

Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences



HAHN
Consult

Elektromobilität in geschlossenen Garagen- Machbarkeitsanalyse aus Sicht des Brandschützers

Bachelorthesis zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering

im Studiengang

Gefahrenabwehr / Hazard Control

Christoph Seemann

am 01.03.2022

1. Gutachter:

Prof. Dr. Karsten Loer (HAW Hamburg)

2. Gutachter:

Dipl.-Ing. Christiane Hahn (HAHN Consult GmbH)

ö.b.u.v. Sachverständige für
Brandschutz der IK Nds.
staatlich anerkannte Sachverständige
für die Prüfung des Brandschutzes
der IK NRW

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt
in Zusammenarbeit mit der Firma HAHN Consult GmbH

Thema der Bachelorthesis

Elektromobilität in geschlossenen Garagen - Machbarkeitsanalyse aus Sicht des Brandschützers.

Stichworte

Elektromobilität, Tiefgarage, Brandschutz, geschlossene Garage, Fahrzeugbrand, Lithium-Ionen-Batterie

Kurzzusammenfassung

Die Automobilindustrie befindet sich im Wandel. Politisch wird zunehmend die Elektromobilität forciert. Mit einer steigenden Zahl elektromobiler Fahrzeuge im Verkehr und in der Garage gilt es, das Risiko der Elektromobilität in geschlossenen Garagen zu beurteilen. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die rechtliche Situation aufzuzeigen und ein etwaiges, erhöhtes Risiko der Elektromobilität in geschlossenen Garagen aufzuzeigen beziehungsweise zu widerlegen. Dazu sind neben einer strukturierten Literaturrecherche fünf Experten aus dem Bereich der Automobilindustrie, dem vorbeugenden und dem abwehrenden Brandschutz im Interview befragt worden. Die Einschätzung der Experten deckt sich mit den Ergebnissen der Literaturrecherche. In der Theorie bestehen für elektrisch betriebene Fahrzeuge zusätzliche Brandentstehungsgefahren, wie zum Beispiel beim Ladevorgang oder durch eine Beschädigung der Batterie nach einem Unfall. In der Praxis lässt sich ein signifikanter Unterschied aus aktuellen Statistiken jedoch nicht ableiten.

Generell ist der Brand eines elektrisch betriebenen Fahrzeuges beherrschbar. Die Experten sehen ein erhöhtes Risiko, unabhängig von der Antriebsart, vielmehr in der steigenden Größe und damit auch erhöhten Brandlast moderner Kraftfahrzeuge in geschlossenen Garagen. Ein weiteres Risiko stellt die Elektrokleinmobilität, wie E-Fahrräder oder E-Roller dar. Insbesondere gilt es ein mögliches Aufladen außerhalb der Garage z.B. in der eigenen Wohnung, zu vermeiden.

Weiterführende Forschungen könnten insbesondere auf die Betrachtung zukünftiger Brandursachenstatistiken ausgerichtet werden.

Title of the bachelor thesis

Electromobility in closed garages - feasibility analysis from the fire protectionist's point of view.

Keywords

Electromobility, underground car park, fire protection, closed garages, vehicle fire, Lithium-Ion-Battery

Abstract

The automotive industry is currently changing. Electromobility is boosted politically. With a rising number of electromobile vehicles in traffic and in garages, it is crucial to assess the risks of electromobility in closed garages with regard to fire. The aim of this bachelor thesis is to show the legal situation and to verify or refute any increased fire hazard of electromobility in closed garages. In addition to a structured literature research, five experts in the field of the automotive industry, preventive and defensive fire protection were interviewed. The expert's assessment corresponds to the results of the literature research. In theory, there are additional fire hazards for electrically powered vehicles, such as during the charging process or damage to the battery after an accident. In practice however, statistics do not show a significant difference to cars with a combustion engine.

In general, an electrically powered vehicle on fire is controllable, experts rather see an increased risk, in the increasing size and with that the increasing fire load of modern motor vehicles in closed garages. Another hazard is posed by micro mobility, such as e-bikes or e-scooters. Especially, a possible charging in apartments or flats, instead of a garage, should be avoided.

Further research could be aimed particularly at future fire cause statistics.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Elektromobilität in geschlossenen Garagen - Machbarkeitsanalyse aus Sicht des Brandschützers“ ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Christoph Seemann

Delingsdorf, den 01.03.2022

Inhaltsverzeichnis	Seite
Kurzzusammenfassung	II
Eidesstattliche Erklärung	IV
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Anlagenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Glossar.....	X
Vorwort	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	3
1.3 Struktur der Arbeit	3
1.4 Eingrenzung.....	3
2 Methoden und Vorgehen	5
2.1 Literaturrecherche	5
2.2 Experteninterview	7
2.2.1 Interviewgestaltung	8
2.2.2 Interviewauswertung.....	9
3 Grundlage der Beurteilung	10
3.1 Gesetzliche Grundlagen – Elektromobilität in geschlossenen Garagen	10
3.1.1 Schutzziele	11
3.1.2 Garagen.....	11
3.1.3 Elektrofahrzeuge.....	18
3.1.4 Ladestationen	21
3.2 Aufbau klassischer Lithium-Ionen-Batterien.....	21
3.2.1 Bestandteile der Lithium-Ionen-Batterien.....	22
3.2.2 Thermal runaway	24
3.3 Aufbau moderner Elektrofahrzeuge	26
3.3.1 Schutz vor Stoßbeanspruchungen	28
3.3.2 Schutz vor Überhitzung.....	29

3.3.3	Schutz vor Kurzschlüssen und Überladung.....	29
3.4	Brandeigenschaften und Brandbekämpfung	30
3.4.1	Statistiken zu Brandereignissen.....	30
3.4.2	Daten aktueller Brandversuche	30
3.4.3	Toxizität der Rauchgase	35
3.4.4	Brandbekämpfung	36
4	Ergebnisse.....	38
4.1	Risikobeurteilung	38
4.1.1	Brandgefahren	38
4.1.2	Möglichkeit zur Brandbekämpfung	40
4.1.3	Besonderheit: E-Fahrräder und E-Scooter.....	41
4.2	Maßnahmen	42
4.2.1	Bauliche Maßnahmen	42
4.2.2	Anlagentechnische Maßnahmen	43
4.2.3	Organisatorische Maßnahmen	44
5	Diskussion	45
5.1	Kritische Würdigung der Methode.....	45
5.1.1	Literaturrecherche	45
5.1.2	Experteninterviews	46
5.2	Interpretation der Risikobeurteilung	47
5.2.1	Brandgefahren	47
5.2.2	Möglichkeit der Brandbekämpfung.....	51
5.2.3	E-Fahrräder und E-Scooter.....	53
5.3	Interpretation ausgewählter Maßnahmen	53
5.3.1	Bauliche Maßnahmen	54
5.3.2	Anlagentechnische Maßnahmen	54
5.3.3	Organisatorische Maßnahmen	55
5.4	Fazit und Ausblick.....	56
6	Literaturverzeichnis	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Suchstring auf Deutsch und auf Englisch für die Literaturrecherche.....	6
Abbildung 2: Moderne Kfz gepaart mit den Mindestmaßen der GarVO Darstellung von (Kern 2021)	13
Abbildung 3: Zusatzzeichen für elektrisch betriebene Fahrzeuge (Straßenverkehrs-Ordnung vom 12.07.2021).....	20
Abbildung 4: Kennzeichen für Elektrofahrzeuge (FZV vom 02.10.2019)	20
Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung einer Antriebsbatterie aus (Bisschop et al. 2020, S. 2673)	22
Abbildung 6: Beispielhafter Aufbau und Funktion einer Lithium Zelle beim Entladevorgang (VDE e.V. 2021)	23
Abbildung 7: Auslöser und Ablauf der thermischen Zersetzung einer Lithium-Ionen- Batterie aus (Korthauer 2013)	25
Abbildung 8: Batterieanordnung „Floor solution“ (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674)	27
Abbildung 9: Batterieanordnung "T solution" (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674).....	27
Abbildung 10: Batterieanordnung "Rear solution" (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674)	28
Abbildung 11: Sicherheitszonen (Daimler AG 2011)	28
Abbildung 12: Brandversuchsaufbau nach Lecocq et al. (2012).....	31
Abbildung 13: Vergleich der HRR für BEV und ICEV im zeitlichen Verlauf – Autohersteller 1 (Lecocq et al. 2012).....	32
Abbildung 14: Vergleich der HRR für BEV und ICEV im zeitlichen Verlauf – Autohersteller 2 (Lecocq et al. 2012).....	33
Abbildung 15: Spannungen und ausgewählte Temperaturen de BEV (A) 85% Batterie (Lam et al. 2016)	34
Abbildung 16: Verbrennungsdreieck (Perhelion 28.05.2013)	36
Abbildung 17: Repräsentative Maße zeitgemäßer Fahrzeuge und zwei 25 Jahre alte Pkws (Kern 2021)	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendung des PICO Schemas.	6
Tabelle 2: Ergänzende Schlagwörter und Synonyme zu den Suchkomponenten	6
Tabelle 3: Auflistung wichtiger Vorschriften und Gesetze	10
Tabelle 4: Populäre Materialbestandteile heute gefertigter Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten (Eigendarstellung in Anlehnung an (Kampker et al. 2018, S. 345)) .	24
Tabelle 5: Ausgewählte, relevante Größen der Brandversuche (Lecocq et al. 2012)	31
Tabelle 6: Ausgewählte, relevante Größen der Brandversuche (Lam et al. 2016).....	34

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Exemplarischer Experteninterview-Leitfaden.....	A1-A4
Anlage 2: Transkripte der Experteninterviews.....	A6-A37
Transkriptionsregeln.....	A7
Experteninterview 1.....	A8-A12
Experteninterview 2.....	A13-A18
Experteninterview 3.....	A19-A23
Experteninterview 4.....	A24-A29
Experteninterview 5.....	A30-A37
Anlage 3: Rettungsdatenblatt Tesla Model S.....	A38-A42

Abkürzungsverzeichnis

BattG	Batteriegesetz
BEV	Battery Electric Vehicle
BMS	Batteriemanagementsystem
CO ₂	Kohlendioxid
EG-FGV	Fahrzeuggenehmigungsverordnung
eKFV	Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
FZV	Fahrzeug-Zulassungsverordnung
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
GK	Gebäudeklasse
HRR	Heat Release Rate
H-Sätze	Gefahrenhinweise
ICEV	Internal combustion engine vehicle
Kfz	Kraftfahrzeugen
MBO	Musterbauordnung
M-GarStVO	Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen
M-GarVO	Muster Garagen Verordnung
MLAR	Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen
M-LüAR	Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen
MVV TB	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
PHEV	Plug-In- Hybrid Electric Vehicle
PICo	Population, Phenomenon of Interest, Context
Pkw	Personenkraftwagen
P-Sätze	Sicherheitshinweise
smp	Schmelzpunkt
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TÜV	Technischer Überwachungsverein
WGK	Wassergefährdungsklasse

Glossar

Akkumulator	Sekundärzelle; wiederaufladbare Batterie; umgangssprachlich auch Batterie genannt
Aldehyde.....	Chemische Verbindung, die als funktionelle Gruppe Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) enthalten (LUMITOS AG 2022).
Anode	Positiv geladene Elektrode (Korthauer 2013).
Batterie	Primärzelle, Elektrochemischer Energiespeicher
Dendriten.....	Baumartige, verzweigte Wachstumsform von Kristallen, die beim Aufladen entstehen können (Korthauer 2013).
Elektrolyt	Trägerstoffe elektrischer Ladung (VDE e.V. 2021).
Exotherme Reaktion	Reaktion, bei der Wärme entsteht und Energie abgegeben wird.
F0	Feuerwiderstand < 30 Minuten
F30	Feuerhemmend; Feuerwiderstand \geq 30 Minuten
F60	Hochfeuerhemmend; Feuerwiderstand \geq 60 Minuten
F90	Feuerbeständig; Feuerwiderstand \geq 90 Minuten
Flüchtige Dämpfe.....	Stoffe die aufgrund Ihres niedrigen Siedepunkts schnell verdampfen
Gebäudeklasse.....	Einstufung eines Gebäudes anhand der Höhe und Fläche (MBO vom 25.09.2020).
Gefahrenhinweise	Die sog. Hazard Statements beschreiben die Gefährdung, die von chemischen Stoffen oder Gemischen ausgehen (IFA 2022c).
Heat Release Rate.....	Rate mit der ein Feuer Energie freigibt in Watt (W) \equiv J/s (NIST 2021).
Kanzerogen.....	Ein Stoff oder ein Gemisch, der/das Krebs erzeugen oder die Krebshäufigkeit erhöhen kann (BG BAU 2022)
Kathode	Negativ geladene Elektrode (Korthauer 2013)
Knautschzone	Bereiche eines Fahrzeugs, die sich im Falle einer Kollision definiert verformen und so Energie absorbieren (Mercedes-Benz Group AG 2009).
Kollektor	Bauteil für die Zufuhr oder Aufnahme von Strom
Oxidation	Verbindung eines chemischen Elements/ einer Verbindung mit Sauerstoff
Primärliteratur.....	Originalquelle, z. B. Veröffentlichung von Studien, ohne Verweis auf andere Quellen (Nordhausen und Hirt 2020).
Primärzelle.....	Batterie
Sekundärliteratur.....	Quellen, die nicht auf eigenen Studien basieren, sondern Primärquellen zitieren (Nordhausen und Hirt 2020).
Sekundärzelle	Akkumulator
Separator	Stoff, der die verschiedenen Bestandteile eines Gemisches voneinander trennt (Korthauer 2013).
Sicherheitshinweise.....	Die sog. Precautionary Statements geben kurze Sicherheitsinformationen für die Kennzeichnung von Gefahrenstoffen (IFA 2022c).
Siedepunkt.....	Temperatur, bei dem eine Flüssigkeit gasförmig wird
Stromabnehmer	Anschlusspol der Zelle (Matzer 2013)
Wassergefährdungsklasse	Potenzial eines Stoffes bzw. Gemisches Wasser zu Verunreinigen (IFA 2022c)

Vorwort

Diese Arbeit gibt den aktuellen Stand der sich im Wandel befindenden Automobilindustrie sowie den bauordnungsrechtlichen Stand in der Garage wieder. Die Technologie der Lithium-Ionen-Batterien stellt den derzeitigen Stand der Elektromobilitätstechnik dar.

Da sich diese Technologie in einer stetigen Entwicklung befindet, kann diese Arbeit nur eine Momentaufnahme darstellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund von Verschwiegenheitserklärungen nicht immer die aktuellen Untersuchungsergebnisse beigebracht werden konnten.


Es wird auf die Risiken der Elektromobilität in geschlossenen Garagen eingegangen. Die Brandgefahren und die Möglichkeiten der Brandbekämpfung der Elektromobilität stellen einen besonderen Schwerpunkt dar. Als eine besondere Herausforderung stellte sich dabei die Beurteilung der Brandursachen heraus.

Für die Unterstützung von den Experten in den Experteninterviews möchte ich mich herzlich bedanken. Ein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Karsten Loer von der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg sowie Frau Dipl.-Ing. Christiane Hahn, ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz der IK Nds. und staatlich anerkannte Sachverständige für die Prüfung des Brandschutzes der IK NRW, für die Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit.

Ein herzlicher Dank geht zudem an das Kollegium des Ingenieurbüros für Brandschutz HAHN Consult GmbH, die jederzeit für Fachfragen zur Verfügung standen. Außerdem möchte ich mich bei meinen Freunden und Kommilitonen sowie meiner Familie, die, neben einem abschließenden Lektorat, auch für die stetige moralische Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit zur Verfügung standen, ganz herzlich bedanken.

Wegen der besseren Lesbarkeit wurde auf die Verwendung der jeweils weiblichen und männlichen Form verzichtet, wo dies zutrifft, sind stets alle Geschlechter gemeint.

Christoph Seemann

 den 01.03.2022

1 Einleitung

Der Verkehrssektor mit seinen unzähligen Verbrennungsmotoren trägt einen großen Teil zur Verschmutzung der Umwelt bei. Klimaforscher fordern eine drastische Senkung des weltweiten CO₂ Ausstoßes, um die Erderwärmung und die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen. Zusätzlich üben weltweit die immer größer werdenden Klimabewegungen mit vielen Protesten und Aktionen einen großen Druck auf die Politik aus. Um die Nachhaltigkeit des Personen- und Gütertransports zu verbessern und dem Klimawandel zu begegnen, nimmt die Elektromobilität eine zentrale Rolle ein. Somit wird auch bei der sich im Wandel befindenden Automobilindustrie die Elektromobilität immer wichtiger. Zusammen mit regenerativ erzeugter Energie ist es ein erklärtes politisches Ziel, die CO₂-Emissionen aus den Bereichen Verkehr und Logistik um 80 % zu reduzieren. (Przemyslaw Komarnicki et al. 2020, S. VII)

In Zukunft wird die Anzahl der Elektrofahrzeuge weiter steigen. Die Zahlen der Neuzulassungen des Kraftfahrtbundesamtes zeigen einen eindeutigen Trend hin zur Elektromobilität. Einige Staaten haben bereits angekündigt, in absehbarer Zeit keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren mehr zuzulassen. Eine zukünftige, weitere Verschiebung der Antriebsart vom Verbrenner hin zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist daher nicht unwahrscheinlich. (Rajko Rothe et al. 2021)

1.1 Problemstellung

Die Elektromobilität wird demnach auch in Deutschland immer gefragter. Die Jahresbilanz der Fahrzeugzulassungen im Dezember 2021 bestätigen diesen Trend. In Deutschland wurden 2021 gemäß Kraftfahrtbundesamt 754.588 Hybridfahrzeuge neu zugelassen, das entspricht einem Marktanteil von 28,8 % und einer Steigerung im Vergleich zum Vorjahr um + 43,0 %. Außerdem sind 355.961 Elektro-Pkw neu zugelassen worden, das entspricht einem Marktanteil von 13,6 % und einer Steigerung um + 83,3 %. Mit dem Anstieg der Elektromobilität auf der Straße, steigt auch die Nachfrage an Stellplätzen und Ladestationen für Vollelektro- und Elektro-Hybrid-Fahrzeuge. In den Städten, und vor allem den Großstädten, sind oft Tiefgaragen die einzige Möglichkeit dieser enormen Stellplatznachfrage zu begegnen. (Kraftfahrt Bundesamt 05.01.2022)

„Es gibt Garagen, in denen wurde Geschichte geschrieben. Etwa die, in der Steve Jobs Mitte der 1970er den Apple-Computer erfand. Aus derselben Zeit stammen die Mindestvorgaben unserer gegenwärtigen Garagenverordnung.“ (Kern 2021)

Insgesamt ergeben sich in Bezug auf die aktuellen Bauordnungen, Verordnungen und Normen verschiedene Fragestellungen. Es ist zu klären, ob die Garagen von gestern den heutigen Fahrzeugen gewachsen sind. Ob die Normen, Verordnungen und Bauordnungen, die aus der Hochzeit der Benzin- und Diesel-verbrennungsmotoren stammen, noch anwendbar sind und inwiefern von Elektrofahrzeugen ein erhöhtes Gefährdungspotenzial im Brandfall ausgeht. Außerdem gilt es aufzuzeigen, welche spezifischen Brandrisiken von elektrisch betriebenen Personenkraftwagen (Pkw) ausgehen und mittels welcher Maßnahmen sich etwaige Risiken mindern lassen. Zudem gilt es, das Brandrisiko von E-Fahrrädern und E-Rollern in geschlossenen Garagen zu erfassen.

Für den Fachplaner des vorbeugenden Brandschutzes gibt es derzeit nur wenige Anhaltspunkte zur Planung unterirdischer Garagen mit Elektrostellplätzen. Die Sprinklerung für Elektrofahrzeuge gemäß DIN VDS CEA 4001:2021-01 ist eine der wenigen normativen Anhaltspunkte, in denen Elektrofahrzeuge überhaupt namentlich genannt werden. In den Verordnungen der Bundesländer sowie der Muster Garagenverordnung (M-GarVO), sind gesonderte Anforderungen für Elektrofahrzeuge nicht enthalten. Derzeit wird die M-GarVO novelliert. Die sogenannte Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen (M-GarStVO) hat nach Aussage einer fachkundigen Person im Experteninterview zwar die Elektromobilität berücksichtigt, namentlich genannt wird die Elektromobilität in dem derzeitigen Entwurf jedoch nicht (Anlage 2, E3).

In der Öffentlichkeit und unter Fachleuten herrscht eine gewisse Planungsunsicherheit. Polarisierende Schlagzeilen wie: „Elektroauto: Willkommen in der Grünen Flammenhölle“ (Viehmann 18.10.2021) oder „Wegen Brandgefahr: Beliebtes E-Auto-Modell darf nur mit 15 Meter Abstand parken“ (Hofstetter 14.10.2021) bestärken diese Unsicherheit weiter. Um Gewissheit zu erhalten, gilt es herauszufinden, welche Gefahren von parkenden und ladenden Elektrofahrzeugen wirklich ausgehen, und dies bauordnungsrechtlich festzuhalten. Klar ist, dass es Risiken gibt. Klar ist auch, dass ein Batteriebrand eine besondere Herausforderung bei der Brandbekämpfung darstellt, insbesondere in der Tiefgarage (Rochus Zalud 2020, S. 99). Doch wie hoch diese Gefährdungen tatsächlich sind und inwiefern oder ob sich diese überhaupt von konventionellen Kraftfahrzeugen (Kfz) unterscheiden, ist mittels aussagekräftiger Statistiken zu belegen. Die zeitweise Schließung von Parkgaragen, wie zum Beispiel in Kulmbach (Anlage 2, E5), zeigt das Problem der Unsicherheit bei der Beurteilung von Elektrofahrzeugen. Zusätzlich zu den elektrisch angetriebenen Pkw sind auch immer mehr E-Fahrräder und E-Roller in den Garagen zu finden und somit sind auch diese entsprechend zu berücksichtigen (Anlage 2, E3).

