notentgasung entzündliche Elektrolytdämpfe und brennbare Gase (CO, H₂, usw.) abblasen und es in geschlossenen Räumen mit schlechter Belüftung zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen kann.

4.1.2.1. Parkhaus [24] [25] [26]

Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios Brand in einem Parkhaus beschreibt eine französische Studie von Thouroude, Dorian et al (2016) [27], bei welcher 1.931 Parkgaragen im Zeitraum 2010 bis 2014 in Frankreich untersucht und wovon bei 41 % ein Brandfall registriert wurde. Hierbei ist das Auftreten von Bränden in Parkgebäuden mit mehr als 1.000 Stellplätzen (12 % der untersuchten Parkgaragen) sechs Mal höher als in Parkgaragen mit weniger als 1.000 Stellplätzen. Diese Brände treten fünf Mal so oft in den stark frequentierten Bereichen nahe der Ein- und Ausfahrten auf. [28] Garagengebäude werden mit Feuerwiderstandsklasse F90 oder REI90 errichtet, dennoch kann es durch Materialermüdung, Baufehler, udg. zu einer Einsturzgefährdung kommen. [29]

Bei der Bewertung der statischen Sicherheit von Parkhäusern muss festgehalten werden, dass die Brandlast eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeuges ähnlich dem mit konventionellem Antrieb ist. In der BRAFA Studie [19] wurden durchschnittliche Wärmefreisetzungsraten zwischen 3,5 und 5,5 MW bei BEVs und 2,5 bis 4,5 MW bei konventionellem Antrieb ermittelt, somit kann angenommen werden, dass die Wärmefreisetzung bei einem vollgeladenen batterieelektrischen Fahrzeug um ca. 1 MW größer ist als bei einem vergleichbaren konventionellen Antrieb. Im Allgemeinen stieg die Brandlast moderner Fahrzeuge im Lauf der Jahre, unabhängig von der Antriebsart.

Bei der Installation von Ladeinfrastruktur in Parkhäusern sollte darauf Acht genommen werden, dass diese nicht in der Nähe von Fluchtwegen, Stiegenhäusern und Liftschächten errichtet wird, da das Risiko eines Brandes während des Ladens höher ist. [14] Gut belüftete Flächen an der Außenhülle sind daher besser geeignet. [30] [31]

4.1.2.2. Tiefgarage [24] [25]

Die Vorgaben für überdachte Stellplätze, Garagen und Parkdecks sind in der OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) -Richtlinie RL 2.2 [32] österreichweit einheitlich geregelt. Für Fahrzeuge mit elektrischen Energiespeichern sind in der gegenwärtig gültigen Ausgabe der OIB RL 2.2 keine Einschränkungen bezüglich der Benutzung von überdachten Stellplätzen, Garagen und Parkdecks vorgesehen. Für LPG⁷ und Wasserstofffahrzeuge verweist die Richtlinie auf ein erforderliches Brandschutzkonzept. Ab Garagengrößen von mehr als 4.600 m² ist eine Sprinkleranlage vorgesehen. Problematisch ist jedoch, dass die Ventinggase einer durchgehenden Lithium-Ionen-Batterie nicht in der Lage sind Sprinklerköpfe bei einer Auslösetemperatur von 68 °C an der Decke auszulösen.

⁷ Liquefied Petroleum Gas (kurz LPG) bezeichnet ein Flüssiggas, welches hauptsächlich aus Butan und Propan besteht.

Demnach könnte ein thermisches Durchgehen einer Batterie, trotz vorhandener Brandschutztechnik, lange Zeit unentdeckt bleiben. Derzeit wird angenommen, dass eine Brandausbreitung auf angrenzende Fahrzeuge durch Sprinkleranlagen verhindert werden kann. Studien, die diese Annahme bestätigen, sind jedoch ausständig.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den Brandschutz in Gebäuden mit batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Austretende Ventinggase können bei einer Sprinkleranlage die Sprinklerköpfe aufgrund der geringen Temperatur nicht auslösen. Sprinkleranlagen bieten dennoch einen sehr guten Schutz und verhindern die Brandausbreitung auf andere Bereiche. Aus diesem Grund wird eine verpflichtende Installation von Sprinkleranlagen gefordert, da so das Brandausmaß klein gehalten werden kann und Einsatzkräfte dadurch sicher Löscharbeiten in Tiefgaragen udg. durchführen können.

Konkret wird daher für Tiefgaragen wird die Installation von Sprinkleranlagen bereits ab einer Brandabschnittsfläche von 2.400 m² gefordert, da diese eine Brandausbreitung effektiv verhindern können. Die Installation von Brandmeldeanlagen mit automatischer Weiterleitung wird ab einer Brandabschnittsgröße von 1.200 m² gefordert, da diese frühzeitig die Feuerwehr alarmieren. Ab Gargenflächen von mehr als 8.000 m² sollten grundsätzlich Brandmeldeanlagen mit Weiterleitung unabhängig von der Brandabschnittsfläche gefordert werden.

Für Tiefgaragen, Parkhäuser und ähnliche Bauwerke soll die Installation von Sprinkleranlagen bereits ab einer Brandabschnittsfläche von 2.400 m² gefordert werden. Brandmeldeanlagen mit Automatischer Weiterleitung werden ab 1.200 m² gefordert, ab 8.000 m² Brandabschnittsfläche wird gefordert Brandmeldeanlagen mit Weiterleitung, grundsätzlich vorzusehen.

Ladeinfrastruktur in Tiefgaragen sollte nicht in der Nähe von Fluchtwegen, Stiegenhäusern und Liftschächten installiert werden, da das Risiko eines Brandes während des Ladens höher ist. [14] Gibt es eine maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsanlage, sollten Ladestationen auf der Abluftseite installiert werden, um möglichst wenig Verrauchung und Kontamination bei Bränden in der Garage zu erreichen. [30]

Für die derzeit in Überarbeitung befindliche OIB⁸-Richtlinie 2.2 werden aufgrund von in der Gegenwart aufgetretenen Unfallereignissen folgende Ergänzungen empfohlen: Ein Anfahrschutz für Ladestationen, da Unfallereignisse zeigen, dass dies ein wahrscheinlicher Auslöser sein kann. Des Weiteren ist ein Not-Aus-Schalter an der Ladestation für den sicheren Umgang bei einem Unfallszenario für Einsatzkräfte wichtig. Bei einem sehr hohen Energieinhalt (>100 kWh) von Zwischenpuffern bei Ladestationen muss ein eigener Brandabschnitt gegeben sein.

Eine Einfahrt in Tiefgaragen mit wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen (inkl. FCEVs) ist in Österreich laut der aktuellen OIB-Richtlinie 2.2. gemäß Punkt 8 nahezu ausgeschlossen bzw. nicht möglich. Hierzu gibt es jedoch kein passendes Verbotsschild an Tiefgarageneinfahrten. Ein Symbolbild „Wasserstoff“ ist notwendig, da im Moment die Kennzeichnung nur auf ein Einfahrtsverbot für flüssiggasbetriebene Fahrzeuge hinweist. Hierbei ist aber anzumerken, dass diese Richtlinie, welche eine Einfahrt von

⁸ Österreichisches Institut für Bautechnik, kurz OIB (vgl. hierzu [111])

wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen in Tiefgaragen ausschließt, 2025 überarbeitet wird. Sollte es hierzu Änderungen geben, ist eine genaue Betrachtung und Analyse notwendig. Angepasste Regelungen und eine Beachtung der sich in naher Zukunft ändernden Mobilität ist sicherlich Rechnung zu tragen. Bei gesteigertem Anteil an alternativen Antrieben muss auch die Möglichkeit zum Abstellen bzw. Parken solcher Fahrzeuge geschaffen bzw. ermöglicht werden.

Das OIB soll in die Richtlinie 2.2 folgende Punkte aufnehmen: Anfahrschutz und Not-Aus-Schalter bei Ladestationen sowie bei Zwischenpuffern mit hohem Energieinhalt (>100 kWh) ein eigener Brandabschnitt.

Die Handhabung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen (insbesondere Wasserstofffahrzeuge) in Parkgaragen, Tiefgaragen udg. soll bei der Überarbeitung der OIB-Richtlinie 2.2 diskutiert und der steigenden Zahl an alternativen Antrieben Rechnung getragen werden.

4.1.2.3. Tunnel [25]

Zum Thema Wasserstofffahrzeuge in Tunnelanlagen ist zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokuments das EU-Projekt „HyTunnel“ (vgl. [33]) in der Finalisierung. Es wird angenommen, dass die Unfallhäufigkeit in Tunnelanlagen geringer ist als auf offener Strecke, das Risiko und die Komplexität eines Einsatzes jedoch entsprechend höher. Hierbei werden auch Möglichkeiten zur Überwachung von Tunnelanlagen bezüglich der Temperatur von Fahrzeugen oder die automatische Erfassung der im Tunnel befindlichen Fahrzeuge diskutiert.

4.1.3. Brände in/auf Transportmittel

Bei Bränden von Elektrofahrzeugen auf Transportmitteln kann es zur Verschachtelung der bereits angeführten Szenarien kommen. Kommt es während des Transports von BEV, HEV oder FCEV zu einem Brand in der Antriebsbatterie, ist damit zu rechnen, dass ein Abladen nur mehr sehr schwer gelingen wird und somit eine Ausbreitungsgefahr auf das Transportmittel selbst besteht. Am Markt befindliche Brandbegrenzungsdecken können das Potenzial bieten, ein Übergreifen des Feuers auf das Transportmittel zu verhindern. Genauer behandelt das Kapitel 7 diese Thematik.

Das Szenario eines Brandes auf einer Fähre hat für Österreich wenig Relevanz, beschränkt sich auf die Donaufähren und den Transport von Neufahrzeugen mittels Binnenschifffahrt auf der Donau und wird daher in der vorliegenden Studie nicht genauer betrachtet. Das deutsche Projekt ALBERO befasst sich mit der sicheren Integration von alternativen Antrieben in den Fährverkehr. [34]

4.1.4. Brände an der Ladestation und Tankstellen

Bei der Auswertung von Brandereignissen im Zusammenhang mit batterieelektrischen Fahrzeugen zeigte sich, dass weltweit derzeit etwa ein Drittel aller Brände von batterieelektrischen Fahrzeugen während des Ladevorgangs stattfinden. [14] Von 232 verifizierten Fällen mit einem Thermal Runaway, fanden 53 beim Ladevorgang statt, sechs Fälle davon führten zu einer Explosion (Gasexplosion bzw.

VCE⁹) durch Zündung der austretenden Venting-Gase. Je niedriger der State of Charge (SoC¹⁰), desto unwahrscheinlicher ein Thermal Runway. [14]



Abbildung 8: Versuch des Fire Safety Research Institutes (FSRI) zur Explosion von Venting-Gasen in Garagen (laufende Untersuchung)

Bei der Ladeinfrastruktur werden je nach Anwendungsart verschiedene Ladebetriebsarten verwendet. Von dieser Ladebetriebsart ist auch das Gefährdungspotenzial abhängig. [14] Ladestationen führen im Allgemeinen aus den genannten Gründen zu neuen Risiken bzw. Herausforderungen für die Einsatzkräfte Thermal Runaway, Explosionsgefahr, Stromschlaggefahr bzw. Auffahren von Fahrzeugen auf Ladesäulen. [14]

Bei Wasserstofftankstellen wurden bisher vereinzelt Unfälle bekannt, medial fand die Explosion im Stadtgebiet von Oslo entsprechenden Widerhall. Aufgrund der derzeit noch geringen Verbreitung von Wasserstofffahrzeugen und den dazugehörigen Tankstellen kann davon kein Trend in Bezug auf die Unfallhäufigkeit abgeleitet werden. Im Rahmen der Arbeiten zur vorliegenden Studie wurde allerdings klar, dass Einsatzkräfte oder betroffene Personen bei einem unkontrollierten Wasserstoffaustritt die Möglichkeit haben müssen, die Wasserstoffversorgung so schnell als möglich zu Unterbrechen (Not-Aus). Not-Aus Taster im Bereich der Betankungssäulen sind entsprechend vorzusehen.

Sowohl bei größeren Ladestationen (mehrere Ladesäulen) als auch bei Wasserstofftankanlagen ist ein zentraler, für Einsatzkräfte gut zugänglicher Not-Aus Schalter zu fordern, welcher entweder die Stromzufuhr (Ladestationen) oder die Gaszufuhr (Wasserstofftankstellen) zuverlässig unterbricht.

An Ladestationen oder Ladesäulen für Elektrofahrzeuge sowie an Wasserstofftankstellen und Betankungsanlagen soll ein Not-Aus-Schalter angebracht werden, welcher für Einsatzkräfte und Benutzer:innen dieser Anlagen gut zugänglich ist. Bei größeren Anlagen sollen zentrale Not-Aus-Schalter vorhanden sein.

⁹ Laut dem American Institute of Chemical Engineers (AIChE) unter einer VCE (vapour cloud explosion) eine Explosion, die aus der Entzündung einer Wolke aus brennbarem Dampf, Gas oder Nebel resultiert verstanden. Die sich ergebende Flammengeschwindigkeit weist eine ausreichend hohe Geschwindigkeiten beschleunigt, um einen erheblichen Überdruck zu erzeugen.

¹⁰ Der Ladezustand (SOC) einer Zelle bezeichnet die aktuell verfügbare Kapazität in Abhängigkeit von der Nennkapazität. Der Wert des SOC variiert zwischen 0 % und 100 %. (ScienceDirect)

4.2. Technischer Einsatz

Unter einem technischen Einsatz versteht man jegliche technische Hilfeleistung ohne Brandereignis mit oder ohne Personenrettung, darunter fallen auch Fahrzeugbergungen durch Einsatzorganisationen.

4.2.1. Verkehrsunfall mit eingeklemmter oder eingeschlossener Person

Beim Einsatz nach einem Verkehrsunfall mit batterieelektrischen Fahrzeugen sind die Standardeinsatzmaßnahmen für Einsatzkräfte grundsätzlich gleich derer konventioneller Antriebe, es gibt jedoch zusätzliche Gefahren, welche berücksichtigt werden müssen. Grundsätzlich sollte von einem verunfallten Fahrzeug mit Hochvoltsystem keine Gefahr für Opfer, Ersthelfer:in und Einsatzkräfte ausgehen. Viele Schutzmechanismen sorgen für einen sicheren Betrieb, so wird mit der Auslösung eines Airbag-Systems auch das Hochvoltsystem deaktiviert. Sollten jedoch offene spannungsführende Teile erkennbar sein, müssen Einsatzkräfte diese mit isolierenden Schutzdecken (vgl. Kapitel 5.6) abdecken. Bei Manipulationen sollten in diesem Fall störlichtbogen-sichere, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe getragen werden (vgl. Kapitel 5.6), da es in äußerst seltenen Fällen bei einer Verkettung vieler Fehler zu einer Potentialverschleppung auf Karosserie bzw. Erde kommen könnte.

4.2.2. Fahrzeug im Wasser

Es entsteht keine Gefährdung für Opfer, Ersthelfer:in oder Einsatzkräfte, wenn ein Fahrzeug im Wasser verunfallt. Vor dem Abschalten der Hochvolt-Anlage müssen alle Türen geöffnet werden, dadurch kann das Wasser aus dem Fahrzeug ablaufen. Die Hochvoltanlage sollte danach laut Herstellerangaben deaktiviert werden. Nach erfolgreichem Einsatz muss das Havariefahrzeug in Quarantäne gestellt werden (vgl. Kapitel 8).

4.2.3. Fahrzeug anheben

Es gibt Situationen, wo Fahrzeuge von Einsatzkräften angehoben werden müssen, in diesen Fällen muss nach Herstellervorgaben vorgegangen werden. Eine Beschädigung des Batteriepakets ist dabei unter allen Umständen zu vermeiden. Auch Elektrofahrzeuge verfügen über zugelassene Hebepunkte zum Ansetzen von Wagenheber und anderen Hebewerkzeugen, das Anheben über die Räder ist konventionell möglich. Zu beachten sind die erhöhten Eigengewichte der BEV, HEV und FCEV sowie die verminderte Anzahl an erlaubten Hebepunkten am Unterboden aufgrund der Bauweise im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen.

5. Bearbeitung der Unfallszenarien durch Einsatzorganisationen

Im Folgenden ist die Bearbeitung von Unfallszenarien mit batterieelektrischen Fahrzeugen durch Einsatzorganisationen beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf der Arbeit der Rettungskräfte die erarbeiteten Szenarien sind aber selbstverständlich auch für andere Stakeholder relevant. Kleinere Szenarien („Blebschäden“), welche z.B. nur den Abtransport eines Fahrzeuges durch ein Abschleppunternehmen nötig machen, werden nicht gesondert behandelt.

5.1. Erkennen von batterieelektrischen Fahrzeugen

Das Erkennen von Fahrzeugen und die damit verbundenen verschiedenen Antriebsarten ist essenziell für die weitere Unfallbearbeitung durch Einsatzkräfte, nicht nur bei batterieelektrischen Fahrzeugen, sondern für alle Fahrzeugtypen, da auch z.B. gasbetriebene Fahrzeuge eine für sie passende Herangehensweise benötigen. Elektrofahrzeuge verfügen in der Regel über keine Abgasanlage bzw. kann bei der Kontrolle des Tankdeckels eine Ladeanschlussmöglichkeit entdeckt werden.

Für die sichere Identifikation des Fahrzeuges gibt es derzeit verschiedene Möglichkeiten, die im Folgenden beschrieben werden.

5.1.1. Kennzeichen

Ein mögliches Erkennungsmerkmal für ein Elektrofahrzeug ist das in Österreich eingeführte Kfz-Kennzeichen mit grüner Schrift. Diese Kennzeichnung ist jedoch nicht durchgängig, da vor April 2017 nicht verfügbar und bei Wechselkennzeichen nicht möglich. Hierbei handelt es sich um eine nationale Lösung, in der Bundesrepublik Deutschland zum Beispiel verfügen Elektrofahrzeuge über den letzten Buchstaben „E“ am Kennzeichen als Identifizierung.

5.1.2. Automatisches Notrufsystem Emergency Call „eCall“

Das von der Europäischen Union seit 31. März 2018 vorgeschriebene automatische Notrufsystem eCall (Kurzform für emergency call) wird bei einem Unfall mit Airbagsauslösung automatisch aktiviert bzw. besteht die Möglichkeit einer manuellen Auslösung im Fahrzeug mit dem SOS-Knopf. Es wird eine Sprachverbindung hergestellt und versucht mit den Insassen Kontakt aufzunehmen. Parallel dazu wird ein Minimaldatensatz (kurz MSD) der den Unfallzeitpunkt, die Koordinaten des Unfallortes, Fahrgestellnummer und weitere Daten enthält, übertragen.

Es gibt zwei technische Ausprägungen für das eCall System, welche im Folgendem kurz vorgestellt werden.

eCall System 112

Bei Aktivierung des Systems wird die Eurorufnummer 112 angewählt, welche in den vielen EU-Ländern bei der Feuerwehr in Österreich aber bei der Polizei aufläuft. Der eCall wird hierzulande zu einer

polizeilichen Landesleitzentrale mit Infrastruktur zur Auswertung des Minimaldatensatzes geroutet, nicht alle Landesleitzentralen verfügen aktuell über diese Ausstattung. [35]

Die Weiterleitung der Informationen in das entsprechende Bundesland und den notwendigen Einsatzorganisationen obliegt der Polizei. Bisher erfolgt dies auf analogem Weg mit entsprechendem Zeit- und Informationsverlust. An einer Schnittstelle für andere Einsatzorganisationen (kurz SAO) wird derzeit gearbeitet, sodass zukünftig vom Einsatzleit- und Kommunikationssystem (kurz ELKOS) der Polizei die Feuerwehr und Rettungsdienste auch ohne Schnittstellenbruch mit Daten versorgt werden können.

Die Verwendung des Euronotruf 112 ermöglicht eine Priorisierung im Mobilfunknetz und beste Netzabdeckung, da jedes Providernetz verwendet wird.

eCall System TPS

Viele europäische Fahrzeughersteller verbauen in ihren Fahrzeugen ein eigenes Notrufsystem und koppeln damit weitere Dienste (Pannenservice, usw.). Hierbei handelt es sich um eine privatrechtliche Vereinbarung zwischen den Kundinnen und Kunden und dem jeweiligen Anbieter. Diese TPS eCall Notrufe landen in einem Callcenter des Fahrzeugherstellers, welches sich um die weitere Abwicklung kümmert. Hierbei handelt es sich, im Gegensatz zum eCall 112, um einen Anruf ohne Priorisierung. Das Callcenter ist über die Rufnummer für die Weiterleitung des Anrufes zu einer Einsatzorganisation zuständig. Über diesen wird manuell der Standort des Fahrzeugs beschrieben, eine digitale Schnittstelle mit zeitnaher Übermittlung der vorliegenden Daten ist derzeit nicht existent. Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich in der Praxis eine Reihe an Problemen, u.a. Zeitverlust, Verringerung der Datenqualität. [36] [37]

Unabhängig davon, ob der Hersteller ein eigenes TPS eCall System in das Fahrzeug einbaut, muss bei neu zu genehmigenden Fahrzeugmodellen ab 31. März 2018 ein, entsprechend der RL 2007/46/EG [38], beschriebenes eCall-Gerät eingebaut sein. Der Fahrzeughalter hat gemäß Artikel 5 (3) der VO 2015/758 [39] das Recht zu entscheiden, entweder das auf der 112-Notrufnummer basierende bordeigene eCall System oder das bordeigene TPS eCall System zu verwenden. Ein nachträglicher Umstieg ist in der Regel oft mit Kosten verbunden. [40]

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die sichere Erkennung von batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Das automatische Notrufsystem eCall erleichtert den Einsatzorganisationen die Bearbeitung möglicher Unfallszenarien enorm und unterstützt den sicheren Umgang mit verunfallten Fahrzeugen. Um jedes Fahrzeug sicher erkennen zu können und alle benötigten Informationen ohne Zeitverzug zu erhalten, wäre ein verpflichtendes eCall 112 System mit einer Anlaufstelle und automatischer Weiterleitung (SAO-Schnittstelle) an alle Einsatzorganisationen sinnvoll. Aus Einsatzerfahrungen zeigte sich bei Befragungen, dass es für Einsatzorganisationen nützlich wäre, diese Schnittstelle zum Fahrzeug während der Einsatzbearbeitung weiter nutzen zu können. Solange das Notrufsystem arbeitet, also Informationen über die Batterie im Fahrzeug an die Schnittstelle sendet, wäre die Weitergabe dieser Daten an die Einsatzorganisation während des Einsatzverlaufes hilfreich. Dabei könnten die aktualisierten Daten über den Batteriezustand wesentliche Entscheidungshilfe für die Einsatzkräfte sein und der Zustand der Batterie während Rettungsmaßnahmen überwacht sowie die Sicherheit der Einsatzkräfte aber auch von eventuell eingeklemmten Personen erhöht werden.

Das an die Leitstelle übermittelte Datenpaket liefert derzeit keine Informationen zu thermischen Ereignissen in der Batterie. Diese Informationen wären jedoch vorhanden und würden den Einsatzkräften im Zuge der Beurteilung des Fahrzeuges eine Hilfestellung leisten. Auch der derzeitige Ladezustand (SoC) sollte daher in das Datenpaket mitaufgenommen werden. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob der automatische eCall auch aufgrund dieser thermischen Ereignisse ausgelöst wird, unabhängig davon, ob das Fahrzeug in fahrbereitem Zustand oder geparkt bzw. an der Ladestation steht.

Ein verpflichtender eCall 112 mit SAO-Schnittstelle und einer Anlaufstelle für Einsatzorganisationen soll installiert werden

Die/der eCall-Betreiber:in soll es ermöglichen, dass Einsatzkräfte auf Informationen über das Fahrzeug über den eCall auch im Einsatzverlauf weiter zugreifen können.

Die/der eCall-Betreiber:in soll es ermöglichen, dass auch thermische Ereignisse inkl. aktuellem Ladestatus (SoC) über den eCall gemeldet werden.

5.1.3. Die AUTO-Regel der Feuerwehr

Zur Strukturierung der Einsatzabläufe werden durch die Feuerwehr Merkregeln als Hilfestellung entwickelt, die bei der Bearbeitung unterschiedlicher Einsätze helfen und intensiv bei Ausbildungen geschult werden. Für alternativ angetriebene Fahrzeuge wurde die sogenannte **A U T O**-Regel entwickelt, welche die Ersterkundung durch den Einsatzleiter unterstützt.

Hierbei stehen die vier Buchstaben für folgende Gedankenbrücken: **A** – Austritt von Stoffen; **U** – Unterboden-, Kofferraum-, Motorraum-Kontrolle; **T** – Tankdeckel öffnen; **O** – Oberfläche kontrollieren

Aus den für die Bearbeitung von Unfällen anzupassenden Vorgehensweisen ergibt sich für die sichere Erkennung von batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Die durch neue Technologien entstehenden Änderungen in der Bearbeitung von verunfallten Fahrzeugen müssen laufend in Schulungsunterlagen und Schulungsinhalte für Einsatzkräfte eingearbeitet werden (teilweise bereits erfolgt) und durch genügend Ausbildungsangebote und -möglichkeiten für alle Mitglieder bzw. Mitarbeiter:innen von Einsatzorganisationen zur Verfügung stehen. Ein wichtiger Punkt dabei ist auch die aktive Annahme dieser Inhalte durch die Schulungsteilnehmer:innen.

Einsatzorganisationen sollen ihren Mitgliedern bzw. Mitarbeiter:innen angepasstes Ausbildungsmaterial aktiv anbieten und vermehrt Schulungen durchführen.

5.1.4. Kennzeichenabfrage

Mit dem Inkrafttreten der 38. KFG-Novelle (BGBl. I Nr. 37/2020 [41]) am 1. Oktober 2020 hat der Gesetzgeber die Möglichkeit des Zugriffs auf fahrzeugspezifische Daten aus der zentralen Zulassungsevidenz mittels Abfrage des Kennzeichens geschaffen. Aus diesem Grund haben seit November 2020 die österreichischen Feuerwehren die Möglichkeit mittels Web-Applikation Marke, Type und Baujahr, Antriebsart und weitere Daten mittels einer Kfz-Kennzeichenabfrage zu ermitteln. Die Logindaten werden durch den Bundesfeuerwehrverband vergeben bzw. ist bei manchen Landesfeuerwehrverbänden die Möglichkeit gegeben, den personenbezogenen Login der jeweiligen Verwaltungssoftware zu nutzen. [42]

Die Abfrage führt derzeit nur für österreichische Kennzeichen zu einem Ergebnis. Es besteht weiters die Möglichkeit zur Implementierung einer Schnittstelle, um beispielsweise über die Eingabe des Kennzeichens direkt auf das zugehörige Rettungsdatenblatt (z.B. Crash Recovery System von Moditech Rescue Solutions B.V. [43]) oder auf das FRS Feuerwehr Rettungsdatenblatt System der Firma SilverDAT [44]) zugreifen zu können.

Die Möglichkeit der Kennzeichenabfrage erleichtert die Bearbeitung eines Unfallszenarios für Einsatzkräfte und führt zu einem sichereren Umgang mit diesem. Jedoch zeigten die durchgeführten Recherchen, dass die Auskunft über die Antriebsart (Benzin, Diesel, Erdgas, Elektro, Hybrid, Wasserstoff, usw.) alleine zu wenig Information darstellt. Einsatzkräfte müssen detailliertere Informationen zu verwendeten Antriebsarten erhalten, da die einsatztaktischen Grundsätze je nach Ausprägung variieren (z.B. Erdgas.- CNG oder LNG; Batterie - NiMH, Li-Ion, Feststoffbatterie).

Der Gesetzgeber soll es ermöglichen, dass Einsatzorganisationen (Feuerwehr und Rettungsdienste) durch die Kennzeichenabfrage genauere Informationen über die beteiligten Fahrzeuge erhalten, die Information über lediglich die Antriebsart zeigte sich bisher als nicht ausreichend.

5.1.5. ISO 17840 - Teil 4

Durch den CTIF (Internationaler Verband der Feuerwehr- und Rettungsdienste) wurde der ISO-Standard 17840 [45] erarbeitet, welcher zum Ziel hat den Einsatzkräften im Einsatzfall eine rasche Identifizierung des Antriebes sowie eine Recherche in vereinheitlichten Nachschlagewerken zu ermöglichen. Bei dem ISO-Standard 17840 (Teil 1 bis 4) handelt es sich um einen freiwilligen Standard, Teile werden jedoch von sehr vielen OEMs bereits angewandt. In Österreich verläuft die Implementierung des Teils Nummer 4 [46] sehr schleppend.

Die ISO 17840 beinhalten folgende Teile: In Teil 1 werden Rettungsdatenblätter für PKW und kleine Nutzfahrzeuge beschrieben und die einheitliche Form der Rettungsdatenblätter (auch umgangssprachlich Rettungskarten genannt) geregelt. In Teil 2 wird die Form der Rettungsdatenblätter für Busse, Reisebusse und Nutzfahrzeuge geregelt. Teil 3 beinhalten die Leitfäden (den in Österreich bekannt als Rettungsleitfäden) für Notfallmaßnahmen von Einsatzorganisationen und Pannenfahrer:in für Unfälle mit PKW, Bussen und Nutzfahrzeuge. Die Identifizierung der Antriebsart wird in Teil 4 [46] beschrieben. Hier wird Aussehen und Anbringungsort der Piktogramme für alle Straßenfahrzeuge geregelt. Beispiele für Kennzeichnungssymbole nach ISO 17840 sind in Abbildung 9 ersichtlich.

Mit der Umsetzung der ISO-Norm 17840-4 [46] würden sich in Bezug auf den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen mehrerer Probleme lösen. Einerseits würde durch die Nachrüstung für LKW und Busse die Identifikation der Antriebsart durch die eintreffenden Einsatzkräfte sichergestellt und bis dato nicht vorhandene Rettungskarten für LKW und Busse wären verfügbar. Andererseits ist dadurch die Kennzeichnung aller Antriebsarten geregelt und die sichere Identifikation wäre für alle Fahrzeuge gegeben. Eine schrittweise Ausdehnung der Umsetzung für alle Fahrzeuge könnte den Idealzustand darstellen.

Der Gesetzgeber soll die ISO-Norm 17840-4 zur Kennzeichnung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben verpflichtend einführen.



Abbildung 9: Kennzeichnungssymbole nach ISO 17840-4 für Elektrofahrzeuge (linkes Symbol), Wasserstofffahrzeuge (mittleres Symbol) und LNG-Fahrzeuge (rechtes Symbol)

5.2. Informationsbeschaffung / Einsatzhilfen

Nachdem bei der Erkundung mittels beschriebener Methoden durch die Einsatzkräfte das Vorhandensein eines batterieelektrischen Fahrzeuges, bestätigt wurde, sind Rettungsdatenblätter das tauglichste Werkzeug, um weitere Informationen über das konkrete Unfallfahrzeug zu erhalten. Rettungsleitfäden bieten noch detailliertere Informationen und auch Softwarelösungen mit interaktiver Steuerung können die Einsatzkräfte beim weiteren Vorgehen unterstützen.

5.2.1. Rettungsdatenblätter

Rettungsdatenblätter können derzeit über verschiedene Quellen im Internet (Herstellerseiten, www.oeamtc.at, etc.) abgerufen werden. Mit Hilfe dieser Rettungsdatenblätter lassen sich die Einbauorte von Airbags, Batterien, Hochvoltbauteilen, pyrotechnische Sicherheitseinrichtungen, usw. anhand einer einfachen bildlichen Darstellung auslesen. Eine nachträgliche Um- oder Nachrüstung der Antriebsart ist aus den Rettungsblättern jedoch nicht zu erkennen.

Der ÖBFV empfiehlt die Verwendung der kostenlosen „Euro RESCUE App“, welche von der Organisation Euro NCAP (<https://www.euroncap.com/de>) gepflegt wird. Darin enthalten sind Rettungsdatenblätter der jeweiligen Hersteller. Der Datenbestand kann offline heruntergeladen werden (benötigt Speicherplatz am mobilen Gerät) oder man greift – bei entsprechender mobiler Internetverbindung – direkt auf die Informationen online zu. Die neuesten Rettungsdatenblätter werden nach ISO 17840 ausgeführt und geben den Einsatzkräften umfangreiche Informationen zum Fahrzeug.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die sichere Beschaffung der nötigen Informationen über das verunfallte Fahrzeug folgender Schluss: Die Verbindung zwischen Euro RESCUE App mit der nationalen Kennzeichnungsdatenbank bzw. internationalen Registern wie EUCARIS wäre ein Meilenstein für die Einsatzkräfte. Nachdem die Euro RESCUE App den Einsatzkräften europaweit kostenlos zur Verfügung gestellt wird, wäre die Realisierung dieser Anbindung für alle Feuerwehren eine sehr wichtige Einsatzunterstützung.

Der Gesetzgeber soll die Möglichkeit schaffen die nationale Kennzeichnungsdatenbank (bzw. mit internationalen Registern wie EUCARIS) mit der Euro RESCUE App der Organisation Euro NCAP zu verbinden.

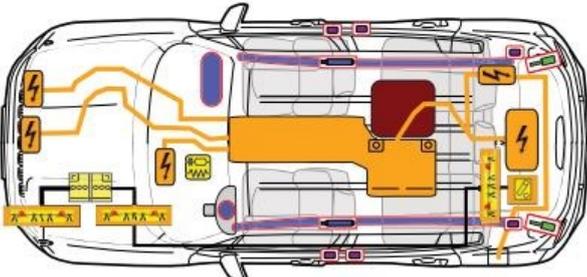
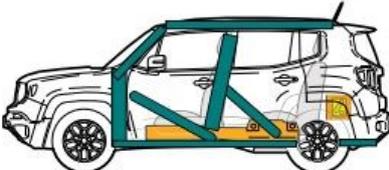
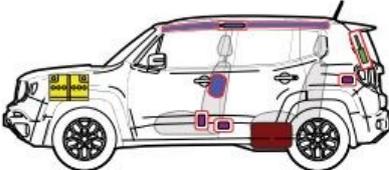
Jeep		Jeep Renegade 4xe - 5 Türen 2020-06							
5.									
									