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die rechtliche Situation aufzuzeigen und ein etwaiges Risiko der Elektromobilität in der geschlossenen Garage aufzuzeigen beziehungsweise zu widerlegen. Außerdem werden im Rahmen dieser Arbeit ausgewählte mögliche Kompensationsmaßnahmen vorgestellt, um einen sicheren Betrieb der geschlossenen Garagen trotz etwaiger erhöhter Risiken weiterhin sicher zu gewährleisten. Die Fragestellung dieser Arbeit bezieht sich auf nachfolgende Hypothese bzw. Gegenhypothese.

Hypothese:

Elektrofahrzeuge und Ladestationen in geschlossenen Garagen stellen aufgrund der erhöhten Brandgefahr ein erhöhtes Risiko dar, welche zusätzliche brandschutztechnische Maßnahmen zur Risikominimierung und Schadensbegrenzung erfordern.

Gegenhypothese:

Elektrofahrzeuge und Ladestationen in geschlossenen Garagen stellen kein erhöhtes Risiko dar.

1.3 Struktur der Arbeit

Nach einer kurzen Einführung in das Thema und der Eingrenzung der betrachteten Teilbereiche in Kapitel 1: „Einleitung“ werden in Kapitel 2: „Methoden und Vorgehen“ die in dieser Arbeit verwendeten Methoden, die Literaturrecherche und die Experteninterviews näher erläutert. In Kapitel 3: „Grundlage der Beurteilung“ werden die rechtlichen Grundlagen sowie der Aufbau der elektromobilen Pkw und der Aufbau und die Funktion der Lithium-Ionen-Batterien erläutert. Außerdem werden die Brandeigenschaften und die Möglichkeit der Brandbekämpfung näher erörtert. In Kapitel 4: „Ergebnisse“ werden die Ergebnisse der Experteninterviews zusammengefasst. Besonders betrachtet werden in der Risikobeurteilung die Brandgefahren, die Möglichkeit der Brandbekämpfung und die Besonderheiten von Elektrokleinstfahrzeugen wie E-Rollern oder E-Fahrräder. Außerdem werden in den Experteninterviews genannte bauliche, anlagentechnische und organisatorische Maßnahmen aufgeführt. In Kapitel 5: „Diskussion“ wird die gewählte Methodik kritisch beurteilt und die Ergebnisse unter Berücksichtigung der aufgeführten Grundlagen interpretiert. Die Diskussion schließt mit einem Fazit und Ausblick.

1.4 Eingrenzung

Um die Fragestellung dieser Bachelorarbeit adäquat zu beantworten, ist es notwendig, die Thematik einzugrenzen.

Aktuelle in Elektroautos verbaute Lithium-Ionen-Akkus sind vielseitig und unterscheiden sich in den wesentlich enthaltenden Chemikalien (NCA, NMC, LMO, LFP). Der Aufbau und das Prinzip des thermischen Durchgehens, auch „thermal runaway“ genannt, wird erörtert. Die einzelnen unterschiedlichen chemischen Reaktionen der verschiedenen Batterietypen sind nicht Teil dieser Arbeit. Die noch energiereicheren Lithium-Batterien der Zukunft, sogenannte Feststoffbatterien, sind ebenfalls nicht Bestandteil der wissenschaftlichen Untersuchung. Auch alte Batterie-Typen, wie Bleibatterien, Nickel-Metallhydrid-Batterien oder Natrium-Nickelchlorid-Zellen, werden der Beurteilung der Risiken nicht weiter zugrunde gelegt. (Thielmann et al. 2020)

Die Elektromobilität in geschlossenen Garagen wird in der Literatur häufig zusammen mit der Elektromobilität in unterirdischen Tunneln erörtert, vgl. Rajko Rothe et al. (2021). Wie auch in diesen Erörterungen beschrieben, unterscheiden sich die Bedingungen in einer Garage deutlich von den Bedingungen in einem Tunnel. Daher wird auf das Risiko in Tunneln in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Versuchsergebnisse werden zur Beurteilung zum Teil vergleichend hinzugezogen.

Neueste und modernste Überlegungen wie bidirektionale Ladesysteme bieten die Möglichkeit, die Kapazität der Fahrzeugbatterien in den Garagen eines Gebäudes bei Bedarf als Energiespeicher zu nutzen. Diese Systeme sind in ihrer Anwendung, aber derzeit noch sehr begrenzt und in Deutschland nicht üblich. Ein Grund dafür ist, dass derzeit durch die Anwendung dieser Ladesysteme die Garantie verfallen kann. Auf das veränderte Risiko durch das Be- und Entladen aufgrund von bidirektionalen Ladesystemen wird im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht weiter eingegangen. (Franke et al. 24.08.2021)

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden nur Elektrofahrzeuge im Sinne des § 2 Ziffer 1 des Gesetzes zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (EmoG vom 12.07.2021) und Elektrokleinstfahrzeuge im Sinne der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV vom 06.06.2019) betrachtet. Die Brennstoffzellenfahrzeuge unterscheiden sich von den rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen und den Plug-in-Hybriden sowohl rechtlich als auch technisch (EmoG vom 12.07.2021), (Infineon Technologies AG 2021). Brennstoffzellenfahrzeuge werden daher ebenfalls nicht betrachtet.

2 Methoden und Vorgehen

Die Struktur dieser wissenschaftlichen Arbeit ist in Anlehnung an das IMRAD-Schema aufgebaut worden. Dieses Schema unterstützt insbesondere bei der Strukturierung der Arbeit. Im weiteren Arbeitsverlauf wurden die Kapitel stichpunktartig mit Information und neuen Impulsen ergänzt. Die Struktur stellt sich wie folgt dar: Einleitung und Grundlagenermittlung (Introduction), Methode und Vorgehen (Material and Methods), Ergebnisse (Results), Diskussion (Discussion) sind in Anlehnung an das IMRAD-Schema mit Unterpunkten ergänzt worden. (Schäfer et al. 2014)

Für die Literaturverwaltung wurde das Literaturverwaltungsprogramm Citavi 6 verwendet. Es ist sowohl Primärmaterial als auch Sekundärmaterial verwendet worden. Zu den Sekundärmaterialien gehören vor allem Fachbücher und Beiträge in Fachzeitschriften. Die verwendeten Primärmaterialien waren vor allem Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Studien. Zum näheren Vorgehen der Literaturrecherche (siehe Kapitel 2.1).

Als zweite qualitative Methode ist das Experteninterview gewählt worden. Mit einer Vorabrecherche wurde ein Leitfaden für die Experteninterviews angefertigt (siehe Anlage 1). Die Methodik und das Vorgehen des Experteninterviews wird in Kapitel 2.2 näher erörtert.

2.1 Literaturrecherche

Eine Vorabrecherche erfolgte über die Suchmaschine Google Scholar am 29.09.2021. Der Suchstring „electro mobility in underground car parks“ ergab 6.280 Ergebnisse sowie „fire safety of lithium-ion batteries“ ergab 26.120 Ergebnisse. Die Suche erfolgte ebenfalls mit den deutschen Suchstrings „Elektromobilität in Tiefgaragen“, die 357 Ergebnisse ergab. Der Suchstring „Feuersicherheit von Lithium-Ionen-Akkus“ ergab 40 Ergebnisse. Zudem sind in die Vorabrecherche Fachbeiträge aus branchenspezifischen Zeitschriften und Magazinen, wie dem „FeuerTrutz Magazin“ oder „Brandposten“, zum Thema „Elektromobilität“ und „Ladestationen“ eingeflossen.

In der vertiefenden Literaturrecherche ist eine systematische Literaturrecherche nach vergleichbaren Publikationen zur Forschungsfrage durchgeführt worden. Für die Literaturrecherche wurde ein spezifisch ausgerichtetes Verfahren nach Nordhausen und Hirt (2020) angewendet. Das gewählte PICO Schema (Population, Phenomenon of Interest, Context) wurde zur Definition der Suchkomponenten gewählt. Die Übertragung der Fragestellung in Suchkomponenten in Anlehnung an das PICO Schema erfolgt in Tabelle 1.

Tabelle 1: Anwendung des PICO Schemas.

Buchstabe	Bedeutung	Suchkomponente
P	Population	Elektromobilität electro mobility
I	Phenomenon of Interest	Brandschutz fire safty
Co	Context	Tiefgarage underground car park

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt weitere mögliche Synonyme und Schlagwörter zu den in Tabelle 1 festgelegten Suchkomponenten.

Tabelle 2: Ergänzende Schlagwörter und Synonyme zu den Suchkomponenten

Suchkomponente	zusätzliche Schlagwörter, Synonyme
Elektromobilität electro mobility	Elektroauto, E-Mobilität, electric car, e-mobility
Brandschutz fire safty	Lithium-Ionen-Akkus, Brandgefahr, Sicherheit preventive fire protection, lithium-ion batteries
Tiefgarage underground car parks	geschlossene Garage subterranean garage, underground parking lot

Die Ergebnisse aus Tabelle 1 und Tabelle 2 sind anschließend zu einem deutschen und einem englischen Suchstring zusammengesetzt worden. Alle zu einer Suchkomponente gehörenden Begriffe sind mit dem booleschen Operator „OR“ verbunden und in eine Klammer gesetzt worden. Die verschiedenen Suchkomponenten zueinander sind mit dem booleschen Operator „AND“ verbunden worden. (Nordhausen und Hirt 2020) Die vollständigen Suchstrings sind in Abbildung 1 dargestellt.

(Elektromobilität OR Elektroauto OR E-Mobilität)AND (Brandschutz OR Lithium-Ionen-Akkus OR Brandgefahr OR Sicherheit)AND (Tiefgarage OR geschlossene Garage)
(electro mobility OR electric car OR e-mobility)AND (fire safety OR preventive fire protection OR lithium-ion-batteries)AND (underground car park OR subterranean garage OR underground parking lot)

Abbildung 1: Suchstring auf Deutsch und auf Englisch für die Literaturrecherche

Der Suchstring ist wie in Abbildung 1 dargestellt in die Suchmaschine Google Scholar eingefügt worden. Zur weiteren Eingrenzung der Publikationen sind alle Publikationen vor 2010 in der systematischen Literaturrecherche nicht betrachtet worden. Dadurch konnten Publikationen, die nicht dem aktuellen Stand der Automobilindustrie bzw. der Lithium-Ionen Technologie entsprechen, ausgeschlossen werden.

Von den Suchergebnissen wurden anschließend alle ausgeschlossen, die Elektromobilität in unterirdischen Tunneln behandelten. Außerdem ausgeschlossen wurden Fachbeiträge, die sich überwiegend mit der Stadtentwicklung befassen.

Zusätzlich zur systematischen Literaturrecherche sind Materialien verwendet worden, die von den Interviewexperten empfohlen und zur Verfügung gestellt worden sind. Für die rechtlichen Grundlagen sind insbesondere die Musterbauordnung, die Sonderbauvorschriften der IS-Argbau, sowie Gesetze und Verordnungen aus dem Straßenverkehrsrecht genutzt worden.

2.2 Experteninterview

Elektrofahrzeuge werden weltweit und auch in Deutschland immer beliebter (Przemyslaw Komarnicki et al. 2020). Die Elektromobilität ist zwar keine neue Technologie, die heutigen Hochvoltbatterien in Elektrofahrzeugen sind jedoch nicht mit den Blei-Batterien des 20. Jahrhunderts zu vergleichen. Derzeit herrscht in vielen Betrieben und Kommunen Unsicherheit über das Umgehen mit der Elektromobilität. Auch bei Fachfirmen und Planungsbüros aus der Branche herrscht Uneinigkeit. Zudem wird die Elektromobilität bauordnungsrechtlich derzeit nicht explizit genannt (vgl. Kapitel 3.1). Versuche mit aktuellen Elektroautos gibt es zwar viele, aber aufgrund von der Pflicht zur Verschwiegenheit gegenüber dem Kunden (i.d.R. den Fahrzeugherstellern) werden davon die wenigsten Auswertungen öffentlich zugänglich und publiziert (Anlage 1, Experteninterview 2). Die Literaturrecherche allein ist deshalb nicht zielführend. Deshalb wurde zusätzlich zur Literaturrecherche als qualitative Methode das Experteninterview gewählt.

Um das Thema *„Elektromobilität in geschlossenen Garagen - Machbarkeitsanalyse aus Sicht des Brandschützers“* aus möglichst unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten, wurden sechs Interviewpartner aus verschiedenen Bereichen befragt. Interviewt wurden eine Baudirektorin (Dipl. Ing.) der obersten Bauaufsicht, ein Abteilungsleiter eines Test-Centers für die Testung von E-Komponenten (Dipl. Ing.), ein anerkannter Sachverständiger für anlagentechnischen Brandschutz und Leiter des Produktmanagements einer Institution für Unternehmenssicherheit (Dipl. Ing), eine Ingenieurin einer Institution für Unternehmenssicherheit (M. Eng.), ein Konsortiums Mitglied des Forschungsprojektes: *„SUVEREN – Erhöhung der Sicherheit in unterirdischen städtischen Verkehrsbereichen bei Einsatz neuer Energieträger“* und ein Referatsleiter im Bereich vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz einer Berufsfeuerwehr.

2.2.1 Interviewgestaltung

Vor der Durchführung der Experteninterviews erfolgte eine Vorabrecherche zur Erstellung der Interview-Leitfäden. Die Leitfäden wurden in Anlehnung an Bogner et al. (2014) erstellt. Ziel des Leitfadens ist es, nicht als Redeskript zu dienen, sondern als Gedächtnisstütze. Der Leitfaden orientiert sich an drei Leitfragen. Die Leitfragen werden durch Struktur gebende Hinweise und Nachfragen ergänzt, um Gesprächsanreize zu setzen. Dabei richtet sich die Reihenfolge der Fragen und Hinweise nach der Gesprächsentwicklung. Aufgrund der verschiedenen Bereiche ist für jeden Experten ein Leitfaden mit kleinen Änderungen enthalten, die Grundstruktur und die Leitfragen haben einen analogen Aufbau. (Bogner et al. 2014, S. 29)

Vor Beginn der Interviews sind das Thema, das Ziel des Interviews, der zeitliche Rahmen, die Betonung der Vertraulichkeit und Freiwilligkeit sowie die Einverständniserklärung zur Tonaufnahme angesprochen worden. Zu Beginn der Aufnahme ist die Einverständniserklärung der Tonaufzeichnung wiederholt worden. Die Interviews sind mit einer Videokonferenzsoftware geführt worden, die Tonaufzeichnungen sind anschließend transkribiert worden.

Nachfolgend werden die drei Leitfragen aufgelistet und die Ziele der Fragestellungen erörtert.

1. „Können Sie zum Einstieg schildern, wie Ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen Sie im Bereich der Elektromobilität bzw. des Brandschutzes haben?“ Das Ziel der ersten Leitfrage war es, den Arbeitsbereich und den Wissensbereich der Experten zu dokumentieren. Zudem dient diese Frage als Einstieg, um ins Gespräch zu kommen und die vom Experten gewählten Schwerpunkte und Problemstellungen zum Thema zu exponieren.
2. „Welche potenziellen Gefährdungen gehen von Elektrofahrzeugen und ihren Ladestationen aus? Welche Erfahrungen haben Sie gemacht?“ Die zweite Leitfrage zielte darauf ab, eine Einschätzung bezüglich der Gefährdung der Elektromobilität und zur Möglichkeit der Brandbekämpfung zu erhalten.
3. „Was wären, Ihrer Meinung nach, wichtige weitere Voraussetzungen bzw. Maßnahmen, um zu mehr Planungs- und Umsetzungssicherheit für die Elektromobilität in geschlossenen Garagen und damit eine Verbesserung der Ladeinfrastruktur / Stellplatzsituation zu erreichen?“ Die dritte Leitfrage hatte die Absicht, konstruktive Lösungs- und gegebenenfalls Verbesserungsmöglichkeiten anzusprechen.

2.2.2 Interviewauswertung

Eine Auswertung der Interviews anhand der Leitfragen ist nicht zielführend, da diese dafür zu offen waren und daher mit vielen verschiedenen Schwerpunkten beantwortet wurden, entsprechend dem jeweiligen individuellen Arbeitskontext. Für die Interviewauswertung ist eine qualitative Inhaltsanalyse gewählt worden. Die Aussagen der Experten sind thematisch sortiert und mit den Ergebnissen der Literaturrecherche verglichen und um diese ergänzt worden. Als Interviewschwerpunkte für die Risikobeurteilung ergaben sich die Brandgefahren, die Möglichkeit der Brandbekämpfung und die Besonderheiten der Elektrokleinstfahrzeuge. In den Interviews geäußerte Maßnahmen sind bauliche, anlagentechnische und organisatorische Maßnahmen. Ausgewählte inhaltliche Aspekte, zu denen unterschiedliche Aussagen getroffen worden sind, werden in den entsprechenden Themenbereichen in Kapitel 4 erörtert und anschließend in Kapitel 5, auch unter Berücksichtigung der Literatur, diskutiert.

Die Transkription erfolgt in Anlehnung an Claussen et al. (2020). Die Transkriptionsregeln sind in Anlage 2 auf Seite A7 näher erläutert.

3 Grundlage der Beurteilung

Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen dargestellt, die zum Verständnis der nachfolgenden Beantwortung der Forschungsfrage notwendig sind. In Kapitel 3.1 werden die rechtlichen Grundlagen für die Elektromobilität in geschlossenen Garagen aufgeschlüsselt und der Stand der Technik der Garagen mithilfe geltender Vorschriften und Gesetze beschrieben. Ausgewählte aktuelle internationale Standards und Normungen beschreiben den Stand der Technik. Kapitel 3.3 beschreibt die Lithium-Ionen-Batterien und deren Bestandteile und die Gefährdung durch den sogenannten „thermal runaway“. In Kapitel 3.2 wird der Aufbau heutiger Elektrofahrzeuge und die vorhandenen Schutzmaßnahmen dargestellt. Kapitel 3.4 fasst die ausgewählten Daten und Statistiken zusammen und erörtert die Möglichkeiten der Brandbekämpfung.

3.1 Gesetzliche Grundlagen – Elektromobilität in geschlossenen Garagen

Bei den gesetzlichen Grundlagen sind sowohl die bauordnungsrechtlichen Anforderungen der Garagen als auch die Fahrzeuge und Ladestationen selbst zu berücksichtigen. Die wesentlichen Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind Tabelle 3 zu entnehmen. Da in den Bundesländern jeweils eigene Bauordnungen gelten, wird zur Vereinfachung und für eine bessere Übersichtlichkeit auf die Musterbauordnung (MBO) und Musterregelungen Bezug genommen. Für die Bestimmung der Anforderungen an geschlossene Garagen wird in Kapitel 3.1.2 Garagen überwiegend die M-GarVO genutzt. Änderungen der Anforderungen aus dem Entwurf der Novellierung, der M-GarStVO sind an entsprechenden Stellen vermerkt.

Tabelle 3: Auflistung wichtiger Vorschriften und Gesetze

<u>Mustervorschriften und Mustererlasse:</u>	
Musterbauordnung (MBO)	Fassung November 2002, zuletzt geändert am 25.09.2020
Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)	Ausgabe 2020/2 vom 19.11.2021
Muster-Garagenverordnung (M-GarVO)	Fassung Mai 1993, zuletzt geändert am 30.05.2008
Entwurf Muster-Garagen- und Stellplatzverordnung (M-GarStVO)	Fassung September 2020
<u>Musterrichtlinien:</u>	
Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR)	Fassung Februar 2015, zuletzt geändert am 03.09.2020

Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie M-LüAR)	Fassung September 2005, zuletzt geändert am 03.09.2020
<u>Straßenverkehr: Gesetze und Verordnungen:</u>	
Straßenverkehrsgesetz (StVG)	Fassung vom 03.05.1909, zuletzt geändert am 12.07.2021
Straßenverkehrsordnung (StVO)	Fassung vom 06.03.2013, zuletzt geändert am 12.07.2021
Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)	Fassung vom 26.04.2012, zuletzt geändert am 26.11.2019
Verordnung über die EG-Genehmigung für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger sowie für Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten für diese Fahrzeuge (Fahrzeuggenehmigungsverordnung - EG-FGV)	Fassung vom 03.02.2011, zuletzt geändert am 27.07.2021
Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung – FZV)	Fassung vom 03.02.2011, zuletzt geändert am 02.10.2019
Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz - EmoG)	Fassung vom 05.06.2015, zuletzt geändert am 12.07.2021
Verordnung über die Teilnahme von Elektrokraftfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokraftfahrzeuge-Verordnung – eKFV)	Fassung vom 06.06.2019
<u>Sonstige</u>	
Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz – BattG)	Fassung vom 25.06.2009, zuletzt geändert am 03.11.2020

3.1.1 Schutzziele

Die Schutzziele bezüglich des Brandschutzes ergeben sich aus den §§ 3, 14 MBO (MBO vom 25.09.2020):

- Die öffentliche Sicherheit und Ordnung dürfen nicht gefährdet werden.
- Der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch muss vorgebeugt werden.
- Bei einem Brand sind wirksame Löscharbeiten und die Rettung von Menschen und Tieren zu ermöglichen.