									
	Airbag		Aufblasvorrichtung in seiner Box		Gurtstraffer		SRS-Steuergerät		Aktives Fußgänger-Schutzsystem
	Automatisches Überrollschutzsystem		Gasdruckstoßdämpfer / vorgespannte Feder		Hochfeste Zone		Zone, die besondere Aufmerksamkeit erfordert		
	Niederspannungsbatterie		Ultrakondensator, Niederspannung		Kraftstofftank		Gas-Tank		Sicherheitsventil
	Hochspannungsbatteriepaket		Hochspannungs-Stromversorgungskabel/-Kormpolmente		Hochspannungs-Notabschaltung		Sicherungskasten zur Abschaltung der Hochspannung		Ultrakondensator, Hochspannung
	Niederspannungstrennung für Hochspannung		Kabelschnitt		Hochspannungskomponenten		Kraftstofftank		
ID No. 57_609_RENEGADE_000.00.000_DE_02_06.20_TH						Version No. 02		Page 1/4	

Abbildung 10: Beispiel für das Titelblatt eines vierseitigen Rettungsdatenblattes nach ISO 17840 für den Jeep Renegade 4xe

5.2.2. Rettungsleitfäden

Bei den Rettungsleitfäden handelt es sich um ein umfangreiches mehrseitiges Skript der Fahrzeughersteller mit einer sehr detaillierten Beschreibung über verschiedenste Notfallmaßnahmen und damit verbundenen Handlungsempfehlungen. Die Rettungsleitfäden unterscheiden sich grundsätzlich in ihrer Gliederung und Ausführungsbeschreibung der Maßnahmen, sofern sie nicht nach ISO 17840 ausgeführt sind.

Derzeit gibt es kein Portal, auf welchem alle verfügbaren Rettungsleitfäden abgerufen werden können. Aufgrund der umfangreichen Ausführung eignen sich Rettungsleitfäden nicht für den Ersteinsatz.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Vergleicht man die Aussagen von Herstellern in ihren Rettungsleitfäden, wie im Einsatzfall vorzugehen ist, kommen völlig unterschiedliche Aussagen zum Tragen, zum Teil sogar widersprüchlich. Die Bandbreite bei der Angabe für geeignete Löschmittel für Lithium-Ionen-Batterien variiert je nach Hersteller von mit viel Wasser löschen bis kein Wasser. Hier besteht auf jeden Fall Optimierungsbedarf, die OEMs müssen klare, eindeutige und möglichst einheitliche Aussagen bringen. Diese müssen auch begründbar und nachvollziehbar sein.

Von Herstellern herausgegebene Handlungsempfehlungen über Notfall-Maßnahmen sollen klar, eindeutig und möglichst einheitlich sein.

5.2.3. QR-Code am Fahrzeug

Der Hersteller Mercedes bringt auf seinen Fahrzeugen einen QR-Code im Tankdeckel und an der B-Säule an, wird dieser mit einem Mobiltelefon gescannt öffnet sich das Rettungsdatenblatt. Weitere Hersteller sind diesem Beispiel nicht gefolgt, es gibt aber einen kommerziellen Anbieter, die Firma Herberger GmbH (www.res-qr.de), welche diese Etiketten kommerziell auch für andere Marken anbietet. Der Fahrzeugbesitzer kann hier kostenpflichtig eine QR-Etikette erwerben.

Aufgrund der Einschränkung der QR-Codes auf einen Fahrzeughersteller bzw. der kostenpflichtigen Alternative findet diese Art der Informationsbeschaffung keine allzu große Verbreitung. Der finanzielle und materielle Aufwand für die Anbringung des QR-Codes wäre für Fahrzeughersteller sehr gering, der Nutzen für Einsatzorganisationen erscheint im Falle eines Brandes jedoch fragwürdig.

5.2.4. Informationen im Fahrzeugdisplay

In der United Nations Global Technical Regulation on the Electric Vehicle Safety No. 20 [47] wird im Punkt 5.3.3 eine Sollbestimmung beschrieben, welche den/die Fahrer:in im Falle eines detektierten thermischen Ereignisses in der Batterie, mittels einer Warnung im Display informiert. Die chinesische GB/T 38031 [48] geht noch einen Schritt weiter und definiert dies als Mussbestimmung und legt außerdem fest, dass es 5 Minuten lang kein offenes Feuer geben und keine Ventinggase in den Passagierraum gelangen dürfen. Ein Blick auf das vielleicht noch aktive Display in einem batterieelektrischen Fahrzeug könnte Einsatzkräften helfen nähere Informationen über den Zustand des Batteriesystems zu erlangen.

5.3. Unfallbearbeitung durch die Feuerwehr im Brandfall [16]

Ein in Brand stehendes batterieelektrisches Fahrzeug unterscheidet sich bei Löscharbeiten nur dann von einem konventionellen Fahrzeug, wenn die Batterie direkt betroffen ist. Folgend wird die Unfallbearbeitung eines in Brand stehenden Fahrzeuges beschrieben, bei welchem die Batterie in das Brandgeschehen involviert ist. Hochvoltbatterien sind in der Regel in einem stabilen, teils wasserdichten Gehäuse eingebaut, welches in die Fahrzeugstruktur (z.B. im Unterboden oder bei Bussen am Dach) integriert und zusätzlich verkleidet ist. Aus diesem Grund kann aufgebrachtetes Löschmittel den Brandherd bei einem Brand innerhalb einer mechanisch nur unwesentlich beschädigten Batterie nicht erreichen. Eine externe Kühlung ist nur eingeschränkt wirksam, da die Zellmodule zum Außengehäuse teilweise thermisch isoliert sind. Brandversuche und bisherige Einsätze haben gezeigt, dass sich die Löschdauer und der Löschmittelbedarf im Gegensatz zu konventionellen Antrieben erhöhen. Erfahrungen zeigen auch, dass sich bei Lithium-Ionen-Batterien ein Löscherfolg erst dann einstellt, wenn Wasser das Innere der Batterie erreichen und diese so kühlen kann.

Wasser ist als Löschmittel grundsätzlich geeignet, Löschmittelzusätze sind nicht erforderlich. Inwiefern die Effizienz des Löschmittels Wasser durch diverse Zusätze noch verbessert werden kann, ist derzeit nicht ausreichend fundiert untersucht.

Brände von Lithium-Ionen-Akkus setzen ebenso wie anderen Brände Atemgifte in erheblichem Maße frei. Die Rauchentwicklung einer reagierenden Lithium-Ionen-Batterie zeigt sich meist durch weiße, hellgraue bis tiefschwarze Rauchwolken. Hierbei werden brennbarer Elektrolyt (weißer Dampf) und Grafit (dunkler Rauch) abgeblasen. Auch brennbare Kunststoffteile (Separator, Isolierungen, usw.) sind in das Brandgeschehen involviert. Durch das Abblasen der Elektrolytdämpfe kann es außerhalb zur Bildung von Stichflammen kommen. Auch ist es möglich, dass glühende Metallteile bzw. flüssige Metallspritzer ausgestoßen werden. Im Verlauf des Brandes ist davon auszugehen, dass aufgrund der hohen Temperaturen Löcher in das Gehäuse gebrannt werden. Geschmolzene Kabeleinführungen und Druckentlastungsöffnungen ermöglichen ebenso das Eindringen von Löschmittel in das Innere der Batterie.

Während der Fahrzeugbrand mit konventionellen Mitteln gelöscht werden kann, brennt die Lithium-Ionen-Batterie aufgrund der fehlenden Zugangsmöglichkeit unter Umständen weiter.

Für die Bearbeitung eines Brandereignisses ergeben sich derzeit folgende Möglichkeiten:

1. Brandbekämpfung mit großen Mengen an Löschwasser, hierdurch wird die Hochvoltbatterie extern gekühlt und Wasser dringt über (entstandene) Öffnungen ein.
2. Einbringung von Wasser als Kühlmittel direkt in das Batteriesystem. Gegebenenfalls kann Wasser über eine vom Fahrzeughersteller vorgesehene Öffnung in das Innere der Hochvoltbatterie eingebracht werden. Hinweise auf entsprechende Öffnungen können dem Rettungsdatenblatt entnommen werden. Beispiel hierfür sind der Fireman Access von Renault bzw. Öffnungen zum Entnehmen des Service-Disconnect. Ein weiterer Weg zum Einbringen von Wasser in der Batterie ist die Schaffung eines Zugangs mit Hilfe von penetrierenden Löschsystemen (u.a. von Rosenbauer oder AVL).
3. Grundsätzlich ist auch das kontrollierte Brennen lassen einer Lithium-Ionen-Batterie im abgelöschten Fahrzeug eine Option. Ist die Reaktion der Zellen abgelaufen reduziert sich das Risiko einer Wiederentzündung. Eine spezielle Löschdecke für PKW-Brände kann die Wiederentzündung des Fahrzeugs verhindern, beendet aber nicht die Reaktion in der Batterie.

4. Versenken des betroffenen Fahrzeuges bis auf Niveau der Hochvoltbatterie im Wasserbad ist eine weitere Möglichkeit. Die Hochvoltbatterie wird extern gekühlt. Außerdem kann Wasser über Öffnungen im Batteriegehäuse eindringen und benachbarte Zellen so weit abkühlen, dass keine weitere thermische Reaktion möglich ist und somit den Brand löschen. Verbleibt das Fahrzeug mit Batterie über mehrere Tage im Wasserbad, werden die einzelnen Zellen entladen und die Gefahr einer Wiederentzündung wird reduziert. Es sollte nur so viel Wasser verwendet werden, wie erforderlich ist, um in das Batteriegehäuse eindringen zu können bzw. bei einer Notentgasung reicht die Kühlung der unteren Gehäusehälfte. Eine fachgerechte Entsorgung des Löschwassers ist bei dieser Methode erforderlich, es ist eine der effektivsten Formen der Löschwasserrückhaltung, welche aufgrund der Auswaschung von Zellchemie anzustreben ist. Dieses Verfahren ist aufgrund der Größe des Wasserbades nur an PKW anwendbar.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die sichere Bearbeitung des Szenarios Brand eines batterieelektrischen Fahrzeuges folgender Schluss: Wasser ist als Löschmittel grundsätzlich geeignet. Ist die Batterie in das Brandgeschehen involviert sollte Wasser als Kühlmittel direkt in diese eingebracht werden. Hierzu eignet sich vor allem ein vom Hersteller angebrachter Zugang (vergleichsweise Fireman Access von Renault). Dieser sollte für alle Hersteller verpflichtend für die Inverkehrbringung vorgeschrieben sein. Die flächendeckende Anschaffung von Speziallöschgeräten für batterieelektrische Fahrzeuge durch die Feuerwehr erscheint nicht sinnvoll, da der gesetzliche Auftrag (primäre Gefahrenabwehr) durch vorhandene Mittel erfüllbar ist.

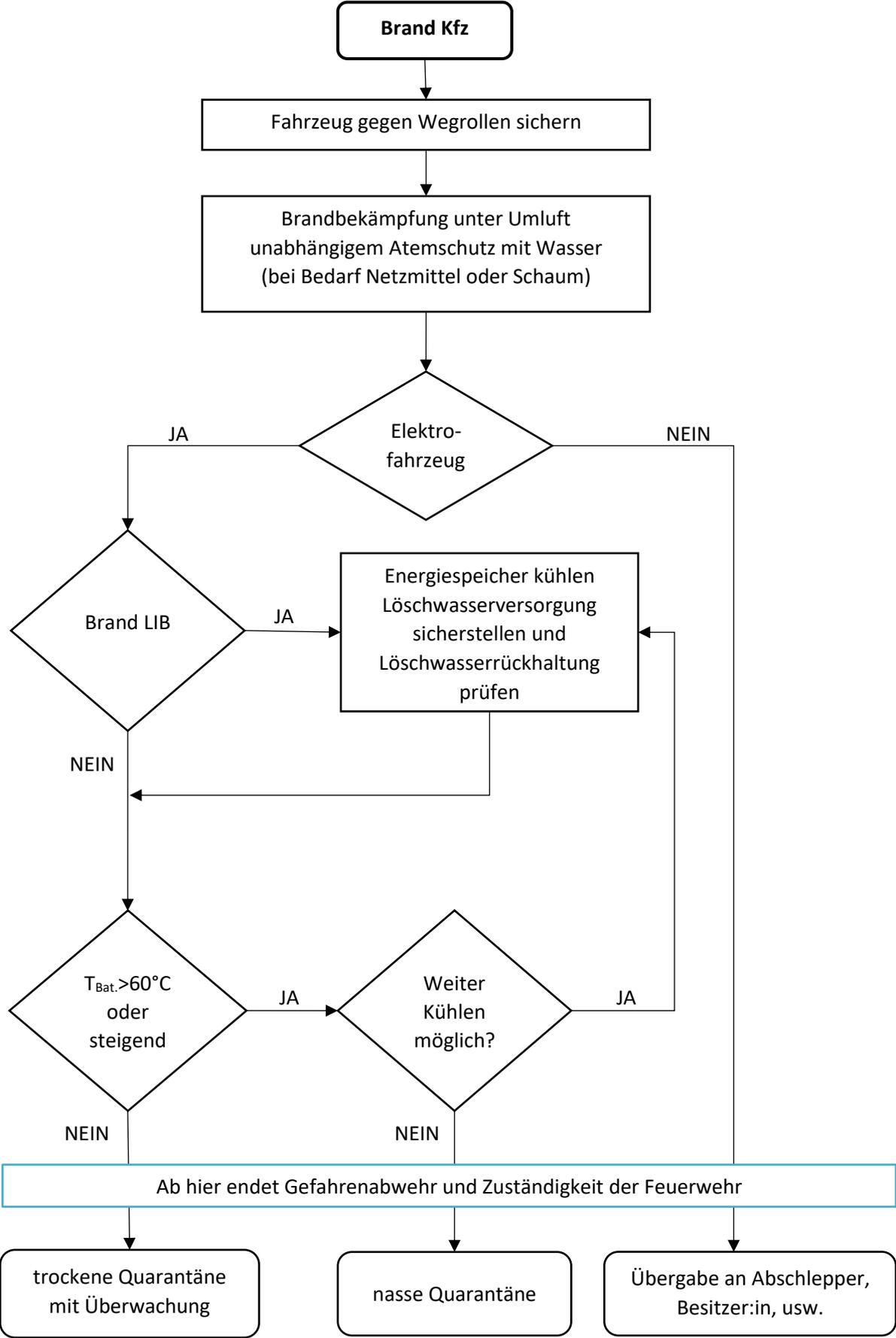
Wasser ist als Löschmittel für batterieelektrische Fahrzeuge und als Kühlmittel für die Batterie grundsätzlich geeignet und soll daher primär als Löschmittel eingesetzt werden.

Eine Öffnung zur Einbringung von Löschwasser als Kühlmittel in die Fahrzeugbatterie soll vom Hersteller verpflichtend gefordert werden.

Leider konnten zum derzeitigen Stand keine Informationen bzw. Erfahrungen bei LKW, Bussen und Nutzfahrzeugen erhoben und in dieser Studie berücksichtigt werden. Auch wurden diese Fahrzeugklassen in wissenschaftlichen Untersuchungen und empirischen Studien bisher unzulänglich behandelt. Aus diesem Grund bedarf es in naher Zukunft weiterführender Untersuchungen für Nutzfahrzeuge, da in der Bearbeitung eines Brand- oder Unfallereignisses ein Unterschied zu PKW zu erwarten ist.

Eine wissenschaftliche Studie zu sicherheitsrelevanten Fragen bei batterieelektrischen Nutzfahrzeugen ist aus Mangel an diesbezüglichen Informationen erstrebenswert.

5.3.1. Ablaufschema Brand Kfz



FAHRZEUGE MIT ALTERNATIVEN ANTRIEBEN
BRANDEINSATZ

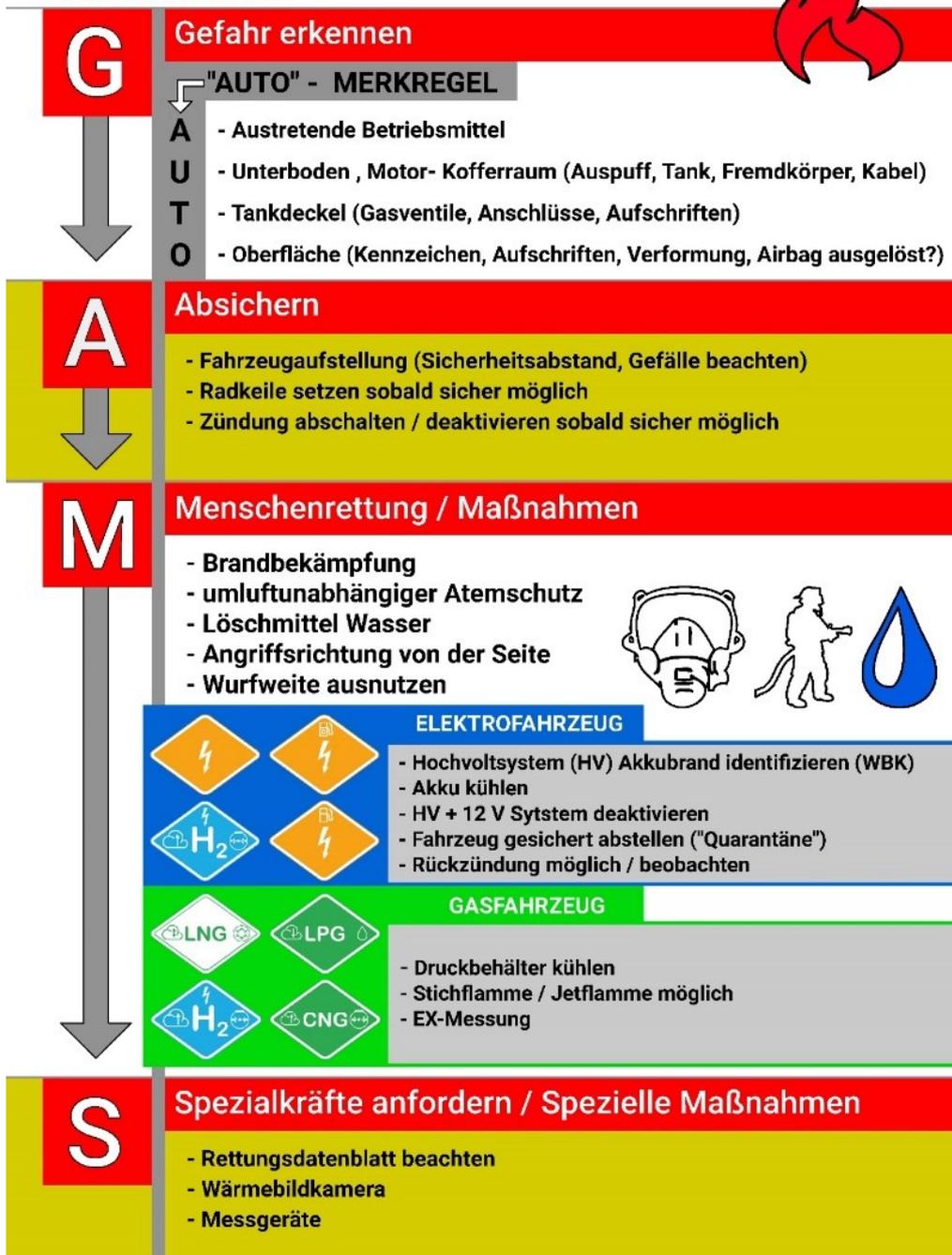


Abbildung 11: ÖBFV Merkblatt Brandeinsatz bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

5.4. Löschmittel /-systeme

Die Problematik des Löschens von im Brandgeschehen beteiligten Lithium-Ionen-Batterien wurde medial hauptsächlich als ungelöstes Problem dargestellt. Der Umstand wurde als Marktlücke für speziellen Löschmitteln für Lithium-Ionen-Batterien wahrgenommen und brachte bzw. bringt eine Unzahl an Löschmittel und -systemen hervor. [34] Hierzu wird im Folgenden Stellung genommen.

5.4.1. Wasser

Wasser ist grundsätzlich das von den Herstellern in Rettungsleitfäden empfohlene Löschmittel, da es eine sehr gute Kühlwirkung besitzt. Außerdem ist es das gebräuchlichste Löschmittel von Feuerwehren und kann auch in größeren Mengen transportiert (Pendelverkehr mit Tanklöschfahrzeugen) bzw. gefördert (Wasserförderung über längere Wegstrecken mit Hilfe von Relaisleitungen) werden. Wasser ist fast überall vorhanden und relativ günstig.

Damit Wasser seine Kühlwirkung auch entfalten kann, muss es so nah wie möglich an den Reaktionsherd herangebracht werden, d.h. am besten in das Batteriegehäuse selbst, direkt an das reagierende Modul bzw. an die Zellen. Noch nicht von der Reaktion betroffene Module werden durch das Umspülen mit Wasser thermisch isoliert, damit der thermische Stress nicht so groß wird um in einen Thermal Runaway zu laufen.

Die einfachste Möglichkeit Wasser in die Batterie einzubringen ist, wenn der Hersteller selbst dafür schon Öffnungen zum Einbringen von Löschwasser vorgesehen hat. Patente hierzu sind angemeldet, aktuell (Stand August 2022) hat jedoch nur ein Hersteller (Renault) eine Lösung in Serie.

Alternativ hierzu gibt es eine Vielzahl von Armaturen, welche Wasser als Kühlmittel von unten an das Gehäuse einer Hochvoltbatterie bzw. an die Bodenplatte des Fahrzeuges heranbringen. Moderne Batterie-Systeme sind jedoch thermisch gut von der Umwelt entkoppelt, verfügen über isolierende Schichten, Kühlsysteme mit Kühlflüssigkeit, usw. welche die Effektivität einer externen Kühlung sehr stark sinken lässt. Empirische Versuche mehrerer Interessenvertreter zeigten diese Problematik. [49]

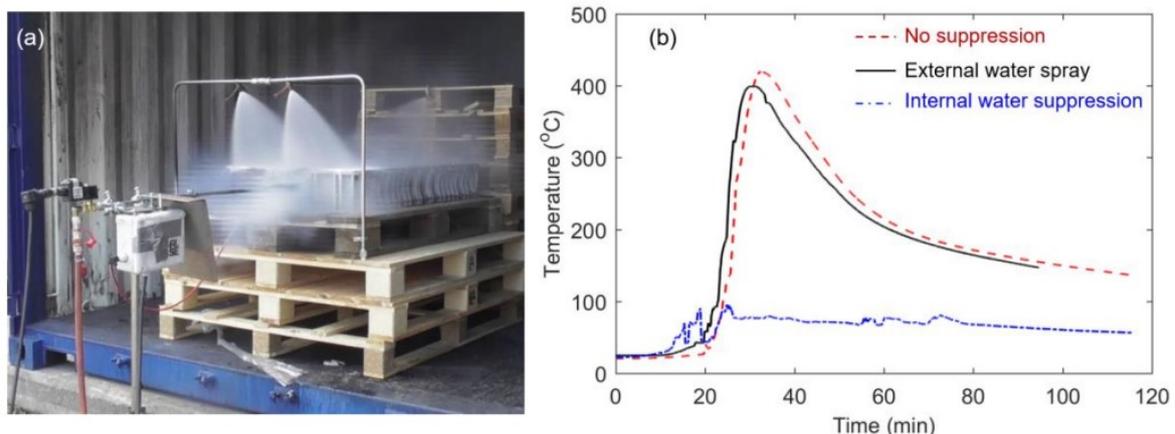


Abbildung 12: Vergleich keine (rote Linie) / externe (schwarze Linie) / interne (blaue Linie) Kühlung [49]

5.4.1.1. Systeme zur Flutung

Um einen möglichst raschen Löscherfolg zu erzielen, muss Wasser in das Batteriegehäuse gelangen. Einerseits um die brennenden Materialien zu löschen und andererseits nicht betroffene Batteriezellen zu kühlen, und damit eine weitere thermische Reaktion der Zellen zu verhindern. Eine vor allem in der Vergangenheit praktizierte Möglichkeit ist das Fahrzeug in einer wasserdichten Wanne bis Batterieniveau zu fluten (und hier macht nur die Flutung bis Batterieniveau Sinn). Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn sicher ist, dass die Batterie am Brandgeschehen teilnimmt und exotherm reagiert. Es gibt einige dokumentierte Fälle, wo es zwar zu einem Fahrzeugbrand eines BEV kam, die Batterie jedoch unbeschädigt war. In diesem Fall wäre eine Flutung eine Schadensausweitung und würde erst recht einen kritischen Zustand der Traktionsbatterie herbeiführen. Bei Bränden von batterieelektrischen Fahrzeugen wurde hierzu in der Vergangenheit oft eine Mulde bzw. ein

geschlossener Abrollcontainer verwendet. Das Einbringen eines brennenden BEV, HEV, oder FCEV ist, egal ob mit Winde oder Kran, kaum darstellbar, das Ablöschen muss daher durch die örtliche Feuerwehr im klassischen Stil erfolgen. Erst dann kann das Fahrzeug in den Container verfrachtet werden. Zur Prüfung, ob in der Batterie noch Reaktionen stattfinden oder nicht, muss derzeit eine Temperaturmessung am Gehäuse der Batterie stattfinden. Sind hier Temperaturen über 60-70 °C feststellbar, wird extern gekühlt, erwärmt sich das Gehäuse wieder innerhalb kurzer Zeit über diesen Schwellwert, ist dies eine Indikation einer möglichen exothermen Reaktion.

Diese Taktik der Flutung kann zu einem schnelleren Einsatzerfolg führen, sollte ein entsprechendes System (Mulde bzw. Abrollcontainer) in ausreichender Zeit verfügbar sein. Eine Vorhaltung dieser Systeme rein für diesen Zweck sieht das Autor:innenteam für Feuerwehren nicht notwendig. Das Löschsystem „Flutung mit Hilfe von Container“ ist nur bis zu einer gewissen Fahrzeuggröße nutzbar. Transporter, LKW und Busse passen in keinen derzeit zur Verfügung stehenden verwendeten Container.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Sicherungsvariante Flutung von Fahrzeugen in Container/Mulden folgender Schluss: Diese Variante ist nur für PKW möglich und nur dann sinnvoll, wenn die Batterie direkt betroffen ist. Ansonsten wird diese durch die Flutung in einen kritischen Zustand versetzt. Eine Vorhaltung solcher Container durch Einsatzorganisationen wird nicht als notwendig erachtet.

Auf eine rechtliche Besonderheit die sich im Zuge der Verwendung des Löschverfahrens in containerähnlichen Behältnissen, ergibt sei an dieser Stelle nachfolgend hingewiesen.

Der Oö. Landesfeuerwehrverband (OÖLFV) entschied mit dem Aufkommen von batterieelektrischen Fahrzeugen seinen Feuerwehren ein Verfahren für das Löschen solcher zur Verfügung zu stellen und kaufte Container an. Die Fa. Ellermann GmbH, ein deutscher Container- und Wechselgerätetechnikhersteller, besitzt ein erteiltes EP Patent EP3263402B1, welches in Österreich validiert ist. Aus diesem wurde der OÖLFV im Herbst 2020 schriftlich verwarnet und Unterlassung gefordert. Im Zuge erster Recherchen zeigte sich, dass derartige Verwarnungen und Aufforderungen zum Vergleich oder Lizenzkauf auch in Tirol stattgefunden hatten. Diese Verwarnung setzte langwierige Verhandlungen in Gange, welche einer einzelnen Feuerwehr, die in der Praxis gegen die Schutzrechte verstößt, nicht zumutbar sind.

Im Wesentlichen geht es bei der im Raum stehenden Patentverletzung um zwei Punkte: Die Fa. Ellermann GmbH hat sowohl das Verfahren als auch den Container zur Bekämpfung von Bränden von Elektrofahrzeugen patentieren lassen. Im Rahmen der Recherche konnten allerdings keine neuheitsschädlichen Dokumente gefunden werden. Ein neuheitsschädliches Dokument kennzeichnet sich dadurch, dass alle Merkmale eines Anspruches darin offenbart sind. Es konnten jedoch mehrere Dokumente und Vorbenutzungen in Internet aufgefunden werden, welche für einen Angriff wegen mangelnder erfinderischer Tätigkeit (Kombination von zwei Dokumenten, um zum Anspruchswortlaut zu kommen) verwendet werden könnten. Eine hohe Sicherheit in einem etwaigen Nichtigkeitsverfahren damit zu obsiegen und das Patent in Österreich zu vernichten, ist dadurch nicht gegeben.

Auch der Ansatz als hoheitlich tätige Einsatzorganisation nicht unter die patentrechtlichen Schutzbestimmungen zu fallen, war nicht tauglich. Hier stellt sich die österreichische Rechtslage anders dar als jene in Deutschland, weshalb es zu einer deutlichen Benachteiligung in Österreich kommt. Dies führt in letzter Konsequenz dazu, dass österreichische Feuerwehren, die gesetzlich zur Bekämpfung

von Bränden verpflichtet sind, Lizenzgebühren für ein Verfahren bzw. den Einsatz eines Containers entrichten müssen, um ihrer Verpflichtung nachkommen zu können. Zudem stellt sich hier wiederum die Frage, inwiefern ein derart simples und gängiges Verfahren, das der Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben dient, überhaupt patentiert werden kann.

Auszug aus EP Patent EP3744406A1:

[0018] Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Bergung eines verunfallten Automobils mit einer voran beschriebenen Bergungseinrichtung.

Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a) Bereitstellen des Containers;
- b) Beladen des Containers mit dem verunfallten Automobil;
- c) Abtransport des verunfallten Automobils unmittelbar nach der Beladung.

Aus der Erfahrung dieser Patentverletzung lässt sich folgender Schluss ziehen: Eine rechtliche Abklärung des oben erläuterten Problems der augenscheinlichen Patentverletzung durch österreichische Feuerwehren bei Verwendung der Löschmethode „Flutung im Container“ ist sinnvoll, auch, da weitere Patente z.B. das Verfahren zur Bergung von verunfallten Elektrofahrzeugen von der Straße in diese Richtung bereits eingereicht wurden.

Die juristische Angreifbarkeit von Einsatzorganisationen bei der Erfüllung ihres gesetzlichen Auftrages in Hinblick auf patentrechtliche Anforderungen ist eindeutig zu klären. Die Handlungsfreiheit bei der Gefahrenabwehr sollte dadurch möglichst nicht eingeschränkt werden.

5.4.1.2. Penetrierende Systeme zur internen Kühlung

Der Problematik, dass Löschwasser nur nach Eintritt in das Batteriegehäuse effektiv seine Wirkung erfüllen kann, sind Hersteller mit penetrierenden Systemen begegnet. Ein Dorn bzw. eine Lanze durchsticht das Batteriegehäuse und bringt so das Löschwasser in das Gehäuse ein. Durch die Penetration wird in den meisten Fällen ein Modul beschädigt und damit, ein Thermal Runaway eingeleitet. Es muss daher sichergestellt sein, dass in der Batterie bereits eine Reaktion stattfindet, ansonsten starten die Einsatzkräfte diese durch ihre Maßnahmen. Die Handhabung und die Automatisierung der Systeme variierten je nach Hersteller.

Ein Hochvoltsystem ist ein IT-System (isolé terre – isoliert gegenüber Erde). Im Normalfall wird kein Potenzial auf Karosserie bzw. Erde vorhanden sein, jedoch gibt es bei Unfallszenarien durchaus die Möglichkeit, dass es durch Fremdkörperpenetration an der Hochvoltbatterie zu einer Potenzialverschleppung auf Karosserie oder Erde kommt. Dieser Fehler führt noch nicht zu einer Gefährdung. 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. Im Zuge der BRAFA Versuche [19] kam es zu einem derartigen Ereignis, welches im BRAFA-Ergebnisbericht auf Seite 103 wie folgt dokumentiert wurde:

Die Lanze wurde dabei von einem Feuerwehrmann gehalten und musste beim Eintreiben in die Batterie in der Lage korrigiert werden, dabei berührte der Feuerwehrmann die nicht

isolierte Schlagplatte und bekam einen kurzen Stromschlag, der keine weiteren Auswirkungen oder Verletzungen zufolge hatte. [19]

Zum aktuellen Stand rät der DGUV (Verband der deutschen gesetzlichen Unfallversicherungen) von penetrierenden Systemen ab, welche manuell eingetrieben werden müssen (z.B. E-Löschlanze der Firma Murer [50]). [16] Von der Verwendung derartiger Systeme, welche über keine elektrisch isolierten Griffe, keine elektrisch isolierten Abstandhalter und kein Potenzialausgleichskabel verfügen, wird abgeraten. Die DGUV Empfehlung, derartige Systeme nicht an Hochvolt-Energiespeichern einzusetzen, ist ebenfalls aktuell.

5.4.1.3. Hochdruckwassernebel

Hochdruckwassernebelanlagen nutzen den Effekt der relativ kleinen Wassertropfen, welche sich sehr gut verteilen, eine sehr große Reaktionsoberfläche besitzen und daher einen sehr guten Kühleffekt und als Nebeneffekt eine Rauchgaswaschung besitzen, welche die Kontamination von Oberflächen verringert. Erfahrungen aus dem Bereich der Hochseeschifffahrt zeigen, dass der Hochdruckwassernebel gute Ergebnisse bei der Brandbekämpfung liefert. Laut einer Schweizer Studie sind weitere Forschungen notwendig, um die positive Auswirkung von Hochdruckwassernebelanlagen im Bereich von Tiefgaragen, Tunnel, udg. zu verifizieren. [30]

5.4.2. Löschmittelzusätze (für Wasser)

Löschmittelzusätze werden dem Löschwasser entweder vorab schon als Premix oder zum Zeitpunkt des Aufbringens mit Hilfe von Zumischsystemen beigemischt. Diese Zusätze sollen das Verhalten des Löschwassers und somit die Löschwirkung positiv beeinflussen. Als Wirkungsweise kommen hier die bessere Benetzungsfähigkeit, die Absenkung des Siedepunkts und somit bessere Kühlfähigkeit, die kapselnde Löschwirkung, udg. in Frage.