3.1.2 Garagen

Garagen sind gemäß § 2 Absatz 4 MBO keine Sonderbauten. Je nach Größe und Höhe werden Garagen eigenständig oder zusammen mit dem Gebäude in die jeweilige Gebäudeklasse (GK) eingeteilt (MBO vom 25.09.2020). Anforderungen an die Garagen

ergeben sich somit aus MBO und M-GarVO bzw., wenn eingeführt, der M-GarStVO. Für eingebaute Leitungsanlagen bzw. Lüftungsanlagen gelten entsprechend die MLAR bzw. M-LüAR. Durchführungen von Kabeln und Leitungen, wie zum Beispiel die Kabel für Ladeeinrichtungen, sind entsprechend der Anforderungen der MLAR zu schließen (MLAR vom 03.09.2020).

Nachfolgend werden die wesentlichen, für das Forschungsthema relevanten Anforderungen an geschlossene Garagen aus den oben aufgeführten Regelwerken zusammengefasst.

Gemäß §1 Absatz 1 bis 3 M-GarVO wird bei Garagen zwischen offenen und geschlossenen Garagen unterschieden. In dieser Arbeit werden die geschlossenen Garagen thematisiert. Geschlossene Garagen sind Garagen, bei denen eine ständige Querlüftung vorhanden und die Fläche der unverschließbaren Öffnungen kleiner als ein Drittel der Gesamtfläche der Umfassungswände ist. Weiter werden Garagen in § 1 Absatz 8 MGarVO verschiedenen Typen zugeordnet. Garagen mit einer Nutzfläche von bis zu 100 m² sind Kleingaragen. Zwischen 100 m² und 1.000 m² Mittelgaragen und über 1.000 m² Großgaragen. (M-GarVO vom 30.05.2008)

§§ 2, 3 M-GarVO: Zu- und Abfahrten

Zu- und Abfahrten von Mittel- und Großgaragen müssen mindestens 2,75 m breit sein. Großgaragen benötigen neben den Zu- und Abfahrten einen mindestens 0,80 m breiten Gehweg. Die Rampen dürfen eine Neigung von 15 % nicht übersteigen. (M-GarVO vom 30.05.2008)

§ 4 M-GarVO: Einstellplätze und Fahrgassen

Die Einstellplätze müssen mindestens 5 m lang sein und eine Breite zwischen 2,30 m - wenn keine Längsseite des Parkplatzes an einer Wand liegt - und 3,50 m bei barrierefreien Parkplätzen haben. Die Fahrgassenbreite muss zwischen 2,75 m – soweit sie nicht unmittelbar der Zu- oder Abfahrt von Parkplätzen dient und ohne Gegenverkehr sind – und maximal 6,50 m liegen – wenn der Parkplatz an den Längsseiten Wand frei ist und im Winkel von 90° zur Fahrgasse ist (M-GarVO vom 30.05.2008). Abbildung 2 schlüsselt die Mindestmaße auf, die 2,75 m am Fahrgassenanschluss ist eine länderspezifische Anforderung aus Baden-Württemberg (Kern 2021).

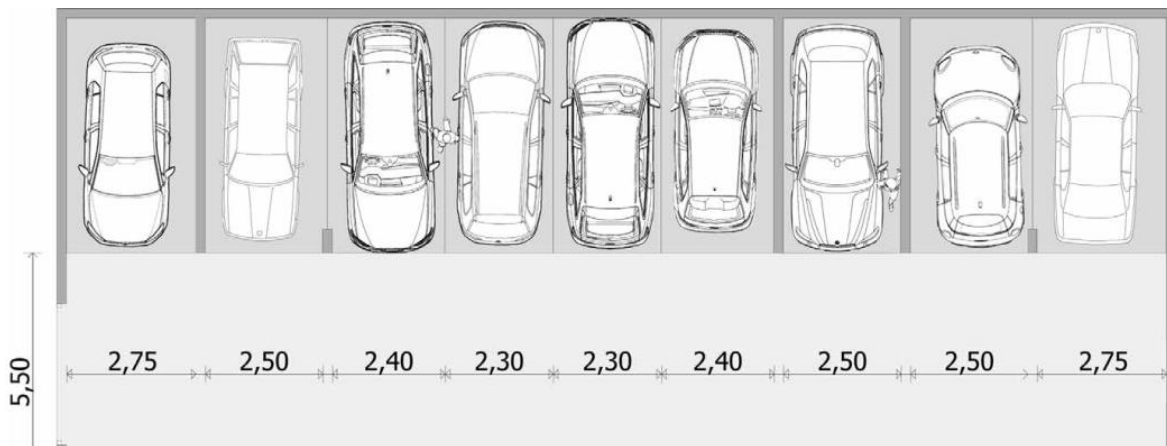


Abbildung 2: Moderne Kfz geparkt mit den Mindestmaßen der GarVO Darstellung von (Kern 2021)

§6 M-GarVO: Tragende Wände, Decken und Dächer

Tragende Wände und Decken in, über und unter Garagen, zwischen Garagengeschossen und zu anders genutzten Räumen, müssen feuerbeständig (F 90) sein. Hochfeuerhemmende (F 60) Bauteile sind als nicht tragende Trennwände zwischen Garagen der GK 4 zulässig. Bei oberirdischen Mittel- und Großgaragen sind bis GK 3 feuerhemmende (F 30) und nichtbrennbare, tragende und raumabschließende Bauteile zulässig. Nichttragende Trennwände zwischen Garagen der GK 3 und als raumabschließende Wände und Decken zwischen geschlossenen Kleingaragen und anderen Räumen sind als feuerhemmende (F 30) Bauteile zulässig. Gemäß § 6 Absatz 2 Ziffer 2 der M-GarVO sind bei offenen Mittel- und Großgaragen auch nichtbrennbare Baustoffe möglich, wenn das Gebäude lediglich der Garagennutzung dient (M-GarVO vom 30.05.2008). Im Entwurf der neuen M-GarStVO ist die Ziffer 2 für offene Mittel- und Großgaragen entfallen. Die Anforderung feuerhemmend (F 30) gilt auch für offene Mittel- und Großgaragen ≤ 22 m. Der § 6 Absatz 3 der M-GarVO bleibt davon unberührt: Bei eingeschossigen, oberirdischen Mittel- und Großgaragen auch mit Dacheinstellplätzen reicht eine feuerhemmende (F 30) oder nichtbrennbare Bauweise. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 6 Absatz 6 M-GarVO: Bekleidungen und Dämmschichten

Die Bekleidungen und Dämmschichten unter Decken und Dächern müssen gemäß § 6 Absatz 6 bei Großgaragen aus nichtbrennbaren, bei Mittelgaragen aus schwerentflammenden Baustoffen bestehen (M-GarVO vom 30.05.2008). Gemäß des neuen Entwurfes der M-GarStVO gilt diese Anforderung auch für Dämmstoffe an Wänden (M-GarStVO vom 04.09.2020).

§ 7 M-GarVO: Außenwände

Außenwände von Mittel- und Großgaragen müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Ausgenommen davon sind eingeschossige Mittel- und Großgaragen, die ausschließlich der Garagennutzung dienen (M-GarVO vom 30.05.2008). In dem Entwurf der neuen M-GarStVO werden die Außenwände durch Oberflächen von Außenwänden und Außenwandbekleidungen ersetzt. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 8 M-GarVO: Trennwände, sonstige Innenwände und Tore (und Einbauten)

Trennwände zwischen Nutzungseinheiten und zwischen Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen, ausgenommen notwendiger Flure, müssen die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile des Geschosses haben. Die Trennwände müssen mindestens feuerhemmend (F 30) sein. Die Trennwände zwischen Mittel- und Großgaragen und anderen Gebäuden müssen feuerbeständig (F 90) sein. Innenwände müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (M-GarVO vom 30.05.2008). In dem Entwurf der neuen M-GarStVO wird der § 8 M-GarVO um Trennwände, sonstige Innenwände und Tore um „und Einbauten“ ergänzt. Zusätzlich entfällt die besondere Anforderung, dass Wände zwischen Mittel- und Großgaragen und anderen Gebäuden feuerbeständig (F 90) sein müssen. Der Entwurf stellt klar, dass die Anforderung an die Trennwände nur zwischen Mittel- und Großgaragen und anderen Räumen gelten. Diese Trennwände müssen als raumabschließende Trennwände die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile haben. Gemäß dem neuen Entwurf müssen sie mindestens feuerhemmend (F 30) und nichtbrennbar sein. Der Absatz 2 wurde mit einer Anforderung an die sonstigen, nichtbrennbaren Innenwände ergänzt. Die Innenwände dürfen die Löscharbeiten, die Lüftung und die Rauch- und Wärmeableitung nicht beeinträchtigen. Außerdem wird in § 9 Absatz 2 M-GarStVO die Notwendigkeit der räumlichen Abgrenzung von Einstellplätzen und Abstellplätzen präzisiert. Mit Abstellplätzen im Sinne der M-GarStVO sind Fahrräder, Fahrradanhänger und elektrisch betriebene Fahrzeuge, die keine Kraftfahrzeuge sind, gemeint. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 9: Gebäudeabschlusswände

Gemäß § 30 Absatz 1 MBO ist die Gebäudeabschlusswand als Brandwand auszuführen. Die M-GarVO mindert diese Anforderung für eingeschossige, oberirdische Mittel- und Großgaragen auf feuerbeständig (F 90) ab (M-GarVO vom 30.05.2008). In dem neuen Entwurf der M-GarStVO wird die Anforderung auf auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung hochfeuerhemmend weiter abgemindert. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 11 Absatz 4 M-GarVO: Wände und Decken von Kleingaragen

Gemäß Absatz 4 dürfen geschlossene Kleingaragen unmittelbar mit Öffnungen zu anderen Kleingaragen sowie nicht zur Garage gehörenden Räumen verbunden sein. Diese Öffnungen müssen mindestens feuerhemmend, dicht- und selbstschließende Türen (T 30) haben. Wände (auch tragende Wände) in Kleingaragen sind ohne Feuerwiderstandsklasse zulässig. Die Anforderungen an die Wände der Kleingaragen, die zu anders genutzten Gebäuden gehören, ergeben sich aus den Anforderungen an die angrenzenden Gebäude gemäß § 27 und § 31 der MBO. (M-GarVO vom 30.05.2008)

§ 11 M-GarVO: Rauchabschnitte, Brandabschnitte

Geschlossene Garagen müssen durch Rauchabschnitte aus mindestens feuerhemmenden und nichtbrennbaren Wänden bestehen. Die Öffnungen in den Wänden sind mit Rauchschutzabschlüssen zu versehen. Die Nutzfläche eines Rauchabschnittes darf in oberirdischen geschlossenen Garagen höchstens 5.000 m² und in sonstigen geschlossenen Garagen höchstens 2.500 m² groß sein. Wenn die Garage über eine Sprinklerfläche verfügt, darf sich die Fläche maximal verdoppeln. Rauchabschnitte dürfen mehrere Geschosse einschließen. Innere Brandwände im Abstand von weniger als 40 m sind nicht für Garagen verpflichtend (M-GarVO vom 30.05.2008). In dem neuen Entwurf der M-GarStVO wird das Wort Rauchabschnitte gestrichen. Analog zu den Rauchabschnitten der M-GarVO sind Brandabschnitte mit einer Nutzfläche von 5.000 m² bzw. 2.500 m² vorgesehen. Das Wort Sprinkleranlagen wird durch „selbsttätige Feuerlöschanlagen“ ersetzt. Die Öffnungen in den Wänden der Brandabschnitte sind mit feuerbeständigen, dicht- und selbstschließenden Abschlüssen zu versehen. Wenn die Garagen über selbsttätige Löschanlagen verfügen, sind feuerhemmende Abschlüsse zulässig. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 13 M-GarVO: Rettungswege

Mittel- und Großgaragen müssen in jedem Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege haben. In oberirdischen Mittel- und Großgaragen reicht ein Rettungsweg, wenn ein Ausgang ins Freie in maximal 10 m erreichbar ist. In geschlossenen Mittel- und Großgaragen muss von jeder Stelle mindestens ein Treppenraum oder ein Ausgang ins Freie in maximal 30 m erreichbar sein (M-GarVO vom 30.05.2008). Gemäß Entwurf der M-GarStVO wird die Rettungsweglänge um 5 m auf 35 m erhöht. Die Entfernung ist in der Lauflinie, aber nicht mehr über Parkplätze zu bemessen. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 14 M-GarVO: Beleuchtung

Geschlossene Großgaragen, mit Ausnahme eingeschossiger Großgaragen mit festem Benutzerkreis, müssen eine Sicherheitsbeleuchtung haben (M-GarVO vom 30.05.2008). In

dem Entwurf der M-GarStVO ist der entsprechende Paragraf um die Sicherheitsbeleuchtung und Gebädefunkanlagen ergänzt worden. Gemäß dem Entwurf der M-GarStVO muss jede geschlossene Großgarage über eine Sicherheitsbeleuchtung verfügen. Zusätzlich müssen geschlossene Mittelgaragen die Rettungswege mit beleuchteten Kennzeichen markieren, auch nach Ausfall der Stromversorgung müssen diese Kennzeichen mindestens 30 min. beleuchtet sein. Neu berücksichtigt wird in der M-GarStVO auch die Funkkommunikation der Einsatzkräfte in Großgaragen. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 15 M-GarVO: Lüftung

Geschlossene Mittel- und Großgaragen müssen maschinelle Abluftanlagen haben. Die Zuluftöffnungen müssen so groß und so verteilt sein, dass alle Teile der Garage ausreichend gelüftet werden. Bei geschlossenen Mittel- und Großgaragen mit geringem Zu- und Abgangsverkehr genügt eine natürliche Lüftung durch Lüftungsöffnungen oder über Lüftungsschächte. (M-GarVO vom 30.05.2008) Die Lüftungsöffnungen müssen:

- einen freien Querschnitt von insgesamt mindestens 1.500 cm² je Stellplatz haben,
- in den Außenwänden oberhalb der Geländeoberfläche maximal 35 m einander gegenüber liegen,
- unverschließbar sein und
- so verteilt sein, dass eine ständige Querlüftung gesichert ist.

Die Lüftungsschächte müssen:

- untereinander in einem Abstand von ≤ 20 m angeordnet sein und
- bei einer Höhe bis zu 2 m einen freien Gesamtquerschnitt von mindestens 1500 cm² je Garageneinstellplatz sowie bei einer Höhe von mehr als 2 m einen freien Gesamtquerschnitt von mindestens 3000 cm² je Garageneinstellplatz haben. (M-GarVO vom 30.05.2008)

Die Anforderungen an die Lüftungsanlagen sind im § 41 der Musterbauordnung (MBO vom 25.09.2020) und der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen geregelt (M-LüAR vom 03.09.2020).

§ 16 M-GarVO: selbsttätige Feuerlöschanlage (Feuerlöschanlagen)

Sprinkleranlagen (gemäß M-GarStVO selbsttätige Feuerlöschanlagen) müssen in Großgaragen vorhanden sein, wenn der Fußboden der Garage mehr als 4 m unter der Geländeoberfläche liegt und das Gebäude nicht nur der Garagennutzung dient (M-GarVO vom 30.05.2008). In dem Entwurf der M-GarStVO ist der Titel des entsprechenden

Paragrafen um „Rauch- und Wärmeabzug“ ergänzt worden. In dem Entwurf sind trockene Steigleitungen für die Feuerwehr in geschlossenen Mittel- und Großgaragen, deren Fußboden im Mittel mehr als 4 m unter oder mehr als 15 m über der Geländeoberfläche liegen, vorgesehen. Zusätzlich müssen geschlossene Großgaragen gemäß dem neuen Entwurf für den erforderlichen Rauch- und Wärmeabzug jedes Brandabschnittes folgendes aufweisen:

- Öffnungen ins Freie mit einem Querschnitt von mindestens 1.000 m² je Stellplatz, wobei die Öffnung von keinem Stellplatz weiter als 20 m entfernt sein darf. Die Öffnung muss in der Decke oder im oberen Wanddrittel sein oder
- maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, die sich bei Rauchentwicklung selbstständig einschalten und über den Zeitraum von mindestens einer Stunde eine Temperatur von 300 °C standhalten und deren elektrische Leitungsanlagen bei äußerer Brandeinwirkung für mindestens die gleiche Zeit funktionsfähig bleiben sowie in dieser Stunde einen mindestens zehnfachen Luftwechsel gewährleisten. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 17 M-GarVO: Brandmeldeanlagen

„Geschlossene Mittel- und Großgaragen müssen Brandmeldeanlagen haben, wenn sie in Verbindung stehen mit baulichen Anlagen oder Räumen für die Brandmeldeanlagen erforderlich sind“ (M-GarVO vom 30.05.2008). Abweichend dazu müssen gemäß dem neuen Entwurf der M-GarStVO geschlossene Großgaragen unabhängig von denen mit ihnen in Verbindung stehenden baulichen Anlagen ab einer Nutzfläche von 2.500 m² eine Brandmeldeanlage mit nicht selbsttätigen und selbsttätigen Brandmeldern haben. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

§ 18 M-GarVO: Betriebsvorschriften

Gemäß M-GarVo müssen die maschinellen Lüftungsanlagen immer betriebsbereit sein und entsprechend gewartet werden. Es dürfen in Mittel- und Großgaragen keine brennbaren Stoffe außerhalb von Kraftfahrzeugen aufbewahrt werden (M-GarVO vom 30.05.2008). Der neue Entwurf der M-GarStVO erlaubt dagegen die Lagerung von einem Satz Reifen und weiterem Fahrzeugzubehör, wie Fahrradanhänger und Dachboxen, vorausgesetzt, die Nutzbarkeit des Stellplatzes wird nicht beeinträchtigt. Zusätzlich wird das Abstellen von Fahrzeugen, die keine Kraftfahrzeuge sind, erlaubt, solange sichergestellt ist, dass dies außerhalb der Verkehrsflächen und Rettungswege stattfindet. Es sind Fahrradständer, Bügel oder ähnliches zu errichten, um ein verkehrssicheres Abstellen zu gewährleisten. Die Rettungswege und die Zu- und Abfahrten sind verkehrssicher freizuhalten. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

Weitere Empfehlungen für den Betrieb in einer geschlossenen Garage ergeben sich aus den Publikationen der Sachversicherer. Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) stellt in einem Sicherheitshinweis „Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen“ - VdS 3885: 2020-12 folgende, wesentliche organisatorische Maßnahmen zusammen:

- Rauchen, Feuer und offenes Licht ist in Garagen nicht zulässig, dies schließt auch feuergefährliche Arbeiten mit ein.
- Mit Ausnahme der Fahrzeuge dürfen keine weiteren brennbaren Gegenstände abgestellt werden. Das gilt insbesondere für Elektrostellplätze während des Ladevorganges.
- Die Stellplätze sind sauber und frei von Abfällen zu halten.
- Verunfallte Elektrofahrzeuge, bei denen die Batterie in Mitleidenschaft geraten oder beschädigt sein könnte, stellen eine besondere Brandgefahr dar und sollten deswegen keinesfalls in Garagen abgestellt werden.(VdS 3885)

§ 20 M-GarStVO: Bauvorlagen

Der § 20 des Entwurfes der M-GarStVO wurde um den Punkt „Feuerwehrpläne“ ergänzt. Für geschlossene Mittel- und Großgaragen kann die Bauaufsicht im Bedarfsfall Feuerwehrpläne verlangen. (M-GarStVO vom 04.09.2020)

Alternative Garagenformen

Wenn das Gebäude ausschließlich als automatische Garage genutzt wird, sind nichtbrennbare, tragende Bauteile ohne Feuerwiderstand zulässig. Gemäß §11 M-GarVO müssen automatische Garagen durch Brandwände in Brandabschnitte von maximal 6.000 m³ Brutto-Rauminhalt unterteilt sein. Automatische Garagen müssen nicht in Rauchabschnitte eingeteilt werden. Nicht zur Garage gehörende Räume dürfen nicht mit einer automatischen Garage verbunden sein. Gemäß § 16 M-GarVO müssen in automatischen Garagen mit weniger als 20 Einstellplätzen nicht selbsttätige Feuerlöschanlagen vorhanden sein. (M-GarVO vom 30.05.2008)

3.1.3 Elektrofahrzeuge

Kraftfahrzeuge, die auf öffentlichen Straßen und somit auch in geschlossenen Garagen in Betrieb gesetzt werden sollen, müssen von der zuständigen Behörde gemäß Straßenverkehrsgesetz (StVG) zugelassen werden. Die Zulassung erfolgt bei Vorliegen einer Betriebserlaubnis, Einzelgenehmigung oder EG-Typengenehmigung. (StVG vom 12.07.2021)

Zulassung und Betriebserlaubnis

In der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) sind die Zulassungsbestimmungen für Fahrzeuge geregelt. Die StVZO regelt die Betriebserlaubnis und Bauartgenehmigungen für Fahrzeuge und damit auch für Elektrofahrzeuge (StVZO vom 26.11.2019). Die StVZO ist teilweise bereits durch die Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV) und die Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) ersetzt worden. Mit Einführung der Fahrzeug-Betriebsverordnung (FBV) und der Fahrzeug-Genehmigungs-Verordnung (FGV) soll die StVZO abgeschafft werden (Ross 2019, S. 6).

Die Fahrzeugklassen sind in der FZV definiert, eine eigene Fahrzeugklasse für Elektrofahrzeuge gibt es nicht (Morche et al. 2018). Gemäß § 62 StVZO müssen „elektrische Einrichtungen von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen so beschaffen sein, dass bei verkehrsüblichem Betrieb der Fahrzeuge durch elektrische Einwirkung weder Personen verletzt noch Sachen beschädigt werden können“. In Anlage VIIIa der StVZO ist die Hauptuntersuchung geregelt. Demnach sind in der Hauptuntersuchung der Zustand elektrischer Leitungen, Batterien und elektrische Verbindungseinrichtungen auf Auffälligkeiten zu prüfen. Für die Elektromobilität sind keine zusätzlichen Untersuchungspunkte geregelt (StVZO vom 26.11.2019). Die endgültige Zulassung wird nur erteilt, wenn für das Fahrzeug eine Typengenehmigung oder Einzelgenehmigung vorliegt (FZV vom 02.10.2019).

In § 9a FZV ist die Kennzeichnung elektrisch betriebener Fahrzeuge beschrieben. Die Kennzeichnung erfolgt auf Antrag und ist nicht verpflichtend (FZV vom 02.10.2019). Das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) regelt für welche Kraftfahrzeuge ein Kennzeichen „für elektrisch betriebene Fahrzeuge“ beantragt werden kann. Im Sinne des Gesetzes sind elektrisch betriebene Fahrzeuge, rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV), ein von außen aufladbares Hybridelektrofahrzeug - Plug-in-Hybrid (PHEV) - und Brennstoffzellenfahrzeuge. PHEVs im Sinne dieses Gesetzes müssen mindestens eine rein elektrische Reichweite von 40 km aufweisen oder dürfen maximal 50 g Kohlendioxid (CO₂) je gefahrenen Kilometer ausstoßen. (EmoG vom 12.07.2021)

Sonderrechte

Die Straßenverkehrsordnung (StVO) räumt der fahrzeugführenden Person eines elektrisch betriebenen Fahrzeuges durch Zusatzzeichen besondere Rechte in bestimmten Parksituationen ein. Mit Zusatzzeichen gemäß Abbildung 3 ist ein Halten innerhalb einer Halte- bzw. Parkverbotszone möglich. Auch können für elektrisch betriebene Fahrzeuge Ausnahmen bei Durchfahrtsverboten zugelassen werden. (StVO vom 12.07.2021) Diese Bevorrechtigungen bedürfen gemäß EmoG einer deutlich sichtbaren Kennzeichnung an den Fahrzeugen. Diese Kennzeichnung erfolgt über den Kennbuchstaben „E“ hinter der Erkennungsnummer, siehe Abbildung 4. (EmoG vom 12.07.2021)



Abbildung 3: Zusatzzeichen für elektrisch betriebene Fahrzeuge (Straßenverkehrs-Ordnung vom 12.07.2021)



Abbildung 4: Kennzeichen für Elektrofahrzeuge (FZV vom 02.10.2019)

Elektrokleinstfahrzeuge

In der eKFV sind unter anderem die Anforderungen für die Inbetriebsetzung, Sicherheitsanforderungen und Prüfanforderungen aufgelistet. Wobei bei den Prüfbedingungen die allgemeinen Prüfbedingungen, die Prüfung der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit, das Bremsverhalten und die Fahrdynamik betrachtet werden. (eKFV vom 06.06.2019)

Batteriegesetz

Batterien im Sinne des Batteriegesetzes (BattG) sind gemäß § 2 Absatz 2 BattG sowohl Primärzellen als auch wiederaufladbare Sekundärzellen. Brennstoffzellen sind im Sinne dieses Gesetzes keine Batterien (Ahlhaus und Öttinger 2021). Gemäß § 2 Absatz 4 BattG sind Fahrzeugbatterien solche Batterien, die für den Anlasser, die Beleuchtung oder für die Zündung von Landfahrzeugen, die nicht an Bahngleise gebunden sind, anwendbar. Die Batterien, die für den Vortrieb der PHEV bzw. BEVs bestimmt sind, sind im Sinne des

§ 2 Absatz 5 BattG Industriebatterien, die Vorschriften für Industriebatterien sind anzuwenden (BattG vom 03.11.2020).

Hersteller müssen ordnungsgemäß registriert sein. Sicherheitstechnische Anforderungen werden im Sinne dieses Gesetzes, bis auf die Verbote von Quecksilber bei einem Gewichtsanteil von mehr als 0,0005 % und Cadmium bei einem Gewichtsanteil von mehr als 0,002 %, an die Industriebatterien für PHEVs und BEVs nicht gestellt. (BattG vom 03.11.2020)

3.1.4 Ladestationen

Ladestationen sind grundsätzlich nur von Elektrofachbetrieben zu installieren, die im Installateur-Verzeichnis des Energieversorgers/Netzbetreibers eingetragen sind. Grundsätzliche Vorgaben ergeben sich unter anderem aus der Niederspannungsanschlussverordnung, der VDE 0100, insbesondere die VDE 0100-722 und VDE-AR-N 4100 und den technischen Anschlussbedingungen der Netzbetreiber. (VdS 3885)

Zusammenfassend sind folgende Mindestanforderungen zu erfüllen:

- Jeder Ladepunkt ist dort einzeln mit einer Überstromsicherheitseinrichtung und einem Fehlerstromschutzschalter abzusichern.
- Überspannungsschutz ist erforderlich.
- Ladestationen/Steckdosen sollten nur auf nichtbrennbarem Untergrund montiert werden.

Vorgesehen ist außerdem eine Erstprüfung gemäß VDE 0100-600 und eine wiederkehrende Prüfung der Ladestation und der Ladekabel gemäß TRBS 1201 oder DGUV Vorschrift 3- (VdS 3885)

3.2 Aufbau klassischer Lithium-Ionen-Batterien

Bei den Lithium-Ionen-Batterien in der Elektromobilität handelt es sich um Sekundärbatterien. Eine Lithium-Ionen-Zelle besteht aus zwei unterschiedlichen Elektroden, der Anode und der Kathode. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich ein ionenleitendes Elektrolyt, um den Ladungsaustausch zu ermöglichen. Ein Separator gewährleistet dabei die elektrische Trennung der Elektroden. (Korthauer 2013, S. 276)

Die Spannung einer einzelnen Lithium-Ionen-Zelle beträgt bei heutigen Systemen zwischen 2,2 V und 4,2 V pro Zelle. Da diese Spannungen für die meisten Anwendungstypen nicht reichen, werden mehrere Zellen in Serie zu einer Batterie zusammengeschaltet. Vor allem bei größeren Batterien wird meist ein modularer Aufbau gewählt, da einzelne

Zellblockuntereinheiten gebildet werden. Die Zellblockuntereinheiten ermöglichen einen leichteren Austausch kleiner Zellblöcke. (VDE e.V. 2021)

Die vereinfachte Darstellung des Aufbaus einer Lithium-Ionen-Batterie ist in Abbildung 5 dargestellt.

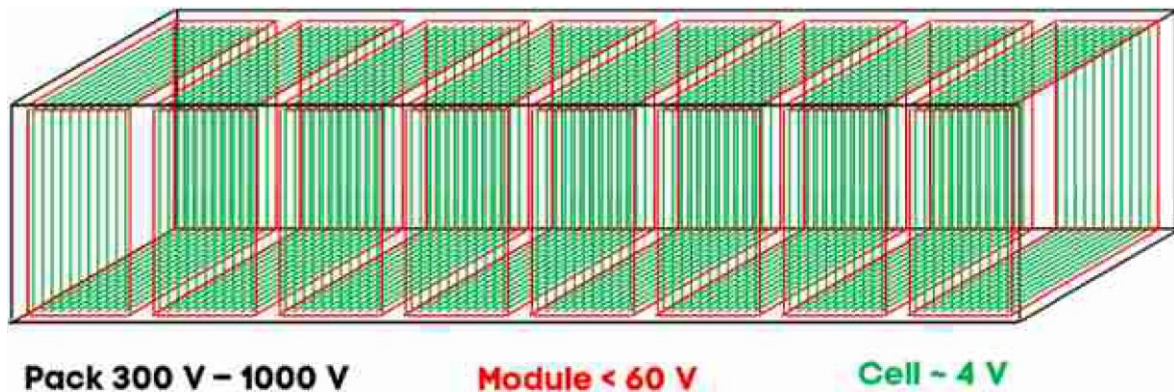


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung einer Antriebsbatterie aus (Bisschop et al. 2020, S. 2673)

Bei den Lithium-Ionen-Zellen unterscheidet man drei Bauformen. Die Rundzellen, die zylindrisch aufgebaut sind. Der Produktionsprozess der Rundzellen ist weit verbreitet. Bei enger Packart gestaltet sich die Wärmeabfuhr allerdings schwierig. Bei der Flachzelle werden die Elektroden übereinandergeschichtet. Eine bessere Wärmeabfuhr ist aufgrund des gut geeigneten Oberflächen-Volumen-Verhältnis bei dieser Zellform gegeben. Problematisch ist dieses Format in Anbetracht der langfristigen Dichtigkeit und der Volumenzunahme, die durch Innendruck und Materialausdehnungen entsteht. Die Prismatische Zelle vereint mit der oval gewickelten Zellform die positiven Eigenschaften der Rundzelle und der Flachzelle. (Kampker et al. 2018, S. 348–349)

3.2.1 Bestandteile der Lithium-Ionen-Batterien

Die Lithium-Ionen-Batterie besteht aus vielen in Reihe oder parallel geschalteten Zellen, vgl. Kapitel 3.2. Die einzelnen Zellen bestehen im Wesentlichen aus Kollektor, Anode, Kathode, Separator und Elektrolyt. Der beispielhafte Aufbau und die Funktion einer Lithium-Ionen-Zelle ist in Abbildung 6 dargestellt. (VDE e.V. 2021)

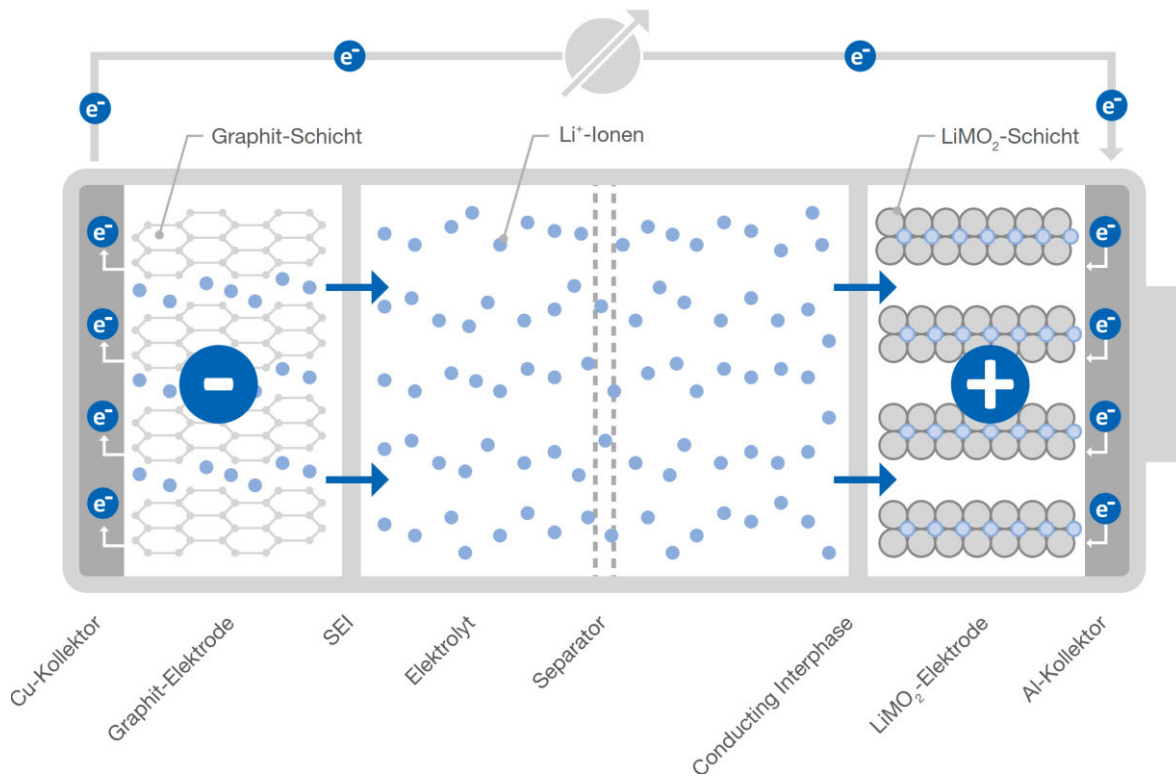


Abbildung 6: Beispielhafter Aufbau und Funktion einer Lithium Zelle beim Entladevorgang (VDE e.V. 2021)

Für die einzelnen Bestandteile gibt es in der Fertigung und Entwicklung verschiedene Materialkombinationen. Die wichtigsten Materialkombinationen des Kathoden- und Anodenmaterials von heutzutage gefertigten Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten werden in Tabelle 4 dargestellt. (Kampker et al. 2018, S. 345)

Bei der Auswahl des Elektrolyten ist zwischen flüssig, polymer und fest zu unterscheiden. Wobei Flüssigelektrolyte im kommerziellen Bereich am häufigsten eingesetzt werden. Die Festelektrolyte ermöglichen eine nichtbrennbare Alternative mit einer höheren Energiedichte als bei Flüssigelektrolyten. Für den kommerziellen Anwendungsbereich sind die Festelektrolyte aber noch nicht geeignet. (VDE e.V. 2021)

Die gängigen Elektrolyte basieren auf LiPF₆, gelöst in einer Mischung organischer Carbonate wie EC, DMC und DEC (Korthauer 2013, S. 268).

Batterieseparatoren sind im Falle der Lithium-Ionen-Batterien zumeist Membranen auf Polyolefinbasis. Gängige Separatoren aus Polyethylen (smp ~ 135 °C) oder Polypropylen (smp ~ 160 °C) können bei großformatigen Zellen aufgrund des erschwerten Wärmeabtransportes schmelzen. Das Risiko eines internen Kurzschlusses steigt. (Korthauer 2013, S. 80–85)

Tabelle 4: Populäre Materialbestandteile heute gefertigter Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigen Elektrolyten
(Eigendarstellung in Anlehnung an (Kampker et al. 2018, S. 345))

Kathodenmaterial		Anodenmaterial	
Material	Eigenschaften	Material	Eigenschaften
NMC ($LiNi_xMn_yCo_zO_2$)	Populäres Mischmaterial mit optimierten Eigenschaften	Graphit (LiC_6)	Teures Material, hohe Vollzyklenzahl
NCA ($LiNi_xCo_yAl_zO_2$)	Hohe Energiedichte, hohes Sicherheitsrisiko	Hard Carbon (LiC_6)	Geringe Vollzyklenzahl
LFP ($LiFePO_4$)	Günstiges und sicheres Ausgangsmaterial	LTO ($Li_4Ti_5O_{12}$)	Geringere Energiedichte, sicheres Material
LMO ($LiMn_2O_4$)	Schlechte Lebensdauer, sicherer als CO & Ni	Silizium ($Li_{22}Si_6$)	Hohe Energiedichte
LCO ($LiCoO_2$)	Gute Lebensdauer, Sicherheitsrisiko		
LNO ($LiNiO_2$)	Höchstes Sicherheitsrisiko, gute Performance		

3.2.2 Thermal runaway

Das thermische Durchgehen bzw. engl. „thermal runaway“ ist eine in Lithium-Ionen-Batterien unaufhaltbare Kettenreaktion, bei der die Temperatur innerhalb kurzer Zeit stark ansteigt. Der Prozess des „thermal runaway“ kann in einer einzelnen Zelle beginnen und sich dann als langsame Kettenreaktion durch starke Wärmefreisetzung oder durch die Entzündung des gasförmigen Elektrolyts auf weitere Zellen ausbreiten. (VDE e.V. 2021)

Auslöser für den „thermal runaway“ ist ein externer Fehlgebrauch oder interne Zellabläufe (Korthauer 2013, S. 267). Die externen und internen Auslöser und der Ablauf des „thermal runaway“ ist in Abbildung 7 dargestellt.

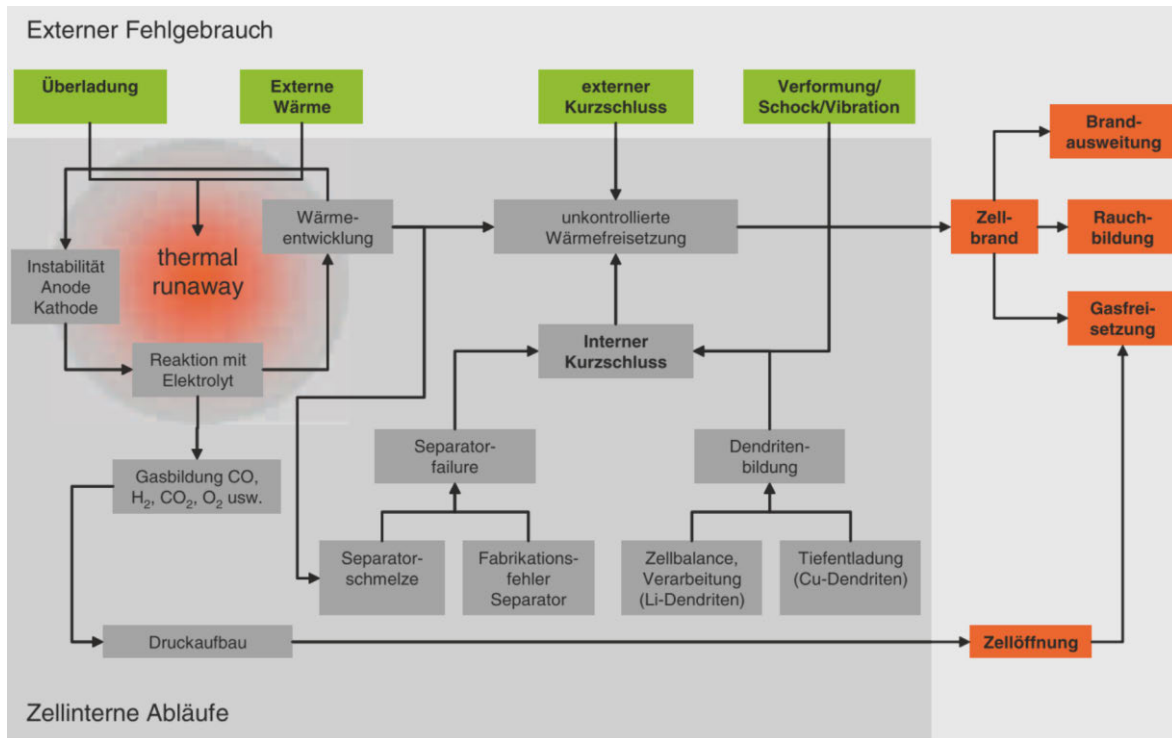


Abbildung 7: Auslöser und Ablauf der thermischen Zersetzung einer Lithium-Ionen-Batterie aus (Korthauer 2013)

Externer Fehlgebrauch bezeichnet hierbei die Stoßbeanspruchung, Überhitzung (von außen), einen externen Kurzschluss oder eine Überladung. Ein interner Auslöser kann ein Versagen des Separators oder die Dendritenbildung sein. Die Sicherheit der Lithium-Ionen-Batterien hängt demnach maßgeblich von der thermischen Stabilität der Zellen und dem Gefährdungspotenzial der Zersetzungsprodukte ab. (Korthauer 2013, S. 267)

Der Temperaturbereich von Lithium-Ionen-Batterien liegt im Optimum bei ~ 25 °C. Temperaturen deutlich unter oder oberhalb der 25 °C sind zu vermeiden. Je weiter die Betriebstemperatur von der optimalen Temperatur abweicht, desto größer sind die Einflüsse der Temperatur auf die Sicherheit der Zelle. Beim Überschreiten einer kritischen Betriebstemperatur (T_{krit}) kann es zu einer unkontrollierten Überhitzung durch eine selbstverstärkende exotherme Reaktion kommen. Dieses sogenannte „thermische Durchgehen“ gilt es zu vermeiden. Dieser „thermal runaway“ kann bereits bei Betriebstemperaturen von 80 °C starten. (Kampker et al. 2018, S. 369–370)

Bei einer Batterietemperatur von über 150 °C besteht ein großes Risiko eines „thermal runaway“ (Sun et al. 2020, S. 1378).