5.4.2.1. Dispersion auf Vermiculitebasis

Ein weiterer Zusatz zu Wasser am Markt ist im Moment eine Dispersion auf Vermiculitebasis. Der Löscheffekt beruht darauf, dass die Suspension aus Wasser und Vermiculite als Nebel aufgetragen wird. Dabei verdampft das Wasser und entzieht dem Feuer Energie. Der Film trocknet und eine Sauerstoffbarriere zwischen brennbarem Stoff und Atmosphäre entsteht. Der Vermiculitfilm ist nicht elektrisch leitfähig. Wie gut die Möglichkeit zur Einbringung dieser Mischung in die Batterie ist, kann zum derzeitigen Zeitpunkt nicht beurteilt werden, ebenfalls gibt es derzeit keine belastbaren Untersuchungen bezüglich der Effektivität im Vergleich zu Wasser.

5.4.3. Löschgase

Die Anwendung von Löschgasen ist aufgrund von notwendigen Konzentrationen nur in geschlossenen Räumen möglich. Der Raum selbst kann mit Löschgas inertisiert werden und verhindert weitere Brandausbreitung. Ein Löschen des Brandes in der Batterie ist nicht möglich, da der Sauerstoff hierfür in der Batterie selbst vorhanden ist und die Reaktionen daher in der Batterie weiter ablaufen.

5.4.4. Feste Löschmittel

Feste Löschmittel sind im Bereich von Batteriesystemen an Kraftfahrzeugen für Einsatzkräfte ungeeignet, da ein effektives Aufbringen aufgrund der örtlichen Lage der Batterie im Fahrzeug kaum möglich ist. Diese Art der Löschmittel wird präventiv als Füllmaterial bei der Lagerung und dem Transport von LIB verwendet. Der Löscheffekt beruht auf der Temperaturverringerung durch die Aufnahme von Wärmeenergie beim Schmelzvorgang des Granulats, welches eine isolierende Schicht bildet und dadurch eine thermische Entkoppelung gegenüber der Umgebung stattfindet. Bei Aerosolen findet zusätzlich eine Bindung der Verbrennungsradikalen statt.

5.4.5. Lösch-, Brandbegrenzungsdecke

Lösch- bzw. Brandbegrenzungsdecken nutzen den Effekt des Erstickens der Flammen durch Sauerstoffentzug. Für batterieelektrische Fahrzeuge werden Löschdecken im Großformat erzeugt und spezielle Gewebe verwendet, welche den hohen Temperaturen trotzen sollen. Der Brand in einer Lithium-Ionen-Batterie kann nicht durch Sauerstoffentzug erstickt werden, da in der Batterie selbst der Sauerstoff in einer Reduktionsreaktion aus Metalloxid entsteht und direkt in der Zelle die Energie frei wird. Die ausblasenden Gase und Dämpfe sind teilweise brennbar und benötigen Umgebungssauerstoff zur Reaktion. Hier kann eine solche Decke eine positive Wirkung erzielen. Der Begriff Brandbegrenzungsdecke würde das Verhalten aber besser beschreiben, da ein Löschen eines in Brand stehenden Fahrzeuges nicht adäquat möglich ist. Bei vom ÖBFV durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass die Decke unter der enormen Energie des Batteriefeuers stellenweise versprödet. Der Einsatz einer Lösch- oder Brandbegrenzungsdecke kann im Bereich des Transports von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen sowie der Lagerung auf Quarantäne- bzw. Havarieflächen die Ausbreitungsgefahr wesentlich minimieren.



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

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Brandbekämpfung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Grundsätzlich sind keine Löschmittelzusätze notwendig, um einen Fahrzeugbrand unter Beteiligung einer Lithium-Ionen-Batterie zu löschen. Wasser ist ein geeignetes Löschmittel. Löschschaum könnte sogar durch seine Leitfähigkeit den kritischen Zustand der Batterie verschlechtern. Derzeit gibt es keine standardisierten Verfahren zur Beurteilung der Effektivität von Löschmittelzusätzen in Hinblick auf den Einsatz von Bränden bei batterieelektrischen Fahrzeugen. Hier ist die Wissenschaft angehalten, geeignete Methoden zu beschreiben.

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.

Ein Verfahren zur Beurteilung der Effektivität von Löschmittelzusätzen in Hinblick auf den Einsatz von Bränden bei batterieelektrischen Fahrzeugen soll entwickelt und standardisiert werden.

5.5. Ablauf eines Technischen Einsatzes der Feuerwehr [15] [16]

Bei Verkehrsunfällen kann es zur Beschädigung der Lithium-Ionen-Batterien und folglich zu einem Brand kommen. Aus diesem Grund ist es wichtig frühzeitig die Antriebsart zu erkunden und zu erkennen. Mit Hilfe der Kfz-Kennzeichenabfrage und Informationen aus der Euro NCAP „Euro RESCUE App“ (Rettungsdatenblätter) ist die Lage der Batterien zu eruieren bzw. abzuschätzen und zu prüfen ob der Aufprall zu einer mechanischen Beschädigung dieser führte. Darüber hinaus ist eine manuelle Erkundung am Fahrzeug, die Sichtung des Fahrzeuges (in Augenschein nehmen) sowie die Einschätzung der möglichen Beschädigungen (Fahrzeug und Unfallhergang „lesen“) durch die Einsatzkräfte eine Notwendigkeit. Der Brandschutz ist während der technischen Rettung mit einer Löschleitung (Wasser am Strahlrohr) und eventuell einem CO₂-Löscher sicherzustellen (bei technischem Einsatz muss zweifacher Brandschutz hergestellt sein). Wird bei der Erkundung festgestellt, dass das Batteriepaket offensichtlich beschädigt wurde, sollte der Brandschutz mit voller Schutzausrüstung inklusive Umluft unabhängigem Atemschutz sichergestellt werden.

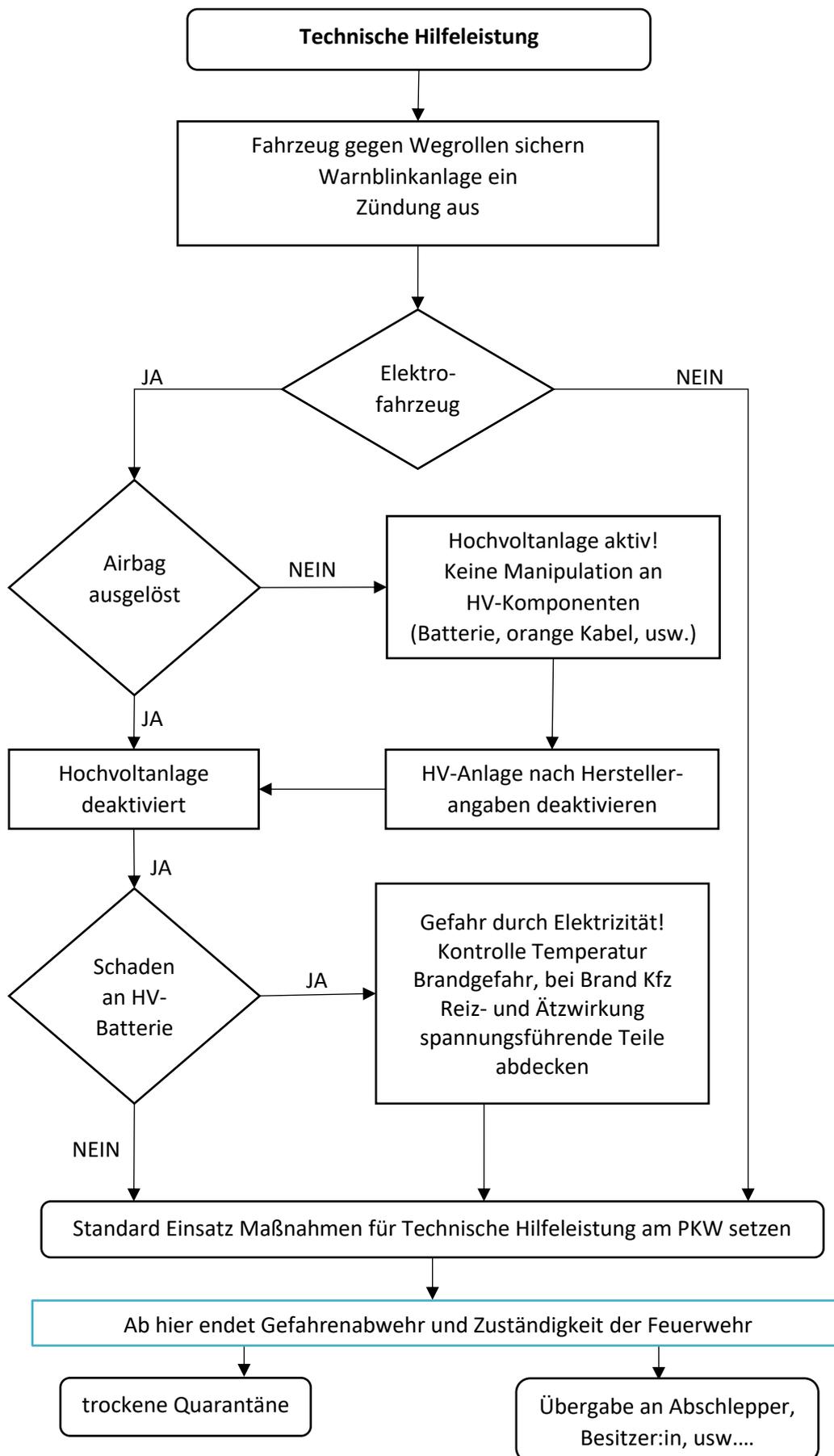
Beim Einsatz von hydraulischen Rettungsgeräten ist darauf zu achten, dass es zu keiner Beschädigung der Hochvoltkomponenten kommt. Deformationen müssen beim Einsatz von Rettungszylinder und Spreizer durch Druckverteilung mittels Unterlagen verhindert werden. Es dürfen keine punktuellen Druckbelastungen auf die Bodenplatte (HV-Batterie) mittels Zylinder oder Spreizer durch Rettungskräfte erfolgen. Schnitte mit der Rettungsschere dürfen ebenso nicht in Bereichen von Hochvoltkomponenten durchgeführt werden, da das zu mechanischem Stress für die Hochvoltbatterie führen könnte und thermisches Durchgehen der Batterie die Folge wäre.

Die Beobachtung des Batteriemoduls nach einem Verkehrsunfall mit Hilfe einer Wärmebildkamera ist immer notwendig. Die exotherme Reaktion einer Lithium-Ionen-Batterie, welche sowohl spontan und schnell als auch träge und langsam erfolgen kann, kann gegebenenfalls mit diesem Hilfsmittel detektiert werden. Eine grundsätzliche Betriebstemperatur ist aber immer gegeben. Beobachtet werden muss ein ungewöhnlicher Temperaturanstieg und/oder eine auftretende Rauchentwicklung. Tritt dies auf, ist eine externe Kühlung mit Wasser des Batteriegehäuses sinnvoll, um das thermische Durchgehen eventuell verhindern zu können. Ein gezieltes Einbringen von Wasser in die Batterie ist erst nach Abschluss der Menschenrettung und Batteriebrandes zu empfehlen.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Um die Sicherheit für Einsatzkräften zu erhöhen, muss von allen Herstellern eine einheitliche Position und eine einheitliche Kennzeichnung des „Service Disconnect“-gefordert werden. Dieser ermöglicht die Trennung von Batterie und System.

Von Herstellern soll eine einheitliche Position und Markierung des Service Disconnect gefordert werden.

5.5.1. Ablaufschema Technischer Einsatz



**FAHRZEUGE MIT ALTERNATIVEN ANTRIEBEN
TECHNISCHER EINSATZ**

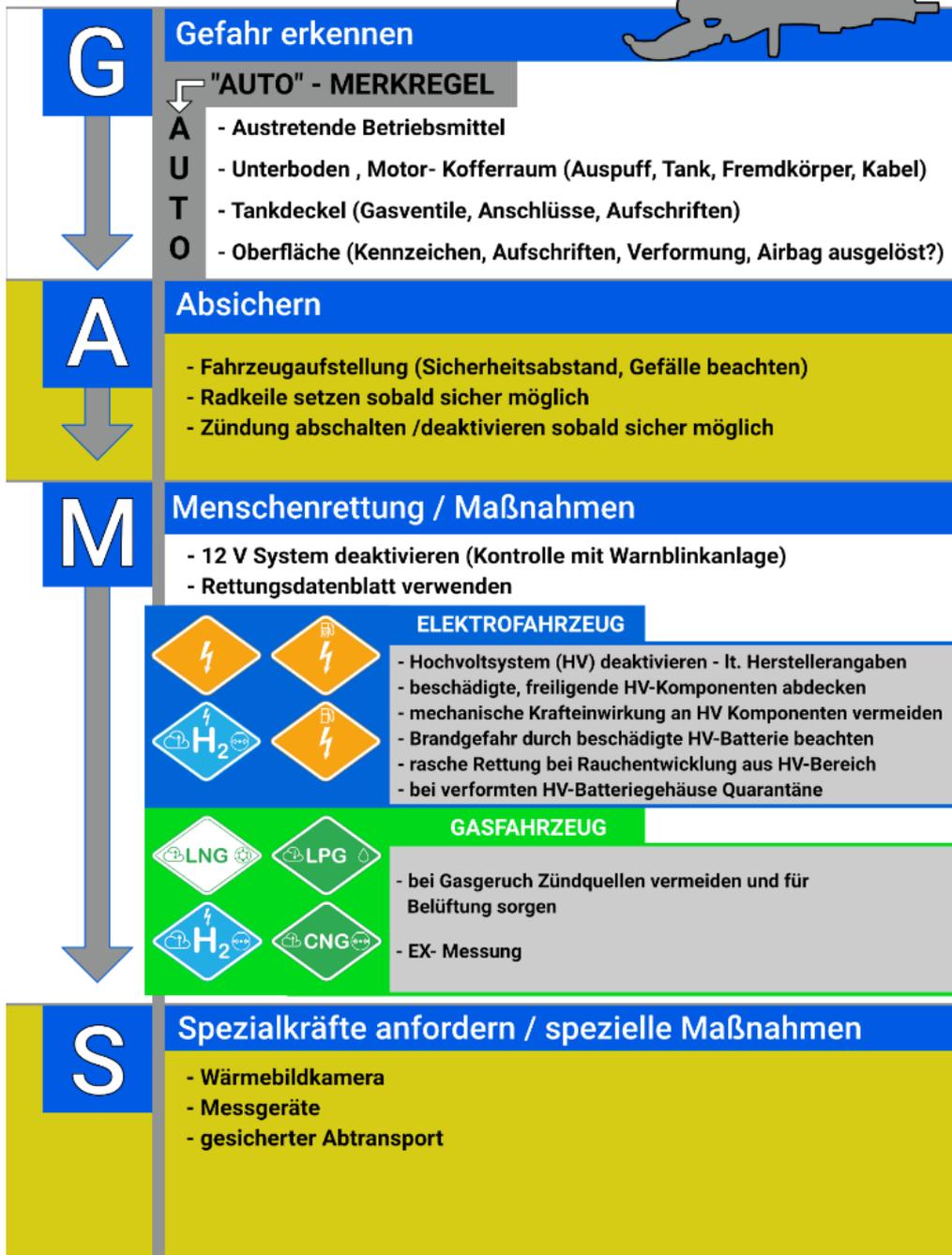
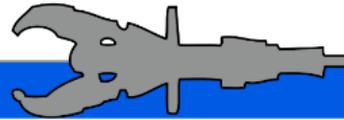


Abbildung 14: ÖBFV Merkblatt Technischer Einsatz bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

5.6. Sondergeräte für technischen Einsatz

Für einen technischen Einsatz der Feuerwehr gibt es am Markt derzeit verschiedenste Sondergeräte bzw. Spezialwerkzeuge, auch ist zu erwarten, dass dieses Angebot weiterhin steigt. Aus der Sicht von Expert:innen gibt es zwei wichtige Utensilien für den Einsatz an elektrischen Fahrzeugen, dies sind einerseits elektrisch isolierende Schutzhandschuhe und andererseits eine isolierende Schutzmatte, auf welche im Folgenden kurz eingegangen wird. Weitere Sondergeräte für den technischen Einsatz sind nicht erforderlich.

5.6.1. Elektrisch isolierende Schutzhandschuhe, störlichtbogensicher

Für Arbeiten an Hochvoltsystemen schreiben Hersteller elektrisch isolierende Schutzhandschuhe vor. Neben der elektrischen Gefährdung kann aber auch eine thermische Gefährdung durch einen Störlichtbogen auftreten. Die Industrie bietet hierzu Überhandschuhe zu Gummihandschuhen an, welche aber für Arbeiten wie dem Ziehen eines Service Disconnect nicht praktikabel sind. Aus diesem Grund empfiehlt der ÖBFV für Einsatzorganisationen einen störlichtbogeengeprüften, elektrisch isolierender Schutzhandschuh nach EN 60903 und IEC 61482 Kl.2.

5.6.2. Isolierende Schutzmatte nach EN IEC 61112

Bei der isolierenden Schutzmatte nach EN IEC 61112 handelt es sich um eine flexible Abdeckung zum Schutz vor spannungsführenden Teilen, nach einem schweren Unfall mit Beschädigung des Berührungsschutzes bzw. zur Abdeckung von Zellen und Modulen bei einer massiv zerstörten Hochvoltbatterie.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergeben sich für den sicheren Umgang mit verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen für Einsatzorganisationen folgende Ausrüstungsempfehlungen für den technischen Einsatz: Störlichtbogeengeprüften, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe (lt. EN 60903 **UND** IEC 61482 Kl.2) und eine isolierende Schutzmatte nach EN IEC 61112 sind erforderlich.

Für Einsatzorganisationen werden derzeit folgende zusätzliche Ausrüstung für den technischen Einsatz empfohlen: Störlichtbogeengeprüfte, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe (lt. EN 60903 **UND** IEC 61482 Kl.2) und eine isolierende Schutzmatte nach EN IEC 61112.

5.7. Unterschiede FCEV zu BEV [51]

Nachfolgend werden die Unterschiede zwischen FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) und BEV in Hinblick auf Unfallbearbeitung beschrieben. FCEV-Fahrzeuge werden von einem HV-Elektromotor angetrieben. Derzeit ist die „On Board“ Speicherung die häufigste Methode zur Speicherung von Wasserstoff in Form von komprimiertem Gas in Druckbehältern (Verbundwerkstoffe, 350 bzw. 700 bar). Hersteller verwenden verschiedene Arten von Akkumulatoren, wie z. B. Nickel-Metallhydrid oder Lithium-Ionen, welche eine Größe vergleichbar mit den Batterien in einem Hybrid-Fahrzeug besitzen.

Es gibt drei Sicherheitsvorrichtungen als Teile des komprimierten Wasserstoffspeichers: Ein Rückschlagventil (für die Betankung), ein Absperrventil (z.B. Magnetventil) und eine thermisch aktivierte Druckentlastungsvorrichtung (TPRD, engl. thermally activated pressure relief device). Im Brandfall sorgt letzteres für eine kontrollierte Freigabe des Wasserstoffgases aus einem Wasserstoffdruckbehälter. Eine Reihe von Wasserstoffsensoren befinden sich im Bereich der Fahrgastzelle und in der Peripherie von FCEV-Fahrzeugen. Wird ein potenziell gefährliches Wasserstoffleck erkannt, stoppt das Überwachungs-System den Wasserstofffluss aus dem Tank. Kollisionssensoren (ähnlich dem Airbag-System) detektieren Unfälle. Busse und Nutzfahrzeuge verfügen jedoch im Regelfall über keine solchen Sensoren.

Die Diffusionsfähigkeit von Wasserstoff ist im Vergleich zu anderen Brennstoffen aufgrund der geringen Größe seiner Moleküle höher. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, ob in die Umgebung diffundierter Wasserstoff gefährlich werden kann. Würde ein Fahrzeug (Fahrzeigtank $V=0,2 \text{ m}^3$) in einer dichten Garage ($V=33 \text{ m}^3$) stehen, würde es aber bis zum Erreichen der UEG (untere Explosionsgrenze) von 4 Vol.% 240 Tage dauern. [51]

Die EU-Verordnung EC79/2009 in Verbindung mit EC406/2010 schreibt für verschiedene Arten von Straßenfahrzeugen eine Kennzeichnung von FCEV-Fahrzeugen vor. Hierbei gibt es Vorgaben für Fahrzeuge bis 3,5 t, Busse, Busse von öffentlichen Verkehrsbetrieben und LKW über 3,5 t.

Folgende Gefahren können bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeugbrand auftreten: [51]

- Bei einer Temperatur ab $110 \text{ }^\circ\text{C}$ wird das TPRD ansprechen und der Wasserstoff wird mit hohem Druck entweichen. Austretendes Wasserstoffgas wird als Jet-Fire (Jet Flamme) abbrennen. Flammenlängen je nach Lage bis zu ca. 10 m.
- Berechnungen der Flammentemperatur ergaben $1.026 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $1.200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Geräuschentwicklung über 130 dB möglich
- Druckspitzen (Druckanstieg) in Garagen oder Tunnels, welche durch das Auslösen von TRPDs entstehen
- Brände bei Tanks ohne Sicherheitseinrichtungen wie TPRDs oder das Versagen des TPRDs gehören zu den gefährlichsten Szenarien. Zu diesem Punkt wurden Untersuchungen der Universität Ulster durchgeführt.

Der schwächste Punkt von Verbundstoffbehältern ist ihr Brandverhalten. So kann bei einem lokal begrenzten Brand die TPRD nicht ausgelöst werden, wie beispielsweise Unfälle mit Erdgasfahrzeugen in den USA gezeigt haben. Außerdem könnte die TPRD bei einem Unfall mechanisch blockiert werden. Diese potenziellen Mängel in der Wasserstoffsicherheitstechnik können aufgrund der verheerenden Folgen eines Tankbruchs, d. h. Druckwelle, Feuerball und Projektile (Trümmerteile), für den Schutz von Leben und Eigentum äußerst kritisch werden. Die quantitative Risikobewertung des Einsatzes von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen auf Londoner Straßen, die vom HySAFER Centre der Universität Ulster durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass das Risiko des Einsatzes von Wasserstoffautos akzeptabel ist, wenn die Zeit bis zum Bruch des Wasserstoffspeichers im Brandfall, d. h. die Feuerwiderstandsfähigkeit, etwa 50 Minuten beträgt [52]. Diese geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit ist nicht vergleichbar mit der derzeit in Versuchen beobachteten Feuerwiderstandsfähigkeit, welche 4 bis 6 Minuten betragen.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die sichere Verwendung von Wasserstofftanks bei FCEV folgender Schluss: Der Gesetzgeber sollte als Voraussetzung für die Zulassung von Wasserstofftanks in FCEV die Feuerwiderstandsfähigkeit auf eine Dauer von mind. 50 Minuten einführen bzw. erhöhen, um den Einsatzkräften genügend Zeit zu geben, auf unterschiedliche Szenarien reagieren zu können. Dadurch wird die Sicherheit einerseits für Einsatzorganisationen und andererseits auch für Passanten erhöht.

Die Feuerwiderstandsfähigkeit von Wasserstofftanks für Fahrzeuge soll auf eine Dauer von mind. 50 Minuten erhöht werden.

5.7.1. Wasserstoffflammen

Eine Wasserstoffflamme strahlt im Vergleich zu einer Kohlenwasserstoffflamme deutlich weniger Wärme ab und ist im hellen Tageslicht praktisch unsichtbar. Dies bedeutet, dass Personen, die sich in der Nähe einer Wasserstoffflamme befinden, diese erst wahrnehmen, wenn sie mit ihr in Kontakt treten. Zischende Geräusche durch entweichendes Gas weisen lediglich auf einen Gasaustritt hin. Um eine Wasserstoffflamme erkennen zu können müssen Sekundärbrände oder das Glimmen aufgewirbelter Partikel aus der Umgebung beachtet werden. Eine Wärmebildkamera gibt Aufschluss über die genaue Position der Flamme.



Abbildung 15: Bild einer Wasserstoffflamme (links vor Freisetzung des Wasserstoffs), überlappendes Wärmebild aufgenommen mit einer Wärmebildkamera nach Freisetzung (rechtes Bild) (Quelle: HyResponder)

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich im sicheren Umgang mit verunfallten FCEV für Einsatzorganisationen folgender Schluss: Die Verwendung von Wärmebildkameras bei Fahrzeugbränden erhöht die Sicherheit der Einsatzkräfte, da so auch Wasserstoffflammen erkennbar werden und ein genügend großer Sicherheitsabstand eingehalten werden kann.

Seitens der Feuerwehren ist die Verfügbarkeit von Wärmebildkameras bei Unfällen und Bränden von FCEVs im Alarmierungsablauf zu berücksichtigen bzw. vorzusehen.

Eine neue Generation von TPRDs oder Sicherheitsventilen kann eine sehr wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Flammenlänge sein. An der Universität Ulster wird derzeit an der Verbesserung der bestehenden Konstruktion von TPRDs als Minderungs Vorrichtung gearbeitet. Innovative TPRDs können die Flammenlänge von Wasserstoffstrahlbränden (Jet-Flamme) von derzeit 10 m und mehr auf etwa 1 bis 2 m verringern.

Ebenso kann die Verwendung von „explosionsfreien Tanks“ mit Selbstentlüftung (TPRD-less) zu besseren Ergebnissen führen. Diese TRPD-less Tanks setzen weder im Brandfall, noch nach Ablöschen des Brandes eine Jet-Flamme frei, da diese Tanks bei Wärmeübertrag ein „Schmelzen“ der Tankauskleidung und somit eine Wasserstofffreisetzung in Form von Mikrolecks durch die Verbundstofftankwand bewirkt.

Diese Mikrolecks brennen entweder in winzigen unsichtbaren Flammen ab oder der Wasserstoff zerfällt durch die Mikrolecks unterhalb der UEG (unteren Explosionsgrenze) bereits im Nahbereich der Tankoberfläche. Der Tankinnendruck nimmt ab, bevor die Verbundtankwand ihre Tragfähigkeit

verliert. Dadurch werden Jet-Flammen und Druckspitzen, welche durch das Auslösen von TRPDs entstehen, in Garagen oder Tunnels vermieden. Diese Technologie basiert auf dem Patent der Universität Ulster (Europ. Patentanmeldung NR 18706224.5 - 5.Sept. 2019).

5.7.2. Unfallbearbeitung an einem FCEV-Fahrzeug

Bei Manipulationen an der HV-Anlage sollten störlichtbogen sichere, elektrisch isolierende Schutzhandschuhe getragen werden. In äußerst seltenen Fällen könnte es bei einer Verkettung vieler Fehler zu einer Potentialverschleppung auf Karosserie bzw. Erde kommen.

Bei entsprechender Unfallschwere, bei der der Wasserstoffdruckbehälter aufgebrochen ist oder es zu einem unkontrollierten Wasserstoffaustritt (undichte Ventile oder Leitungen etc.) kommt, besteht im Umkreis von bis zu ca. 15 Metern oder mehr Explosionsgefahr.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den sicheren Umgang mit FCEV folgender Schluss: Eine Verringerung der Flammenlänge der Jet-Flamme beim Ansprechen des TRPDs dient maßgeblich dem Schutz von Personen, Einsatzkräften und Sachwerten. Gefüllte und unter Druck stehende Wasserstoffspeicher (Wasserstoffdruckbehälter) können derzeit nicht manuell entleert werden. Dies kann zu Problemen führen, wenn ein solcher Speicher durch einen extremen Unfall, mit entsprechender Krafteinwirkung auf den Behälter, beschädigt wird. Eine qualifizierte und richtige Einschätzung durch Einsatzkräfte, inwieweit das verunfallte Fahrzeug sicher bewegt, geborgen oder transportiert werden kann, ist unmöglich. Dabei muss erwähnt werden, dass bei erdgasbetriebenen Fahrzeugen (CNG), welche bereits seit circa 20 Jahren in Österreich mit genügend Stückzahlen im Umlauf sind und über eine sehr ähnliche Technologie verfügen, gleiche Probleme auftreten.

Der Gesetzgeber soll eine Verringerung der Flammenlänge von Jet-Flamme beim Ansprechen des TRPDs bei Wasserstofffahrzeugen vorschreiben.

Schnittstellen



6. Schnittstellen bei Unfall, Rettung, Abtransport, Demontage und Recycling

Bei Unfällen mit Kraftfahrzeugen liegt die erste relevante Schnittstelle in der Regel zwischen Fahrzeugbesitzer:in bzw. Unfallbeteiligten und Einsatzkräften oder Abschleppdiensten. Dieser Kontakt erfolgt meist über eine Notrufzentrale bzw. Leitstelle oder ein Service Zentrum, welche relevante Informationen von den Anrufer:innen abfragen und an Mitarbeiter:innen der Einsatzorganisation vor Ort weiterleiten. Erstmaßnahmen sind aber in jedem Fall von Personen vor Ort zu setzen. Hierzu fußt das Wissen um das richtige Verhalten auf der Ausbildung in der Fahrschule. Angepasstes Ausbildungsmaterial für den sicheren Umgang mit alternativen Antrieben ist daher wichtig und wünschenswert. Grundlegende Verhaltensregeln verbunden mit Erläuterung und praktischen Vorstellung des Antriebssystems inklusive Energiespeicher sollten so früh als möglich in die Ausbildung der Fahrschüler:innen eingearbeitet werden. Derzeit dominierten hier noch Informationen über Verbrennungsmotoren.

Derzeit ist vor allem in den Medien ein Hype um die Gefährlichkeit von Elektro-Autos erkennbar. In diesem Zusammenhang wird immer wieder von großen Brandfällen berichtet, deren Häufigkeit aber durch die verzerrte Berichterstattung überschätzt wird. Statistisch ist diese Darstellung nicht haltbar. Um die Akzeptanz in Bezug auf die Elektromobilität entsprechend zu verbessern, sollte dieser Fehlinformation frühzeitig begegnet werden. Nicht nur das Problem der Fehlinformation, sondern auch die damit erzeugte Angst für den Fall aktiv Rettungsmaßnahmen umzusetzen zu müssen sollte hier bedacht werden. Die in Kapitel 3 erwähnte Sammlung von österreichweiten Unfalldaten könnte dabei Abhilfe schaffen. Öffentlich zur Verfügung gestellte Daten können Aufschluss über die e-Mobilität im Allgemeinen geben und allenfalls vorhandene Ängste bzw. Zweifel aktiv abbauen. Medien könnte durch das Vorhandensein einer transparenten Datenbasis die faktenbasierte Berichterstattung erleichtert werden.

Die nächste Schnittstelle entlang der Rettungskette im Falle eines Unfalls ist jene der Einsatzorganisationen (Feuerwehr, Rettung, Sicherheitskräfte). Hier sind regelmäßige gemeinsame Übungen unabhängig von der Antriebsart wichtig. Im vorhergehenden Kapitel wurde die Wichtigkeit der Schulung für Angehörige der Feuerwehr, Rettungsdienste und der Exekutive hervorgehoben. Grundlegende Kenntnisse in Bezug auf Besonderheiten mit batterieelektrischen Fahrzeugen ermöglichen erst ein sicheres Arbeiten in diesem Umfeld.

Nach Beendigung der Maßnahmen der Gefahrenabwehr (z.B. Brandbekämpfung) kann das Fahrzeug an ein Abschleppunternehmen für den Abtransport übergeben werden. Ein direkter Kontakt zwischen Einsatzorganisation und Abschleppdienst erfolgt nicht in allen Fällen. Im Zuge der Erarbeitung der vorliegenden Studie wurden drei Workshops abgehalten, in welchem auch die Notwendigkeit eines Übergabeprotokolls diskutiert wurde. Ziel eines Übergabeprotokolls könnte die Verbesserung des Informationsflusses zwischen den Stakeholdern sein. Dieser so entstehende Informationsfluss sollte bei einer Havarie des Fahrzeuges mit Hochvoltanlage von den Ersteinsatzkräften über das Abschleppunternehmen bis hin zur/zum Havarietechniker:in durchgängig gewährleistet sein. Bei den Diskussionsrunden wurde als Inhalt für ein mögliches Übergabeprotokoll folgende Punkte gesammelt: Fahrzeugdaten (Marke, Type, Antriebsart, Kennzeichen, usw.), Unfall- bzw. Einsatzszenario (Brand, Verkehrsunfall, Notentgasung, udg.), allgemeine Beobachtungen (reagierende Batterie, usw.), getätigte Maßnahmen der Einsatzkräfte (u.a. manuelle Deaktivierungsmaßnahmen, Brandbekämpfung mit welchem Löschmittel/-system), Ansprechpartner:in seitens der Einsatzkräfte für eventuelle Rückfragen, Person an die das Fahrzeug übergeben wurde und bei Deaktivierung des

Fahrzeuges am Unfallort - Aufbewahrungsort, Aufbewahrung des Servicesteckers. In Anhang B befindet sich ein Beispiel für ein mögliches Protokoll der Feuerwehr. Im Rahmen der zahlreichen Diskussionen und Gespräche zu einem solchen Protokoll zeichnete sich ab, dass die Information aus einem Übergabeprotokoll zwar interessant wäre, für die Anfertigung (und die dadurch benötigte Zeit) aber der Nutzen zu gering ist. Im Bereich der Feuerwehr ist die Erstellung eines Protokolls nicht möglich, da dies nicht im gesetzlichen Auftrag enthalten und die Zeit von freiwilligen Helfern begrenzt ist.