Wenn der „thermal runaway“ gestartet ist, entsteht eine Kettenreaktion. Die Wärme breitet sich von Zelle zu Zelle aus. Die Anode und Katode werden instabil und beginnen mit dem Elektrolyt zu reagieren. Diese unkontrollierte Wärmefreisetzung führt entweder zu einem Zellbrand oder einem Druckaufbau innerhalb der Zelle. Dieser Druckaufbau führt

dann schließlich zur Zellöffnung und im weiteren Verlauf zum Zellbrand. Toxische Gase werden freigesetzt. (Korthauer 2013, S. 268)

Ein weiterer entscheidender Prozess des „thermal runaway“ ist die Sauerstoffbildung an der Kathode. Durch die Sauerstofffreisetzung aus den Oxiden erhöht sich die Energiefreisetzung bzw. wird diese erst ermöglicht. Bei einer Temperatur von 240 °C bzw. 250 °C zersetzen sich die Kathodenmaterialien, wie z.B. LiCoO_2 , exotherm unter Freisetzung von Sauerstoff. (Korthauer 2013, S. 272)

Gasentwicklung

Die Hauptquelle der Gasentwicklung wird durch die Reduktion des Elektrolyts an der Anode bzw. der Oxidation des Elektrolyts an der Kathode ausgelöst (Korthauer 2013, S. 268). Die Bestandteile des Gases hängen somit von den chemischen Reaktionen zwischen Elektrolyt und Anode bzw. Kathode ab (vgl. Tabelle 4). Zu den hoch toxischen, freigesetzten Gasen zählen unter anderem HF, HCN, CO, POF_3 (Sun et al. 2020, S. 1378). Als weiteres toxisches Gas ist PH_3 zu nennen (Korthauer 2013, S. 268). Außerdem werden gesundheitsgefährdende Aldehyde und kanzerogene Stäube freigesetzt. Auch brennbare Gase wie H_2 und CH_4 sind Zersetzungsprodukte (Korthauer 2013, S. 268).

3.3 Aufbau moderner Elektrofahrzeuge

Um Gefahrenquellen in Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) identifizieren zu können, ist zunächst zu klären, wie heutige Elektrofahrzeuge aufgebaut sind. Die Feuersicherheit moderner Fahrzeuge ist abhängig von ihrer Energiequelle (Bisschop et al. 2020, S. 2675). Aufgrund der hohen Temperaturen und den freigesetzten Brandgasen stellt sich die Brandbekämpfung in geschlossenen Garagen sowohl für konventionelle Kfz als auch für Elektrofahrzeuge als schwierig dar (GDV 09.03.2021). Bei konventionellen Kfz ist der Brennstoff, wenn nicht sicher verwahrt, die größte Gefahr. Bei Elektrofahrzeugen sind die Lithium-Ionen-Batterien die größte Gefahr (Bisschop et al. 2020, S. 2675). Die Hochvoltbatterien moderner Elektrofahrzeuge speichern Energie von bis zu 100 kWh, bei Spannungen zwischen 300 V und 1.000 V (Bisschop et al. 2020). Bei dem Aufbau moderner Elektrofahrzeuge werden daher insbesondere die Verortung der Hochvoltkomponenten betrachtet. Zu den Hochvoltkomponenten zählen die Hochvoltbatterie (Lithium-Ionen-Batterien) und die Hochvoltleitungen.

Die Batterien der Elektrofahrzeuge sind in der Regel im Fahrzeugboden untergebracht (Xia et al. 2014). Im Wesentlichen unterscheidet man bei der Anordnung der Batteriepakete zwischen den zwei Anordnungsformen gemäß Abbildung 8 und Abbildung 9 (Xia et al. 2014). Diese Anordnungsformen werden aufgrund der hohen benötigten Kapazität der

Batterien insbesondere für BEV verwendet (Bisschop et al. 2020). Eine dritte, eher seltener vorkommende, Anordnungsform gemäß Bisschop et al. (2020) ist in Abbildung 10 dargestellt. Die in Abbildung 10 dargestellte „Rear solution“ wird eher bei kleineren BEV und bei PHEV angewandt, da in der Regel für diese Fahrzeugtypen ein geringerer Batteriespeicher ausreicht (Bisschop et al. 2020) .

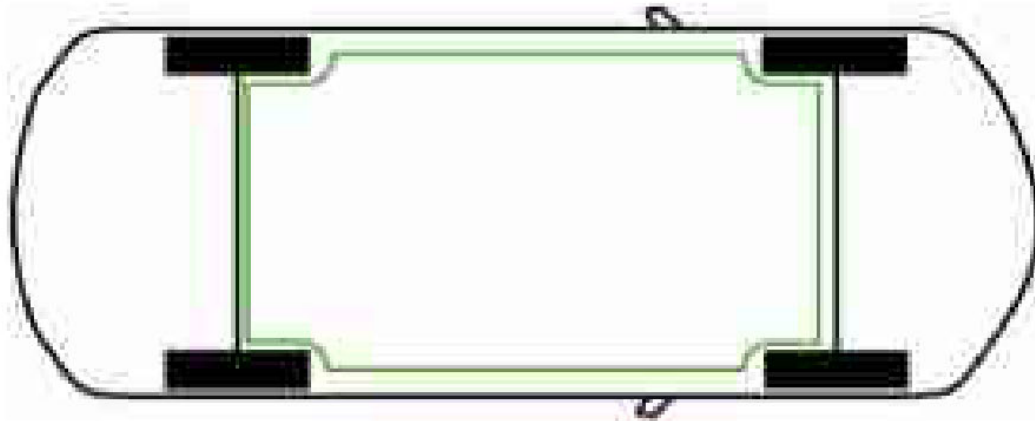


Abbildung 8: Batterieanordnung „Floor solution“ (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674)

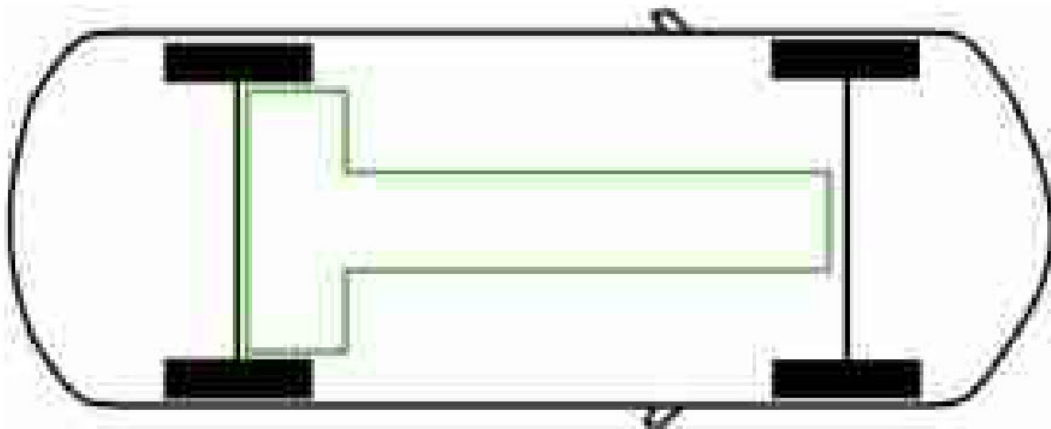


Abbildung 9: Batterieanordnung "T solution" (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674)

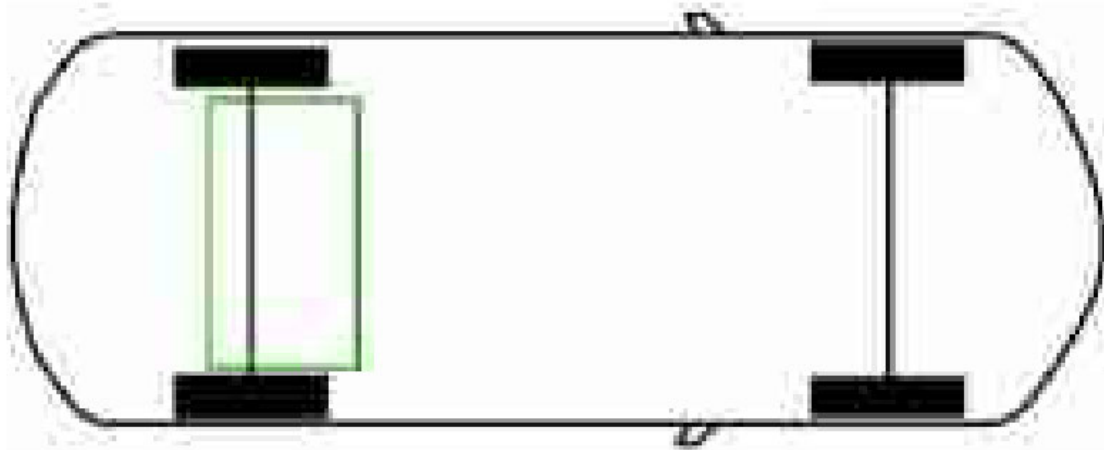


Abbildung 10: Batterieranordnung "Rear solution" (Bisschop et al. 2020, S. 2673–2674)

Die meisten Unfälle mit Elektrofahrzeugen werden durch Stoßbeanspruchung, Überhitzung, Kurzschlüsse oder Überladung der Lithium-Ionen-Batterien verursacht (Li et al. 2020, S. 2548).

3.3.1 Schutz vor Stoßbeanspruchungen

Die einzelnen Lithium-Ionen-Zellen müssen vor Stoßbeanspruchung geschützt werden, da eine Verformung oder eine Beschädigung einen internen Kurzschluss verursachen kann. Ein interner Kurzschluss kann eine unkontrollierte Wärmefreisetzung auslösen und somit zum Zellbrand führen (Korthauer 2013, S. 267).

Um die Sicherheit eines modernen Elektrofahrzeuges zu gewährleisten, ist es daher wichtig, die Lithium-Ion-Batterien sicher vor Stoßbeanspruchungen im Fahrzeug zu integrieren. Die Sicherheitszonen ergeben sich aus der Analyse der Unfallschäden von über 9.000 Fahrzeugen. Die „Protection Zone #1“ stellt eine erste Knautschzone dar. Bereits bei kleineren Kollisionen kommt es zu

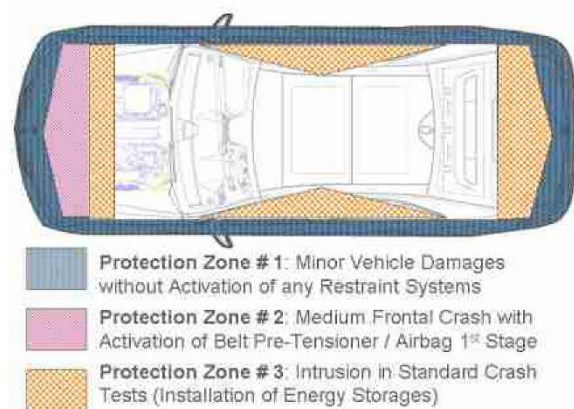


Abbildung 11: Sicherheitszonen (Daimler AG 2011)

Verformungen in den hier dargestellten blauen Bereichen. Hochvoltteile sollten in dieser Zone vermieden werden. In der „Protection Zone #2“ wird die Knautschzone eines mittelschweren, frontalen Verkehrsunfalls berücksichtigt. Die „Protection Zone #3“ zeigt die Verformungen bei Standardcrashtests. Bei weniger als 2 % aller Straßenunfälle würden die Hochvoltsysteme in diesen Bereichen beschädigt werden. Die Bereiche der in

Standardcrashtests gezeigten Verformungen sollten dennoch hochvoltsystemfrei gehalten werden. Der weiße Bereich in Abbildung 11 zeigt die für Lithium-Ionen-Batterien am besten geeigneten Bereiche. (Daimler AG 2011)

3.3.2 Schutz vor Überhitzung

Hauptursache für eine Überhitzung der Batterie sind elektrischer-, thermischer- oder mechanischer Fehlgebrauch. Interner Auslöser kann auch ein Fehler in der Zelle der Batterie sein, wodurch eine Zersetzung der Zelle einen Anstieg der Zelltemperatur verursacht. Aber auch bei Lade- und Entladevorgängen entsteht Wärme. Um die Temperatur der Batterie konstant zu halten, sind in den Zellblöcken Komponenten für das thermische Management installiert. Zur Kühlung der Batterien unterscheidet man zwischen zwei Systemen: dem luftgekühlten System und dem flüssiggekühlten System. Bei flüssiggekühlten Systemen wird üblicherweise ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet, das die Wärme von der Zelle aufnimmt und diese mit einem externen Wärmetauscher an die Umgebung abgibt. (VDE e.V. 2021)

Es gilt die Temperatur möglichst nahe an der optimalen Betriebstemperatur zu halten und die kritische Temperatur T_{krit} zu vermeiden (Kampker et al. 2018, S. 369–370). Vergleiche auch Kapitel 3.2.2.

3.3.3 Schutz vor Kurzschlüssen und Überladung

Kurzschlüsse und Überladungen sind Auslöser eines „thermal runaway“. Bei der Betrachtung der Überladung ist auch die Tiefenentladung zu berücksichtigen. Zu den Kurzschlüssen zählen die internen und externen Kurzschlüsse.

Überladung und Tiefenentladung

Bei der Überladung bricht die Schichtstruktur der Metalloxide zusammen. Durch eine starke exotherme Reaktion wird viel Energie freigesetzt. Elementarer Sauerstoff wird gebildet und die hohe Wärmeenergie führt zur Verdampfung des flüssigen Elektrolyts, wodurch leicht brennbare Gase entstehen. Beim Überschreiten des Flammpunktes der leicht brennbaren Gase kommt es zum Brand der Lithium-Ion-Zelle. Bei der Tiefenentladung kann es ebenfalls durch eine Zersetzung des Elektrolyts zum Brand kommen. Durch die Tiefenentladung können sich außerdem Dendriten bilden, welche die Separatoren beschädigen können. (Mäßling 2012)

Um eine Überladung bzw. Tiefenentladung zu vermeiden, ist ein zuverlässiges Batteriemanagementsystem (BMS) erforderlich. (Dorn et al. 2013)

Kurzschlüsse

Innere Kurzschlüsse finden innerhalb der Zelle statt. Beim inneren Kurzschluss kommt es zu einem Kontakt der Anode mit der Kathode (Matzer 2013). Ein innerer Kurzschluss wird dabei durch das Versagen des Separators ausgelöst (Ouvrier 2014). Ursächlich für das Versagen des Separators ist die Dendritenbildung oder das Schmelzen des Separators aufgrund von Überhitzung oder Fabrikationsfehlern (Ouvrier 2014). Auch Beschädigungen der Zelle können ein Auslöser eines inneren Kurzschlusses sein (Matzer 2013).

Der externe Kurzschluss entsteht durch einen direkten Kontakt der beiden Stromabnehmer außerhalb der Zelle (Matzer 2013). Der externe Kurzschluss führt zu einer Kapazitätsabnahme und zu einer hohen Wärmeproduktion. Es kann zum Brandausbruch kommen (IFS 2022).

3.4 Brandeigenschaften und Brandbekämpfung

Im folgenden Abschnitt werden nun zunächst ausgewählte Statistiken im Zusammenhang mit Brandereignissen, in die elektrisch betriebene Fahrzeuge verwickelt waren, aufgeschlüsselt. Anschließend werden aktuelle Daten zu Brandversuchen dargelegt. In Kapitel 3.4.4 wird die Möglichkeit der Brandbekämpfung unter Betrachtung der Statistiken und Brandversuche erörtert.

3.4.1 Statistiken zu Brandereignissen

Aktuelle, valide Studien, welche die Brandursachen bei Elektrofahrzeugen statistisch darlegen, konnten im Rahmen der Literaturrecherche nicht beigebracht werden. Ein Telefonat mit dem Institut für Schadeninstitut und Schadenforschung ergab, dass etwaige Studien aufgrund der geringen Schadensfälle und Fallzahlen keine belastbaren Statistiken hervorbringen würden. (IFS e.V. 02.02.2022). Auch der Gesamtverband der Deutschen Versicherer können in ihren Schadensstatistiken keine erhöhte Brandgefahr bei Elektroautos feststellen (GDV 09.03.2021).

3.4.2 Daten aktueller Brandversuche

Im Fokus dieser Arbeit stehen zwei Brandversuchsreihen, die in diesem Kapitel behandelt werden. In der Versuchsreihe von Lecocq et al. (2012) werden jeweils ein BEV und ein konventionelles Fahrzeug (ICEV) zweier Automobilhersteller verglichen. Die Versuchsreihe von Lam et al. (2016) beinhaltet Brandversuche von insgesamt sieben Fahrzeugen, darunter BEVs, PHEVs und ICEVs.

Versuchsreihe von Lecocq et al. (2012)

Die Versuchsreihe umfasst insgesamt vier Kfz. Es werden zwei Modelle untersucht, jedes Modell einmal als BEV und einmal als ICEV. Der Volumenstrom der Versuchsstrecke lag während des gesamten Versuchs bei etwa 25.000 m³/h. Die Fahrzeuge sind mit einem ~ 6 kW Gasbrenner unterhalb des linken Vordersitzes angezündet worden. Um zu gewährleisten, dass der Brand aufrechterhalten wird, wurden die Fenster geöffnet und der linke Vordersitz aufgerissen. Der Versuchsaufbau ist Abbildung 12 zu entnehmen. (Lecocq et al. 2012)

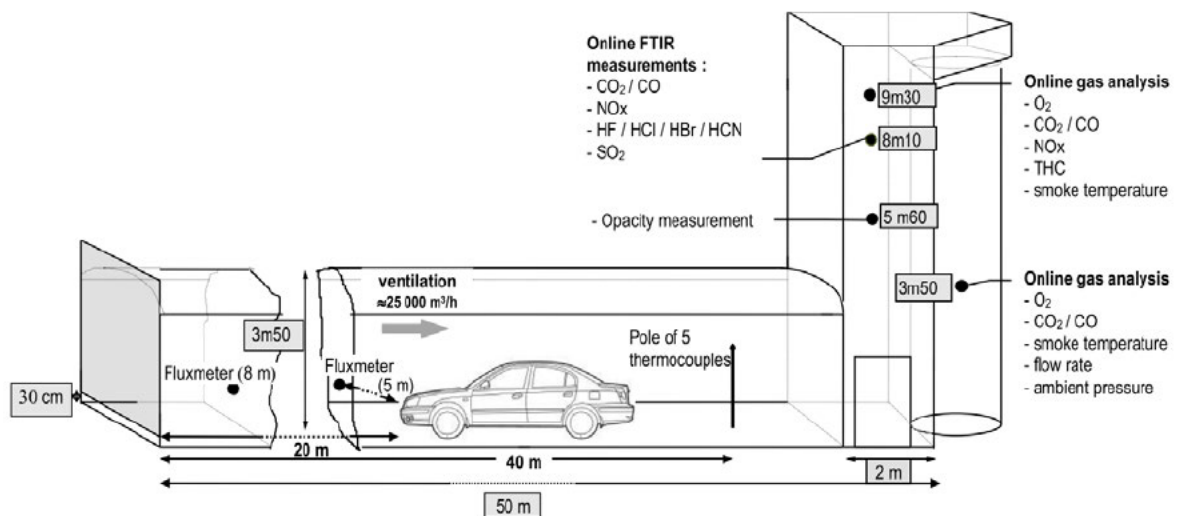


Abbildung 12: Brandversuchsaufbau nach Lecocq et al. (2012)

Die Brandentwicklungen aller Fahrzeuge wiesen signifikante Gemeinsamkeiten auf. Bei den Fahrzeugen beider getesteter Autohersteller ist ein ähnlicher Masseverlust von etwa 20 % der ursprünglichen Masse verzeichnet worden. (Lecocq et al. 2012)

Die Zusammenfassung der relevanten Größen ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Ausgewählte, relevante Größen der Brandversuche (Lecocq et al. 2012)

Größe	BEV Hersteller 1	ICEV Hersteller 1	BEV Hersteller 2	ICEV Hersteller 2
Masse	1.122 kg	1.128 kg	1.501 kg	1.404 kg
Masseverlust	212 kg	192 kg	278,5 kg	275 kg
Masseverlust	19 %	17 %	18,6%	19,6%
Maximale HRR	4,2 MW	4,8 MW	4,7 MW	6,1 MW
Verbrennungswärme	6.314 MJ	6.890 MJ	8.540 MJ	10.000MJ
Verbrennungswärme / Masseverlust	29,8 MJ/kg	35,9 MJ/kg	30,7 MJ/kg	36,4 MJ/kg

Die maximale Heat Release Rate (HRR) der gleichartigen Fahrzeuge desselben Herstellers lagen dicht beieinander. Beim Autohersteller 1 wurde für das BEV eine maximale HRR von 4,2 MW nach etwa 24 min gemessen. Für das ICEV des Autoherstellers 1 sind 4,8 MW nach etwa 16 min gemessen worden (Abbildung 13). (Lecocq et al. 2012)

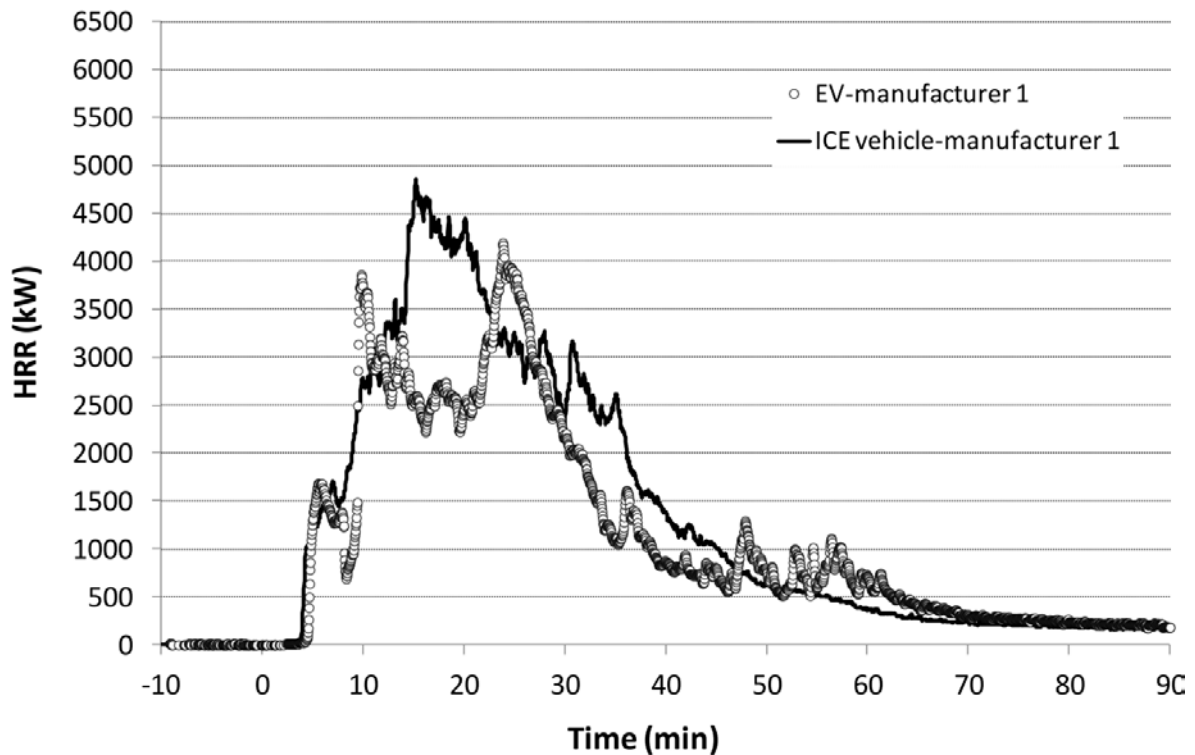


Abbildung 13: Vergleich der HRR für BEV und ICEV im zeitlichen Verlauf – Autohersteller 1 (Lecocq et al. 2012)

Beim Autohersteller 2 wurde für das BEV eine maximale HRR von 4,7 MW nach etwa 31 min gemessen. Für das ICEV des Autoherstellers 1 sind 6,1 MW nach etwa 19 min gemessen worden (Abbildung 14). (Lecocq et al. 2012)

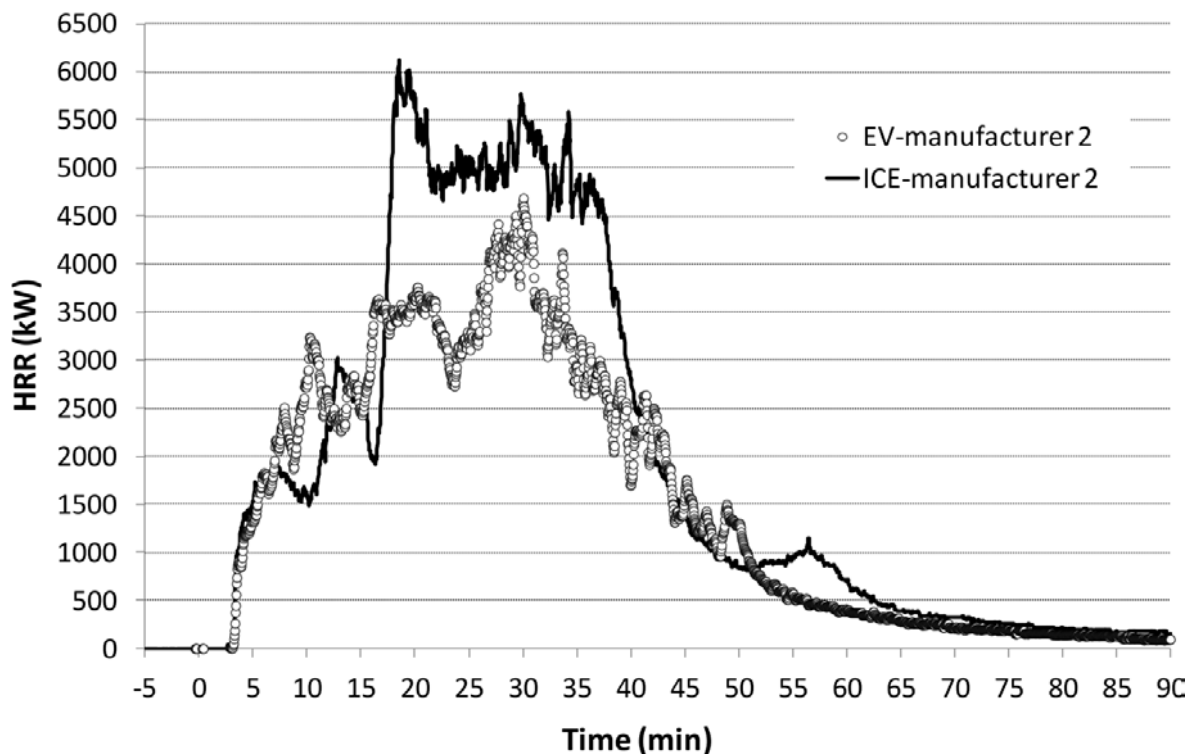


Abbildung 14: Vergleich der HRR für BEV und ICEV im zeitlichen Verlauf – Autohersteller 2 (Lecocq et al. 2012)

Versuchsreihe von Lam et al. (2016)

In der Versuchsreihe von Lam et al. (2016) sind insgesamt sieben Brandversuche an Fahrzeugen durchgeführt worden. Unter den Fahrzeugen waren 3 BEVs, 2 PHEVs und 2 ICEVs. Die Fahrzeuge sind in vier Fahrzeugtypen unterschieden worden. Modell A umfasste zwei BEVs, wobei einer vollständig 100 % geladen war und einer zu 85 % und einen ICEV. Bei Modell A ist das BEV von der Bauart dem ICEV nicht identisch, aber vom selben Hersteller mit einer ähnlichen Größe. Modell B umfasst zwei baugleiche Fahrzeugmodelle, einen ICEV und einen BEV. Die Batterie des BEV, Modell B hat zwei separate Batterien an unterschiedlichen Stellen. Die Modelle C bzw. D sind PHEVs verschiedener Hersteller mit einer nominell kleinen (C) bzw. mittleren (D) Batteriekapazität. Die Versuchsfahrzeuge standen auf einer Plattform, zentral über einem Propangasbrenner. Die Testplattform war auf gleicher Höhe mit dem Rand des Propangasbrenners. Die Temperaturen des 2 MW Propanfeuers lagen bei etwa 800 °C. (Lam et al. 2016)

Die Zusammenfassung der relevanten Größen ist Tabelle 6 zu entnehmen. Die Modellreihen (A), (B), (C) und (D) sind entsprechend gekennzeichnet.

Tabelle 6: Ausgewählte, relevante Größen der Brandversuche (Lam et al. 2016)

Größe	ICEV (A)	BEV (A) 100%	BEV (A) 85%	ICEV (B)	BEV (B)	PHEV (C) 85%	PHEV (D) 100%
Masse	1.096 kg	1.448 kg	1.475 kg	1.344 kg	1.650 kg	1.467 kg	1.712 kg
Masseverlust	274 kg	333 kg	295 kg	336 kg	363 kg	308 kg	445 kg
Masseverlust	25 %	23 %	20 %	25 %	22 %	21 %	26 %
Maximale HRR	7,1 MW	6,0 MW	5,9 MW	10,8 MW	6,9 MW	6,0 MW	7,9 MW
Verbrennungs-wärme	3.290 MJ	--	4.910 MJ	4.950 MJ	4.660 MJ	4.630 MJ	5.850 MJ
Verbrennungs-wärme / Masseverlust	12 MJ/kg	--	17 MJ/kg	15 MJ/kg	13 MJ/kg	15 MJ/kg	13 MJ/kg

Zusätzlich sind in der Brandversuchsreihe von Lam et al. (2016) Temperaturen in der Batterie und an der Außenseite der Batterie gemessen worden. Exemplarisch werden nachfolgend die Temperaturen der Batteriepacks des BEV (A) 85 % dargestellt, vergleiche Abbildung 15. Die Temperatur wies zwei sprunghafte Anstiege auf. Nach etwa 7 min stieg die Temperatur auf 1.100 °C an, fiel innerhalb weniger Sekunden auf etwa 550 °C ab und sank dann weiter auf bis etwa 400 °C. Der zweite sprunghafte Anstieg fand bei etwa 14 min statt, die Temperatur stieg auf bis zu 1.000 °C und sank dann wieder schnell auf 500 °C ab. Dieser zweite Anstieg zeigt die vollständige Beteiligung des Batteriepacks am Brandgeschehen. Ab etwa 25 min stieg die Temperatur der gesamten Batterie auf über 800 °C. (Lam et al. 2016)

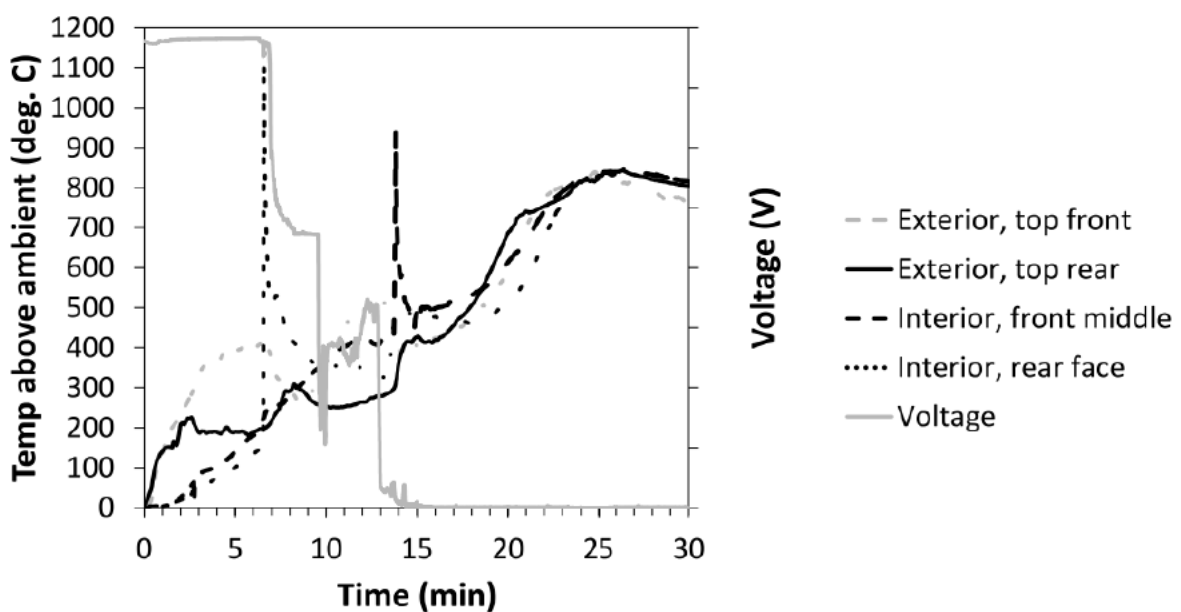


Abbildung 15: Spannungen und ausgewählte Temperaturen de BEV (A) 85% Batterie (Lam et al. 2016)

In der Versuchsreihe von Lecocq et al. (2012) ist das Feuer nach der Entzündung des Fahrzeuges selbsttragend gewesen, während die Versuchsreihe von Lam et al. (2016) mit dem 2 MW-Propangasbrenner eine Brandentstehung durch eine Benzin-Lache simulieren sollte. Durch die Verwendung des 2 MW-Brenners während des gesamten Versuches sind die leicht erhöhten HRR in der Versuchsreihe von Lam et al. (2016) zu erklären. Ansonsten gleichen die Daten der HRR der Versuchsreihe von Lam et al. (2016), denen der Versuchsreihe von Lecocq et al. (2012). Daher werden die HRR von Lecocq et al. (2012) in dieser Arbeit nicht grafisch dargestellt.

3.4.3 Toxizität der Rauchgase

Eine Analyse der Brandgase von Sun et al. (2020) fanden neben Fluorwasserstoff (HF) und Blausäure (HCN) unter anderem auch Kohlenstoffmonoxid (CO). Korthauer (2013) verweist zusätzlich auf Phosphin (PH₃). Weitere von Sun et al. (2020) und Korthauer (2013) genannte Rauchgase werden nicht betrachtet, sind aber zum Teil ebenfalls als toxische Gase einzuordnen. Um die Toxizität dieser Stoffe zu beurteilen, werden nachfolgend die o. a. Stoffe kurz vorgestellt und die Gefahrenhinweise (H-Sätze) genannt. Für die Sicherheitshinweise (P-Sätze) und die vollständige Charakterisierung der entsprechenden Stoffe wird auf die Stoffdatenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung verwiesen.

HCN bzw. Cyanwasserstoff/Blausäure ist ein Stoff, von dem akute oder chronische Gesundheitsgefährdungen ausgehen. Bei Raumtemperatur liegt HCN flüssig vor und ist extrem entzündlich, der Stoff ist aufgrund seines Siedepunktes von 26 °C leicht flüchtig. HCN Dämpfe bilden mit Luft explosive Gemische. HCN ist mit Wasser mischbar, flüssig vorliegend ist HCN der Wassergefährdungsklasse (WGK) 3 „stark wassergefährdend“ zuzuordnen. Die H-Sätze: „H224: Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar, H300+H310+H330: Lebensgefahr bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen, H372: Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (Betroffene Organe: Schilddrüse; Expositionsweg: Oral) und H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung“ sind zu beachten. (IFA 2022a)

HF bzw. Fluorwasserstoffsäure ist eine anorganische Säure, von der akute oder chronische Gesundheitsgefährdungen ausgehen. HF liegt bei Zimmertemperatur als farbloses, sehr giftiges Gas vor. HF ist vollständig mischbar mit Wasser und der Wassergefährdungsklasse 2 (WGK 2): „deutlich wassergefährdend“ zuzuordnen. Es gilt die EU-GHS-Einstufung und Kennzeichnung zu beachten. Die H-Sätze: „H300+H310+H330: Lebensgefahr bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen und H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden“ sind zu beachten. (IFA 2022b)

CO bzw. Kohlenmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas, von dem akute oder chronische Gesundheitsgefährdungen ausgehen. Das Gas ist extrem entzündbar und bildet mit Luft ein explosives Gemisch. Die H-Sätze: „H220: Extrem entzündbares Gas, H331: Giftig bei Einatmen, H360D: Kann das Kind im Mutterleib schädigen und H372: Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition“ sind zu beachten. (IFA 2022d)

PH₃ bzw. Phosphin ist ein farbloses Gas, von dem akute oder chronische Gesundheitsgefährdungen ausgehen. Das Gas ist extrem entzündbar und bildet mit Luft ein explosives Gemisch. PH₃ ist deutlich wassergefährdend (WGK 2). Die H-Sätze: „H220: Extrem entzündbares Gas, H330: Lebensgefahr bei Einatmen, H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden und H400: Sehr giftig für Wasserorganismen“ sind zu beachten. (IFA 2022e)

3.4.4 Brandbekämpfung

Das Verbrennungsdreieck zeigt die Voraussetzungen für die Entstehung und Ausbreitung eines Feuers, vergleiche Abbildung 16. Ein Feuer setzt vier Gegebenheiten voraus. Die drei Komponenten Sauerstoff, Wärme und den brennbaren Stoff sowie dem richtigen Mischungsverhältnis dieser. Entzieht man dem Feuer einen dieser vier Voraussetzungen kann es nicht mehr brennen. (Schwarz 2018, S. 187)



Abbildung 16: Verbrennungsdreieck (Perhelion 28.05.2013)

Auch Lithium-Ionen-Batterien müssen der Gesetzmäßigkeit der oben aufgeführten vier Komponenten folgen. Aber beim „thermal runaway“ bildet sich an der Kathode der Batterie Sauerstoff. Der Sauerstoff wird hierbei aus den Oxiden der Kathode (vergleiche Tabelle 4) freigesetzt. Durch diese Sauerstofffreisetzung wird die Oxidation und die Energiefreisetzung in Form von Licht und Wärme verstärkt bzw. erst ermöglicht. Die Batteriebrände können demnach nicht durch den Sauerstoffausschluss gelöscht werden. (Korthauer 2013) Vergleiche auch Kapitel 3.2.2.

Lithium-Ionen-Batterien in modernen Elektrofahrzeugen stellen demnach eine andere Brandgefahr dar als konventionelle Kfz. Das Feuer einer Lithium-Ionen-Batterie ist schwerer zu löschen als das Feuer eines Kraftstoffbrands. Es werden wesentlich höhere Mengen Löschwasser bei der Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen benötigt. Die Feuerwehr

muss dabei teilweise über Stunden die Batterie kühlen, da sich durch das thermische Durchgehen auch nach einem erfolgreichen Löschvorgang die Batterie erneut entzünden kann. (Boehmer et al. 2021, S. 2104)

Zusätzlich zu den Schwierigkeiten aufgrund des Brandverhaltens der Batterie stellen Feuer in einer geschlossenen Garage grundsätzlich schon eine Herausforderung für die Einsatzkräfte dar. Die hohe Rauchdichtigkeit erschwert hierbei die Brandbekämpfung und die Rettung betroffener Personen. (SP Technical Research Institute of Sweden 2016) Um die Brandbekämpfung in der Garage zu vereinfachen, ist es sinnvoll, die schnelle Zugänglichkeit zur Garage zu ermöglichen. Außerdem ist eine ausreichende Löschwasserversorgung, für eine längere Zeit bereit zu stellen. Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung sind zu berücksichtigen. (VdS 3885)

Grundsätze bei der Brandbekämpfung

Um die Lage der Hochvolt-Komponenten bestimmen zu können, muss zunächst das betroffene Fahrzeug identifiziert werden. Eine Möglichkeit BEVs und PHEVs zu erkennen, ist mit einer Abfrage des Fahrzeugkennzeichens über die zuständige Leitstelle möglich (DGUV 2020). Oft ist auf den Kennzeichen bereits der Kennbuchstabe „E“ (siehe Abbildung 4) ein entsprechender Hinweis. Weitere Identifikatoren sind unter anderem Aufdrucke auf dem Fahrzeug, orangefarbene Kabelverbindungen, Ladeanschlüsse oder das Fehlen der Abgasanlage (DGUV 2020). Eine einfache Merkregel ist die AUTO-Regel (DGUV 2020):

- **A**ustretende Betriebsstoffe,
- **U**nterboden, Motorraum und Kofferraum erkunden (orangefarbene Kabel, Gasflaschen, Tanks, Hochvoltbatterien),
- **T**ankdeckel öffnen (zusätzlicher Ladeanschluss),
- **O**berfläche absuchen (Typenkennzeichnung, Beschriftungen).

Kann der Fahrzeugtyp genau zugeordnet werden, ist es möglich, das Rettungsdatenblatt des entsprechenden Fahrzeugtyps zu verwenden. Für alle Kfz-Fabrikate gibt es Rettungsdatenblätter, diese sind mit einer Darstellung der besonderen Gefahrenstellen und einer dazugehörigen Legende ausgestattet (vgl. Anlage 3). Ist das Modell nicht direkt zu bestimmen, ist die Verortung der Hochvoltkomponenten aufwendiger. Einen Anhaltspunkt stellen die Darstellungen in Kapitel 3.3 dar.

4 Ergebnisse

Das nachfolgende Kapitel vergleicht und untersucht ausgewählte Aspekte der durchgeführten Experteninterviews. Inhaltlich wird eine Risikoeinschätzung der Experten zu den Themen Brandgefahren, Möglichkeit der Brandbekämpfung und die Besonderheit von E-Fahrrädern und E-Rollern durchgeführt. Außerdem werden von den Experten genannte Maßnahmen des baulichen-, anlagentechnischen- und organisatorischen Brandschutzes erörtert. Zur Vereinfachung und um den Lesefluss nicht übermäßig zu stören, erfolgt die Zuordnung der Inhalte zu den in Anlage 2 vorhandenen Transkripten wie folgt:

- Transkript Experteninterview 1: (E1)
- Transkript Experteninterview 2: (E2)
- Transkript Experteninterview 3: (E3)
- Transkript Experteninterview 4: (E4)
- Transkript Experteninterview 5: (E5)

4.1 Risikobeurteilung

Auf Basis der Schwerpunkte der Experteninterviews wird in diesem Abschnitt auf das Risiko der Brandgefahren, der Möglichkeit der Brandbekämpfung und auf die Besonderheit von E-Fahrrädern und E-Rollern eingegangen.