Durch Zusammenarbeit von Abschleppunternehmen und Kfz-Werkstätten bzw. Demontagebetriebe ist durch die Jahre eine gelebte Praxis entstanden, die bei konventionellen Antrieben in der Praxis gut funktioniert. Missverständnisse treten nur punktuell auf. Eine kontaktlose Übergabe, auch wochenends oder feiertags, ist eher die Regel denn eine Seltenheit. In Kapitel 8 wird genauer auf die Wichtigkeit dieser kontaktlosen 24 Stunden, 7 Tage die Woche möglichen Übergabe eingegangen, denn auch im Falle von batterieelektrischen Fahrzeugen ist dies eine nötige Maßnahme, auf welche durch Quarantänevorschriften bzw. verschlossenen Quarantäneplätzen nicht verzichtet werden kann. Gegenwärtig treten genau hier (z.B. bei Nicht-Erreichen der Werkstätte am Wochenende) Probleme auf. Eine Entspannung der derzeitigen Situation ist vor allem vor dem Hintergrund einer steigenden Anzahl von Fachbetrieben, welche Reparatur - und Abschleppdienste anbieten zu erwarten.

Nach der Demontage der Traktionsbatterie vom Fahrgestell erfolgt die Übergabe dieser an den Entsorgungsbetrieb. In diesem Umfeld sind schon jetzt Lösungsmodelle und Unterstützungen seitens der Entsorger für Kfz-Werkstätten bekannt. In Österreich gibt es derzeit sehr wenige Verwertungsbetriebe, welche Traktionsbatterien für ein Recycling annehmen. Diese stellen jedoch für Werkstätten auch passende Informationsmaterialien und Lagerbehältnisse zur Verfügung. Aus diesem Grund kann derzeit davon ausgegangen werden, dass diese Schnittstelle sehr gut funktioniert und weiter intensiviert wird. Grund hierfür ist sicher ein wirtschaftliches Interesse mit Kundenbindung zwischen Werkstätten und Entsorgungsunternehmen. International sind verschiedene Ansätze zur Problematik des Umgangs mit verunfallten Elektrofahrzeugen bekannt. In der Schweiz, zum Beispiel, beschäftigt man sich bereits seit ein paar Jahren mit dieser Thematik. Im LiBa Protect Forum (vgl. [23]) werden dazu neben zahlreichen Online-Informationen auch Tagungen und Workshops organisiert. Hinzu wurde ein Leitfaden erstellt, welcher entlang der gesamten Handlungskette eines verunfallten E-Fahrzeuges allen Akteuren (Blaulichtorganisationen, Pannen- und Unfallbergungsdiensten, usw.) zur Verfügung stehen soll, um die anstehenden Aufgaben und Herausforderungen besser bewältigen zu können. [53]

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den Bereich der Schnittstellen folgender Schluss: Gravierende Probleme im Bereich der Schnittstellen hinsichtlich Informationsweitergabe zwischen Organisationen udg. konnten nicht identifiziert werden. Wünschenswert wäre jedoch eine Plattform, die es allen Stakeholdern ermöglicht sich auszutauschen, um für die zukünftigen Herausforderungen durch die zunehmende Verbreitung der e-Mobilität gerüstet zu sein. Eine Anpassung in der Fahrschul Ausbildung in Bezug auf alternative Antriebe kann ein weiterer Schritt zur Verbesserung der Sicherheit bei Unfallereignissen sein.

Eine virtuelle und/oder physische Plattform zum Informations- und Erfahrungsaustausch im Bereich e-Mobilität sollte etabliert werden.

Fahrschulen sollen ihre Ausbildung in Richtung sicherer Umgang mit Fahrzeugen mit alternativen Antrieben anpassen.

Abtransport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



7. Abtransport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen

Der Abtransport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen erfolgt durch unterschiedliche Anbieter von Abschleppservicedienstleitungen. Einerseits übernehmen diese Anbieter liegen gebliebene Fahrzeuge direkt von deren Fahrzeuglenker:innen bzw. von vor Ort befindlichen Einsatzkräften. Andererseits erfolgt das Abschleppen auch ohne direkte Übergabe vor Ort, jedoch mit Auftrag der Fahrzeugbesitzer:innen oder der Behörde.

Beim Abschleppen eines Fahrzeuges mit Hochvolt-System ist der Fahrzeugzustand sowie das Schadensbild ausschlaggebend. In der OVE R19 sind Sicherheitsmaßnahmen für sicheres Arbeiten, wie in Abbildung 16 ersichtlich, beschrieben.

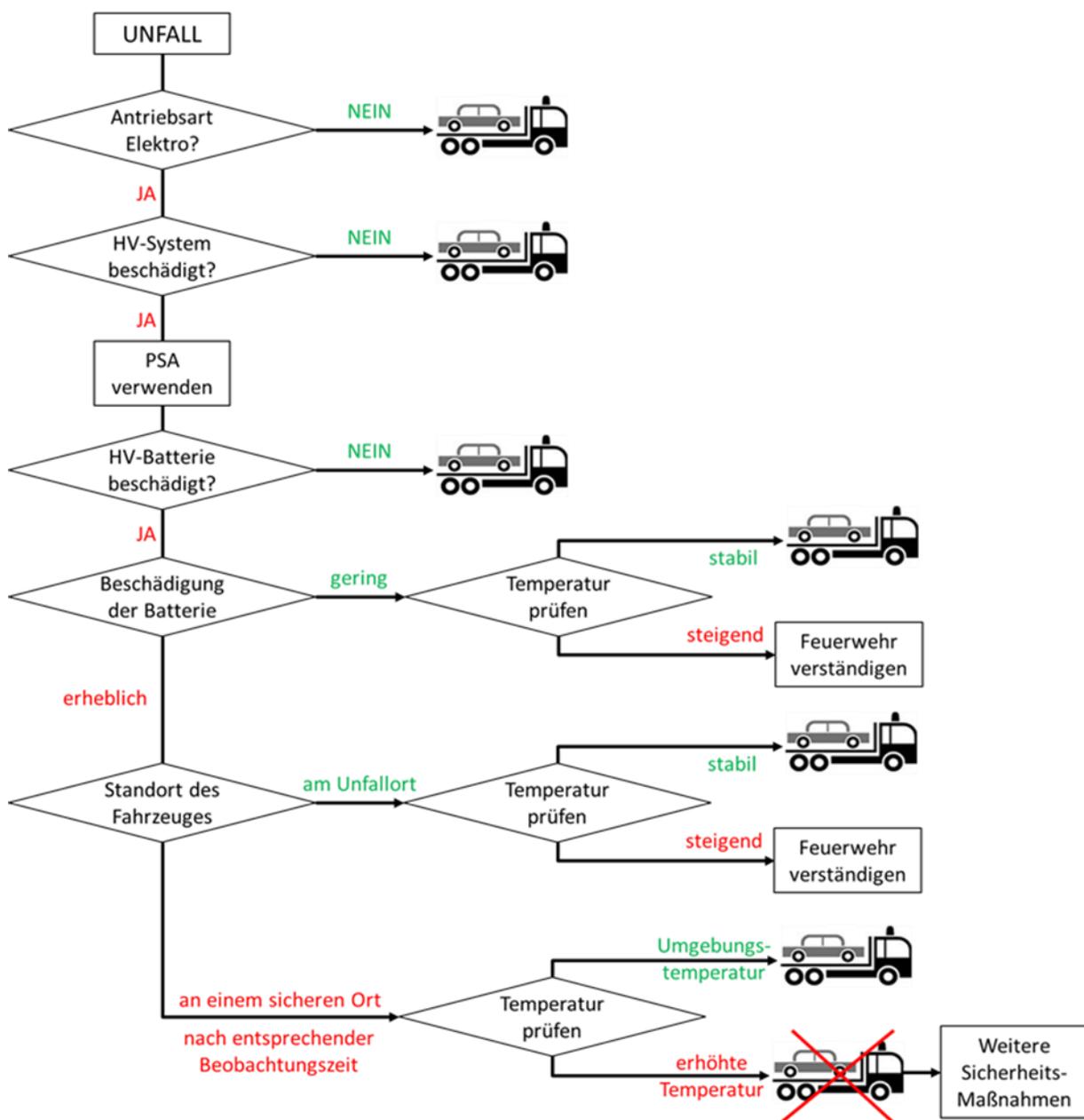


Abbildung 16: Ablaufschema OVE R19 Umgang mit havarierten E-Fahrzeugen (OVE R19 Anhang H)

In der OVE R19 ist ab Anhang H.1.2.3 bis H.1.2.6 die Vorgangsweise für Fahrzeuge mit teilelektrischem oder vollelektrischem Antrieb, ausgestattet mit Lithiumbatterien, detailliert beschrieben. Entsprechend wird auch auf die Abläufe für die Bewertung der verunfallten Fahrzeuge eingegangen. Bekannt sind auch Abschleppserviceanbieter, welche über den Vorschlag der R19 hinaus gehen und ein havariertes Elektrofahrzeug vor dem Transport mit externen Sensoren zur Temperaturüberwachung ausstatten. Hierzu sei auf das nachfolgende Kapitel (Kapitel 8) verwiesen.

7.1. Qualifizierungsanforderung und Ausrüstung des Personals von Abschleppdiensten

Die OVE-Richtlinie R19:2021-06-01 (kurz: R19) [54] gibt, wie das ArbeiterInnenschutzgesetz [55], klare Handlungsanweisungen, um den Schutz der ArbeitnehmerInnen zu gewährleisten.

Arbeitgeber sind verpflichtet für die Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in Bezug auf alle Aspekte, die die Arbeit betreffen, zu sorgen. Arbeitgeber habe die zum Schutz des Lebens, der Gesundheit sowie der Integrität und Würde erforderlichen Maßnahmen zu treffen, einschließlich der Maßnahmen zur Verhütung arbeitsbedingter Gefahren, zur Information und zur Unterweisung sowie der Bereitstellung einer geeigneten Organisation und der erforderlichen Mittel. (OVE R19)

Für die Ausbildung des Personals werden in der OVE R19 fünf Ausbildungsstufen definiert. Diese Richtlinie wurde überarbeitet im Jahr 2021 veröffentlicht und stellt den derzeitigen Stand der Technik dar. In Tabelle 1 sind diese Ausbildungsstufen zusammengefasst. In anderen europäischen Ländern gibt es ein ähnliches System, oft fehlt aber die HV-Ausbildungsstufe, welche aber für das Personal von Abschleppdiensten adäquat definiert wurde.

Tabelle 1: Hochvolt-Ausbildungsstufen mit Tätigkeiten. Quelle: OVE-Richtlinie R19:2021-06-01

HV	Kurzbeschreibung	Tätigkeit
HV-0	Sensibilisierung für Personen im Umgang und Bedienen von Fahrzeugen mit HV-System	Tätigkeiten im Umgang mit dem Fahrzeug wie z.B. Reinigung, Nachfüllen von Betriebsmitteln, Nutzen bekannter Anschlüsse, Benutzen von Bedienelementen, Betreten des Bereiches, in dem Arbeiten an Fahrzeugen mit HV-Systemen durchgeführt werden (nicht aber innerhalb der Absperrung).
HV-1	Allgemeine Systemkenntnisse und Tätigkeiten am HV-System im spannungsfreien Zustand	Tätigkeiten der Ausbildungsstufe HV-0 sowie zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Nicht-elektrotechnische Arbeiten am Fahrzeug (beispielsweise Karosseriearbeiten, Öl-, Radwechsel, technische Fahrzeugprüfung wie z.B. Überprüfungen gemäß §§56 bis 58 KFG 1967), • Arbeiten am konventionellen Bordnetz. Mitarbeiter:innen dürfen keine Arbeiten am HV-System oder Arbeiten in der Nähe von HV-Komponenten durchführen, wenn diese beschädigt werden können.
HV-2	Fundierte Systemkenntnisse und Tätigkeiten am HV-System mit Spannungsfreischaltung	Tätigkeiten der Ausbildungsstufe HV-1 sowie zusätzlich:

		<ul style="list-style-type: none"> • Spannungsfreischaltung, Feststellung der Spannungsfreiheit und Arbeiten am HV-System mit vorhergehender Spannungsfreischaltung, • Messungen am HV-System, bei denen ein zwangsläufiger Berührungsschutz gewährleistet bleibt.
HV-3	Produktspezifische Kenntnisse für Tätigkeiten am HV-System und deren aktiven Bauteilen	Tätigkeiten der Ausbildungsstufe HV-2 sowie zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Messungen am HV-System zur Fehlereingrenzung und Prüfarbeiten am HV-System, bei denen unter Spannung stehende Teile nicht zwangsläufig gegen Berühren geschützt sind, • Arbeiten an elektrischen Energiespeichern, • Arbeiten an Fahrzeugen mit beschädigten HV-Systemen, • Jede Arbeit, bei der das Berühren von nicht gegen Berührung geschützten, unter Spannung stehenden HV-Bauteilen mit Körperteilen oder Gegenständen (Werkzeuge, Geräte, Ausrüstungen oder Vorrichtungen) möglich ist.
HV-A	Aufbaustufe zu HV-1 – Situationsbedingtes Handeln zur Verbringung von Fahrzeugen mit HV-System	Tätigkeiten der Ausbildungsstufe HV-1 sowie zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Bergen, Verladen, Transport und Übergabe von Fahrzeugen mit HV-Systemen. Dies beinhaltet auch die Einschätzung der Gefahr, die von einem havarierten HV-Fahrzeug ausgeht und somit die Einschätzung der Transportfähigkeit.

Somit besteht zwar ein System mit Ausbildungsstufen für Personen, die mit HV-Systemen arbeiten, jedoch gibt es keine eindeutigen Vorgaben, wie die Ausbildung geregelt ist bzw. welche Anforderungen an den Auszubildenden oder an die Auszubildende gestellt werden. In der R19 wird gefordert, dass das Ausbildungsprogramm die speziellen Anforderungen für das Arbeiten an Fahrzeugen mit HV-Systemen berücksichtigen und Theorie sowie praktische Übungen umfassen muss. Dennoch wird von den Expert:innen die Kritik geübt, dass HV-Ausbildungsprogramme oftmals ohne passenden praktischen Übungen durchgeführt werden und keine Qualitätssicherung der Ausbildungsprogramme vorhanden ist.

Aus der oben beschriebenen Problematik ergibt sich für Ausbildungsprogramme von Hochvolt-Techniker:innen in Österreich folgende Schluss: Eine Standardisierung der Ausbildung ist essentiell für den sicheren Umgang mit havarierten Fahrzeugen bei Abschlepparbeiten entsprechend dem ASchG bzw. der OEV R19. Der Auszubildende bzw. die Auszubildende muss eine ausreichende und österreichweit einheitliche Befähigung besitzen und das nötige Anschauungsmaterial für die Schulung bereitstellen können.

Ein österreichweiter Standard für die Befähigung zur Durchführung von HV-Ausbildungen soll gewährleistet werden.

Für das Personal der Abschleppserviceanbieter gibt es in der R19 die Ausbildungsstufe „HV-A“ (Tabelle 1). Dies ist in der Regel für Abschleppfahrer:innen ausreichend. In unklaren Situationen wird angeraten eine höher qualifizierte Person hinzuzuziehen. Bei einem der größten Abschleppserviceanbieter Österreichs wird in diesem Fall eine HV-3 Techniker:in konsultiert. Eine verpflichtende Ausbildung höher HV-A für das Abschlepppersonal wird von Expert:innen als nicht sinnvoll erachtet.

Für die Sicherheit des Personals ist bei Arbeiten im Rahmen von Abschleppungen eine persönliche Schutzausrüstung notwendig. Die Verwendung bzw. Ausführung hat sich nach den Vorgaben des ASchG (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz) sowie der PSA-V (Verordnung Persönliche Schutzausrüstung) zu orientieren.

Eine PSA besteht zumindest aus: (R19)

- isolierenden Elektroschutzhandschuhen (gem. ÖVE/ÖNORM EN 60903:2004-09-01) und
- Schutzbrille (gem. ÖNORM EN 166:2002-04-01).

Wenn eine Gefahr besteht, mit Körperteilen unter Spannung stehende Teile zu berühren, und diese Gefahr nicht anders beseitigt werden kann, ist eine umfassende PSA zu verwenden.

Eine umfassende PSA besteht zumindest aus:

- isolierenden Elektroschutzhandschuhen (gem. ÖVE/ÖNORM EN 60903:2004-09-01),
- einem Gesichtsschutz (gem. ÖNORM EN 166:2002-04-01) und
- elektrisch isolierender Schutzkleidung (gem. ÖVE/ÖNORM EN 50286:2000-07-01), welche einen möglichen Stromfluss auf max. AC 3 mA bzw. DC 12 mA herabsetzt.

7.2. Sicherung während des Fahrzeugtransportes

Für den Transport soll nach dem Ablaufschema, wie in Abbildung 16 dargestellt, vorgegangen werden. Geschultes Personal kann bei einem „stabilen“ Fahrzeug demnach den Abtransport selbst. Durch Vibrationen udg. kann die Temperatur der Batterie während des Transportes steigen oder sogar ein Brand entstehen. Auch eine Wiederentzündung eines bereits gelöschten Batteriebrandes ist möglich. Die Entscheidung, welche Sicherheitsvorkehrungen für den Transport getroffen werden, obliegt dem HV-Techniker bzw. der HV-Technikerin vor Ort.

Möglichkeiten zur Sicherung gibt es mittlerweile viele auf dem Markt. Jedoch muss abgeschätzt werden, welches Restrisiko in Kauf genommen werden kann. Ein Brand am Abschleppwagen entspricht dem derzeitig akzeptierten Restrisiko (auch bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen). Trotzdem sind Brandereignisse, schon aus rein wirtschaftlichen Betrachtungen, grundsätzlich zu verhindern. Als wesentlichen Bestandteil der Sicherung während des Transportes sehen die Expert:innen die Temperaturüberwachung. Diese sollte schon bei den Vorbereitungen zum Abtransport beginnen. Als die beste Variante wird der Zugang zum internen Überwachungssystem der Batterie gesehen. Da das Batteriesystem konstruktionsbedingt ohnehin mit Sensoren ausgestattet ist, kann die Temperatur im Inneren der Batterie gemessen werden. Frühzeitige Anzeichen eines Thermal Runaway würden so erkannt und die Sicherheit für das zu verbringende Fahrzeug erhöht werden. Vor allem in

innerstädtischen Bereichen oder in Tunnelanlagen würde dieser Zugang einen enormen Sicherheitsgewinn bedeuten.

Da der Zugang zum internen Batteriemanagementsystem derzeit nicht möglich ist, wird gegebenenfalls auf eine externen Temperaturüberwachung zurückgegriffen. Dabei wird derzeit entweder die Feuerwehr um Unterstützung mittels Wärmebildkamera gebeten (dies entspricht aber nicht dem gesetzlichen Auftrag der Feuerwehr), oder auf alternative Methoden zur Temperaturkontrolle zurückgegriffen. Hierbei werden beispielsweise Sensoren auf dem Unterboden des Fahrzeuges im Bereich des Batteriesystems angebracht. Ein entsprechendes System wurde vom ÖAMTC entwickelt, eine kurze Beschreibung findet sich am Ende dieses Kapitels. Mit solchen Systemen kann zwar eine lückenlose Überwachung des Fahrzeuggestells gewährleistet werden, jedoch gibt es einige wesentliche Nachteile. Die Sensoren können nur die Temperaturen außerhalb des Gehäuses messen und die Messung wird somit durch das Gehäuse selbst bzw. das Kühlsystem der Batterie verzerrt. Zudem muss bei der Montage der Sensoren das Wissen über das Batteriesystem vorhanden sein, damit diese auch dort angebracht werden, wo sich die Batteriemodule befinden. Nach einem vorangegangenen Brand kann das Anbringen der Temperatursensoren mit den Klebestreifen Schwierigkeiten bereiten bzw. sich während der Fahrt lösen. Eine interne Temperaturüberwachung ist immer zu bevorzugen.

Schutz gegen die Ausbreitung eines Brandes können Lösch- bzw. Brandbegrenzungsdecken bieten, welche von verschiedensten Herstellern angeboten werden. (siehe Kapitel 5.4.5). Diese verhindern jedoch nicht die Entstehung des Brandes. Von Expert:innen wird diese Möglichkeit der generellen Verwendung als Vorsorgemaßnahme nicht empfohlen. Einerseits kann durch das Anbringen dieser Decken das Fahrzeug zerkratzt oder beschädigt werden (Haftung), andererseits würde diese Vorgehensweise mindestens eine Verdoppelung des Personalaufwandes bei Abschleppungen von batterieelektrischen Fahrzeugen bedeuten, was einen enormen Kostenanstieg verbunden wäre. Auch Systeme zur Flutung mit Wasser, wie Mulden, Container, der Recover-E-Bag oder das E-Vehicle Isolation System werden von Expert:innen nicht als sinnvolle Präventivmaßnahmen zur Sicherung des Transportes angesehen. Nach derzeitigem Stand sollen diese vergleichsweise drastischen Maßnahmen nur in Ausnahmefällen, wie bei einem Brand mit involvierter Batterie, Anwendung finden. Für den allgemeinen Abtransport ist dies keine adäquate Vorgehensweise. In Fällen in denen z.B. die Traktionsbatterie nicht betroffen ist, kann eine nicht notwendige Flutung des Fahrzeuges in einem Container zu einer Vergrößerung des Gesamtschadens führen.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Sicherung des Fahrzeuges während des Abtransportes folgende Schluss: Um den Abtransport von havarierten Fahrzeugen so sicher wie möglich zu gestalten, ist ein Zugang zu den Daten des internen Batteriemanagementsystems notwendig. Dieser Zugang muss seitens der OEM ermöglicht werden, da eine Temperaturüberwachung der Batterie das höchste Sicherheitsniveau darstellt. Externe Temperaturüberwachungssysteme durch die Anbringung von Sensoren stellen nur eine Notlösung dar, da diese Messergebnisse durch die Umgebungsbedingungen verfälscht werden.

OEM sollen den Zugang zu den Daten des Batteriemanagementsystems ermöglichen.

Wie eingangs beschrieben soll das externe Temperaturüberwachungssystem des ÖAMTC in Folge kurz beschrieben werden. Für weiterführende Informationen sei auf den ÖAMTC verwiesen.

Mit dem externen Überwachungssystem, welches von ÖAMTC entwickelt wurde, ist eine Überwachung der Oberflächentemperatur des Akkugehäuses eines verunfallten Elektrofahrzeuges möglich. Die Temperaturüberwachung beginnt im optimalen Fall ab der Verladung und verbleibt auch während des Transportes und einer möglichen Zwischenlagerung, bis zur Verbringung zum Zielort am Fahrzeug. Temperatursensoren werden händisch am Fahrzeuggestell in Position der Batterie angebracht. Während der Abschleppung kann von Fahrer:innen via APP die Temperatur beobachtet werden, eine zusätzliche Überwachung durch die Einsatzzentrale kann erfolgen. Nach dem Abladen (zum Beispiel bei einer Zwischenlagerung) übernimmt die Zentrale die Überwachung. Bei einem weiteren Transport erfolgt wiederum eine parallele Übertragung der Daten zum Abschlepppersonal. Alarmfunktionen (Schwellwert der Temperatur) sind einstellbar und eine fortlaufende Datenübertragung in Zeitschritten wird durch eine Web-Applikation ermöglicht. Die Messdaten werden automatisiert mitgeloggt und im System abgelegt.

7.3. Sicherstellung der rechtlichen Zulässigkeit von Fahrzeugtransporten

Ein als Ladung befördertes Fahrzeug unterliegt dem internationalen und nationalen Gefahrgutrecht, wodurch spezielle Regelungen eingehalten werden müssen. Für Beförderungen auf der Straße ist das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) anzuwenden. In Österreich ist die Beförderung von gefährlichen Gütern im Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBG) geregelt, welches zusätzlich verkehrsträgerspezifisch auf Regelungen von internationalen Übereinkommen (z.B. ADR) verweist. Seitens des Ministeriums wurde ein Dokument erstellt, in dem auf die Beförderung von beschädigten oder verunfallten Fahrzeugen mit alternativem Antrieb auf dem Verkehrsträger Straße eingegangen wurde. [56]

Für den Abtransport von verunfallten Fahrzeugen aus dem Gefahrenbereich zu einem sicheren Abstellplatz als Notfallmaßnahme oder zur Rettung von Menschen und zum Schutz der Umwelt, gibt es Ausnahmen, wodurch eine „Notfallbeförderung“ möglich ist. Dieser wird in 1.1.3.1 ADR beschrieben und ermöglicht es ein beschädigtes oder verunfalltes Fahrzeug direkt vom Unfallort zu einem geeigneten sicheren Ort zu befördern. In 1.1.3.1 ADR ist dies folgend ausgeführt:

1.1.3.1 Freistellungen in Zusammenhang mit der Art der Beförderungsdurchführung

[...]

- d) Beförderungen, die von den für Notfallmaßnahmen zuständigen Behörden oder unter deren Überwachung durchgeführt werden, soweit diese im Zusammenhang mit Notfallmaßnahmen erforderlich sind, insbesondere
 - Beförderungen mit Abschleppfahrzeugen, die Unfall- oder Pannenfahrzeuge mit gefährlichen Gütern befördern, oder
 - Beförderungen, die durchgeführt werden, um die bei einem Zwischenfall oder Unfall betroffenen gefährlichen Güter einzudämmen, aufzunehmen und zu einem nahen geeigneten sicheren Ort zu verbringen;
- e) Notfallbeförderungen zur Rettung menschlichen Lebens oder zum Schutz der Umwelt, vorausgesetzt, es werden alle Maßnahmen zur völlig sicheren Durchführung dieser Beförderungen getroffen.

[...]

Für eine Notfallbeförderung gibt es in Österreich folgende Unterscheidung [56]:

Unechte Notfallbeförderung

In 1.1.3.1 lit d ADR werden Beförderungen in Zusammenhang mit Notfallmaßnahmen erfasst, die von den dafür zuständigen Behörden oder unter deren Überwachung durchgeführt werden. Demonstrativ werden einerseits Beförderungen mit Abschleppfahrzeugen erwähnt, die Unfall- oder Pannenfahrzeuge mit gefährlichen Gütern befördern. Andererseits werden Beförderungen erfasst, die durchgeführt werden, um die bei einem Zwischenfall oder Unfall betroffenen gefährlichen Güter einzudämmen, aufzunehmen und zum nächst gelegenen geeigneten sicheren Ort zu verbringen.

Echte Notfallbeförderung

In 1.1.3.1 lit e ADR werden Notfallbeförderungen zur Rettung menschlichen Lebens oder zum Schutz der Umwelt erfasst, vorausgesetzt, es werden alle Maßnahmen zur völlig sicheren Durchführung dieser Beförderung getroffen.

Wenn der geeignete sichere Ort, an dem das Fahrzeug im Zuge einer Notfallbeförderung abgestellt wurde, nicht bei einer Fachwerkstatt des betreffenden Fahrzeuges beziehungsweise bei einem Autoverwertungsbetrieb mit ausgebildeten Fachkräften gemäß OVE R19 liegt, muss das Fahrzeug weiterbefördert werden. Bevor das Fahrzeug jedoch weiterbefördert werden darf, muss das Schadensausmaß bewertet werden. Ein erneuter Transport gemäß 1.1.3.1 ADR ist nicht möglich, da in diesem Fall keine Notfallbeförderung mehr vorliegt.

Generell muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass im Allgemeinen alle Kraftfahrzeuge, die von anderen Fahrzeugen als Last befördert werden und von der oben beschriebenen Freistellung nicht erfasst sind, gefahrgutrechtlich zu prüfen sind. Das BMK beschreibt in seinem im September 2020 veröffentlichten Dokument [56] die diesbezüglich geltenden Bestimmungen sehr ausführlich. Jedoch ist eine Fragestellung offengeblieben, die aufgrund fehlender Detailregelung des internationalen Gefahrgutrechts auch vom Ministerium nicht beantwortet werden konnte.

Konkret bleibt in Kapitel 3.1. „Beschädigte Elektrofahrzeuge“ im veröffentlichten Dokument des BMK [56] für das Ministerium die Frage offen, ab wann die normierten Voraussetzungen im Einzelfall als erfüllt erachtet werden – etwa wann eine sichere Entnahme der Batterie, wie in der Sondervorschrift 667 beschrieben, möglich ist. Da es sich bei sicheren Abstellplätzen um keinen genehmigten Arbeitsplatz gemäß den Anforderungen der OVE R19 handelt, kann eine Entnahme des Batteriemoduls in der Praxis nicht durchgeführt werden. Darüber hinaus gibt es österreichweit bis dato keinen sicheren Abstellplatz, bei dem es anhand eines Betriebsanlagengenehmigungsbescheides erlaubt wäre, diese Tätigkeit durchzuführen. Die Kompetenz für diese Arbeiten (Trennen der Batterie vom Fahrzeug) liegt bei Fachwerkstätten. Aus diesem Grund erscheint es, dass die Trennung der Batterie vom Fahrzeug an einem Abstellplatz ohne angeschlossener Fachwerkstätte eine unsichere Handlung darstellt. Fachwerkstätten verfügen über das nötige Wissen, geeignete Arbeitsmittel und die nötige Routine für diese Arbeiten. Darüber hinaus sieht zum Beispiel der ÖAMTC keinen Bedarf seine eigenen Abstellplätze für verunfallte Elektro- und Hybridfahrzeugen dahingehend zu gestalten, dass Traktionsbatterien von Fahrzeugen gemäß OVE R19 getrennt werden können, da z.B. der ÖAMTC ein gemeinnütziger Mobilitätsverein ist und daher nur gewerbliche Tätigkeiten an seinen Stützpunkten anbieten kann, welche einer sicheren Weiterfahrt auf der Straße dienen. Andere Tätigkeiten stehen nicht im Einklang mit den Vereinsstatuten und wären ein Verstoß gegen das Vereinsgesetz.

Neben den oben beschriebenen Freistellungen für den Transport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen, sind die Sondervorschriften SV 666, SV 667 und SV 388 anwendbar. Sind

Traktionsbatterien in beschädigten oder defekten Fahrzeugen, deren Beschädigung keinen maßgeblichen Einfluss auf die Sicherheit der Zellen oder Batterien hat, ist SV 666 hervorzuheben. Bei Anwendung der Sondervorschrift 666 sind neben den einzuhaltenden Sondervorschriften die übrigen Vorschriften des ADR nicht anwendbar. Es handelt sich somit um eine Art Freistellung von den Gefahrgutvorschriften. Der passende Auszug zu den genannten Sondervorschriften ist in Anhang C und Anhang D zu finden.

Bei beschädigten oder defekten batterieelektrischen Fahrzeugen, deren Beschädigung Einfluss auf die Sicherheit der Zellen oder Batterien hat, die Batterie aber nicht aus dem Fahrzeug sicher entnommen werden kann, ist die Sondervorschrift 667 hervorzuheben, welche in diesem Fall auf SV 666 verweist. Dieses Problem ist auch in anderen europäischen Ländern bekannt. Hierzu hat das LiBa Protect Forum der Schweiz (vgl. [23]) aufgrund der dabei möglicherweise nicht mehr gewährten Sicherheit während der Beförderung einen entsprechenden Antrag für Lösungen an die UN Gremien gestellt.

Neben batterieelektrischen Personenkraftwagen gibt es eine Reihe weiterer batterieelektrischer Fahrzeuge, auf welche im Folgenden kurz eingegangen wird.

Elektroroller:

Bei der Konstruktion von Elektrorollern wird von den Herstellern oft darauf geachtet, dass der zum Antrieb benötigte Akku mit wenigen Handgriffen in den Roller ein- beziehungsweise ausgebaut werden kann. Dadurch ist es möglich, die Akkus zum Laden z.B. in die Wohnung mitzunehmen. Die Akkus von Elektrorollern haben eine Kapazität von über 1.000 Wh. Nach einem Verkehrsunfall mit einem Elektroroller kann je nach Grad der Beschädigung der Akku vor dem Weitertransport entnommen werden und separat gemäß Sondervorschrift 376 und Verpackungsanweisung 911 (Transport von beschädigten Lithium-Ionen-Batterien) transportiert werden. Dazu werden die Akkus in ASP-Behältern (Abfall-Sammler-pastös) aufbewahrt, welche für den Transport von festen oder pastösen Stoffen nach ADR/GGBG in Großpackmitteln oder "Kiste aus Stahl" verwendet werden dürfen. Diese Behälter werden hierbei mit Vermiculite oder anderen Dämmstoffen zur Wärmeaufnahme im Ereignisfall, gefüllt, um die Akkumulatoren sicher zu transportieren und eine Erhitzung zu verlangsamen.

Elektromotorräder:

Bei Elektromotorrädern ist die Akkueinheit aufgrund der Größe und daher auch größeren Leistung in der Karosserie so verbaut, dass eine Entnahme ohne größeren technischen Aufwand nicht möglich ist. Die Hersteller verwenden individuelle Verschraubungen und meist ist die Akku-Einheit von anderen Fahrzeugteilen verbaut, wodurch eine sichere Entnahme am Unfallort beziehungsweise auch am Abstellplatz nicht möglich ist. Daher wird in der Praxis der weitere Ablauf gleich wie beim E-Automobil gehandhabt. Verunfallte Elektromotorräder müssen zum Fachhändler beziehungsweise einem Verwertungsbetrieb mit ausgebildeten HV-Techniker:innen transportiert werden, wo es einen genehmigten HV-Arbeitsplatz gibt, an dem die Traktionsbatterie vom Motorrad getrennt werden kann. In weiterer Folge wird die Batterie gemäß den gültigen Bestimmungen des ADR weiterbefördert.