4.1.1 Brandgefahren

In den Interviews ergab sich der Schwerpunkt der Brandgefährdung der Elektromobilität. Demnach sind Brände sowohl elektrischer Fahrzeuge als auch die von konventionellen Verbrennern nicht ungefährlich (E1). Insbesondere die Brandlast moderner Pkws ist enorm gestiegen (E2). Die Bestandteile, eines modernen Fahrzeuges brennen unter anderem durch den hohen Kunststoffanteil gut (E4). Der Tank eines konventionellen Verbrenners oder die Batterie eines Elektrofahrzeuges spielen hierbei eher eine untergeordnete Rolle (E2). Ein Unterschied im Brandverhalten ist dann zu erkennen, wenn die Batterie sich am Brandgeschehen beteiligt (E4, E5). Durch das thermische Durchgehen erfolgt das Brandereignis dann von Zelle zu Zelle (E4). Der dabei wohl größte Unterschied zum konventionellen Kfz ist, dass die Lithium-Ionen-Batterie auch ohne Sauerstoff weiter brennen kann (E1).

Brandentstehungsgefahr

Die Experten sind in Bezug auf die Brandentstehungsgefahr zu folgenden Schlüssen gelangt. Ein Elektrofahrzeug hat ein anderes Risiko in Brand zu geraten als ein konventionelles Kfz (E4). Dabei gibt es einen Unterschied, ob ein Fahrzeug einfach so parkt oder ob es gerade lädt (E4). Auch andere Experten vertreten im Interview die Auffassung, dass der Ladevorgang die Wahrscheinlichkeit der Brandentstehung erhöht (E2) oder dass der Ladevorgang die Hauptbrandursache einer Brandentstehung ist (E3). Absolute Zahlen unterstützen das aber noch nicht ausreichend (E4). Für einen anderen Experten ist eine signifikante Erhöhung der Brandentstehung beim Ladevorgang derzeit nicht ersichtlich (E5). Kraftfahrzeuge und deren Batterien unterliegen einer entsprechenden Zulassungssystematik und die Ladeinfrastruktur wird von fachkundigen Elektrofirmen installiert (E5). Das Steckerkonzept und die Sicherheitskontrollen sind besonders wichtig, um die Brandentstehungsgefahr zu minimieren (E1).

Eine weitere Brandentstehungsgefahr sind Beschädigungen der Batterien. Bei Beschädigungen ist grundsätzlich Vorsicht geboten (E3), denn Vorschädigungen der Batterie können ein Brandereignis auslösen (E4). Abmildernd stuft ein weiterer Experte die Brandentstehungsgefahr durch Beschädigungen ein. Grundsätzlich ist die Brandentstehungsgefahr zwar vorhanden, in der Realität ist das bislang nur bei Einzelfällen belegt (E5).

Brandweiterleitungsgefahr

Das Schutzziel in der Garage ist es zu verhindern, dass sich der Brand auf benachbarte Fahrzeuge ausbreitet (E2). Die Brandweiterleitungsgefahr ist vergleichbar mit der Brandweiterleitungsgefahr bei Verbrennern (E4). Aufgrund der hohen Brandlasten ist es möglich, dass der Brand sich auf benachbarte Fahrzeuge ausbreitet (E4). Die Temperaturen eines Brandes sind hoch, wobei die Batterien nicht primär ursächlich hierfür sind (E2).

Dennoch ist bei Elektrofahrzeugen die Batterie nicht zu vernachlässigen (E4). Die Temperaturen lagen bei Brandversuchen an der Oberfläche der Batterie bei bis zu 1.000 °C (E4). Diese Temperaturen lagen nicht jederzeit in der Luft vor (E4). Ein Batteriebrand kann schnell durchreagieren (E4). Insbesondere, wenn in der Garage im Brandfall keine Anlagentechnik vorhanden ist, kann sich der Brand potenziell sehr schnell ausbreiten (E4). In dem Fall ist schnell mit einem großen Brand in der Garage zu rechnen (E4).

Grundsätzlich ist die Gefahr der Brandweiterleitung mit Anlagentechnik wie Sprinkleranlagen oder Nebelwasserlöschanlagen zu bewältigen (E2). Vergleiche auch Abschnitt 4.2.2.

Toxizität der Rauchgase

Beim Brand eines Pkws kommt es zu starken Rauchentwicklungen (E2). Die starke Rauchentwicklung ist gerade in der Garage ein Problem, da der Rauch nicht so gut abgeführt werden kann wie auf einer freien Fläche. Dies ist auch in Abschnitt 4.1.2 dargestellt.

Wenn die Batterie am Brandgeschehen beteiligt ist und es zum „thermal runaway“ gekommen ist, befinden sich unter anderem Säuren im Brandrauch (E5). Die Konzentration dieser Gase ist aber relativ klein (E5). Bei einer Analyse sind unter anderem Fluorsäurehaltige Gase wie HF entdeckt worden. Außerdem ist in den Rauchgasen HCL und HCN festgestellt worden (E4). In den Rauchgasen sind noch 10 weitere nicht gesundheitsförderliche Stoffe im Rauchgas festgestellt worden (E4). Die Rauchgase sind giftig (E4).

Es darf dabei jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass jeder Brand mit Schadstoffen zu tun hat (E5). Dabei ist die Batterie selbst nicht gefährlicher als die Schadstoffe, die bei dem Brand der Kunststoffteile entstehen (E5). Vergleichend dazu ist auch das, was bei einem Plastikbrand im Rauchgas steckt toxisch (E4).

4.1.2 Möglichkeit zur Brandbekämpfung

Der Brand eines Elektrofahrzeuges ist beherrschbar, aber wenn sich die Lithium-Ionen-Batterie entzündet hat, dauert der Löschvorgang wesentlich länger (E3, E4, E5). Dieser Löschvorgang kann sich über Tage hinwegziehen (E3). Es ist sicherzustellen, ob es tatsächlich die Batterie ist, die brennt und nicht sonstige, andere Teile des Fahrzeuges (E2). Ist die Batterie beteiligt, kann sie sich auch nach dem Löschen wieder entzünden (E4).

Breitet sich der Brand auf weitere Fahrzeuge in der Garage aus, kann es zu Schwierigkeiten für die Feuerwehr kommen (E4). Ein Fahrzeug allein zu löschen kann auch in einer Garage als Routineeinsatz bezeichnet werden (E4). Es gilt die Brandweiterleitung auf weitere Fahrzeuge zu verhindern (E2, E4). Das zum Teil schnelle Durchreagieren der Batterie erschwert es dieses Ziel einzuhalten (E4). Insbesondere wenn die betroffene Garage nicht mit einer Löschanlage ausgestattet ist (E2, E4).

Am einfachsten ist es, die Brandbekämpfung auf freier Fläche zu handhaben (E1). Die Möglichkeit zur Brandbekämpfung in der Garage ist aufgrund der extremen Verrauchung erschwert (E2). Wenn keine Löschanlage vorhanden ist, sind zudem auch schnell hohe Temperaturen erreicht (E2). Einsatztaktisch ist es das Ziel, das Elektrofahrzeug in einen Bereich zu ziehen, in dem es gut gekühlt werden kann (E3). Für den Fall, dass die Batterie

beteiligt ist, muss das Fahrzeug zunächst signifikant runter gekühlt werden (E4, E5), sicher runtergekühlt gilt die Batterie bei einer Temperatur von unter 80 °C (E4). Bei dieser Temperatur kann das Fahrzeug dann an einen etwaigen Dienstleister übergeben werden (E4). Kann eine Beteiligung der Batterie am Brandgeschehen ausgeschlossen werden, zum Beispiel durch den Einsatz einer Wärmebildkamera, kann das Fahrzeug aber auch vor Ort in der Garage abgelöscht werden (E5).

Eine Herangehensweise, den Batteriebrand langfristig zu kühlen, ist, das betroffene Elektrofahrzeug in einen mit Wasser gefüllten Container zu verladen (E3, E4, E5). In vielen Fällen ist das aber gar nicht notwendig (E4) bzw. nicht praktikabel (E5). Und für den Fall, dass mehrere Elektrofahrzeuge betroffen sind, wird es dann auch schwierig, genügend Löschcontainer zu beschaffen (E4). Zudem fallen dadurch große Mengen kontaminiertes Löschwasser an (E3, E4, E5). Eine andere Lösung stellt das kontrollierte Abbrennen des Elektrofahrzeuges auf freier Fläche dar (E1). Auf der freien Fläche kann sich dann die Batterie ausreagieren (E5). Nur wenn sich dabei die Temperatur erhöht und es erneut zum Brand kommt, muss ein erneutes Ablöschen und Runterkühlen erfolgen (E5).

Gefährdungen für die Einsatzkräfte

Durch die Hochvoltbatterien gehen elektrische Gefährdungen aus (E1). Als Einsatzkraft ist auf spannungsführende Teile und die Verortung dieser zu achten (E2). Generell ist immer bei hohen Spannungen und dem Gebrauch von Wasser Vorsicht geboten (E1, E2). Nach Möglichkeit sollte die Batterie deaktiviert werden (E4). Die Batterie sollte dann im Brandfall von außen gelöscht werden (E2). Es gibt aber auch Untersuchungen, die zeigen, dass ein Nähern zur Personenrettung möglich ist (E4). Die Gefährdung eines Stromschlages ist relativ gering (E4). Es sollte aber nicht versucht werden, in die Batterie mit selbstkonstruierten Systemen einzudringen (E2). Die Informationen, wo Starkstromkabel verlegt sind, ist insbesondere, wenn man den Wagen aufschneiden muss, aus einsatztaktischer Sicht wichtig (E4). Der Einsatz der Feuerwehr kann mit der bekannten persönlichen Feuerwehrrschutzausrüstung erfolgen (E5).

In der Fortschreibung der MGarVO ist man zu etwas verschärften Anforderungen gekommen (E3). Hochgaragen bedürfen demnach mindestens einer F 30 Konstruktion (E3). Bei einer F 0 Konstruktion müsste man viel zu schnell von einem Versagen der Konstruktion ausgehen (E3). Bei einem Löschangriff wären die Feuerwehrleute selbst gefährdet (E3).

4.1.3 Besonderheit: E-Fahrräder und E-Scooter

Zwei Experten sehen in Elektrokleinstfahrzeugen eine besondere Gefährdung. Da derzeit auch vermehrt E-Fahrräder und E-Roller in den Garagen abgestellt werden, ist auch deren

Risiko zu betrachten (E3). Das Baurecht und die einschlägigen Vorschriften kennen nur Fahrräder und unterscheiden hier nicht zwischen muskelbetriebenen oder elektrisch betriebenen Rädern (E5). Anders als bei E-Pkws, die in einem regelmäßigen Abstand zum Technischer Überwachungsverein (TÜV) zur Kontrolle müssen, sind für E-Fahrräder oder E-Scooter diese Kontrollen nicht vorgeschrieben (E3). Elektrisch betriebene Kraftfahrzeuge unterliegen einer gewissen Zulassungssystematik (E5). Ein E-Fahrrad oder ein E-Roller kann einfach im Internet von überall auf der Welt bestellt werden (E5). Dabei ist die Qualität der verbauten Batterien nicht unbedingt „definiert“ (E5). Es besteht eine potenzielle Gefahr (E5).

Fahrräder und Roller fallen häufiger um, dabei kann auch die Batterie beschädigt werden, ohne dass ein solcher Schaden offensichtlich wird (E3). Bei Beschädigungen ist immer Vorsicht geboten (E3). Auch der Ladevorgang bei E-Fahrrädern ist genau zu beachten (E3). Die Ladeinfrastruktur eines elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugs ist zertifiziert (E5). Bei Fahrrädern ist dies zunächst nicht geregelt (E5). Handelt es sich um ein hochwertiges Elektrofahrrad mit einer Ladeeinrichtung nach VDE Standard mit einer CE Kennzeichnung, dann ist es erst einmal sicher (E5). Aber das ist nicht immer das, was in einer Garage vorzufinden ist. In Garagen sind auch Ladegeräte, die an eine Reihe von Dreifachstecker angeschlossen werden (E5). Das Gefahrenpotenzial ist größer als bei elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen (E5).

Einig sind sich die Experten darüber, dass die Batterien zum Laden keineswegs mit in die Wohnung genommen werden sollten (E3). Die Gefahr aus der Garage in die Wohnung zu verlagern, löst das Problem keineswegs (E5).

4.2 Maßnahmen

Bei der Novellierung der MGarVO sind einige Verschärfungen vorgesehen. Auch wenn in der gesamten MGarStVO die Elektromobilität nicht explizit genannt wird, sind zusätzliche Gefährdungen durch die Elektromobilität bei der Erstellung dieser Verordnung beachtet worden. (E3)

Die von den Experten genannten Maßnahmen, die zur Verringerung des Gefährdungspotenzials durch die Elektromobilität beitragen, werden in die baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen unterteilt.

4.2.1 Bauliche Maßnahmen

Im Fokus zweier Experten lag die Standsicherheit der Garage. Als ein Beispiel für eine Verschärfung der baulichen Maßnahmen nannte eine interviewte Person das Beispiel, dass

eine F 0 Konstruktion mit Einführung der Novellierung der MGarVO bei hohen Garagen mindestens einer F 30 Konstruktion bedarf (E3). Ein weiterer Experte schlägt eine schutzzielorientierte Nachweisführung für die Standsicherheit der Konstruktionen vor (E4).

Zwei Experten vertreten die Ansicht, dass auch eine Löschwasserrückhaltung in Garagen aufgrund der Belastung des Löschwassers durch Schwermetalle sinnvoll ist (E3, E4).

4.2.2 Anlagentechnische Maßnahmen

In den Interviews ist erörtert worden, inwiefern die Anlagentechnik in der Garage diese sicherer macht. Besondere Bedeutung haben unter diesem Aspekt die selbsttätigen Löschanlagen und die Ladestationen in der Garage.

Selbsttätige Löschanlagen

Von den Experten genannte selbsttätige Löschanlagen sind die Sprinkleranlage und die Hochdrucknebelwasserlöschanlage. Eine zertifizierte Hochdrucknebelwasserlöschanlage ist einer Sprinkleranlage gleichwertig (E2). Ein Vorteil der Hochdrucknebelwasserlöschanlage ist der geringere Wasserverbrauch (E1). Durch installierte Löschanlagen in der Garage kann die Brandausbreitung auf benachbarte Fahrzeuge verhindert werden (E2, E4). Den Brand selbst löschen kann die Löschanlage dabei nicht (E2).

International betrachtet werden in Deutschland im Verhältnis wenig Sprinkleranlagen installiert (E2). Im Ausland können die Anlagen häufig einfach an das Trinkwassernetz angeschlossen werden, was in Deutschland nicht möglich ist (E2). In Deutschland besteht dahingehend ein dringender Nachholbedarf (E2). Aber es ist unwahrscheinlich, dass jemand freiwillig eine Löschanlage in der Garage installiert (E2). Die Bauordnung müsste die Bauherren dazu schon zwingen (E2).

Im Gegensatz dazu steht der politische Wille (E3). Die Elektromobilität ist politisch gewollt (E3, E5). Auch politisch gewollt ist der kostengünstige Wohnungsbau (E3). Eine teure Löschanlage in einem kostengünstigen Wohnungsbau zu realisieren, ist nicht möglich (E3).

Ladestationen

Der Ladevorgang stellt eine potenzielle Gefahr dar, vgl. Kapitel 4.1.1. Durch eine fachgerecht installierte Ladeinfrastruktur lässt sich diese Gefahr minimieren (E4). Ein Experte wünscht sich Regelungen für die Installation von Ladestationen (E4). Und eine allgemeine Berücksichtigung dieser in der Novellierung der MGarVO (E4).

4.2.3 Organisatorische Maßnahmen

Aus den geführten Experteninterviews lassen sich organisatorische Maßnahmen ableiten. So ist es beispielsweise zu empfehlen, dass die Elektro-Ladestationen und dementsprechend auch die Elektroparkplätze nahe an den Ein- und Ausfahrten eingerichtet werden (E1, E3, E5). An den Ein- und Ausfahrten ist die Möglichkeit der Bergung des Kfz aus der Garage am besten möglich (E3, E5). Unter Berücksichtigung der derzeitigen Fahrzeugentwicklung ist jedoch abzusehen, dass bald schon mehr Elektrofahrzeuge, als konventionelle Kfz in der Garage untergebracht sein werden (E1, E3, E5).

Für weitere organisatorische Maßnahmen ist von einem Experten auf das bereits in Abschnitt 3.1.2 erläuterte Merkblatt: VdS 3885 verwiesen worden (E2).

5 Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die Wahl und die Herangehensweise der Methoden (Literaturrecherche und Experteninterviews) kritisch bewertet. Außerdem werden die in Kapitel 4 aufgelisteten Ergebnisse der Experteninterviews, unter Berücksichtigung der Grundlagenermittlung aus der Literaturrecherche, vergleichend analysiert.

5.1 Kritische Würdigung der Methode

5.1.1 Literaturrecherche

Zunächst musste die Forschungsfrage in ein recherchierbares Format übertragen werden. Dafür wurde die Forschungsfrage in einzelne Bestandteile bzw. Themenbereiche eingeteilt. Für die Auswahl eines geeigneten Schemas wurde zwischen dem PICO (Population, Phenomenon of interest, Context) und dem SPIDER (Spample, Phenomenon of Interest, Design, Evaluation, Research type) abgewogen. (Nordhausen und Hirt 2020)

Gemäß Methley et al. (2014) zeigt das SPIDER Schema eine sehr hohe Spezifität auf. Jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit relevante Publikationen mit dem SPIDER Schema nicht zu erfassen, daher empfehlen Methley et al. (2014) dieses nicht. Als geeignetes Schema ist dementsprechend das PICO Schema gewählt und angewandt worden.

Die systematische Literaturrecherche birgt die potenzielle Gefahr der systematischen Verzerrung (Schmucker et al. 2017). Insbesondere, da zur Beantwortung der Forschungsfrage nur die Metasuchmaschine Google Scholar verwendet worden ist, ist die Gefahr der Verzerrung und die damit verbundene Gefahr vom wahren Ergebnis abzuweichen real. Da zusätzlich die von den Experten, aus verschiedenen Bereichen mit verschiedenen Interessen, zur Verfügung gestellte Literatur verwendet worden ist, wird die Gefahr der Verzerrung als gering eingestuft.

Eine Problemstelle stellte die Beschaffung aktueller Brandversuche moderner elektromobiler Fahrzeuge in der geschlossenen Garage dar. Zwar konnten Brandversuche beigebracht werden, aber eine genaue Zuordnung der Fahrzeugmodelle ist unter anderem aufgrund von Verschwiegenheitspflichten nicht möglich gewesen. Durch die Betrachtung der Baujahre der in den Versuchen beteiligten Fahrzeuge, konnte aber dennoch auf moderne Fahrzeuge geschlossen werden.

5.1.2 Experteninterviews

Für das gewählte anonymisierte leitfadengestützte, qualitative Experteninterview sind Experten aus verschiedenen Bereichen hinzugezogen worden. Das Expertenwissen ist für die Forschung aufgrund der Reflexibilität, Kohärenz, Gewissheit und der Praxiswirksamkeit von besonderer Bedeutung. Insbesondere durch die Praxiswirksamkeit, ist das Expertenwissen orientierungs- und handlungsleitend für die beteiligten Akteure. (Bogner et al. 2014, S. 12)

Zwischen Interviewer und Experten besteht in der Regel ein Informationsgefälle. Durch einen zu hohen Grad des Informationsgefälles besteht die Gefahr, vom Experten als Laie wahrgenommen zu werden (Bogner et al. 2014). Dadurch neigen die Experten dazu oberflächliche Standardinformationen preiszugeben, forschungsrelevantes Expertenwissen verliert somit im Verlauf des Interviews an Bedeutung (Uni Trier 2002). Insbesondere unter Berücksichtigung der verschiedenen Themenbereiche, mit denen sich die einzelnen Experten beschäftigen, ist die Gefahr der Laienwahrnehmung zu berücksichtigen. Aus diesem Grund erfolgte vorab eine ausführliche Recherche. Die entsprechenden Leitfäden sind auf die entsprechenden Bereiche der einzelnen Experten gemäß Bogner et al. (2014) abgestimmt worden und dienten im Verlauf des Interviews als Gedächtnisstütze. Durch die umfassende Vorabrecherche konnte die Gefahr der Laienwahrnehmung deutlich reduziert werden.

Anders als bei der quantitativen Sozialforschung, in der die Standardisierung und die Vergleichbarkeit Teil der Güte der Forschungsmethode sind, ist das für die Forschungsmethode des qualitativen Experteninterviews nicht zutreffend (Bogner et al. 2014). Dementsprechend konnte für die Experten eigene, angepasste Leitfäden mit einem unterschiedlichen Themenschwerpunkt erstellt werden. Diese Veränderung der Themenschwerpunkte erfolgte nur für die Detailfragen. Die drei in Abschnitt 2.2.1 erörterten Leitfragen sind, um eine Zuordnung und Kategorisierung der Interviewinhalte zu ermöglichen, hiervon unberührt geblieben.