Beschädigte Hybridfahrzeuge

Im Kapitel „3.2. Beschädigte Hybride“ im veröffentlichten Dokument des BMK [56] beschreibt das Ministerium die Tatsache, dass als Ladung beförderte beschädigte Hybride zwei Gesichtspunkte bei der Beförderung zu beachten haben. Grundsätzlich gelten bei Hybridfahrzeugen aufgrund der verbauten Lithiumbatterie die gleichen Vorschriften wie bei beschädigten Elektrofahrzeugen. Zusätzlich müssen auch die nichtelektrischen Teile, die für den Antrieb des Fahrzeuges notwendig sind, betrachtet werden. Die dazugehörigen Auflagen befinden sich in der Sondervorschrift 666. Konkret

regelt die SV 666 die Handlungsanweisungen für flüssige und gasförmige Brennstoffe sowie für Metallhydrid-Speichersystemen. Werden die in den Sondervorschriften genannten Bedingungen eingehalten, sind die übrigen Vorschriften des ADR im Zusammenhang mit der Beförderung von Diesel, Benzin, Wasserstoff und Lithiumbatterien nicht anzuwenden. Weiters wird in diesem Dokument der Gedanke aufgezeigt, dass ein Hybridfahrzeug ab einem gewissen Beschädigungsgrad nicht mehr unter der SV 666 befördert werden kann, da es die Bedingungen für die Erleichterungen nicht mehr erfüllt. „Dieses Szenario ist denkbar, wenn aufgrund der Beschädigung des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor eine Entleerung der Tanks oder der Zugang zu den Ventilen nicht möglich ist“, wird im Dokument angeführt. Das wiederum bedeutet jedoch, dass das betreffende Fahrzeug den übrigen Bestimmungen unterliegen würde und somit im ADR-Volltransport befördert werden müsste. Jedoch fehlen im ADR in den entsprechenden Kapiteln die weiteren Angaben darüber, wodurch es den Abschleppunternehmen in der Praxis nicht möglich ist, einen Transport außerhalb der genannten Sondervorschriften durchzuführen.

Der Vollständigkeit halber muss angemerkt werden, dass stark beschädigte Benzin- und Dieselfahrzeuge bis heute unter der SV 666 transportiert werden und es von den Beamten des BMI mit Schwerpunkt Gefahrgut toleriert wurde. Würden alle Beteiligten nicht so handeln, käme es in der Praxis zu folgenden Problemstellungen:

- Ein Abschleppunternehmen muss nicht zwingend auch das Gewerbe für Kraftfahrzeugtechnik besitzen, welches für das Entleeren eines Kraftstoffbehälters notwendig wäre. Dadurch würde sich die Zeitspanne von abgestellten Fahrzeugen erhöhen.
- Da verunfallte Fahrzeuge nach einem Unfall in der Regel nicht auf Plätzen abgestellt werden, an denen der Tank vor der weiteren Beförderung entleert werden kann, werden für den weiteren Transport die Ventile zwischen Tank und Motor geschlossen. Das wird dadurch gewährleistet, in dem die Zündung abgeschaltet beziehungsweise die 12 Volt-Batterie abgeklemmt wird. Bei modernen Kraftfahrzeugen werden Magnetventile zum Öffnen und Schließen der Kraftstoffleitungen verwendet, die vom 12 Volt-System des Fahrzeuges gesteuert werden. Erschwerend kommt hinzu, dass manche Fahrzeugtypen Kraftstoffpumpen in den Kraftstoffbehältern verbaut haben, die für die Entleerung des Tanks elektrisch angesteuert werden müssen. Diese für die Entleerung notwendige elektrische Ansteuerung, kann nach einem Unfall versagen. Bei Wasserstofffahrzeugen und Erdgasfahrzeugen gibt es neben den Magnetventilen je nach Hersteller noch zusätzlich ein mechanisches Ventil, das zwischen Brennstoffzelle und Wasserstofftank oder Verbrennungsmotor und Erdgastank verschlossen wird.

Abschleppdienstleister (u.a. ARBÖ, ÖAMTC) führen auf ihren Fahrzeugen Notfallboxen mit Auffangwannen, Bindemittel etc. mit, die ein unbeabsichtigtes Freisetzen von Flüssigkeiten (Diesel, Benzin, Kühlflüssigkeit, usw.) und in weiterer Folge ein Eindringen ins Erdreich oder Grundwasser verhindern. Bei richtiger Anwendung kann deshalb ein negativer Einfluss auf die Umwelt auf ein Minimum reduziert werden.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die rechtliche Zulässigkeit für den Transport von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen folgende Schluss: Die Entnahme der Traktionsbatterie aus einem verunfallten Fahrzeug nach SV 667, wenn die Beschädigung des Fahrzeuges oder der Defekt einen maßgeblichen Einfluss auf die Sicherheit der Zelle oder Batterie hat, ist weder am Unfallort noch am Abstellplatz sicher möglich. Die Trennung von Batterie und Fahrzeug kann nur von fachkundigem Personal in einer Fachwerkstätte mit adäquaten Arbeitsmitteln erfolgen. Der Transport des havarierten Fahrzeuges nach Sondervorschrift 666 und 667 weist im Fall von Fahrzeugen mit flüssigen

oder gasförmigen Brennstoffen, also auch von Hybridfahrzeugen, Lücken auf. Solche Fahrzeuge könnten bei starken Beschädigungen in ausgerissenen Fallkonstellationen die Voraussetzungen der SV 666 für ihre (konventionellen) Antriebe nicht mehr erfüllen und dann womöglich in den hierfür nicht vorgesehenen Vollanwendungsbereich des ADR fallen. Diese Unklarheit bzw. diese Lücke ist schon seit langem ohne bekannte Auswirkungen in den internationalen Gefahrgutvorschriften und sollte geschlossen werden, da Abschleppunternehmen auf Basis dieser Gesetzeslage strenggenommen ohne die oben geschilderte Toleranz nicht in der Lage wären, diese Fahrzeuge ohne weiteres gesetzeskonform zu transportieren. Des Weiteren wird in Großstädten die Notfallbeförderung oft von der Feuerwehr durchgeführt, in dem diese das verunfallte Fahrzeug von der Straße in die nächste Pannebucht schleppt. Der anschließende Abtransport durch ein Abschleppunternehmen ist unter Umständen nicht mehr durch die im ADR vorgesehenen Notfallbeförderungen gedeckt. Dann ist dem ADR-Regime entsprechend nach dessen anzuwendenden Sondervorschriften zu befördern, sofern dies möglich ist. Andernfalls, oder bei der erwähnten Konstellation bei Fahrzeugen mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen, bzw. stets optional, sieht das österreichische Gefahrgutrecht die Möglichkeit vor, Beförderungen mittels Bescheid gemäß § 9 GGBG (Gefahrgutbeförderungsgesetz) zu erlauben. Dies stellt eine Beförderung mittels Bescheid dar, welche für die Erprobung oder bei besonderen Begebenheiten für Einzelbeförderungen oder zeitlich befristet, ermöglicht werden kann. Hierbei muss stets die Verkehrs-, Betriebs- und Beförderungssicherheit gegeben sein.

7.4. Spezialfahrzeuge bzw. Spezialgeräte für die Bergung von E-Fahrzeugen

Ein Bedarf an Spezialfahrzeugen bzw. Spezialgeräten zur Bergung und zum Abtransport von verunfallten Fahrzeugen bestand bereits vor der breiten Einführung von batterieelektrischen PKW. Abschleppungen von Allrad-Automatik-Fahrzeugen und dgl. können nur erfolgen, indem das gesamte Fahrzeug angehoben wird. Zudem sind Spezialfahrzeuge bzw. -geräte im städtischen Bereich auf Grund von beengten Platzverhältnissen wie z.B. in Tiefgaragen usw. in Verwendung. Durch das erhöhte Aufkommen von batterieelektrischen Fahrzeugen wird vermutlich die Anzahl der benötigten Bergegeräte oder speziell umgebauter Garageneinsatzfahrzeuge steigen. Ein dringender Handlungsbedarf wird jedoch von den Expert:innen nicht gesehen. Beispiele für derzeit in Verwendung befindliche Spezialfahrzeuge für den Abtransport sind in den Quellen [57] [58] [59] [60] beschrieben.

Aus den oben beschriebenen Punkten bzw. durch Expert:innenbefragungen ergibt sich für die Bergung von batterieelektrischen Fahrzeugen durch Spezialfahrzeuge folgender Schluss: Es sind keine Spezialfahrzeuge notwendig, welche nicht schon in der Vergangenheit bzw. der Gegenwart in Gebrauch sind.

Sicherung und Lagerung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



8. Sicherung und Lagerung von abtransportierten verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen

Nach einem Unfall wird das Fahrzeug von einem Abschleppserviceanbieter gesichert, abtransportiert und an einen geeigneten Platz zur Verwahrung gebracht. Dafür wird der Terminus „Quarantäneplatz“ verwendet, welcher aber in seiner Definition noch viele Fragen wie z. B. die Zeitdauer der Lagerung offen lässt. Darüber hinaus wird von Expert:innen in Frage gestellt, wie eine auch immer geartete „Wartezeit“ nach einem Unfallereignis überhaupt begründet werden kann.

Im Zuge einer Studie hat Schuster [61] über 20 Automobilhersteller und Prüfgesellschaften befragt. Beim Fragenkatalog ging es um Kriterien wie die Gefahrenanalyse der Batterie nach einem Unfall, die Beschaffenheit des Quarantäneplatzes, die Quarantänedauer sowie Maßnahmen während der Quarantäne. Dabei wurden von den OEMs die unterschiedlichsten Aussagen getroffen. In vielen Fällen wurde jedoch keine Angaben gemacht. Eine einheitliche Herangehensweise ist nicht zu erkennen. Vielmehr wird mit undefinierten Aussagen wie „geeignete Person“, „ausreichend“ oder „regelmäßige Überprüfung“ die Verantwortung auf jene abgewälzt, die in Folge eines Unfalls vor Ort sind und Entscheidungen treffen müssen.

Über die Art und das Aussehen eines Quarantäneplatzes gibt es von vielen OEMs keine Angaben bzw. keine speziellen Vorgaben. Der Sicherheitsabstand muss bei denen, die eine Antwort gaben „ausreichend“ sein. Im Speziellen geben manche OEMs konkrete Distanzen an. Diese reichen jedoch von 5 Meter, über 12 Meter von Gebäuden bis hin zu 15 Meter bei Gefahr der Wiederentzündung. Eine genauere Aussage wie diese Distanzen zustande kommen fehlt jedoch. Eine Löschwasserversorgung wird nur teilweise vorausgesetzt. Ein befestigter Boden sowie der Schutz dieser Fläche im Freien vor Witterungseinflüssen wird genannt.

Bezüglich der Quarantänezeit machten ca. die Hälfte der Befragten OEM und Prüfgesellschaften keine konkreten Vorgaben. Bei den wenigen rückgemeldeten Angaben beläuft sich die Dauer zwischen 48 Stunden und mehr als 5 Tagen. Wissenschaftlicher Nachweis über die Wirksamkeit der vorgegebenen Dauer fehlt hier ebenfalls. In einigen Fällen soll fachkundiges Personal die Entscheidung treffen, da die jeweiligen Einzelfälle individuell zu bewerten sind. Das fachkundige Personal kann dabei die HV-Fachkraft, der OEM-Support oder in einem konkreten Fall soll die Dauer sogar von den Rettungskräften festgelegt werden. Von einigen OEM wird für die Quarantänedauer eine regelmäßige oder umfangreiche Überwachung gefordert. Wie eine Überwachung jedoch in der Praxis aussehen soll, kann aus den Angaben nicht festgemacht werden. Was dabei regelmäßig zu bedeuten hat ist ebenso nicht klargestellt. Selten wird eine Wärmebildkamera zur Temperaturüberwachung empfohlen. Ein OEM gibt an, die Überwachung individuell von eigenen Fachkräften auszuführen. Nur Prüfgesellschaften weisen darauf hin, dass Temperaturfühler Grenzen haben oder die Batterie ausgebaut werden muss, um eine genaue Aussage treffen zu können.

Auch bei der Gefahrenanalyse gibt es keine einheitlichen oder überhaupt keine Aussagen. Die Überprüfung der Unfallfahrzeuge bzw. die Klassifizierung der Batterie erfolgen demnach von einer geeigneten Person, von Fachkräften des Herstellers bzw. in der Werkstatt oder über herstelleregebundene Diagnosetools. [61]

8.1. Anforderungen an den Quarantäneplatz

Aus den zuvor beschriebenen Unklarheiten bzw. der derzeitigen Weigerung der OEMs genaue Aussagen zu Quarantäneplätzen zu machen, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie Expert:inneneinschätzungen von Stakeholdern gesammelt und ausgewertet. In Österreich gibt es zurzeit (Stand Oktober 2022) zwei Dokumente, welche sich mit den Anforderungen an einen Quarantäneplatz beschäftigen, leider ist auch hier die Einheitlichkeit nicht gegeben. Eine Gegenüberstellung der Anforderungen des österreichischen Verbandes für Elektrotechnik (OVE) [54] und der Brandverhütungsstelle Oberösterreich (BVS) [62] ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Vergleich Anforderungen an Quarantäneplatz von OVE R19 und Merkblatt BVS OÖ

	Österreichischer Verband für Elektrotechnik OVE	Brandverhütungsstelle Oberösterreich BVS
Dokument	Richtlinie R 19, Anhang G.2 Möglichkeiten baulicher Schutzmaßnahmen	MVB-035-2021-05 Brandschutzmaßnahmen mit Lithium-Ionen-Akkus
Abstand ohne Maßnahmen	Verweis auf Unterlagen des Fahrzeugherstellers	6 m Abstand zur Grundgrenze und anderen Gebäuden sowie brennbaren Lagerungen am eigenen Grundstück
verringertes Abstand 3 m	Trennwand aus A2 Baustoffen, welche das Fahrzeug um mind. 1 m überragt, Stahlblechmulde	3m Abstand zur Grundgrenze und anderen Gebäuden sowie brennbaren Lagerungen am eigenen Grundstück, wenn Trennwand in A2 und mind. 1 m Kfz überragend
kein Abstand erforderlich	Bei Vorhandensein Massivwand („Brandwand“) oder geschichtete Betonblöcke, welche Fahrzeug um mind. 1 m überragen.	Brandabschnittsbildende Wand in der Klassifikation (R)EI90 und A2, welche das Kfz und angrenzende Gebäude bzw. brennbare Lagerungen um mind. 1 m überragen. Dies gilt ebenso an der Grundgrenze.
geschlossener Raum bzw. Behälter	Lagerung in Räumen, die eigenen Brandabschnitt bilden. Geeigneter, geschlossener Stahlblechcontainer	Brandabschnitt in der Klassifikation (R)EI90 und A2 gemäß OIB-RL2 unter Berücksichtigung von Be- und Entlüftung gemäß Vorgaben VEXAT
Flutungsmöglichkeit, Löschwasserrückhaltung	Temperaturüberwachung, Löschmöglichkeit sowie Entlüftung wird in einer Anmerkung empfohlen	Flüssigkeitsdichte Beton- oder Asphaltfläche, bevorzugt mit Vertiefung für wassersparende Flutung des Akkus bzw. Kfz durch die Feuerwehr oder Bereitstellung eines flüssigkeitsdichten nicht brennbaren Behälters.

Zutrittsmöglichkeit	Zugänglichkeit für Löschmaßnahmen gewährleisten. Der Abstellplatz ist gegen den Zutritt von Unbefugten zu sichern und zu kennzeichnen.	Bezüglich der Zutrittsmöglichkeit zum Havarieplatz sowie der Bereitstellung von Löschwasser ist das Einvernehmen mit den örtlichen Einsatzkräften der Feuerwehr herzustellen.
Löschwasserbereitstellung		Bemessung der Mittel der Ersten Löschhilfe gem. TRVB 124 F Brandgefährdungskategorie „hoch“ (Wasser)

Des Weiteren ist zu diesen beiden Dokumenten eine Stellungnahme des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung (Juli 2019) als „Orientierungshilfe für einen Quarantäneplatz für Unfall-Elektrofahrzeuge“ bekannt. In diesem wurde zu den Sicherheitsabständen folgende Vorschlag unterbreitet:

10 m Sicherheitsabstand von abgestellten Unfall-Elektrofahrzeugen zu anderen (brennbaren) Lagerungen und Gebäuden (Gebäudeöffnungen)

Da dies in der Praxis schwer umsetzbar sein wird, können alternativ auch folgende Maßnahmen zum gleichen Ziel führen:

- Kein Sicherheitsabstand bei Vorhandensein einer Massivwand („Brandwand“) oder geschichteten Betonblöcken, welche das Fahrzeug um mindestens 1 m überragen, oder
- 3 m Sicherheitsabstand bei Vorhandensein einer Trennwand aus A2 Baustoffen (z.B. Trapezblech) welche das Fahrzeug um mindestens 1 m überragt oder
- 3 m Sicherheitsabstand bei Aufbewahrung in einem Stahlblechcontainer oder
- Lagerung in Räumen, die eigene Brandabschnitte darstellen (Fertig-Garagen aus Stahlbeton)

[...]

Hinzuweisen ist noch darauf, dass ähnlich wie bei herkömmlichen Fahrzeugen der Austritt von Fahrzeugflüssigkeiten und allenfalls eine Absperrvorrichtung für Löschwasserrückhalt zu prüfen sein kann.

Die Ergebnisse der Aufarbeitung der Befragungen sind im Folgenden kurz dargestellt.

Die minimale technische Ausrüstung eines Quarantäneplatzes sollte demnach einen Löschwasseranschluss, eine Löschwasserrückhaltung mit klarer Regelung wie mit diesem Löschwasser umzugehen ist und ein automatisiertes Überwachungssystem rund um die Uhr mit Frühwarnstufen beinhalten. Ein offenes System ist erstrebenswert. Eine Entladung der Batterie auf die Minimalkapazität dieser wäre wünschenswert. Im Moment ist dies nicht möglich, würde aber in Zukunft den Weitertransport von der Quarantänefläche weg merkbar sicherer gestalten. Für das Überwachungssystem würde sich die Fernauslesung der internen Temperaturüberwachung des Batteriemanagementsystems am besten eignen. Dies müssten aber erst OEMs möglich machen. Erst wenn dieses nicht mehr arbeitsfähig ist, kann auf Kohlenmonoxid (CO)-Sensoren und andere Temperaturmesssysteme zurückgegriffen werden.

Die Verfügbarkeit solcher Plätze müsste 24/7 beantragen. Dies könnte durch ein Netzwerk von Abschleppunternehmen, OEMs, Werkstätten, etc gewährleistet werden. Ein elektronisches System mit

allen vorhandenen Quarantäneplätzen und dazugehörigem Ansprechpartner, mit dem freie Plätze elektronisch abfragbar und kontaktlos reservierbar wären, wäre eine enorme Erleichterung. Auf Nachfrage bei Abschleppdienstleister wurde diese Idee als unterstützungswürdig eingestuft. Hierbei muss aber die Möglichkeit der Datenweitergabe von Fahrzeugbesitzer:in geschaffen werden, ohne mit der DSGVO in Konflikt zu geraten.

Im Allgemeinen ist nicht klar, ob Quarantäneplätze immer fix, oder aber auch mobil sein können. Hierzu wird aber angeraten, die Meinungen unterschiedlicher Stakeholder in den nächsten Jahren (z.B. in 5 Jahren) erneut einzuholen, da sich die Technologie stark verändern wird. Unklar ist weiters, ob Quarantäneplätze bei Autowerkstatt, Abschlepper und Autoverwerter die gleichen Anforderungen erfüllen müssen. Derzeit wird unter einem Quarantäneplatz ein gesicherter Bereich verstanden, in dem ein Fahrzeug zwischengelagert wird, bis eine qualifizierte Bewertung des Fahrzeuges durch einen geschulten HV-Techniker:in, welche/r zwingend die Mindestvoraussetzung HV-3 besitzen muss, vorgenommen werden kann. Eine feste Zeitdauer, die ein Fahrzeug auf diesem Platz verbringen muss, kann derzeit nicht exakt angegeben werden dies hängt von unterschiedlichen Parametern (z.B. Beschädigungsgrad der Batterie) ab. Eine trockene Quarantäne ist nicht nur aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Methode der Wahl. Im Falle eines Brandes am Quarantäneplatz, bzw. in einer Containerlösung, ist derzeit das Thema der Emissionen nicht ausreichend geklärt.

Zusammenfassend kann in Hinblick auf Quarantäneplätze hervorgehoben werden, dass eine einheitliche österreichweite Regelung für die Anforderungen an einen Quarantäneplatz (Anforderungskatalog) wichtig wäre.

Zur Dauer der Quarantäne gibt es wie zuvor erwähnt verschiedene, wenig wissenschaftlich belastbare Aussagen. Hier erscheint es aber sinnvoll, die Hersteller in die Verantwortung zu nehmen, und von diesen einheitliche Aussagen zu verlangen. Es muss aber in Betrachtung gezogen werden, dass Quarantäneplätze ein teures und limitiertes Gut sind, und daher Langzeitlagerungen, wie zum Beispiel bei unklaren juristischen Fragen bzw. wenn Fahrzeuglenker:in nicht kontaktierbar sind (Krankenhaus, Tod), nicht erfolgen können.

Im August 2022 wurde in Deutschland vom Verband der Automobilindustrie (VDA) ein Vorschlag für „Technische Quarantäneflächen für beschädigte Fahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterien“ herausgegeben. [63] In diesem sind Indikatoren für einen Quarantänegrund und technische Anforderungen an diesen beschrieben. Beim Vergleich dieses Dokumentes mit den durchgeführten Expert:innenbefragungen zeigten sich folgende Unklarheiten. Als Indikator für ein erhöhtes Risiko (als Quarantänegrund) wird die Airbag-Auslösung genannt. Dies muss genauer geklärt werden, da die derzeitige Meinung vorherrscht, dass bei einer Airbag-Auslösung nicht zwingend die Batterie beschädigt ist. Dies würde zu einer hohen Anzahl an Quarantäne-Fahrzeugen und dadurch zu einem logistischen Aufwand führen. Der vorgeschlagene Abstand von Brandschutzmauer zu Fahrzeug wird in dem VDA-Dokument mit 1,5 m vorgeschlagen. Hier wird aber nicht auf den Grund für diese Längenannahme eingegangen. Auch auf Nachfrage konnte diese Distanz nicht begründet werden. Als Grund wird der Bewegungsraum für Arbeiten rund um das Fahrzeug angenommen.

In der Schweiz wurde von der „schweizerischen Eidgenossenschaft“ der „Auto-Straßenhilfe Schweiz“ und der „LiBaService24 GmbH“ auch ein „Leitfaden für das Bergen, Transportieren, Verwahren und Entsorgen von Fahrzeugen mit Elektroantrieb“ erstellt. In diesem werden die Fahrzeuge in „Schaden-Stufen“ eingeteilt. Darauf basierend gibt es die Checklisten für die Quarantäne. [64]

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Sicherung und Lagerung von verunfallten Fahrzeugen folgende Schluss: Eine einheitliche österreichweite Regelung für die Bestimmungen eines

Quarantäneplatzes (Anforderungskatalog) ist essenziell und sollte zeitnah erfolgen. Vorschläge für diesen wurden im Rahmen von Diskussionen gesammelt bzw. gibt es einen solchen schon in Deutschland [63] und der Schweiz [64]. Um einerseits diese Plätze bestmöglich auszulasten und andererseits die Möglichkeit zu schaffen auf vorhandene Plätze zuzugreifen, wäre die Installierung eines österreichweiten Abfragesystems zur Buchung von freien Quarantäneplätzen wünschenswert. Um die Sicherheit an den Quarantäneplätzen zu erhöhen, müssten OEMs den Zugang zur internen Temperaturüberwachung des Batteriemangements ermöglichen. So wäre das Fahrzeug sicher rund um die Uhr überwacht. Ein weiterer Vorschlag, um die Sicherheit zu erhöhen, wäre die Schaffung der Gelegenheit zur Entladung der Batterie auf dessen Minimalkapazität.

Ein Österreichweiter Anforderungskatalog oder Standard für Ausstattung und Betrieb von Quarantäneplätzen soll erstellt werden.

Die Installierung eines österreichweiten (elektronischen) Systems zum Buchen von Quarantäneplätzen ist wünschenswert.

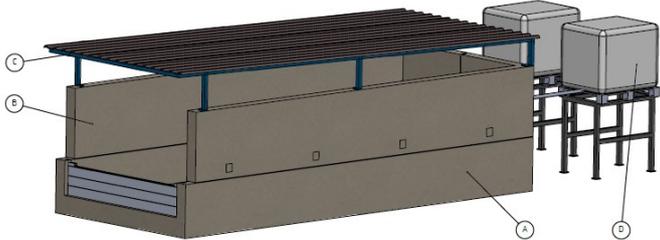
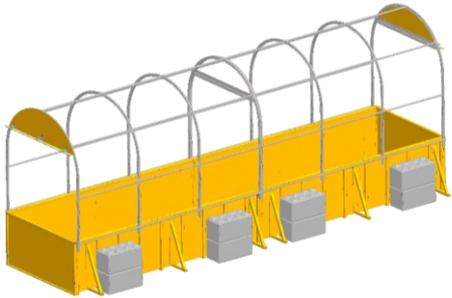
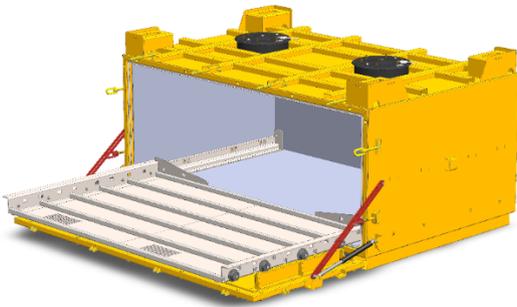
Die Möglichkeit der Entladung der Traktionsbatterie auf die Minimalkapazität im verbauten Zustand soll (auf Quarantäneplätzen) ermöglicht werden.

8.2. Lagerungsmöglichkeiten - Quarantäneplatz

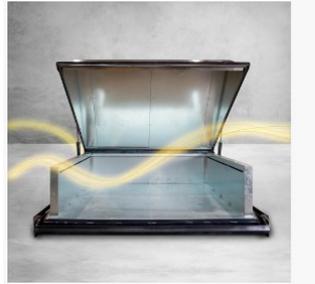
Da auch in den Genehmigungsverfahren noch keine einheitlichen Regelungen bezüglich der Ausgestaltung einer Quarantäne vorhanden sind, entwickelten diverse Hersteller bereits verschiedene technische Systeme und Varianten. Diese beziehen sich aber vor allem auf transportfähige Lösungen, d.h. das Fahrzeug kann schon am Unfallort selbst in die Lösung verbracht werden. Dies stellt aber zum derzeitigen Stand kein Muss dar, auch die Verbringung eines defekten Fahrzeuges zu einem fix installierten Quarantäneplatz stellt kein hohes Sicherheitsrisiko dar und kann als Möglichkeit angesehen werden. In Tabelle 3 ist eine unvollständige Auswahl von Quarantänesystemen verschiedener Hersteller ersichtlich.

Tabelle 3: Unvollständige Auswahl von möglichen Quarantänesystemen

Beschreibung der Variante	Abbildung der beschriebenen Variante
<p>Transportables Quarantäne- und Löschsystem von <i>Dry Fire System</i> mit <i>AkkuGrain</i> Granulat, welches entstehende Flüssigkeiten, Atemgifte und brennende Gase absorbiert.</p>	

<p>Container-Lösung zum sicheren Abtransport und als lokaler Quarantänebereich der Fa. <i>SEDA Umwelttechnik GmbH</i></p>	
<p>Lokaler Quarantäneplatz mit Betonblöcken und einem separaten Kühlsystem (<i>SEDA Umwelttechnik GmbH</i>)</p>	
<p>Modulares System für Quarantäneflächen mit Dach für E-LKW (<i>SEDA Umwelttechnik GmbH</i>)</p>	
<p>Mulden-Lösung für sichere Lagerung gegen undefinierte Gefahren von defekten und nicht defekten Elektro-Autos (<i>SEDA Umwelttechnik GmbH</i>)</p>	
<p>Quarantäneplätze für Batteriesysteme oder Batteriemodule mit integriertem Filtersystem (<i>SEDA Umwelttechnik GmbH</i>)</p>	

Die Transport- und Lagerbox für kritische Lithium-Ionen-Batterien mit integriertem Filtersystem (*Stöbich technology*)



(Schadens-)Bewertung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



9. Schadensbewertung

Eine korrekte Bewertung des verunfallten batterieelektrischen Fahrzeuges ist essenziell für den weiteren sicheren Umgang mit den gegebenenfalls auftretenden Gefährdungen. Dabei ist aber anzumerken, dass eine vollständige Bewertung am Unfallort nicht erfolgen kann. Zwar findet eine Abschätzung für den Abtransport durch eine ausgebildete Person statt, diese hat aber im Regelfall nur spezielle Kenntnisse für die Bewertung hinsichtlich des Transportes.

Nach einem Unfall mit einem batterieelektrischen Fahrzeug wird dieses durch ein Abschleppunternehmen, wenn erforderlich, auf einen Quarantäneplatz gebracht, oder für Reparaturarbeiten zu einer Kfz-Werkstätte. Oft ist hier eine Schadensbewertung, welche den Grad der Unfallschwere und eine Bewertung des Zustandes des Fahrzeuges beinhaltet für die Versicherungen nötig. Eine Schadensbewertung durch Sachverständige erfolgt immer erst nachdem das Fahrzeug durch die entsprechende Werkstatt entgegengenommen wurde. Eine besondere Gefahr bei der Durchführung der Begutachtung ist daher nicht gegeben. Die Bewertung erfolgt auf der Hebebühne in einem gesicherten Arbeitsumfeld. Falls Zerlegungsarbeiten nötig wären, führt diese die Werkstatt durch. Die/der Sachverständige ist nicht für Arbeiten am Fahrzeug bzw. an der Traktionsbatterie zuständig. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass Sachverständige über eine HV-1 bis HV-2 Ausbildung verfügen.

Die/der Sachverständige bewertet meist für die Versicherungen. Die Bewertung, ob eine Traktionsbatterie bei einem Unfall im Fahrzeug verbleiben und weiterverwendet werden darf oder ob diese aufgrund von Beschädigungen ersetzt werden muss, erfolgt über den Hersteller. Die Hersteller entscheiden sozusagen aus der Ferne. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Entscheidung anhand eines Schadensrasters getroffen wird. Wie sich zeigt sind Herstellerangaben dazu aber unterschiedlich. Hier sei aber auf den Vorschlag zur neuen EU-Batterieverordnung verwiesen, in dem die Entsorgungskosten geregelt werden und so ein wirtschaftliches Interesse bei der Bewertung entfällt [65]. Eine Bewertung oder Prüfung der Batterie mittels Messmethodik wäre hier sicher der optimale Ansatz, derzeit sind aber noch keine verwertbaren Lösungen am Markt, Entwicklungen aber bekannt.

Ein wichtiger Punkt in der Schadensbewertung und in der anschließenden Entscheidung über den weiteren Lebensweg der Traktionsbatterie ist der State of Health¹¹ (SoH), also der „Gesundheitszustand“ der Batterie zum Unfallzeitpunkt. Dieser ist ausschlaggebend für die Entscheidung, ob eine Batterie im Fahrzeug – egal ob verunfallt oder nicht – verbleibt, oder ob ein Wechsel zu einer neuen Batterie sinnvoll wäre, da die benötigte Leistung nicht mehr erreicht werden kann. Im Falle einer Unfallbatterie ist der SoH ein großes Thema in Bezug auf die Versicherung des Fahrzeuges. Im Bereich der Fahrzeugversicherung wird zwischen Haftpflicht (Zustand wie vor Unfall) und Kasko (Versicherung nach Neupreis) unterschieden. Im Moment ist nicht klar wie eine Batterie mit zum Beispiel einem SoH-Wert von 70 % zu ersetzen ist, da es sich bei der Batterie selbst um einen entsprechend kostenintensiven Bauteil handelt. Dies ist derzeit ein großes Thema bei Versicherungen, eine Lösung wird aber durch die Aktualität und die steigende Anzahl an versicherten batterieelektrischen Fahrzeugen in absehbarer Zukunft entstehen müssen.

¹¹ Der Begriff „State of Health“ (SOH) beschreibt als Kennwert einer Batterie diesen Alterungszustand im Vergleich zu dessen Nenn- beziehungsweise Neuwert und wird in Prozent angegeben. [106]

Für die Schadensbewertung ergibt sich folgender Schluss: Eine einheitliche Vorgehensweise bei der Bewertung von Traktionsbatterien wäre ein Ansatz, um in ganz Österreich die gleichen Bedingungen für die Einstufung von Batterien zu ermöglichen. Hierzu wäre ein Vorschlag oder eine Richtlinie hilfreich, an die sich Werkstätten, Demontagebetriebe sowie Sachverständige halten könnten. Durch eine solche Richtlinie mit Handlungsempfehlungen können Arbeiten, welche für die Bewertung notwendig sind, einerseits sicher und richtig durchgeführt werden, andererseits könnte die Einstufung der Batterien bei gleicher Schwere nachvollziehbar und einheitlich erfolgen. Betriebe, welche diese Batterien zur weiteren Verarbeitung/Verwendung erhalten, könnten so auf gesicherte Informationen zugreifen, egal aus welcher Quelle sie diese erhalten.

Eine Richtlinie oder Norm für die Bewertung von Traktionsbatterien soll erstellt werden, um den weiteren Verlauf der Verwendung einer Batterie besser zu regeln.

Demontage von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



10. Demontage von batterieelektrischen Fahrzeugen

Die fachgerechte Demontage von batterieelektrischen Fahrzeugen erfolgt ausschließlich in Fachwerkstätten. Voraussetzung ist, dass der gesamte Trockenlegungs- und Zerlegungsprozess ausschließlich von fachkundigem und eingewiesenem Personal in den dafür zugelassenen Bereichen der Werkstätte ausgeführt wird. Als fachkundig werden abgeschlossene Berufsausbildungen wie Kfz-Mechaniker:in, Kfz-Elektroniker:in, Maschinenbautechniker:in, Maschinenbauschlosser:in oder Ähnliches angesehen. Bei der Verwertung von Elektrofahrzeugen sollte jegliches Personal, welches mit dem Elektrofahrzeug in Berührung kommt, zusätzlich zu der Berufsausbildung die dafür zugelassenen Ausbildungen für HV-Techniker:innen (siehe Tabelle 1 in Kapitel 7.1) absolviert haben. Mit der dadurch erhaltenen Qualifikation für Arbeiten an unter Spannung stehenden HV-Komponenten kann die Fehlersuche an unter Spannung stehenden HV-Komponenten durchgeführt werden, wenn das Fahrzeug nicht spannungsfrei geschaltet oder die Spannungsfreiheit nicht festgestellt werden kann. Dasselbe gilt für Arbeiten an unter Spannung stehenden Energiespeichern und für Arbeiten mit entsprechendem Gefährdungspotenzial, zum Beispiel die Hochspannungsprüfung nach Arbeitsanweisung. Für diese Prozesse gibt es Regelwerke, die beachtet werden müssen, hier sei auf die Quellen [54] (OVE/ÖNORM EN 50110-1) und [66] (DGUV Information 209-093) verwiesen.

Der Begriff Hochvolt (HV) bezeichnet in der Fahrzeugtechnik Spannungen größer 30 V und kleiner 1.000 V bei Wechselstrom (AC) und Spannungen größer 60 V und kleiner 1.500 V bei Gleichstrom (DC).

Für diese Arbeiten ist eine persönliche Schutzausrüstung (PSA) obligatorisch. Die Auswahl muss den aktuell geltenden Bestimmungen des ASchG, der OVE R19 und der jeweiligen Betriebsanleitung entsprechen. Eine Richtlinie oder Gleichwertiges über die persönliche Schutzausrüstung für Kfz-Werkstätten ist nicht vorhanden. Aus diesem Grund legen die Betriebe die Persönliche Schutzausrüstung der Monteure selbstständig fest.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für Demontearbeiten folgender Schluss: Die Wichtigkeit der Schulung mit adäquatem Inhalt ist durch das Gefahrenpotential der Demontagetätigkeit gegeben. Aus diesem Grund ist eine Standardisierung der Ausbildung für den sicheren Umgang mit havarierten Fahrzeugen bei Demontage entsprechend dem ASchG bzw. der OVE R19 essenziell. Da keine Richtlinie oder Ähnliches zur Beschreibung der benötigten persönlichen Schutzausrüstung vorhanden ist, wäre eine Richtlinie, ein Vorschlag oder eine „best practice“-Beschreibung durch die gesetzlichen Versicherungen wünschenswert. Diese könnte die PSA aus Arbeitsschutzsicht festlegen und den Unternehmen bei der Auswahl dieser unterstützen.

Ein österreichweiter Standard für die Befähigung zur Durchführung von HV-Ausbildungen soll gewährleistet werden.

Die gesetzlichen Versicherungen sollen einen Vorschlag zur Standardisierung der PSA für Monteure in Kfz-Werkstätten und Demontagebetriebe für Elektrofahrzeuge erstellen.

10.1. Betriebsstätten(-genehmigung) für Demontagebetriebe

Demontagebetriebe, welche batterieelektrische Fahrzeuge annehmen möchten, müssen die Änderung ihres Betriebs bzw. ihrer Betriebsstätte durch Behörden genehmigen lassen. Hierbei sind neben einer angepassten Schulungs- und Fortbildung für das Personal auch bauliche Maßnahmen nötig, da elektrische Gefahren und eine höhere Brandgefahr durch verzögerte mögliche Reaktionen der Batterie auftreten können. OEMs geben sehr gute Handlungsanweisungen bezüglich der elektrischen Gefahr (Abstand, Absicherung, Werkzeug, udg.), jedoch gibt es aktuell keine Handlungsanweisungen in Bezug auf den Brandschutz. Hinzu kommt das Nichtvorhandensein einer Richtlinie oder Norm in Österreich. Betriebsstättengenehmigungen für die Demontage batterieelektrischer Fahrzeuge sind so derzeit Einzelbeurteilungen und -entscheidungen. Ansätze in Richtung Technische Richtlinien Vorbeugender Brandschutz (TRVB), Merkblätter für Brandschutztechnik und OIB-Richtlinien gibt es, konkrete Vorschläge sind jedoch noch nicht fertig erarbeitet.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Genehmigung bzw. die Ausführung der Betriebsstätte für Demontagebetriebe folgender Schluss: Gegenwärtig sind weder Richtlinien noch Normen vorhanden, die Anhaltspunkte für die Anforderungen an eine Betriebsstätte geben. Auch geben OEMs nur Handlungsempfehlungen bezüglich elektrischer Gefahren, jedoch nicht für Brandschutz, an. Ein definierter Ablauf der Arbeitsschritte inkl. Risikobeurteilung muss erstellt werden, um Betrieben die Möglichkeit zu geben sich über die zu erwartenden Anforderungen informieren zu können. Für die Betriebsgenehmigung ist ein separater Brandabschnitt mit definierten Arbeitsbereich(en) nötig. Dieser dient neben der Arbeitssicherheit auch dem Schutz der Betriebsstätte. Sichere Lagerbereiche von batterieelektrischen Fahrzeugen mit verbauter Traktionsbatterie sowie entnommener Batterie muss geschaffen werden, daher sind diese Anforderungen schon im Vorhinein seitens der Behörden zu definieren. Auch sollte der Anforderungskatalog eine 24-Stunden-Überwachung der kritischen Bereiche beinhalten. All diese Anforderungen müssen österreichweit einheitlich geregelt werden und ein Katalog dieser Anforderungen von Behörden erstellt werden.

Ein Anforderungskatalog oder Standard für die Betriebsstättengenehmigungen von Demontagebetrieben (baulicher Brandschutz, Überwachungsmaßnahmen, etc.) sollte österreichweit aufgelegt werden.

10.2. Arbeitsschritte bzw. Teilprozess Demontage

Im Folgenden wird der Prozess der Demontage eines verunfallten batterieelektrischen Fahrzeuges in einem Fachbetrieb beschrieben. Hierzu wird dieser in folgenden fünf Teilschritten bearbeitet:

- a) Anlieferung des Fahrzeuges (siehe Kapitel 10.2.1)
- b) Entfernung der HV-Batterie aus dem Fahrzeug (siehe Kapitel 10.2.2)
- c) Zerlegeprozess von Traktionsbatterien (siehe Kapitel 10.2.3)
- d) Sonderfall – Kritisches Fahrzeug in Quarantäne Container mit Reaktion der Batterie (siehe Kapitel 10.2.4)
- e) Sonderfall – Kritische Batteriesysteme in Sicherheitsboxen (siehe Kapitel 10.2.5)

10.2.1. Anlieferung des Fahrzeuges

Das Fahrzeug wird nach Vorankündigung mittels Anhänger, Abschleppfahrzeug oder im Container an den Betrieb angeliefert. Der für die Anlieferung vorgesehene Ort muss so angelegt sein, dass das verunfallte und/oder beschädigte Fahrzeug unmittelbar an einen dafür bestimmte Quarantäneplatz abgestellt werden kann. Bei der Annahme am Betriebsgelände erfolgt ein Erstcheck des Fahrzeuges. Dabei wird nach betriebsinternen Vorgaben mittels Sichtkontrollen, Diagnosegeräten und wärmebildgebenden Geräten der Zustand der Hochvoltbatterie (HVB) begutachtet. Hier erfolgt die Trennung in quarantänepflichtigem und stabilem Zustand. Eine österreichweite einheitliche Vorgehensweise bei der Beurteilung des Fahrzeuges mit Traktionsbatterie ist nicht gegeben. Die Betriebe müssen derzeit selbst betriebsinterne Standards entwickeln und anwenden. Auch ist die, falls nötige, Quarantänezeit nicht durch Hersteller geregelt. Hier liegt das Ermessen bei Demontagebetrieb. Wird das Fahrzeug vom Fachpersonal für ungefährlich eingestuft, kann dieses nun gelagert oder für den Zerlegeprozess vorbereitet werden. Als Beispiel für eine Checkliste bei der Annahme wird auf Anhang E verwiesen.

10.2.2. Entfernen der Hochvoltbatterie aus dem Fahrzeug

Nach der Anlieferung, Bewertung und gegebenenfalls Quarantäne des Fahrzeuges kann die eigentliche Demontage beginnen. Hierzu wird als eine erste Maßnahme die Batterie abgeklemmt. Spätestens ab jetzt kann das Batteriemanagementsystem (BMS) nicht mehr arbeiten und Informationen über den Zustand der Batterie an den Hersteller senden. Bis zu diesem Zeitpunkt wären Informationen aus dem BMS für alle Beteiligten hilfreich. Der Demontagebetrieb kann jedoch diesen möglichen Informationszugang nicht mehr nutzen, da das BMS durch das Abklemmen der Batterie keine Informationen mehr senden kann. Die Demontage des Fahrzeuges erfolgt auf einem Hubmittel. Der Demontageablauf wird entsprechend den Herstellerangaben, die im Onlinesystem IDIS2 (International Dismantling Information System, vgl. [67]) hinterlegt sind, durchgeführt.

10.2.3. Zerlegeprozess von Traktionsbatterien

Nach der Trennung von Traktionsbatterie und Fahrzeug, wird die Batterie zerlegt. Hierzu gibt es am Markt bereits geeignete Arbeitstische (u.a. [68]), welche neben dem passenden Arbeitsbereich auch Sicherheitsvorkehrungen zur Risikominimierung bei einem Brand bzw. einer Überhitzung enthalten. Um die Einzelmodule als Gefahrenquelle zu entschärfen, werden diese an ein HV-Batterieentladegerät angeschlossen, entladen oder tiefentladen. Nun stellen die Module keine Gefahrenquelle mehr dar und können für die Entsorgung abholbereit in einem Lagercontainer bereitgestellt oder in der dafür vorgesehenen Verpackung unter der Einhaltung der ADR-Bestimmungen versendet werden. Die Entladung der Batterie ist derzeit nicht Stand der Technik für Demontagebetriebe.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Demontage von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen folgender Schluss: Bei der Anlieferung eines Fahrzeuges an einen Havariebetrieb erfolgt die Bewertung und Einstufung durch eine/n HV-Techniker:in. Eine österreichweite einheitliche Vorgehensweise (z.B. Checkliste) für diese Bewertung ist derzeit nicht vorhanden. Betriebe greifen auf betriebsinterne Standards zurück, somit kann aber nicht gewährleistet werden, dass alle Arbeitnehmer:innen in Österreich das gleiche Sicherheitsniveau bei Ausübung ihrer Demontagetätigkeit vorfinden. Aus diesem Grund wird für eine einheitliche Bewertungsgrundlage

plädiert. Auch ist die gegebenenfalls durch den Transport (erneuten) nötige Quarantänezeit im Demontagebetrieb nicht geregelt. Weder Hersteller noch Gesetzgeber stellen hier eine Grundlage zur Verfügung. Wenn möglich sollte die Trennung von Traktionsbatterie und Fahrzeug zeitnah erfolgen, da so die Batterie separat in Sicherung gestellt werden kann und so die Gesamtsicherheit erhöht wird.

Einheitliche Minimalstandards für Demontagebetriebe zur Bewertung von Fahrzeugen und Komponenten (z.B. einheitliche Bewertungsbögen) sind zu erarbeiten.

10.2.4. Kritisches Fahrzeug in Quarantäne-Container mit Reaktion der Batterie

Zeigt ein Fahrzeug in einem Lagercontainer eine Reaktion (Brand, Gasentwicklung, Temperaturanstieg, udg.), werden im Allgemeinen die Sicherheitseinrichtungen des Containers ausgelöst, gegebenenfalls sind die Einsatzkräfte zu verständigen. Die Lagerung eines Fahrzeuges im kritischen Zustand muss durchgehend überwacht werden. Erst wenn die Überwachung ergibt, dass keine Gefahr in Verzug ist, kann der Container unter Vorsichtsmaßnahmen (PSA, Gasmesstechnik) geöffnet werden. Nach einem eventuellen Löschvorgang muss das im Container befindliche Löschwasser analysiert und entsprechend abfallrechtlich von einem zertifizierten Entsorgungsunternehmen entsorgt werden. Die technische Überwachung sowie die Lüftung bleiben in Betrieb, während das Fahrzeug einer Bewertung durch eine/r Hochvolttechniker:in unterzogen wird. Auch hier wäre wie schon oben angeführt ein einheitlicher Minimalbewertungsbogen sinnvoll.

10.2.5. Kritische Batteriesysteme in Sicherheitsboxen

Für den Transport von aus Fahrzeugen ausgebauten beschädigten oder defekten Lithium-Ionen-Zellen und Lithium-Ionen-Batterien (UN-Nummer 3480 und 3481, SV 376) die unter normalen Beförderungsbedingungen zu einer schnellen Zerlegung, gefährlichen Reaktion, Flammenbildung, gefährlichen Wärmeentwicklung oder einem gefährlichen Ausstoß giftiger, ätzender oder entzündbarer Gase oder Dämpfe neigen (LP 906), gibt es verschiedene Sicherheitsboxen für Lagerung und Transport am Markt (u.a. [69] [70]), welche integrierte Filtersysteme, mechanisch standhaft sowie ein integriertes Thermomanagement verfügen. Diese Lager- und Transportboxen sind durch benannte Stellen für den Transport nach Sondervorschrift 376 für den Verkehrsträger Straße (ADR), Schiene (RID), Binnenschifffahrt (ADN) und See (IMDG-Code) getestet und genehmigt.

10.3. Zusätzliche Probleme und Schwierigkeiten

Schwierigkeiten bei der Demontage von batterieelektrischen Fahrzeugen treten bei starken Verformungen des Fahrzeuges bzw. der Batterie bedingt durch den Unfall auf. Hierbei kann davon ausgegangen werden, dass je höher der Verformungsgrad ist, desto schwerer auch die Demontage der Traktionsbatterie. Bei 2019 durchgeführten Crashtests der Sachverständigenorganisation DEKRA und der Universitätsmedizin Göttingen zeigte sich, dass Elektrofahrzeuge auch bei starken Verformungen sehr sicher und stabil sind. Hierbei wurden Kollisionen mit einem Pfahl erzeugt, welche Szenarien eines Baum-Anpralls simulieren sollten. Dabei lagen die Geschwindigkeiten weit jenseits deren, die bei Standard-Crashtests üblich sind (60 km/h, 75 km/h und 84 km/h). Die Hochvoltsysteme wurden bei Unfall zuverlässig abgeschaltet, die Schadenbilder sind vergleichbar mit konventionell angetriebenen Fahrzeugen und auch bei starker Deformation der Antriebsbatterie fand kein Brandausbruch statt. [71] Für die anschließende Demontage können diese Ergebnisse auch auf ein sicheres Arbeiten hindeuten.



Abbildung 17: Ergebnis des DEKRA -Crashtests mit starker Deformation des Fahrzeuges und der Traktionsbatterie

Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen



11. Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen

In der öffentlichen Wahrnehmung wird der Begriff Recycling allumspannend als Überbegriff angewendet, in Fachbüchern und Artikeln hingegen wird Recycling als eigenständiger Begriff verwendet, der die Wiederaufbereitung und erneute Kreislaufführung von Materialien an deren Lebenszyklusende, d. h. lediglich die stoffliche Rückgewinnung beschreibt [72].

In der vorliegenden Studie wird demnach folgendes Verständnis für den Begriff Recycling verwendet:

Recycling beschreibt den Prozess der Sammlung, Aufbereitung und stofflichen Rückgewinnung von entsorgten Materialien für deren erneute Nutzung. [72]

Traktionsbatterien müssen nach dem Gebrauch in einem Fahrzeug nicht immer das Ende des „Lebens“ (End of Life - EoL) erreicht haben. Eine für den Automotiv-Bereich zu geringe Leistungsfähigkeit aufgrund der Alterung bedeutet nicht automatisch eine Entsorgung der Batterie. Der Zustand eines Batteriesystems entscheidet den weiteren Weg. Bei genügend Restkapazität und intakter „Gesundheit“ des Batteriesystems (SoH¹²), kommt durchaus ein zweites Leben in Frage. Bei geringen Reparaturaufwand ist ein „Remanufacturing¹³“ oftmals sinnvoll, wodurch auch ein zweites Leben ermöglicht wird.

Kommen Lithium-Ionen-Batterien ans Ende ihres Lebens, sollte ein bestmögliches Recycling der verwendeten Materialien das Ziel sein. Das Ziel des Recyclings – das Zurückbringen von Materialien in den Wertschöpfungskreislauf – wird derzeit leider nur zum geringen Teil erreicht. In den meisten Fällen kommen aus den Recyclingbetrieben lediglich die monetär wertvollen, aber nur in geringen Mengen vorhandenen Stoffe (Metalle) wieder zurück auf den Markt. Entscheidend ist jedoch deren Qualität und, ob das Material wieder in Batterien eingesetzt werden kann.

11.1. Potential an EoL-Lithium-Ionen-Batterien für Österreich

Wie schon im Kapitel 3 gezeigt, steigt der Anteil an vollelektrischen PKW in Österreich stetig. Bereits mit Juni 2022 gab es mehr als 90.000 angemeldete batterieelektrische PKW. Traktionsbatterien aus Elektro-PKW erreichen typischerweise das Ende ihrer Lebensdauer (EoL), wenn die Kapazität der Traktionsbatterie unter 80 % liegt. Dies ist derzeit nach etwa acht bis zehn Jahren oder 150.000 bis 160.000 km der Fall. Im Projekt „LIBRAT“ [73] wurde auf Basis des Transition-Szenarios das mögliche Potential an EoL-Lithium-Ionen-Batterien für Österreich abgeschätzt (siehe Abbildung 18). Das Transition-Szenario ist ein Energieszenario für Österreich und beschreibt eine mögliche Entwicklung der österreichischen Wirtschaft mit dem Ziel der Klimaneutralität. Es folgt dem Ziel des Klimaübereinkommens von Paris (COP21), die globale Erwärmung auf unter +2 °C zu begrenzen. [74]

¹² Der Begriff „State of Health“ (SOH) beschreibt als Kennwert einer Batterie diesen Alterungszustand im Vergleich zu dessen Nenn- beziehungsweise Neuwert und wird in Prozent angegeben. [106]

¹³ Remanufacturing ist ein Prozess, bei dem ein gebrauchtes Produkt aus Kundensicht mindestens auf die ursprüngliche Leistungsspezifikation zurückgesetzt wird und dem resultierenden Produkt eine Garantie gewährt wird, die mindestens der eines neu hergestellten Äquivalents entspricht. (Science Direct)

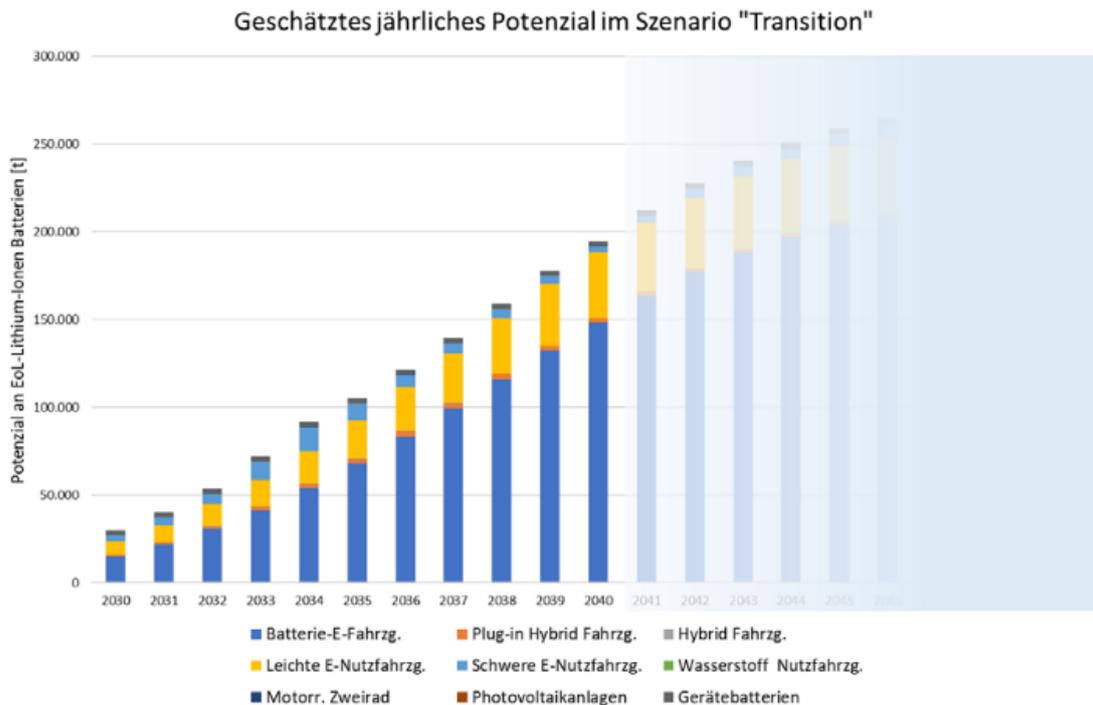


Abbildung 18: Geschätztes jährliches Potential an EoL-LIB in Österreich. Basis Transition-Szenario [74]

Wenn die Vollelektrifizierung des Verkehrssektors bis 2040 tatsächlich erfolgt (Basis Transition-Szenario), ergibt sich ein Potenzial an EoL-LIB von rund 25.000 Tonnen im Jahr 2030. Die Mengen steigen stark an und erreichen beinahe 200.000 Tonnen im Jahr 2040. Der Großteil stammt von Elektro-PKW sowie von leichten Elektro-Nutzfahrzeugen. Die durchschnittliche Produktlebensdauer für Elektro-PKW wurde dabei auf etwa elf Jahren angelegt [74]. Daraus ergibt sich auch die Verschiebung der Batteriemenge, die nach ihrer Inverkehrsetzung in batterieelektrischen Fahrzeugen ans Ende ihrer Lebensdauer kommen.

11.2. Entsorgung von verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen

Bei der Entsorgung von ausrangierten oder verunfallten batterieelektrischen Fahrzeugen, ist der erste Schritt die Trennung des Batteriesystems vom restlichen Fahrzeug. Dadurch entstehen zwei getrennte Abfallströme, für die bestehende Regelwerke anzuwenden sind. Einerseits das Altfahrzeug, wo die Altfahrzeugeverordnung (BGBl. II Nr. 407/2002) [75] zutrifft. Andererseits muss die Altbatterie nach den Vorgaben der Batterienverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008) [76] behandelt werden.

Mit Entledigungsabsicht bzw. wenn das Altfahrzeug Abfall im öffentlichen Interesse (§ 1 Abs. 3 AWG) ist, z.B. bei möglicher Gefährdung der Umwelt, dann ist das Abfallrecht anzuwenden. Abfalleigenschaft liegt vor, wenn das Fahrzeug als Ersatzteillieferer verwendet werden soll bzw. für das Shreddern bestimmt ist. [77] Hier ist die Altfahrzeugeverordnung anzuwenden. Mit der Altfahrzeugeverordnung (AFZ-VO), BGBl. II Nr. 407/2002 idGF., wird die Richtlinie über Altfahrzeuge (RL 2000/53/EG) umgesetzt und ist mit 6. November 2002 in Kraft getreten. Ein Altfahrzeug kann bei einer vom Hersteller oder Importeur der jeweiligen Marke eingerichteten Rücknahmestelle abgegeben werden. Diese sind zur kostenlosen Rücknahme verpflichtet, unabhängig vom Zeitpunkt der Erstzulassung. Die Altfahrzeugeverordnung sieht des Weiteren vor, dass Meldungen über die Übernahme von Altfahrzeugen und über die Behandlung und/oder Weitergabe der Altfahrzeuge bzw. der im Zuge der Behandlung entstandenen Abfälle elektronisch übermittelt werden müssen. Die Meldung erfolgt über

das Elektronisches Datenmanagement (EDM) [78] des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. [79]Das erste europäische Abfallverzeichnis (EAK) wurde 1993 veröffentlicht, in Österreich und Finnland jedoch nicht ins nationale Recht umgesetzt. In Österreich gilt das Abfallverzeichnis nach BG Abfallverzeichnisverordnung 2020, in welcher die ÖNORM S2100 – Abfallkatalog integriert ist. [80] Tagesaktuell kann das Abfallverzeichnis im Elektronischen Datenmanagement (EDM) abgerufen werden [81]. Die Zuordnung erfolgt stoffspezifisch, jede Abfallbezeichnung ist einer fünfstelligen Nummer, der Schlüsselnummer, zugeordnet. In Österreich besitzen LIB die Schlüsselnummer 35337 mit der Bezeichnung Lithiumbatterien und sind als gefährlicher Abfall und als nicht ausstufbar deklariert. Die Klassifizierung ist in Österreich somit klar geregelt.

Oft wird die Diskrepanz zwischen der österreichischen und europäischen (nach EAK mit dem Abfallcode 160605 mit der Bezeichnung Andere Batterien und Akkumulatoren als nicht gefährlicher Abfall eingestuft) Klassifizierung diskutiert bzw. angemerkt. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist eine Einstufung und ein Transport mit Sicherheitsauflagen (Transportboxen, niederer Ladestand, gesicherte Kontakte udg.) zu bevorzugen. Die Sicherheit wird erhöht und das Personal ist aufmerksamer in deren Tätigkeiten.

Für die Entsorgung der Altfahrzeuge ohne Batteriesysteme werden keine besonderen Herausforderungen für Entsorgungsbetriebe gesehen, für Verwerter entstehen hier keine neuen Handlungsfelder gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Bezüglich der Handhabung von Batteriesystemen dient als Rechtsgrundlage die Batterieverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. II Nr. 311/2021) (vgl. Quelle [76], Auszüge sind im Anhang F ersichtlich), welche auf der EU-Richtlinie 2006/66/EG (vgl. [82]) beruht. Die Europäische Kommission hat am 10. Dezember 2020 ihren Vorschlag für eine neue EU-Batterieverordnung zur Modernisierung der EU-Rechtsvorschriften für Batterien vorgelegt. Am 17. März 2022 wurde im Europäischen Rat die „allgemeine Ausrichtung“ beschlossen [65]. Diese stellt die Basis für die Verhandlungen des Europäischen Rates mit dem Europäischen Parlament und der Europäischen Kommission im sogenannten Trilog dar. Die Trilog-Verhandlungen sind derzeit noch nicht abgeschlossen (d.h. weitere Änderungen sind möglich). Wann die neue EU-Batterieverordnung in Kraft tritt, kann zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtes noch nicht abgeschätzt werden.

Im §3 der aktuell geltenden Batterieverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. II Nr. 311/2021) [76] ist für Traktionsbatterien die Einordnung geregelt, demnach werden diese zu den Industriebatterien gezählt:

6. „Industriebatterien“ Batterien oder Akkumulatoren, die für industrielle oder gewerbliche Zwecke oder für Elektrofahrzeuge jeder Art bestimmt sind;

Die Regelung der Rücknahme ist in Abschnitt 4 ersichtlich:

§15. (1) Hersteller, die Industriebatterien in Verkehr setzen, haben Industriealtbatterien unabhängig vom Datum ihres In-Verkehr-Setzens und unabhängig von ihrer Herkunft oder chemischen Zusammensetzung zurückzunehmen.

§15. (2) Hersteller können mit den Letztverbrauchern der Industriebatterien Vereinbarungen über die Finanzierung der Sammlung oder Behandlung treffen.

11.3. Sammlung und Rücknahme von Batteriesystemen aus Elektro-PKW

Traktionsbatterien in Fahrzeugen gehören laut Batterieverordnung zu den Industriebatterien (Stand 2022). Für die Sammlung dieser ist geregelt, dass Hersteller bzw. Inverkehrbringer diese unabhängig

vom Datum des In-Verkehr-Setzens und unabhängig von der Herkunft oder chemischen Zusammensetzung zurücknehmen müssen. [76] In der neuen EU-Batterieverordnung soll die Verantwortung an die Hersteller noch präziser formuliert werden [65]. Jedoch wird derzeit die Finanzierung in der geltenden Fassung der Batterieverordnung noch über eine Vereinbarung zwischen Letztverbrauchern und Herstellern geregelt. Im Vorschlag für die neue EU-Batterieverordnung soll sich das ändern. Industriebatterien sollen, wie auch Gerätebatterien oder Fahrzeugbatterien unentgeltlich entsorgt werden können. Über die erweiterte Herstellerverantwortung müssen die Hersteller die getrennte Sammlung, die Verbringung, die Vorbereitung zur Umnutzung und Wiederaufbereitung, die Behandlung und das Recycling von Altbatterien organisieren und auch die Kosten dafür tragen. Durch diese vorgesehene klare Regelung bezüglich der Entsorgungskosten, kann davon ausgegangen werden, dass so der Wille batterieelektrische Fahrzeuge zu übernehmen auch steigen wird, da es eine monetäre klare Regelung gäbe.

Derzeit gibt es auch schon in Österreich verschiedene Gesamtlösungen für die Entsorgung von batterieelektrischen PKW, beispielsweise das BAT-MOBIL (vgl. [83]) oder ein Angebot der Firma SAUBERMACHER (vgl. [84]). Hierbei wird das gesamte Fahrzeug (inkl. verbauter Batterie) ab dem „Entledigungsgedanken“ übernommen und Lösungen für fachgerechte Demontage und Recycling bereitgestellt.

11.4. Informationen und Daten über die Batterien

Die Kennzeichnung von Batterien sowie Informationen und Daten darüber werden von allen Expert:innen als notwendig erachtet. Der wesentliche Unterschied zu anderen Batterien wie Zink-Kohle-Batterien, oder Blei-Akkumulatoren liegt darin, dass die Zellchemie bei Lithium-Ionen-Batterien sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein kann. Die Unterscheidung konzentriert sich primär auf das Kathodenmaterial. [74] Als sicherheitsrelevant wird auch der „Gesundheitszustand“ der Batterie (SoH¹⁴) erachtet. Dabei gibt es viele Parameter, die Aufschluss über den Zustand eines Batteriesystems geben können. Ein elektronischer Informationsaustausch, wie z.B. im Vorschlag zur neuen EU-Batterieverordnung (Batterie-Pass), könnte dies erleichtern.

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette ist es immer wieder essenziell, Informationen über die Batterie zu erhalten, ebenso in der Second Life Anwendung, wo das Wissen über die chemische Zusammensetzung, der SoH, Ladezyklen, usw. relevant für einen weiteren Einsatz ist. Dabei sollten auch Informationen angegeben sein, ob es sich um eine „Unfall-Batterie“ handelt, oder ob eine Manipulation des Batteriesystem (z. B. Batterie-Tuning) durchgeführt wurde. Nicht zuletzt sind vor allem bei der Entsorgung Informationen über die Zellchemie von großer Bedeutung. Verwerter benötigen diese Information, da manche Inhaltstoffe einen Recyclingprozess maßgeblich beeinflussen können, bzw. die Auswahl des anzuwendenden Recyclingverfahrens auf dem Chemismus der Batterie fußt (siehe Kapitel 11.6.3). Ein wichtiger Schritt zum Erreichen der geforderten Recyclingquoten und stoffliche Verwertungsquoten ist solch eine angepasste Recyclingschiene. Hierbei wäre es auch wichtig, bereits bei der Entwicklung von neuen Zellen das Recycling mitzudenken und zu planen.

2019 wurde von der International Electrotechnical Commission (IEC) ein Vorschlag für einen Standard bei Kennzeichnungen (IEC 62902 - Marking Symbols for secondary batteries for the identification of their chemistry) vorgestellt. Dieser beinhaltet farbige Markierungen für die Unterscheidung von fünf Chemie-Typen. Die Norm enthält keine Markierungen für beispielsweise Na-, NaS-, NaNiCl-Batterien.

¹⁴ Der Begriff „State of Health“ (SOH) beschreibt als Kennwert einer Batterie diesen Alterungszustand im Vergleich zu dessen Nenn- beziehungsweise Neuwert und wird in Prozent angegeben. [106]

In Bezug auf das Recycling wird jedoch viel Information benötigt. In Gesprächen im Rahmen des Forschungs-Projektes LIBRAT [73] mit Recycling-Betrieben zeigte sich, dass beim Chemie-Typ vor allem die Art des Kathodenmaterials anzugeben wäre, da Batteriehersteller ihren Produktionsverfahren ein Problem mit dem "Mischen" von unterschiedlichen Kathodenmaterial haben. Beispielhaft wären folgende Angaben nötig:

- LCO - Lithium Kobalt Oxid
- LFP - Lithium Eisen Phosphat
- LMO - Lithium Mangan Oxid
- NCA - Lithium Nickel Kobalt Aluminium Oxid
- NMC - Lithium Nickel Mangan Kobalt Oxid
- etc.

Vor allem LFP Batterien sind bei vielen Verfahren störend. Neben dieser Klassifizierung gibt es noch Unterschiede in der Stöchiometrie und im Mischungsverhältnis. Der Anteil an monetär wertvollen Stoffen (z.B. Kobalt) ist je nach Typ unterschiedlich. Einige Recyclingbetriebe unterscheiden daher bei den End-of-Life LIB zwischen „high grade“ und „low grade“, hoher bzw. geringer Anteil an wertvollen Metallen.

Derzeit behelfen sich Recyclingbetriebe indem sie selbst interne Datenbanken mit Identifikationshilfen und Demontagehinweisen erstellen. Eine Branchenlösung für den Wissenstransfer über die Batteriezusammensetzung und notwendige einheitliche Demontageanleitungen existiert nicht. [74]

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für den Informationsaustausch bzw. den von den Verwertern benötigten Informationen folgende Schluss: Die Einführung eines elektronischen Informationsaustauschsystems ist essenziell für die richtige Behandlung der Traktionsbatterie. Verwerter müssen Zugang zum Wissen bezüglich des Chemismus (z.B. in Form einer Inhaltsstoffe-Angabe) und Batterie-Typ erhalten. Auch wäre eine Art Kennzeichnung an der Batterie (Strichcode udg.) mit einer Kurzinformation eine wichtige Stütze für Verwerter.

Der Gesetzgeber soll die verpflichtende Einführung des Batterie-Passes weiter vorantreiben.

11.5. Second Life für Batteriesysteme

Traktionsbatterien, die das Ende ihrer Lebensdauer in Fahrzeugen erreicht haben, können für den stationären Gebrauch umgerüstet werden. In Forschungsprojekten wie u.a. SafeLiBatt [85] wird der Frage der Nachnutzung von Batteriezellen und -modulen nachgegangen. Zudem werden auch in Pilotanlagen gebrauchte Lithium-Ionen-Batterien aus mobilen Anwendungen (Traktionsbatterien) in stationären Energiespeichern getestet.

Allgemein wird ein großes Potential in der Nachnutzung von EoL-Batterien gesehen, jedoch gibt es auch immer wieder Bedenken in die Richtung Sicherheit und Haftung. Second Life Anwendungen benötigen neben dem Wissen über die chemische Zusammensetzung, den SoH der Batterie, die Ladezyklen, etc. auch eine Kennzeichnung der Traktionsbatterie, falls diese in einem Unfallgeschehen verwickelt war oder Manipulationen an dieser durchgeführt wurden. Grundsätzlich wird es bei allen Traktionsbatterien, insbesondere aber bei verunfallten, notwendig sein, die „Gesundheit“ des

Batteriesystems (SoH) zu überprüfen. Forschungsprojekte wie SafeLIB [86] beschäftigen sich mit der zerstörungsfreien Messung des „State of Safety¹⁵“ (SoS). Die zerstörungsfreie Messung des SoH von intakten Traktionsbatterien ist schon bekannt (u.a. [87]), bis jetzt, so die Expert:innen, gibt es aber noch kein marktfähiges Diagnosegerät, welches die gewünschten Parameter eines nicht unter Spannung stehenden Batteriesystems messen könnte. Im Forschungsbereich werden aber in ganz Europa bereits solche „Messgeräte“ entwickelt, bzw. eingesetzt. Ein Vermerk mit Unfall (eventuell auch mit Unfallschwere) im elektronischen Informationssystem (wie im Vorschlag zur EU-Batterieverordnung neu der Batterie-Pass) ist sicher ein wichtiger Baustein für den sicheren Umgang mit der Traktionsbatterie im Second Life.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für Second Life Anwendungen von verunfallten Traktionsbatterien folgender Schluss: Neben dem im Batterie-Pass wichtigen Informationspunkten über Chemismus und Batterie-Typ ist auch ein Vermerk „Unfall“ von Expert:innen als sehr wichtig erachtet. Ladezyklen, durchgeführte Manipulationen und das Wissen um den SoH (State of Health) ist ausschlaggebend für ein Second Life. Aus diesem Grund sollten auch die Forschungsaktivitäten im Hinblick auf eine Diagnosemethode zum Zustand des Batteriesystems zentralisiert und vernetzt werden. Soll in Zukunft die Nachnutzung von Traktionsbatterien verstärkt in Richtung Second Life Anwendung gehen, könnte eine Prüfung der Möglichkeit und Sinnhaftigkeit bezüglich einer regelmäßigen Überprüfung der Batterie im Fahrzeug (im Rahmen der jährlichen §57A Pickerl Überprüfung) angedacht werden. Falls sich dies als sinnvoll herausstellt, ist eine geeignete Prüfmethode zu entwerfen.

Neben den vorgeschlagenen Informationen im Batterie-Pass sind auch Chemismus, Ladezyklen und ein Vermerk „Unfall“ aufzunehmen.

Die Sinnhaftigkeit einer regelmäßigen Überprüfung der Batterie im Fahrzeug (im Rahmen der jährlichen §57a Überprüfung) sollte eingehend geprüft werden.

11.6. Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

Wie schon zu Beginn dieses Kapitels aufgezeigt wurde, sollen ein Mindesteinsatz von rezyklierten Materialien sowie eine für Lithiumbatterien spezifische Recyclingeffizienz zukünftig europaweit geschaffen werden. Dazu ist es aber notwendig, bereits bei der Entwicklung der Batterien die Rückgewinnung der verwendeten Materialien mitzudenken. Gemäß den Rückmeldungen der Stakeholder aus den Workshops sind möglichst hohe Quoten anzustreben, zudem sollten für möglichst viele Komponenten, Quoten für die Recyclingeffizienz und stofflichen Verwertung gefordert werden.

Werden Expert:innen aus dem Bereich Recycling befragt, hat die Entwicklung für LIB-Recycling gerade erst begonnen. An alternativen Methoden oder Verbesserungen von bestehenden Prozessen wird gearbeitet, Kombinationen von Vor- und Nachbehandlungsschritten werden abgestimmt und laufend angepasst. Generell ist es erforderlich Recyclingverfahren für Lithiumbatterien laufend an die

¹⁵ SoS bezeichnet das Gefahrenpotential der Batterie, welche in Fahrzeugen verwendet werden und kann auf verschiedene Weise geschätzt werden, z. B. thermisches Durchgehen, Strom, Spannung, Ladezustand (SoC) und SoH

Veränderungen der Batterieproduktion (zB hinsichtlich der chemischen Inhaltsstoffe) anzupassen. Dies erfordert eine (permanente) Flexibilität der Recyclingverfahren um dadurch maximale Recyclingquoten zu erreichen. Neben all der Forschung im Bereich des Recyclings ist aber auch die erweiterte Herstellerverantwortung wichtig, welche die Recyclingfähigkeit bei Design- und Innovationsprozessen berücksichtigt. Nur so ist die Nutzung von Synergien entlang der Recyclingkette und die zukünftige Versorgung mit Rohstoffen gesichert. [88]

11.6.1. Recyclinganlagen in der EU

Etwas Zeitverzögert zur Markteinführung der Lithium-Ionen-Batterien müssen diese auch entsorgt werden. Dieser Trend ist auch in der starken Zunahme von Recyclinganlagen in Europa bemerkbar. Dabei gibt es verschiedene Ansätze mit unterschiedlichen Recyclingverfahren (vgl. Kapitel 11.6.3). Die Anzahl der Recyclingkapazitäten für Lithium-Ionen-Batterien allein in Europa ist im letzten Jahrzehnt enorm gestiegen. 2013 betrug die Recyclingkapazitäten rund 9.000 Tonnen pro Jahr [89]. Bereits acht Jahre später, im Jahr 2021 können bereits rund 55.000 bis 82.000 Tonnen pro Jahr an EoL-LIB behandelt werden. Die Tendenz ist stark steigend, wie auch in Abbildung 19, wo eine Übersicht der meisten Batterierecyclingbetriebe sowie Rücknahmesysteme für Europa mit bereits bestehenden sowie geplanten Anlagekapazitäten, ersichtlich ist.

Zudem gibt es immer mehr Kooperationen von Recyclingbetrieben mit Batterieproduzenten und OEMs. Redwood Materials haben neben vielen Investoren auch Kooperationen mit zum Beispiel Panasonic und Ford (vgl. [90] [91] [92]). Im EU finanzierten und vom EIT Raw Materials ausgeschriebenen Projekt ReLieVe [93] entstand ein closed-loop Prozess, welcher sich mit der Gewinnung von kritischen Materialien durch Traktionsbatterie-Recycling und deren Einsatz im Batterieherstellung beschäftigt. [94]. Revolt, die Recyclingsparte von Northvolt, will mit Kunden wie VW, BMW, Volvo, etc. die Hälfte des benötigten Rohstoffbedarfs für die eigene Batterieproduktion aus recycelten Batterien abdecken. [95]

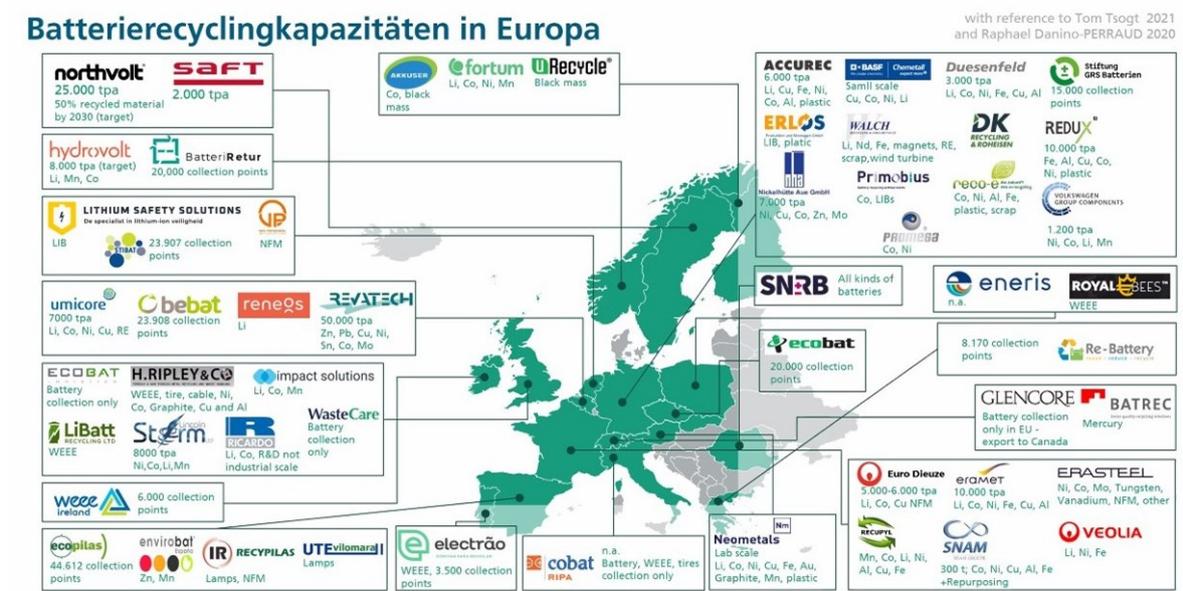


Abbildung 19: Batterierecyclingkapazitäten und Rücknahmesysteme in Europa [96]

- NFM = Non Ferrous Metals (Nichteisenmetalle)
- n.a. = Not available (Nicht verfügbar)
- WEEE = Waste Electrical and Electronic Equipment (Elektro- und Elektronik-Altgeräte)
- LIB = Lithium-Ion Battery (Lithium-Ionen Batterie)
- tpa = tonne/year (Tonne/Jahr)

Noch gibt es in Österreich keine LIB-Recyclingbetriebe, jedoch könnte es für Verwerter mit steigenden Mengen an EoL-LIB durchaus wirtschaftlich interessant werden, zumindest Teilprozesse des Recyclings durchzuführen. Vor allem in Bezug auf die wachsenden Transportkosten, die durch ADR-Vorschriften (Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße) bei der Verbringung ins Ausland entstehen.

Im Zusammenhang mit der Sammlung und dem Recycling von Batterien tauchen immer wieder Medienberichte über Brände von Recyclinganlagen auf. In Deutschland tritt ein Brand pro Woche in Recyclingbetrieben auf, 90 % davon wird als Zündquelle Lithium-Ionen-Batterien zugeschrieben. 48 % der Brände in Abfalllagerungen entstehen im United Kingdom (UK) durch LIB, und in den USA wird eine Recyclinganlage pro Monat aufgrund eines Brandereignisses geschlossen. [97] Das Risiko von Bränden in Recyclinganlagen darf daher nicht unterschätzt werden. Bei diesen Zahlen ist aber zu beachten, dass dies vor allem Fehlwürfe von Gerätebatterien darstellt. Traktionsbatterien werden in der Regel fachgerecht gesammelt und an den Verwerter weitergegeben. Das Risiko eines Brandes kann daher nicht einfach von Abfallbehandlungsanlagen auf Betriebe für Batterierecycling übertragen werden.

11.6.2. Betrieb und Betriebsstätten für Recyclingbetriebe

Wie zuvor angemerkt gibt es zum derzeitigen Stand in Österreich noch keinen LIB-Recyclingbetrieb. Aufgrund der steigenden Mengen an LIB und wachsende Transportkosten für die Verbringung ins Ausland sollte die Möglichkeiten für die Ansiedelung bzw. der Aufbau von entsprechenden Recyclingbetrieben in Österreich geschaffen werden. Voraussetzung dafür ist, dass Demontagearbeiten und Zerlegearbeiten am Batteriesystem ausschließlich fachkundiges bzw. entsprechend unterwiesenes Personal in den dafür geeigneten Bereichen des Betriebes durchführt. Bei Verwertung von Traktionsbatterien sollte jegliches Personal, welches mit diesen in Berührung kommt die vorgesehenen Ausbildungen für HV-Techniker:innen (siehe Tabelle 1 in Kapitel 5.1) absolviert haben. Nur so ist ein sicheres Arbeiten und somit der Erfüllung des ASchG [55] möglich.

Geeignete persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist für das Personal obligatorisch. Die Auswahl muss den aktuell geltenden Bestimmungen des ASchG, der OVE R19 und der jeweiligen Betriebsanleitung entsprechen. Ein Standard bzw. eine Richtlinie über die persönliche Schutzausrüstung für Recyclingbetriebe ist derzeit nicht vorhanden. Idealerweise sollten die erforderlichen Rahmenbedingungen bereits geschaffen werden, bevor ein Betrieb in Österreich seine Tätigkeiten aufnimmt. Dies dient einerseits dem Schutz der Arbeitnehmer:innen, da schon ab Beginn eine sichere Arbeitsumgebung geschaffen werden muss, andererseits kann sich ein potentiell neuer Marktteilnehmer im Voraus über die Anforderungen informieren.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für Recyclingbetriebe folgender Schluss: Die Wichtigkeit der Schulung mit adäquatem Inhalt ist durch das Gefahrenpotential der Demontagetätigkeit bei Batteriesystemen gegeben. Aus diesem Grund ist eine Standardisierung der Ausbildung für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Recyclingbetrieben für den sicheren Umgang mit Batteriesysteme gemäß den Anforderungen aus dem ASchG bzw. der OEV R19 essenziell. Da derzeit keine Richtlinie oder Ähnliches zur benötigten persönlichen Schutzausrüstung vorhanden ist, wäre eine Richtlinie, ein Vorschlag oder eine „best practice“-Beschreibung durch die gesetzlichen Unfallversicherungen wünschenswert. Diese könnte die PSA aus Arbeitsschutzsicht festlegen und die Unternehmen bei der Auswahl dieser unterstützen.

Ein österreichweiter Standard für die Befähigung für HV-Ausbildungen soll gewährleistet werden.

Die gesetzlichen Unfallversicherungen sollten einen Vorschlag für sicheres Arbeiten in Recyclingbetrieben erstellen.

Recyclingbetriebe, welche für die Behandlung von Traktionsbatterien in bestehenden Anlagen eigene Bereiche schaffen bzw. einen neuen Betrieb für das Recycling von Traktionsbatterien aufbauen möchten, müssen ihre zukünftige Betriebsstätte durch Behörden genehmigen lassen. Hierbei sind neben angepassten Schulungs- und Fortbildungsanforderungen für das Personal gegebenenfalls auch bauliche Maßnahmen nötig, da elektrische Gefahren bzw. auch eine erhöhte Brandgefahr durch beschädigte Batterien auftreten. Handlungsanweisungen, Vorgaben oder Standards in Bezug auf den Brandschutz bzw. den elektrischen Schutz sind derzeit nicht ausreichend erarbeitet. Auch Sachverständigenmeinungen divergieren in Bezug auf die nötigen Anforderungen derzeit stark. Ein Anforderungskatalog, eine technische Regel oder ein Leitfaden als Grundlage für Genehmigungsverfahren wäre zielführend.

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für die Genehmigung bzw. die Ausführung der Betriebsstätte für Recycling- und Zerlegebetriebe folgender Schluss: Gegenwärtig sind weder Richtlinien noch Normen vorhanden, die Anhaltspunkte für die Genehmigung von Betriebsstätten geben. Ein definierter Ablauf der Arbeitsschritte inkl. Risikobeurteilung muss erstellt werden, um Betrieben die Möglichkeit zu geben sich über die zu erwartenden Anforderungen informieren zu können. Für Betriebsanlagengenehmigungen ist die Erarbeitung von technischen Regeln und Leitfäden dringend zu empfehlen. Die Anforderungen sollten für Betreiber:innen und Behörden transparent und österreichweit möglichst einheitlich sein.

Ein Anforderungskatalog oder Standard für Betriebsstättengenehmigungen von Recyclingbetrieben für Traktionsbatterien soll österreichweit aufgelegt werden.

11.6.3. Stand der Technik – Recycling

Es gibt eine Vielfalt an unterschiedlichen Zellchemie- und -designvarianten von Lithium-Ionen-Batterien, die ständig weiterentwickelt werden. Nicht bei jeder Recyclingroute kann jede Zellchemie eingebracht werden, auch Vermischungen der unterschiedlichen Zellen kann störend bzw. zu großen Herausforderungen führen. [74] Dementsprechend sehen Verwerter eine eindeutige Kennzeichnung als unumgänglich, um zukünftig geforderte Recyclingquoten erfüllen zu können.

Grundsätzlich muss jede Traktionsbatterie einer Vorbehandlung unterzogen werden. Für die Aufbereitung von LIB ist ein niedriger Ladestand aus sicherheitstechnischen Aspekten für die meisten Recyclingverfahren von Vorteil. [98] [99] Ausnahmen sind Verfahren, wo die gespeicherte Energie der LIB im Prozess verwendet wird, bzw. den Prozess nicht stört. Die Demontage des Batteriesystems von Traktionsbatterien erfolgt auf Modul- oder Zellebene, je nachdem um welchen nachfolgenden

Recyclingprozess es sich handelt. Dabei fallen wertvolle Stoffströme wie Eisen, Kupfer oder Aluminium an.

Nach der Zerlegung auf Modul- oder Zellebene sind zwei weitere Behandlungsschritte möglich, die thermische Behandlung, bei der der Elektrolyt verbrannt wird, oder die mechanische Behandlung, bei welcher durch den Elektrolyt eine stark korrosive und brennbare Atmosphäre entsteht. Hier muss die Anlage vor Korrosion, Inertisierung und geschützt werden.

Bei der mechanischen Behandlung wird der Elektrolyt abgetrennt sowie Kunststoffe, Kupfer, Aluminium und Schwarzmasse gewonnen. Schwarzmasse wird auch als Aktivmaterial bezeichnet und stammt hauptsächlich aus den aktiven Materialien der Anode und Kathode. Darin enthalten sind wertvollen Verbindungen, die reich an Li, Co, Ni, Mn, Graphit, usw. sind. In metallurgischen Prozessen werden daraus Legierungen oder Metallkonzentrate zurückgewonnen. [74]

EoL-Traktionsbatterien können nach der Demontage des Batteriesystems auch direkt in metallurgischen Prozessen der pyrometallurgischen Behandlung zugeführt werden. Dies führt jedoch zu Verlusten diverser Materialien (z.B. Li, Kunststoffe) und zu Qualitätseinbußen der zurückgewonnenen Legierungen. Durch die hohen Temperaturen wird der Elektrolyt verdampft, Kunststoffe und Kohlenstoff (Anodenmaterial) werden verbrannt. Zudem landen einige wertvolle Sekundärrohstoffe in der Schlacke (Li, Al), welche nur mittels großem Aufwand wieder rückgewonnen werden können. Die Gewinnung von Metallkonzentraten aus den Legierungen erfolgt meist durch hydrometallurgische Prozesse. [74]

Je nach Qualität der hergestellten Metallkonzentrate werden diese entweder der Metallindustrie (nicht-funktionelles Recycling¹⁶) oder der Batterieproduktion (funktionelles Recycling¹⁷) zugeführt. [74] Eine Darstellung der bestehenden Recyclingprozesse für EoL-LIB ist in Abbildung 20 ersichtlich.

¹⁶ Als nicht-funktionelles bzw. metallunspezifisches Recycling wird der Teil des EoL-Recyclings bezeichnet, bei dem das Metall zwar als Old Scrap separiert wird, jedoch in einen sehr viel größeren Metallstrom als Verunreinigung eingebunden ist. Das verhindert zwar die Dissipation in die Umwelt, stellt jedoch einen Verlust der spezifischen Eigenschaften des Metalls dar. [72]

¹⁷ Funktionelles bzw. metallspezifisches Recycling ist der Teil des EoL-Recyclings, indem die Metalle oder Legierungen aus den ausrangierten Produkten soweit separiert werden, dass wieder neue Metalle bzw. Legierungen in der Rohstoffproduktionsphase hergestellt werden können. Dabei wird nicht zwingend aus einer Legierung wieder dieselbe hergestellt. [72]

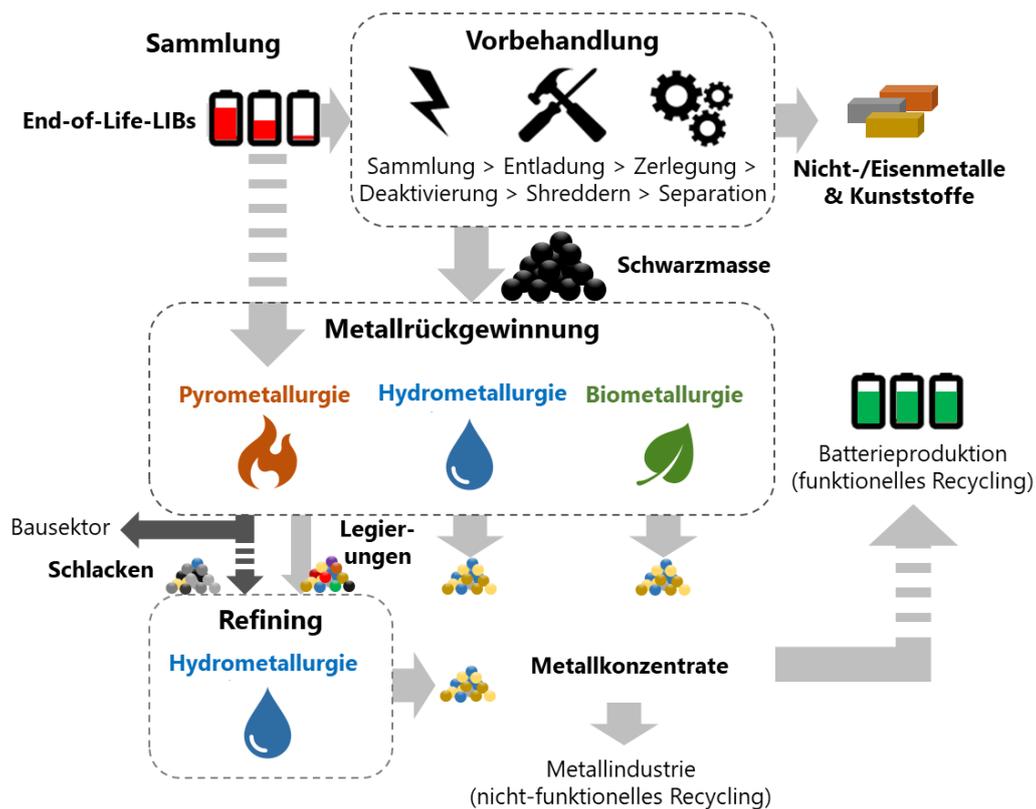


Abbildung 20: Darstellung bestehender Recyclingprozesse für EoL-LIB (modifiziert nach [100]). Die durchgehenden Pfeile stellen die großindustrielle Umsetzung dar, wohingegen die gestrichelten Pfeile Pilotversuche darstellen (Stand Mai 2021) (entnommen aus [74])

Aus den oben beschriebenen Punkten ergibt sich für das Recycling von en Traktionsbatterien aus verunfallten Elektrofahrzeugen folgender Schluss: Ein Unterschied in der Sicherheit von Recyclingverfahren die Batterien aus verunfallten und nicht-verunfallten Elektrofahrzeugen behandeln ist nicht gegeben. Um Recyclingverfahren für alle Batterien effizient gestalten zu können, ist das Wissen um den Batterietyp und den Zellchemismus ausschlaggebend. Das Wissen um den Chemismus der Batterie ist Voraussetzung für ein sachgemäßes Recycling bzw. Entsorgung. Aus diesem Grund ist eine gesetzliche Verpflichtung für Batteriehersteller zur Angabe einer Mindestinformation bezüglich des Chemismus notwendig. Damit das Personal von Recyclinganlagen sicher – vor allem im Bereich der Vorbehandlung – arbeiten kann, sind Ausbildungen im Bereich Hochvolttechnik notwendig. Diese werden derzeit schon bei ausgewählten Anlagenpersonalgruppen durchgeführt. Auch hier kann angemerkt werden, dass Standardisierungen von Hochvolt-Ausbildungen wichtig sind, um ein einheitliches sicheres Wissensniveau zu schaffen.

Die Voraussetzung für ein sachgemäßes Recycling ist das Kennen des Chemismus der entsorgten Batterie, dieser sollte soweit als dies für ein sachgemäßes Recycling notwendig ist, bekannt gemacht werden.

Ein weiterer Schritt bei der Sicherheit in Recyclingbetrieben ist die Entwicklung in Richtung Robotik. Durchgeführte Studien und Forschungsexperimente im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion und partieller Zerlegung von ESS abgestimmt auf spezielle Fahrzeugtypen sind bekannt (vgl. hierzu [101])

[102]), die industrielle Anwendung robotergestützte Zerlegung bei der Demontage von Batteriesystemen aber noch nicht. [74]

Literaturverzeichnis

- [1] Alarmeringen, „Aantal autobranden daalt voor het eerst in jaren in 2021. (Zahl der Autobrände geht 2021 erstmals seit Jahren zurück),“ Alarmeringen.nl, 03 01 2022. [Online]. Available: https://alarmeringen.nl/data/autobranden/?utm_source%3Dwhatsapp%2526utm_medium%3Dsocialbuttons-top%2526utm_campaign%3Dsharing. [Zugriff am 01 06 2022].
- [2] M. Corneille, *Werkstatt- und Depotertüchtigung aus Sicht des Brandschutzes. Batterie und Brennstoffzelle*, Göttingen, 26.04.2022.
- [3] GDV - Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., „E-Autos in Tiefgaragen: Keine erhöhte Brandgefahr feststellbar,“ [Online]. Available: <https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/e-autos-in-tiefgaragen-keine-erhoehte-brandgefahr-feststellbar-66230>. [Zugriff am 05 07 2022].
- [4] T. Hessels, V. Oosterveen, M. Huisman, J. Klooster, F. van der Ploeg und B. Kuiper, „Incidenten met alternatief aangedreven voertuigen - Jaarrapportage 2021,“ Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), Arnhem, 2022.
- [5] Kraftfahrt-Bundesamt, „Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken,“ Kraftfahrt-Bundesamt, 2022. [Online]. Available: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Motorisierung/motorisierung_node.html;jsessionid=587F5EA31421B69E12DAC79B290F1844.live11314. [Zugriff am 01 06 2022].
- [6] V. Linja-aho, „Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2019. Fires in Vehicles (FIVE) -conference,“ RISE, [Online]. Available: <https://www.ri.se/sites/default/files/2020-12/linja-aho-paper-FIVE%20Hybrid%20and%20Electric%20Vehicle%20Fires%20in%20Finland%202015%E2%80%932019.pdf>. [Zugriff am 01 06 2022].
- [7] Netherlands Enterprise Agency, „Electric Vehicles Statistics in the Netherlands,“ 04 01 2021. [Online]. Available: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022/01/Statistics%20Electric%20Vehicles%20and%20Charging%20in%20The%20Netherlands%20up%20to%20and%20including%20December%202021.pdf>. [Zugriff am 07 10 2022].
- [8] C. Siemens, Interviewee, *Brände (inkl. Kurzschlusschäden) kaskoversicherter Pkw in Deutschland*. [Interview]. 01 06 2022.
- [9] Statistik Austria, „Kfz-Bestand,“ [Online]. Available: <https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand>. [Zugriff am 04 07 2022].
- [10] StatLine, „Motorvoertuigen; vanaf 1927,“ 2021. [Online]. Available: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82472NED/table?ts=1650975212567>. [Zugriff am 04 07 2022].
- [11] Tilastokeskuksen, „Number of vehicles registered by Year, Vehicle class and Information,“ 2022. [Online]. Available: https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin__lii__mkan/statfin_mkan_pxt_11ib.px/. [Zugriff am 01 06 2022].
- [12] Verbond van Verzekeraars, „Aantal autobranden blijft stijgen,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.verzekeraars.nl/publicaties/actueel/aantal-autobranden-blijft-stijgen>. [Zugriff am 01 06 2022].
- [13] J. Winter, *Was tun, wenn ein Elektroauto brennt?*, KfV - Kuratorium für Verkehrssicherheit, 2022.
- [14] E. Sutcliffe, „EV FireSafe,“ 7 2022. [Online]. Available: <https://www.evfiresafe.com/>. [Zugriff am 23 7 2022].
- [15] H. Springer, *Leitfaden - Einsätze an Fahrzeugen unter Beteiligung von Lithium-Ionen-Akkus*, Linz: Öö Landesfeuerwehrverband, 2020.
- [16] D. G. U. e. (DGUV), *Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden*, Berlin, 2020.
- [17] R. Bisschop, O. Willstrand, F. Amon und M. Rosengren, *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*, RISE Research Institutes of Sweden, 2019.

- [18] R. Bisschop, O. Willstrand und M. Rosengren, „Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events,“ *Fire Technology*, Bd. 9, Nr. pp. 2671-2694, 2020.
- [19] P. Sturm, P. Fößleitner, D. Fruhwirt, S. Heindl, B. Kohl, O. Heger, R. Galler, R. Wenighofer und S. Krausbar, „BRAFA - Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen,“ Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Wien, 2021.
- [20] H. Wingfors, R. Magnusson, L. Thors und M. Thunell, *Gaseous HF in case of fire in confined spaces - risks of skin uptake during operations*, The Swedish Defense Research Agency, 2021.
- [21] O. Willstrand, R. Bisschop, P. Blomqvist, A. Temple und J. Anderson, *Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles*, Boras: RISE Research Institute of Sweden, 2020.
- [22] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, „Heft 122 - Der Feuerwehreinsatz,“ [Online]. Available: <https://heft122.feuerwehr.gv.at..> [Zugriff am 9 12 2020].
- [23] LiBa Protect Forum der Schweiz, „LiBa Protect Forum,“ smartREC GmbH, [Online]. Available: <https://libaprotect.ch/liba-losungen/>. [Zugriff am 2022].
- [24] A. Stanzel, „Brände von E-PKW in Garagen - Vergleichende Analysen in Bezug auf das Gefährdungspotential für die Feuerwehren bei der Brandbekämpfung,“ Donau-Universität Krems, Krems, 2020.
- [25] J. Gehandler, P. Karlsson und L. Vylund, „Risk associated with alternative fuels in road tunnels and underground garages,“ Technical Research Institute of Sweden, Boras, 2017.
- [26] A. Brandt und K. Glansberg, „Charging of electric cars in parking garages,“ RISE Research Institutes of Sweden, Trondheim, 2020.
- [27] D. Thouroude, E. Guillaume, D. Joyeux und O. Lecoq-Jammes, „Statistical Analysis, a Need to Reach an Optimised Risk Management in Car Parks,“ in *4th International Conference on Fires in Vehicles - FIVE*, Baltimore, 2016.
- [28] Department for Communities and Local Government, „Fire spread in car parks BD2552,“ DCLG Publications, London, 2010.
- [29] Tamedia Basler Zeitung AG, „Zwei Schuldsprüche im Fall Gretzenbach,“ 04 12 2010. [Online]. Available: <https://www.bazonline.ch/zwei-schuldsprueche-im-fall-gretzenbach-496693627363>. [Zugriff am 08 10 2022].
- [30] L. Mellert, U. Welte, M. Tuchs Schmid, M. Held, M. Hermann, M. Kompatscher, M. Tesson und L. Nacheff, „Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen,“ Schweizer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2020.
- [31] DKE - Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik, „Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität,“ Frankfurt am Main, 2021.
- [32] Österreichisches Institut für Bautechnik, „OIB Richtlinie 2.2 Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks,“ April 2019.
- [33] University of Ulster, „HyTunnel,“ [Online]. Available: <https://hytunnel.net/>. [Zugriff am 07 10 2022].
- [34] Institut für Sicherheitstechnik / Schiffsicherheit, „Vergleich von Fahrzeuggewichten unter Berücksichtigung alternativer Antriebsarten - Projekt ALBERO,“ 2020.
- [35] Austriatech, „Austriatech,“ 18 03 2018. [Online]. Available: <https://www.austriatech.at/de/fragen-und-antworten-zum-fahrzeugnotrufdienst-ecall/>. [Zugriff am 25 02 2022].
- [36] PCWelt, „PCWelt,“ [Online]. Available: <https://www.pcwelt.de/news/eCall-Notruf-Wiso-ADAC-kritisieren-Audi-BMW-Daimler-VW-VW-Bus-ist-nicht-betroffen-10929277.html..> [Zugriff am 25 02 2022].
- [37] ZDF, „ZDF WISO,“ [Online]. Available: <https://www.zdf.de/verbraucher/wiso/ecall-notrufsystem-100.html..> [Zugriff am 25 02 2022].

- [38] Europäisches Parlament, „Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für“, 05 09 2007. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32007L0046>.
- [39] Europäisches Parlament, „VERORDNUNG (EU) 2015/758 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2015 über Anforderungen für die Typgenehmigung zur Einführung des auf dem 112-Notruf basierenden bordeigenen eCall-Systems in Fahrzeugen“, 29 04 2015. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0758&from=EN>.
- [40] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Wo liegen die Unterschiede zwischen eCall und privaten TPS-eCall Diensten?“, [Online]. Available: <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehr/strasse/verkehrssicherheit/unfaelle/ecall/unterschiede.html>. [Zugriff am 25 02 2022].
- [41] Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, „37. Bundesgesetz, mit dem das Kraftfahrzeuggesetz 1967 geändert wird (38. KFG-Novelle)“, 05 05 2020. [Online]. Available: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2020_I_37/BGBLA_2020_I_37.html.
- [42] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, „Technische Fahrzeugdaten per Kennzeichenabfrage“, [Online]. Available: <https://www.bundesfeuerwehrverband.at/2020/11/13/technische-fahrzeugdaten-per-kennzeichenabfrage/>. [Zugriff am 14 10 2022].
- [43] Moditech Rescue Solutions B.V., „Moditech Rescue Solutions“, [Online]. Available: <https://www.moditech.com/de/>. [Zugriff am 10 2022].
- [44] DAT Austria GmbH, „SilverDAT® 3“, [Online]. Available: <https://www.datgroup.com/de-at/produkte/silverdat-3/>. [Zugriff am 10 2022].
- [45] European Standards, „ISO 17840 Road vehicles - Information for first responders“, [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/search/?q=ISO+17840>. [Zugriff am 10 2022].
- [46] European Standards, „ISO 17840-4: Road vehicles — Information for first and second responders — Part 4: Propulsion energy identification“, [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/iso-17840-4-road-vehicles-information-for-first-and-second-responders-part-4-propulsion-energy-identification/>. [Zugriff am 10 2022].
- [47] United Nations; „Global Technical Regulation on the Electric Vehicle Safety (EVS)“, Genf, 2004.
- [48] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People’s Republic of, *GB 38031-2020: Electric Vehicles Traction Battery Safety requirements*, China, 2020.
- [49] O. Wilstrand, „To manage fire risks related to Li-ion batteries in vehicles“, RISE Research Institutes of Sweden, 2017.
- [50] Murer Feuerschutz, „Murer Feuerschutz“, [Online]. Available: <https://www.murer-feuerschutz.de/e-loeschlanze/>. [Zugriff am 30 09 2022].
- [51] University of Ulster, „Hy Responder - Europäisches Train the Trainer Programm für Responder“, University of Ulster, Irland, 2021.
- [52] M. Dadashzadeh, S. Kashkarov, D. Makarov und V. Molkov, „Risk assessment methodology for onboard hydrogen storage“, *International Journal of Hydrogen Energy*, Bd. 43, Nr. 12, pp. 6462-6475, 22 05 2018.
- [53] W. Gisler, R. Stettler und U. Bucheli, „Leitfaden für das Bergen, Transportieren, Verwahren und Entsorgen von Fahrzeugen mit Elektroantrieb“, ASS Auto-Strassenhilfen Schweiz, 2021.
- [54] ÖVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik und ON Österreichisches Normungsinstitut, *ÖVE/ÖNORM EN 50110-1. Betrieb von elektrischen Anlagen*, 01.09.2008.
- [55] *Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz –ASchG)*. BGBl. Nr. 450/1994, Wien, 1994.

- [56] Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Als Ladung beförderte (verunfallte) Fahrzeuge mit alternativem Antrieb auf dem Verkehrsträger Straße,“ BMK, Wien, 2020.
- [57] T1 ABW Abschleppdienst GmbH, „EASTRACT – ferngesteuertes Raupenfahrzeug,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.autotransport.at/eastract>. [Zugriff am 13 08 2022].
- [58] F. Vonarburg, „Raupenfahrzeug muss defektes Auto aus dem Parkhaus bergen,“ St.Galler Tagblatt , [Online]. Available: <https://www.tagblatt.ch/aargau/freiamt/raupenfahrzeug-muss-defektes-auto-aus-dem-parkhaus-bergen-ld.1737540>. [Zugriff am 13 08 2022].
- [59] PAUK Abschleppdienst GmbH, „Abschleppfahrzeuge Autotransporte Abschleppdienst Wien PAUK,“ [Online]. Available: <https://www.pauk.at/fuhrpark/>. [Zugriff am 13 08 2022].
- [60] J.-E. Hegemann, „Parkhaus-Löschfahrzeug für Flughafenfeuerwehr Hannover,“ Feuerwehr-Magazin, [Online]. Available: <https://www.feuerwehrmagazin.de/nachrichten/news/parkhaus-loeschfahrzeug-fuer-flughafenfeuerwehr-hannover-116251>. [Zugriff am 13 08 2022].
- [61] S. Schuster, „Bis zu 7 Tage Brandgefahr,“ Krafthand Medien GmbH, 12 04 2022. [Online]. Available: <https://www.krafthand.de/artikel/bis-zu-7-tage-brandgefahr-65385/>. [Zugriff am 14 06 2022].
- [62] BVS - Brandverhütungsstelle für Oö. reg. Genossenschaft m.b.H., „Brandschutzmaßnahmen im Umgang mit Lithium-Ionen-Akkus (MVB-035-2021-05),“ Brandverhütungsstelle Oberösterreich, Linz, 2021.
- [63] VDA - Verband der Automobilindustrie, „Technische Quarantäneflächen für beschädigte Fahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterien,“ VDA, 2022.
- [64] Schweizerischen Eidgenossenschaft der Auto-Straßenhilfe Schweiz und LiBaService24 GmbH, „Leitfaden für das Bergen, Transportieren, Verwahren und Entsorgen von Fahrzeugen mit Elektroantrieb“.
- [65] Rat der Europäischen Union, *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 - Allgemeine Ausrichtung, Dossier: 2020/0353(COD)*, Brüssel, 14.3.2022.
- [66] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), *DGUV Information 209-093. Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen*, Berlin: DGUV, 2021.
- [67] IDIS Management c/o tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, „IDIS - The International Dismantling Information System,“ [Online]. Available: <https://www.idis2.com/>. [Zugriff am 04 10 2022].
- [68] SEDA Umwelttechnik GmbH, „SEDA HV Zerlegetisch,“ [Online]. Available: <https://www.seda-international.com/portfolio/seda-hv-zerlegetisch/>. [Zugriff am 04 10 2022].
- [69] Stöbich technology GmbH, „STRAINBOX,“ [Online]. Available: <https://www.stoebich-technology.de/strainbox-xl>. [Zugriff am 04 10 2022].
- [70] SEDA Umwelttechnik GmbH, „SEDA StrainBox,“ [Online]. Available: <https://www.seda-international.com/portfolio/seda-strainbox/>. [Zugriff am 04 10 2022].
- [71] DEKRA e.V., „Serien-Elektrofahrzeuge bestätigen hohes Sicherheitsniveau in DEKRA Crashtests,“ Neumünster, 2019.
- [72] P. Schäfer, *Recycling – ein Mittel zu welchem Zweck? Modellbasierte Ermittlung der energetischen Aufwände des Metallrecyclings für einen empirischen Vergleich mit der Primärgewinnung*, Karlsruhe: Springer Spektrum, 2020.
- [73] FFG Projektdatenbank, „LIBRAT - Developing the Lithium-ion battery value chain for recycling in Austria,“ 2020. [Online]. Available: <https://projekte.ffg.at/projekt/3719255>. [Zugriff am 06 10 2022].
- [74] P. Beigl, S. Scherhauser, F. Part, A. Jandric, S. Salhofer, T. Nigl, M. Altendorfer, B. Rutrecht, R. Pomberger, I. Meyer und M. Sommer, „Entwicklung einer Wertschöpfungskette für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in Österreich,“ Wien, 2021.

- [75] „Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung) StF: BGBl. II Nr. 407/2002,“ [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002302>.
- [76] „Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altbatterien und -akkumulatoren (Batterienverordnung) StF: BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. II Nr. 311/2021,“ [Online].
- [77] Bundesministerium für Finanzen, „Unternehmensservice Portal,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.usp.gv.at/umwelt-verkehr/abfallarten/altfahrzeuge/altfahrzeuge-meldung.html#:~:text=Die%20Altfahrzeugeverordnung%20sieht%20vor%2C%20dass,Abf%C3%A4lle%20elektronisch%20%C3%BCbermittelt%20werden%20m%C3%BCssen..>
- [78] Umweltbundesamt, „EDM-Portal,“ [Online]. Available: https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/home.do.
- [79] U. E. M. I. u. T. Bundesministerium für Klimaschutz, „BMK,“ [Online]. Available: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/recht/vo/altfahrzeuge.html.
- [80] „Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung 2020),“ [Online]. Available: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2020_II_409/BGBLA_2020_II_409.pdfsig.
- [81] Umweltbundesamt, „Gesamtliste - 9886: Abfallarten gemäß Österreichischer Abfallverzeichnisverordnung und ÖNORM S2100,“ [Online]. Available: https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/redaList.do?d=49520-s=5&seqCode=4mi276gyj96b4v&d=49520-p=1&event=defaultOrder&d=49520-o=1&entireLsq=true. [Zugriff am 10 2022].
- [82] Europäisches Parlament, „RICHTLINIE 2006/66/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG,“ 06 09 2006. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006L0066:20060926:DE:PDF#:~:text=Damit%20die%20in%20dieser%20Richtlinie,Quecksilber%20oder%20Cadmium%20enthalten%2C%20verboten.>
- [83] MUT Entsorgungsdienst GmbH und SEDA-Umwelttechnik GmbH, „BAT MOBIL,“ [Online]. Available: <http://www.bat-mobil.at/>. [Zugriff am 10 2022].
- [84] Saubermacher Dienstleistungs AG, „E-Auto-Batterie-Recycling,“ [Online]. Available: <https://saubermacher.at/leistung/e-auto-batterie-recycling/>. [Zugriff am 10 2022].
- [85] FFG Projektdatenbank, „SafeliBatt - Safety and risk assessment of 1st and 2nd life lithium-ion batteries,“ [Online]. Available: <https://projekte.ffg.at/projekt/3845777>. [Zugriff am 10 2022].
- [86] Technische Universität Graz, „SafeliB - Safety Aspects of Lithium-Based Traction Batteries including the Qualification for Second Life Applications,“ [Online]. Available: <https://www.tugraz.at/projekte/safelib/projekte/>. [Zugriff am 10 2022].
- [87] AVILOO GmbH, „AVILOO Battery Diagnostics,“ [Online]. Available: <https://aviloo.com/batterietest.html>. [Zugriff am 10 2022].
- [88] A. Arnberger, E. Coskun und B. Rutrecht, „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien,“ in *Recycling und Rohstoffe*, Berlin, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2018.
- [89] R. Weyhe, „Recycling von Lithium-Ion-Batterien,“ in *Recycling und Rohstoffe - Band 6*, Berlin, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, pp. 505-525.
- [90] M. Jendrischik, „Straubel-Startup Redwood Materials beschleunigt Batterie-Recycling mit weiteren 700 Millionen US-Dollar,“ *Cleanthinking.de*, 30 07 2021. [Online]. Available: <https://www.cleanthinking.de/straubel-startup-redwood-materials-beschleunigt-batterie-recycling-mit-weiteren-700-millionen-us-dollar/>. [Zugriff am 06 10 2022].

- [91] „REDWOOD Materials,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.redwoodmaterials.com/about>. [Zugriff am 06 10 2022].
- [92] RABBIT PUBLISHING GmbH, „electrive.net - Branchendienst für Elektromobilität,“ [Online]. Available: <https://www.electrive.net/>. [Zugriff am 10 2022].
- [93] „ReLieVe: Recycling Li-ion batteries for electric Vehicles,“ EIT RawMaterials, 01 01 2020. [Online]. Available: <https://eitrawmaterials.eu/project/relieve/>. [Zugriff am 06 10 2022].
- [94] ERAMET, „Lithium-ion battery recycling: The ReLieVe project confirms the success of the technology developed by Eramet,“ 18 01 2022. [Online]. Available: <https://www.eramet.com/en/lithium-ion-battery-recycling-relieve-project-confirms-success-technology-developed-eramet>. [Zugriff am 17 03 2022].
- [95] K. Decken, „Northvolt: Erste vollständig recycelte Batterie,“ Energyload, 13 12 2021. [Online]. Available: <https://energyload.eu/stromspeicher/northvolt-revolt/>. [Zugriff am 17 03 2022].
- [96] M. Fichtner, 11 06 2022. [Online]. Available: <https://twitter.com/MaxFichtner/status/1535642717413335040>. [Zugriff am 26 07 2022].
- [97] P. A. Christensen, P. A. Anderson, G. D. Harper, S. M. Lambert, W. Mrozik, M. A. Rajaeifar, M. S. Wise und O. Heidrich, „Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 148, p. 111240, 2021.
- [98] A. W. Golubkov, S. Scheickl, R. Planteu, G. Voitic, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, A. Thaler und V. Hacker, „Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes – impact of state of charge and overcharge,“ *RSC Advances*, pp. Issue 70, 57171-57786, 2015.
- [99] C. Lee, A. O. Said und S. I. Stolarov, „Impact of State of Charge and Cell Arrangement on Thermal Runaway Propagation in Lithium Ion Battery Cell Arrays,“ *Transportation Research Record*, pp. 408-417, 2015.
- [100] S. Windisch-Kern, E. Gerold, T. Nigl, A. Jandric, M. Altendorfer, B. Rutrecht, S. Scherhauser, H. Raupenstrauch, R. Pomberger, H. Antrekowitsch und F. Part, „Recycling chains for lithium-ion batteries: A critical examination of current challenges, opportunities and process dependencies,“ *Waste Management*, Bd. 138, pp. 125-139, 2022.
- [101] M. Singh und R. K. Janardhan, „Cloud based disassembly of electric vehicle battery,“ *Procedia Manufacturing*, Bd. 30, pp. 136-142, 2019.
- [102] H. Poschmann, H. Brüggemann und D. Goldmann, „Robotergestützte Demontage als Treiber der Digitalisierung im Recycling der Zukunft,“ in *Recycling und Rohstoffe*, Neuruppin, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2020.
- [103] Hyundai Motor Deutschland GmbH, „Der neue Hyundai ix35 Fuel Cell,“ [Online]. Available: <https://www.hyundai.de/hyundai.de/files/1d/1dec39a4-b8e9-4c30-9849-b8a9d5bbda14.pdf>. [Zugriff am 18 02 2022].
- [104] AVL List GmbH, „AVL,“ [Online]. Available: <https://www.avl.com/stingray-one>.
- [105] University of Ulster, „Europäisches Train the Trainer-Programm für Responder Lecture 4 Kompatibilität von Wasserstoff mit verschiedenen Materialien,“ University of Ulster, Irland, 2021.
- [106] „E-MOBILITY-GLOSSAR,“ MOTEG GmbH , [Online]. Available: <https://www.moteg.de/e-mobility-glossar/state-of-health/>. [Zugriff am 10 2022].
- [107] R. Bondine und R. Brennan, „AutoinsuranceEZ,“ 2021.
- [108] Wikimedia Foundation Inc., „Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>. [Zugriff am 10 12 2021].
- [109] FCIO - Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs , „TUIS - Transport - Unfall - Informations- und Hilfeleistungssystem der österreichischen chemischen Industrie,“ FCIO, [Online]. Available: <https://www.tuis.at/>. [Zugriff am 16 08 2022].

- [110] Österreichischen Bundesfeuerwehrverband und Brandverhütungsstellen, „Technischen Richtlinien Vorbeugender Brandschutz - TRVB,“ [Online]. Available: <https://www.bundesfeuerwehrverband.at/webshop-oeffv/trvb-uebersicht/>.
- [111] OIB - Österreichisches Institut für Bautechnik, „OIB-Richtlinien,“ [Online]. Available: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien>.
- [112] S. Leichsenring, „INSIDEEVs,“ 23 Oktober 2021. [Online]. Available: <https://insideevs.de/news/542365/stromschlagrisiko-aufladen-elektroauto-notladekabel-nextmove/>. [Zugriff am 2 Jänner 2022].
- [113] R. Goertz, „Gefahren durch sekundäre Lithium-Ionen-Batterien im Feuerwehreinsatz,“ Bergische Universität Wuppertal, 1999.
- [114] Fognail, „FOGNAIL,“ [Online]. Available: <https://www.fognail.de/>. [Zugriff am 30 09 2022].
- [115] R. Zalosh, „Blast waves and fireballs generated by hydrogen fuel tank rupture during fire exposure,“ in *5th Seminar on Fire and Explosion Hazard*, Edinburgh, UK, 2007.
- [116] N. Weyandt, „Vehicle bonfire to induce catastrophic failure of a 5000-psig hydrogen cylinder installed on a typical SUV,“ Motor Vehicle Fire Research Institute, Charlottesville, Virginia, USA, 2006.
- [117] C. M. Schmidt, „Herkunft des Worts Quarantäne: Aus einem französischen Hafen,“ STANDARD Verlagsgesellschaft m.b.H., 27 07 2022. [Online]. Available: <https://www.derstandard.at/story/2000137792460/wortherkunft-der-quarantaene-aus-einem-franzoesischen-hafen>. [Zugriff am 14 09 2022].
- [118] S. Schaal, „Redwood Materials will Aktivitäten über Recycling hinaus erweitern,“ *electrive.net*, 15 09 2021. [Online]. Available: <https://www.electrive.net/2021/09/15/redwood-materials-will-aktivitaeten-ueber-recycling-hinaus-erweitern/>. [Zugriff am 06 10 2022].
- [119] V. Ruiz und A. Pfrang, „JRC Technical Report. JRC exploratory research: Safer Li-ion batteries by preventing thermal propagation. Workshop report: summary & outcomes,“ European Commission, Petten, Netherlands, 2018.
- [120] Institut für Sicherheitstechnik/Schiffstechnik e.V., „Albero Projekt,“ [Online]. Available: https://alberoprojekt.de/index_htm_files/WP%204.5%20Analysis%20of%20suitable%20extinguishing%20agents%20and%20extinguishing%20systems%20for%20fighting%20electric%20car%20fires.pdf. [Zugriff am 25 02 2022].
- [121] v. Autoren, „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden,“ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin, 2020.
- [122] Helmholtz Zentrum Berlin, „Lithium-Dendriten auf der Spur: Wie zerstörerische Strukturen in Batterien wachsen,“ 01 09 2021. [Online]. Available: https://www.helmholtz-berlin.de/pubbin/news_seite?nid=23163&sprache=de&seitenid=74699. [Zugriff am 19 10 2022].
- [123] P. Keil, „Aging of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles. Dissertation an der Technische Universität München,“ Technische Universität München, München, 2017.
- [124] Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien e. V. (KLiB), „Batterieforum Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/entladetiefe/>. [Zugriff am 12 10 2022].
- [125] F. Zink, „Thermal Runaway und thermische Propagation,“ *Krafthand Median GmbH*, 01 10 2022. [Online]. Available: <https://www.krafthand.de/artikel/thermal-runaway-und-thermische-propagation-69479/>. [Zugriff am 12 10 2022].
- [126] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Darum geht's beim Batteriepass für Elektroautos,“ 25 04 2022. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/Batteriezellfertigung/batteriepass.html>. [Zugriff am 12 10 2022].
- [127] S. Maharshi und J. K. Reddy, „Cloud based disassembly of electric vehicle battery,“ *Procedia Manufacturing*, pp. 136-142, 2019.

Anhang A – Musterblatt OVE R19

OVE-Richtlinie R 19:2021-06-01

Anhang F Musterformblatt – Spannungsfreischaltungs- und Übergabeprotokoll (informativ)

Im Zuge der Abschleppung wurde an folgendem Fahrzeug

Marke:	Type:
Kennzeichen:	FIN:
Zulassungsbesitzer:	

- eine Spannungsfreischaltung durchgeführt
- keine** Spannungsfreischaltung durchgeführt
- Die Wirksamkeit der Spannungsfreischaltung wurde durch eine Spannungsmessung bestätigt.

Für die durchgeführten Arbeiten verantwortlich:

Vorname: _____ Nachname: _____

Datum: _____ Unterschrift: _____

ÜBERGABE

Übernahmebetrieb:
Adresse:
Ansprechperson:

Der übernehmende Betrieb bestätigt die ordnungsgemäße Übernahme, des oben angeführten Fahrzeugs, sowie den Erhalt des Wartungssteckers (Service-Plug).

Zusätzlich wird durch die Übernahme folgendes bestätigt:

- Der Übernehmer verpflichtet sich zur ordnungsgemäßen Verwahrung (gemäß Herstellervorgabe).
- Der Übernehmer verpflichtet sich, das Fahrzeug zu kennzeichnen (gemäß Herstellervorgabe).
- Der Übernehmer verpflichtet sich, das Fahrzeug gegebenenfalls weiterhin gegen „Wiedereinschalten“ zu sichern.
- Der Übernehmer ist mit den geltenden Sicherheitsvorschriften für das Fahrzeug vertraut.
- Der Übernehmer ist sich bewusst, dass von dem übernommenen Fahrzeug eine potenzielle Brandgefahr ausgeht.

Datum/Uhrzeit: _____ Unterschrift: _____

Anhang B – Übergabeprotokoll des Landesfeuerwehrverbandes OÖ als Beispiel für ein solches

EINSATZ- / ÜBERGABEPROTOKOLL HOCHVOLT-FAHRZEUGE



Fahrzeugmarke / Typ:		Kennzeichen:		
Antriebsart	<input type="radio"/> Hybrid	<input type="radio"/> Plug In Hybrid	<input type="radio"/> Elektro	<input type="radio"/> Sonstige
Situation an der Einsatzstelle				
Verkehrsunfall		Brandsituation		Sonstiges
<input type="radio"/> Leicht <input type="radio"/> Schwer		<input type="radio"/> Fahrzeugbrand <input type="radio"/> Energiespeicher		
Beschädigungen am Fahrzeug			Arbeiten am Hochvolt-System	
			<input type="radio"/> Abgeklemmt	12V Batterie
			<input type="radio"/> Ausgebaut	HV-Batterie Trennschalter
			<input type="radio"/> Getrennt	HV-Trennstelle Sicherung
			<input type="radio"/> Geschnitten	HV-Trennstelle Schneidelösung
			<input type="radio"/> Gezogen	HV-Trennstelle Schneidelösung
			<input type="radio"/> Isolierend geschützt / abgedeckt	Hochvolt-Komponenten / Leitungen
<input type="radio"/> Gekühlt	Hochvolt-Batterie			
<input type="radio"/> Geflutet	Hochvolt-Batterie			
BESONDERE GEFAHREN		INFO / RISIKO		
	Beschädigte / offene Hochvolt-Batterie / Sonstiges			
	Beschädigte / offene Hochvolt-Komponenten / Leitungen			
	Fahrzeug unter Wasser / Sonstiges			
	Auslaufende Betriebsmittel			
	Auslösung Airbag / Sonstiges			

Zeit	Einsatzmaßnahmen

Ansprechpartner Feuerwehr	Fahrzeugübergabe an:
Folgendes wurde ebenfalls übergeben:	
Übergabeort: Datum: Unterschrift:	Übergabeort: Datum: Unterschrift:
Unterschrift Fahrzeughalter / Führer:	

Anhang C – Sondervorschrift 666

Als Ladung beförderte Fahrzeuge oder batteriebetriebene Geräte, auf die in der Sondervorschrift 388 Bezug genommen wird, sowie die in ihnen enthaltenen gefährlichen Güter, die für ihren Betrieb oder den Betrieb ihrer Einrichtungen dienen, unterliegen nicht den übrigen Vorschriften des ADR, wenn folgende Vorschriften erfüllt sind:

- a) Bei flüssigen Brennstoffen müssen die Ventile zwischen dem Motor oder der Einrichtung und dem Brennstoffbehälter während der Beförderung geschlossen sein, es sei denn, es ist von Bedeutung, dass die Einrichtung in Betrieb bleibt. Soweit erforderlich müssen die Fahrzeuge aufrecht und gegen Umfallen gesichert verladen werden.
- b) Bei gasförmigen Brennstoffen muss das Ventil zwischen dem Gastank und dem Motor geschlossen und der elektrische Kontakt unterbrochen sein, es sei denn, es ist von Bedeutung, dass die Einrichtung in Betrieb bleibt.
- c) Metallhydrid-Speichersysteme müssen von der zuständigen Behörde des Herstellungslandes zugelassen sein. Ist das Herstellungsland keine Vertragspartei des ADR, muss die Zulassung von der zuständigen Behörde einer Vertragspartei des ADR anerkannt werden.
- d) Die Vorschriften der Absätze a) und b) gelten nicht für Fahrzeuge, die frei von flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen sind.

Bem. 1.: Ein Fahrzeug gilt als frei von flüssigen Brennstoffen, wenn der Flüssigbrennstoffbehälter entleert wurde und das Fahrzeug wegen Brennstoffmangels nicht betrieben werden kann. Fahrzeugbauteile wie Brennstoffleitungen, -filter und -einspritzdüsen müssen nicht gereinigt, entleert oder gespült werden, damit sie als frei von flüssigen Brennstoffen gelten. Darüber hinaus muss der Flüssigbrennstoffbehälter nicht gereinigt oder gespült werden.

Bem. 2.: Ein Fahrzeug gilt als frei von gasförmigen Brennstoffen, wenn die Behälter für gasförmige Brennstoffe frei von Flüssigkeiten (bei verflüssigten Gasen) sind, der Druck in den Behältern nicht größer als 2 bar ist und der Brennstoffabsperrhahn oder das Brennstoffabsperrentil geschlossen und gesichert ist.

Anhang D – Sondervorschrift 667

- a) Die Vorschriften des Absatzes 2.2.9.1.7 a) gelten nicht für kleine Produktionsserien von höchstens 100 Zellen oder Batterien oder für Vorproduktionsprototypen von Zellen oder Batterien, die in Fahrzeugen, Motoren oder Maschinen eingebaut sind.
- b) Die Vorschriften des Absatzes 2.2.9.1.7 gelten nicht für Lithiumzellen oder -batterien, die in beschädigten oder defekten Fahrzeugen, Motoren oder Maschinen eingebaut sind. In diesen Fällen müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:
- I. Wenn die Beschädigung oder der Defekt keinen maßgeblichen Einfluss auf die Sicherheit der Zelle oder Batterie hat, dürfen beschädigte oder defekte Fahrzeuge, Motoren oder Maschinen unter den in der Sondervorschrift 363 bzw. 666 festgelegten Bedingungen befördert werden.
 - II. Wenn die Beschädigung oder der Defekt einen maßgeblichen Einfluss auf die Sicherheit der Zelle oder Batterie hat, muss die Lithiumzelle oder -batterie entnommen und in Übereinstimmung mit der Sondervorschrift 376 befördert werden.
- Wenn jedoch ein sicheres Entnehmen der Zelle oder Batterie nicht möglich ist oder wenn der Zustand der Zelle oder Batterie nicht überprüft werden kann, darf das Fahrzeug, der Motor oder die Maschine wie in Absatz (i) festgelegt abgeschleppt oder befördert werden.
- c) Die in Absatz b) beschriebenen Verfahren gelten auch für in Fahrzeugen, Motoren oder Maschinen enthaltene beschädigte Lithiumzellen oder –batterien.

Anhang E – Beispiel eines betriebsinternen Annahme-Protokolls von batterieelektrischen Fahrzeugen für Demontagebetriebe

ANNAHME-CHECK

Checkliste ist sofort bei Anlieferung eines jeden Fahrzeuges durchzuführen

Muss immer im Freien durchgeführt werden (=natürliche Belüftung)

Muss von einem fachkundigen Personal ausgeführt werden

Die Auswahl der PSA muss den aktuell geltenden Richtlinien der DGUV und der jeweiligen Betriebsanleitung bzw. den aktuellen Anweisungen des Fahrzeugherstellers entsprechen.

Empfohlen werden mindestens:

Schutzausrüstung (PSA I): Isolierten HV-Handschuhe (Chemikalien + HV)
Wärmebildkamera

Schutzausrüstung (PSA II): Schutzbrille
Lackier-Schutzmaske
Isolierten HV-Handschuhe (Chemikalien + HV)
HV-Gas-Messgerät

- Wenn bei Anlieferung kein Fachpersonal vorhanden oder wenn keine unverzügliche Prüfung bei Ankunft möglich
→ **Quarantäne Fahrzeug**
- Fahrzeug auf **thermische Auffälligkeit** prüfen → Temperaturkontrolle (5-Pkt-Messung) des Batteriegehäuses mittels Wärmebildkamera (Es gilt dabei zu beachten, dass verschiedene Fahrzeugtypen unterschiedliche Isolierungen haben und dadurch die Temperaturen unterschiedlich hoch sein können, daher teilweise nur bedingt möglich)
- Das Ergebnis der Temperaturkontrolle muss mit einem Bild/Foto dokumentiert und abgelegt werden
- Abklemmen der Bordspannungsbatterie
- Sichtkontrolle auf Beschädigung der Antriebsbatterie
- Sichtkontrolle auf evtl. beschädigte oder freiliegende HV-Komponenten
- Keine Beschädigungen am HV System erkennbar → **Sicheres Fahrzeug**
- leichte Beschädigung am Batteriegehäuse, aber keine thermischen Auffälligkeiten → **Sicheres Fahrzeug**
- Keine Schäden am Batteriegehäuse erkennbar, aber thermisch auffällig → **Quarantäne Fahrzeug**
- Batteriegehäuse beschädigt, mit thermischer Auffälligkeit → **Quarantäne Fahrzeug**

- Antriebsbatterie hat schon gebrannt und noch keine 72 h Quarantäne → **Quarantäne Fahrzeug**
- Rauchentwicklung am Fahrzeug → **Quarantäne Fahrzeug**
- Knister- oder Brandgeräusche im Batteriegehäuse → **Quarantäne Fahrzeug**
- Wenn Hotspots erkennbar (ab 60°C Differenz), muss das Fahrzeug unverzüglich in den Sicherheitscontainer gelagert werden → **Quarantäne Fahrzeug**
- Bei Hotspot von < 60°C muss das Fahrzeug nach einer halben Stunde wiederholt überprüft werden
- Bei Hybrid-Fahrzeugen muss das Restbenzin bestmöglich abgesaugt werden und im Anschluss mit Wasser gefüllt werden
- **Dokumentation der Prüfungsergebnisse**
- Im Falle einer sofortigen Verwertung des Fahrzeuges, müssen vor Beginn der Vorbereitungsarbeiten alle Türen geöffnet werden (teilweise kein Zugang zum Innenraum mehr möglich, wenn die Batterie abgeschlossen wurde) → Anweisungen des jeweiligen Herstellers beachten

Anhang F – Auszüge aus der Batterieverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. 311/2021) [76]

Im Folgenden sind Auszüge aus der Batterieverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 idF BGBl. 311/2021) angeführt, die besonders relevant für Batterien aus Elektrofahrzeugen sind:

Im §3 den Begriffsbestimmungen sind die Traktionsbatterien unter den Industriebatterien enthalten:

6. „Industriebatterien“ Batterien oder Akkumulatoren, die für industrielle oder gewerbliche Zwecke oder für Elektrofahrzeuge jeder Art bestimmt sind;

Die Behandlung von Altbatterien wird im §5 (Auszug aus § 5 Abs. 1) geregelt:

(1) Hersteller haben für die zurückgenommenen Altbatterien nachweislich sicherzustellen, dass

1. diese entsprechend dem Stand der Technik behandelt werden,
2. die Anforderungen gemäß der Verordnung über Abfallbehandlungspflichten (AbfallBPV), BGBl. II Nr. 102/2017 in der jeweils geltenden Fassung, eingehalten werden,

Zudem müssen nach §7 Informationen für Letztverbraucher zur Verfügung gestellt werden (Auszug aus § 7 Abs. 1):

(1) Hersteller haben den Letztverbrauchern von Batterien zumindest über folgende Bereiche Informationen in geeigneter Weise, zB in Printmedien und über das Internet, zugänglich zu machen:

1. die möglichen Auswirkungen der in Batterien enthaltenen Stoffe auf die Umwelt und auf die menschliche Gesundheit;
2. Sinn und Zweck der getrennten Sammlung von Altbatterien und Nachteile der Beseitigung gemeinsam mit unsortierten Siedlungsabfällen;
3. die zur Verfügung stehenden Rückgabe- und Sammelmöglichkeiten;
4. die Sinnhaftigkeit der stofflichen Verwertung und anderer Formen der Verwertung von Altbatterien;
5. die Bedeutung des in Anhang 2 gezeigten Symbols der durchgestrichenen Abfalltonne auf Rädern und der chemischen Zeichen Hg, Cd und Pb.

Der Abschnitt 4 beschäftigt sich mit den Industriebatterien. Hier ist die Rücknahme dieser im §15 geregelt:

(1) Hersteller, die Industriebatterien in Verkehr setzen, haben Industrialtbatterien unabhängig vom Datum ihres In-Verkehr-Setzens und unabhängig von ihrer Herkunft oder chemischen Zusammensetzung zurückzunehmen.

(2) Hersteller können mit den Letztverbrauchern der Industriebatterien Vereinbarungen über die Finanzierung der Sammlung oder Behandlung treffen.

Weiters regelt der Abschnitt 5 die Sammel- und Verwertungssysteme sowie dessen Koordinierung. Über die Teilnahme an einem Sammel- und Verwertungssystem für Industriebatterien steht (Auszug aus § 16):

(2) Hersteller von Industriebatterien können die Verpflichtungen gemäß den §§ 5 Abs. 1 und 2, 7 Abs. 1 und 15 Abs. 1 je Sammel- und Behandlungskategorie gesamthaft an ein dafür genehmigtes Sammel- und Verwertungssystem für Industrialtbatterien vertraglich überbinden, wodurch die entsprechenden Verpflichtungen auf den Betreiber:innen dieses Systems übergehen.

(3) Hersteller und Eigenimporteure haben dem jeweiligen Sammel- und Verwertungssystem entsprechende Prüfrechte, insbesondere über die von ihnen in Verkehr gesetzten Massen an Batterien, einzuräumen.



Landesgesellschaft
Österreich



ÖSTERREICHISCHER
BUNDES **FEUERWEHR** VERBAND