Die klassischen Gütekriterien der quantitativen Sozialforschung (Objektivität, Reliabilität, Validität) sind nur bedingt mit der qualitativen Forschung vereinbar. In Interviewsituationen ist Subjektivität grundsätzlich involviert. Methodisch kontrollierte und reflektierte Subjektivität ist in diesem Sinne ein Gütekriterium der qualitativen Forschung. Reliabilität ist für die qualitative Forschung ein ebenso ungeeignetes Gütekriterium. Um eine hohe Validität des Interviews zu erreichen, gilt es, das Interview möglichst offen zu gestalten. Durch eine offene Erhebung wird die subjektive Entfaltung ermöglicht und somit im Sinne der qualitativen Forschung angemessener und valider

erhoben. (Baur und Blasius 2014, S. 564) Um dementsprechend das Interview möglichst offen zu gestalten, erfolgte vor Beginn der Interviews ein kurzes Gespräch und der Hinweis auf die Anonymisierung des Interviews. Dieser Hinweis ist dann zu Beginn des Interviews noch einmal wiederholt worden.

Da es eine Bereinigung um soziale und kommunikative Effekte in Interviewsituationen nicht geben kann, müssen diese Effekte bei der Gestaltung und der Interpretation berücksichtigt werden (Baur und Blasius 2014, S. 564). Im Rahmen der Auswertung gilt es daher, diese Effekte kritisch zu berücksichtigen.

5.2 Interpretation der Risikobeurteilung

In der nachfolgenden Interpretation der Risikobeurteilung werden die Ergebnisse der Experteninterviews unter Berücksichtigung der aufgeführten Grundlagen erörtert und diskutiert.

5.2.1 Brandgefahren

In den Interviews sind die Brandgefahren sowohl bei konventionellen Kfz als auch bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen als gefährlich eingestuft worden. Auch Pehrs et al. (2021) haben das höhere Gewicht heutiger Fahrzeuge mit größeren Brandlasten im Vergleich zu den Fahrzeugen vergangener Generationen verbunden. Dabei ist weder der Tank noch die Batterie die Hauptbrandgefahr (Pehrs et al. 2021), (E2), (E4). Auch die beteiligten Experten bei der Novellierung der MGarVO bemerken eine bis 3-fach höhere Brandlast moderner Fahrzeuge (Synopsis: MGarVO-MGarStVO vom 04.09.2020). Die Brandgefahr durch die Lithium-Ionen-Batterien unterscheidet sich erst von konventionellen Kfz, wenn die Batterie selbst am Brandgeschehen teilnimmt (E4, E5). Die Brandversuchsreihen von Lam et al. (2016) und Lecocq et al. (2012) unterstützen die Aussagen der Experten. In beiden Versuchsreihen ist die maximale HRR der konventionellen Kfz höher als die HRR der elektrisch betriebenen Fahrzeuge (Vergleiche Tabelle 5 und Tabelle 6). In einer gemeinsamen Stellungnahme des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) und der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF) ist eine erhebliche Erhöhung bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen, der ohnehin schon vorhandenen Gefahren, nicht ersichtlich (DFV und AGBF 22.02.2021).

Insbesondere unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Argumente kommt der Autor zu dem Schluss, dass moderne Kraftfahrzeuge generell und unabhängig von der Antriebsart eine höhere Brandgefahr darstellen als Fahrzeuge vergangener Generationen. Kommt es allerdings zur Beteiligung der Batterie am Brandgeschehen, kann es im Rahmen des in

Kapitel 3.2.2 erläuterten Thermal runaway, zu einem anderen Brandereignis kommen. Es ist in diesem Fall ein anderer Brandbekämpfungseinsatz für die Feuerwehr, als bei konventionellen Kfz (vergleiche Kapitel 0). Die Temperatur steigt bei Beteiligung der Batterie bis hin zur Höchsttemperatur. Diese Temperaturen sind aber vergleichbar mit den Höchsttemperaturen konventioneller Kfz und stellen demnach kein erhöhtes Risiko dar.

Brandentstehungsgefahr

Die Experten gehen von einem unterschiedlichen Risiko aus, dass elektrisch betriebene Fahrzeuge in Brand geraten (E1, E3). Insbesondere der Ladevorgang erhöht demnach die Brandentstehungsgefahr (E3, E4, E5). Der GDV unterstützt die Aussage des Experten, dass aus Ihren Schadensstatistiken keine erhöhte Brandgefahren bei Elektroautos feststellbar sind (GDV 09.03.2021). Ursächlich dafür sind beim Ladevorgang sowohl interne bzw. externe Kurzschlüsse sowie eine Überladung bzw. Tiefenentladung (Mäßling 2012). Das Risiko kann durch ein zuverlässiges BMS (Dorn et al. 2013) bzw. durch eine fachgerechte Installation der Ladestationen (VdS 3885) verringert werden.

Zusätzlich stellt eine Beschädigung der Lithium-Ionen-Batterie eine Brandentstehungsgefahr dar. (E3, E4, E5) Die häufigsten Anordnungsformen der Batterien im Fahrzeug gemäß der Abbildung 8 bis Abbildung 10 befinden sich im Bereich der in Abbildung 11 dargestellten Sicherheitszonen. Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 erläutert, würden bei weniger als 2 % aller Straßenverkehrsunfälle Hochvoltsysteme in diesen Bereichen beschädigt werden. Brandentstehungsgefahr durch Stoßbeanspruchung wird durch die Positionierung der Lithium-Ionen-Batterien verringert. (Daimler AG 2011)

Jedoch kann theoretisch die Batterie auch unbemerkt durch ein Eindringen von der Unterseite, wie von Xia et al. (2014) beschrieben, die Batterie beschädigen. Bei einer kleinen Beschädigung kann der Vorgang des thermischen Durchgehens sich langsam, auch nach Beendigung der Fahrt, bis hin zum Vollbrand vollziehen (Xia et al. 2014), (Korthauer 2013).

Die Überschreitung der kritischen Temperatur stellt eine weitere Brandentstehungsgefahr dar. Es gilt, die Temperatur mittels geeigneter Kühlsysteme nahe der optimalen Temperatur von etwa 25 °C zu halten (Kampker et al. 2018), (VDE e.V. 2021).

In der Theorie ist eine andere Brandentstehungsgefahr bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen vorhanden, in der Praxis scheint das bislang aber nur in Einzelfällen belegt zu sein. Die in der Theorie vorhandenen Gefahren sind bekannt. Wie wirkungsvoll die aufgezählten Maßnahmen zur Verringerung der Gefahren tatsächlich sind, ist mittels geeigneter Statistiken nachzuweisen. Valide Statistiken, welche die Brandursachen von

elektrisch betriebenen Fahrzeugen aufzeigen, konnten im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht beigebracht werden. Ein erhöhtes Risiko der Brandentstehung kann dementsprechend weder aufgezeigt noch widerlegt werden.

Brandweiterleitungsgefahr

Das Schutzziel in der Garage ist es, die Brandausbreitung auf weitere Fahrzeuge zu verhindern (E2). Dieses Schutzziel ist in § 14 MBO verankert (MBO vom 25.09.2020). Somit erhält die Brandweiterleitungsgefahr einen hohen Stellenwert in der Betrachtung einer Risikobeurteilung in der Garage.

Die Gefahr der Brandweiterleitung elektrisch betriebener Fahrzeuge in der Garage ist vergleichbar mit der Brandweiterleitungsgefahr bei konventionellen Kfz (E4). Wie zuvor bereits erörtert, unterscheiden sich konventionelle Kfz und elektrisch betriebene Fahrzeuge im Brandverhalten nicht wesentlich, solange die Batterie unbeteiligt am Brandgeschehen ist. In den Brandversuchsreihen von Lam et al. (2016) und Lecocq et al. (2012) sind in der Betrachtung der HRR einige Gemeinsamkeiten erkennbar (Vergleiche insbesondere Abbildung 13 und Abbildung 14). Die Brandentwicklung verlief bei allen Fahrzeugen ähnlich (Lecocq et al. 2012).

Die Temperaturen eines Brandes sind hoch (E2) und erreichen bis zu 1.000 °C (Lam et al. 2016). Auch die Oberfläche einer beschädigten Batterie kann Temperaturen von bis zu 1.000 °C erreichen (E4). Auch durch die bereits erörterte gestiegene Größe moderner Kfz, können sich Brände, insbesondere bei den Gegebenheiten in der Garage, schnell ausbreiten. In der Garage stehen Kfz dicht beieinander. Gemäß M-GarVO muss ein Stellplatz mindestens 2,30m breit sein (M-GarVO vom 30.05.2008). Wie dicht im schlechtesten Fall die Fahrzeuge aneinander stehen, ist in Abbildung 17 dargestellt. Bei zwei nebeneinanderstehenden BMW X5 mit Baujahr 2009 (2,20 m breit) ist demnach auf zwei 2,30 m breiten Stellplätzen ein Abstand von 0,20 m zwischen den Fahrzeugen gegeben (sofern genau in der Mitte des Stellplatzes geparkt wird). Bei den Fahrzeugen der dargestellten 1989 Baujahre sind im schlechtesten Fall 0,80 m Abstand gegeben.

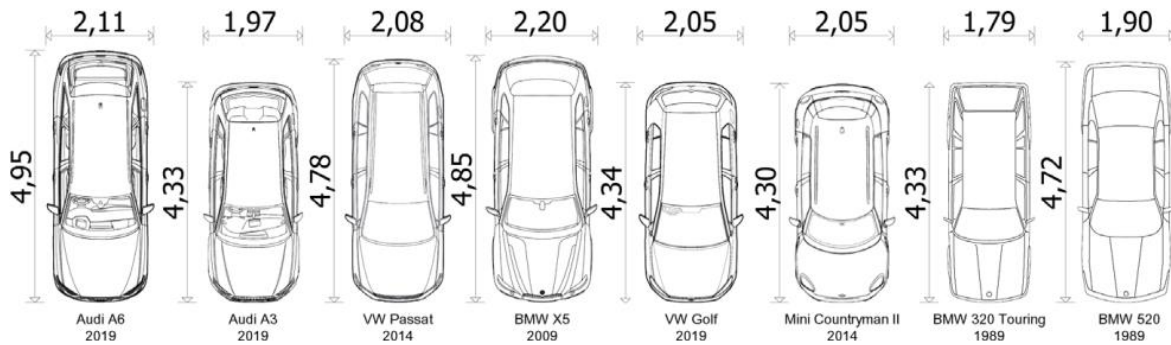


Abbildung 17: Repräsentative Maße zeitgemäßer Fahrzeuge und zwei 25 Jahre alte Pkws (Kern 2021)

Unter Berücksichtigung der anfallenden Temperaturen von bis zu 1.000°C und angenommenen Abständen der Fahrzeuge in der Mustergarage zwischen 0,20 m und 0,80 m ist die Brandweiterleitungsgefahr real. Insbesondere bei der Betrachtung der Entzündungstemperaturen in der Automobilindustrie verwendeter Kunststoffe, von um die 400°C (Ortner und Hensler 1995), ist die Brandweiterleitungsgefahr in der Planung und der Beurteilung einer Garage mit zu berücksichtigen. Auch die von Sun et al. (2020) aufgezeigte Batterietemperatur von 150 °C, bei der ein großes Risiko des „thermal runaway“ gegeben ist, ist in dieser Beurteilung zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit die Brandweiterleitung einzudämmen, stellt Anlagentechnik in Form von Löschanlagen dar, vergleiche Kapitel 5.3.2.

Wie groß der Einfluss der Wärmestrahlung eines in Brand geratenen Elektrofahrzeuges auf benachbarte Fahrzeuge wirklich ist und inwiefern die Wärmestrahlung mit einem zunehmenden Abstand interpolierbar ist, gilt es in Folgestudien zu beurteilen.

Toxizität der Rauchgase

Wenn sich die Batterie am Brandgeschehen beteiligt, befinden sich Säuren im Brandrauch (E5). Die Konzentration dieser Gase ist im Verhältnis als gering einzustufen (E5). Als Beispiele für Bestandteile des Brandrauches ist neben zehn weiteren nicht gesundheitsförderlichen Stoffen HF, HCL und HCN von einem Experten genannt worden (E4). Auch in der Literatur sind diese Rauchgase neben weiteren wiederzufinden (Sun et al. 2020), (Korthauer 2013).

Die Auflistung und Beurteilung ausgewählter Stoffe in Kapitel 3.4.3 zeigt die Toxizität der in den Rauchgasen enthaltenden Stoffe. Beim Fahrzeugbau werden zahlreiche Kunststoffe verwendet. Beispielsweise Polyester für Innenraumverkleidungen, Polyurethanschaum für Türverkleidungen oder die Dämmung. Auch etwaige Kunstleder für Sitzbezüge bestehen aus Kunststoffen. Geraten diese Kunststoffe in Brand, wird unter anderem CO, HCN und HCL freigesetzt. (Bohnert 2007)

Dementsprechend ist von einer ähnlichen Toxizität der Rauchgase auszugehen. Eine Unterscheidung der Konzentrationen dieser toxischen Stoffe bei konventionellen Kfz und elektrisch betriebenen Fahrzeugen wurde nicht vorgenommen.

5.2.2 Möglichkeit der Brandbekämpfung

Grundsätzlich ist der Löschvorgang nach Aussagen der Experten beherrschbar. Ist jedoch die Lithium-Ionen-Batterie am Brandgeschehen beteiligt, dauert der Löschvorgang wesentlich länger (E3, E4, E5) und kann sich sogar über Tage hinwegziehen (E3). Long, Jr. et al. (2013) stellt ebenfalls eine erschwerte Löscharbeit von elektrisch betriebenen Fahrzeugen fest. Demnach können für das Löschen eines elektrisch betriebenen Fahrzeuges um die 10.000 Liter benötigt werden. Ein konventionelles Kfz benötigt in der Regel zwischen 750 und 1.000 Liter (Long, Jr. et al. 2013). Die Löschdauer ist bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen mit 60 Minuten im Vergleich zu 5 Minuten bei konventionellen Kfz um ein 12-faches höher (Long, Jr. et al. 2013). Eine Ursache dafür ist eine mögliche erneute Entzündung der Batterie, nachdem diese bereits gelöscht worden ist (E4), (DGUV 2020). Boehmer et al. (2021) beschreibt ebenfalls eine teilweise über Stunden dauernde Kühlung der Batterie. Dabei ist auf eine erneute Entzündung aufgrund der Mechanismen des thermischen Durchgehens hinzuweisen. Beim „thermal runaway“ wird unter anderem an der Kathode Sauerstoff freigesetzt. Das Brandgeschehen kann somit auch unter Ausschluss von Sauerstoff stattfinden. Vergleiche auch Kapitel 3.4.4.

Die erschwerten Einsatzbedingungen in der geschlossenen Garage aufgrund der erhöhten Rauchdichte ist sowohl von den Experten als auch in der Literatur beschrieben (E1-E5), (SP Technical Research Institute of Sweden 2016). Vergleiche auch Kapitel 3.4.4.

Die erschwerte Einsatzbedingung aufgrund der erhöhten Rauchdichte, ist aus Sicht des Autors hierbei nicht abhängig von der Antriebsart. Auch wird der Brand eines Elektrofahrzeuges, selbst bei Beteiligung der Batterie als beherrschbar eingestuft. Dennoch wird an die Feuerwehr eine andere Anforderung gestellt. Die erhöhte, benötigte Löschwassermenge und das erneute Entzünden unterscheiden sich von den konventionellen Fahrzeugen. Zusätzlich erschwert die Sauerstoffbildung an der Kathode den Löscheinsatz. Ein Löschen, durch das Entziehen des Sauerstoffs ist nicht möglich. Der Brand wird lediglich eingedämmt. Daher gilt es beim Löscheinsatz das Fahrzeug zunächst signifikant herunter zu kühlen und anschließend aus der Garage hinaus zu befördern. Inwiefern das in engen Garagen möglich ist, sollte vorab mit der Feuerwehr abgestimmt werden. Ist das Fahrzeug auf der freien Fläche, kann das Fahrzeug mittels großer Mengen Löschwasser gekühlt werden. Auch das kontrollierte Abbrennen ist eine Möglichkeit dem Brand zu begegnen (DGUV 2020). Zusätzlich ist auch eine Mischung der Optionen „kühlen“

und „kontrolliertes abbrennen“ möglich. Das Versenken des kompletten Fahrzeuges in einen Container ist nur in Ausnahmefällen zu empfehlen. Auch ein fortwährendes Kühlen in der Garage ist nicht empfehlenswert, da aufgrund der Gegebenheiten in der Garage die Rauchgase und die Hitze nicht so gut abgeführt werden.

Die Zugänglichkeit zum Grundstück und der Garage ist eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Löschangriff (VdS 3885). Auch die Möglichkeit, die Fahrzeuge aus engen Garagen zu bergen, ist für den erfolgreichen Löscheininsatz aus Sicht des Autors von besonderer Bedeutung.

Gefährdungen für die Einsatzkräfte

In elektrisch betriebenen Fahrzeugen sind spannungsführende Teile, die für die Einsatzkräfte gefährlich werden können. Daher sollte die Batterie nach Möglichkeit deaktiviert werden (E4), (VdS 3885). Nach Aussagen eines Experten ist die Näherung für die Personenrettung möglich (E4) Auch der vfdb (2017) sieht keine Anzeichen der Personengefährdung durch einen elektrischen Schlag. Das liegt vor allem an den verschiedenen Schutzmechanismen der Hochvoltsysteme. Diese sind berührungsschutz ausgeführt, von der Fahrzeugkarosse vollständig isoliert und bei schweren Unfällen, bei denen der Airbag auslöst, wird das Hochvoltsystem zumeist abgeschaltet (vfdb 2017). Von beschädigten, zumeist orangefarbene, Hochvoltleitungen kann eine elektrische Gefährdung ausgehen, diese sind nicht zu berühren (vfdb 2017). Um beispielsweise im Falle der Personenrettung eine verunglückte Person aus dem Fahrzeug zu schneiden, ist mithilfe des Rettungsdatenblattes die Lage der Hochvoltleitungen zu überprüfen. Hochvoltleitungen sind nicht zu durchtrennen (Anlage 3).

Ein Experte beschrieb im Interview eine erhöhte elektrische Gefährdung. Diese genannte erhöhte Gefährdung ist jedoch kritisch zu beurteilen, da sich der Experte mit den E-Komponenten der Elektroautos beschäftigt. Etwaige Tests an Batterien im Labor erfordern eine andere Betrachtung als die Betrachtung eines möglicherweise verunfallten oder in Brand geratenen, vollständigen Elektroautos. Die berücksichtigte Literatur (vfdb 2017) und ein Experte aus dem Bereich des abwehrenden Brandschutzes sehen keine Anzeichen für eine wesentlich erhöhte Gefährdung der Einsatzkräfte. Dementsprechend geht auch der Autor von keiner unmittelbar erhöhten elektrischen Gefährdung aus.

Die in einem Interview erörterte mögliche Gefährdung der Einsatzkräfte durch eine F 0 Konstruktion, betrifft nicht die geschlossene Garage und wird daher nicht weiter verfolgt. Um die Standsicherheit in der geschlossenen Garage dennoch nachzuweisen, ist eine schutzzielorientierte Nachweisführung denkbar, vergleiche Abschnitt 5.3.1.

5.2.3 E-Fahrräder und E-Scooter

Elektrokleinstfahrzeuge, wie E-Fahrräder oder E-Scooter, stellen eine besondere Gefährdungslage dar. Anders als bei den elektrisch betriebenen Pkw sind für E-Fahrräder oder E-Scooter keine wiederholenden Prüfungen verpflichtend (E3, E5). Zumindest gehen diese wiederholenden Prüfungen bei Elektrokleinstfahrzeugen nicht aus der Rechtsgrundlage des Gesetzgebers hervor (eKFV vom 06.06.2019).

In der eKFV wird auf die DIN EN 15194: Fahrräder - Elektromotorisch unterstützte Räder – EPAC verwiesen (eKFV vom 06.06.2019). In dieser europäischen Norm werden die Sicherheitsanforderungen bzw. Schutzmaßnahmen der Elektrokleinstfahrzeuge, die für die Verwendung auf öffentlichen Straßen vorgesehen sind, bestimmt. Unter anderem werden demnach Anforderungen an die Batterien und die Batterieladesysteme samt Verkabelung und Anschlüsse gestellt. (DIN EN 15194)

Trotz dieser genormten Anforderungen können, wie auch bei den elektrisch betriebenen Pkw, Unfälle bzw. Beschädigungen ein Brandereignis auslösen. Anders als bei den elektrischen Kfz können Elektrokleinstfahrzeuge umfallen und die Batterie dadurch beschädigen. Gerade wiederholtes Umkippen stellt eine Gefährdung dar. Auch der Ladevorgang bei Elektrokleinstfahrzeugen ist zu betrachten. Zwar sind gemäß DIN EN 15194 Anforderungen gestellt, aber ob das die tatsächliche Situation in einer Bestandsgarage widerspiegelt ist kritisch zu betrachten. Der Autor geht daher von einer erhöhten Brandentstehungsgefahr aus. Wie auch bei den Elektroautos, sind in der Bewertung der Brandentstehungsgefahr künftige Brandursachenstatistiken zu berücksichtigen.

Die zum Teil herausnehmbaren Batterien, statt in der Garage in der Wohnung zu laden, löst das Problem der Brandentstehungsgefahr keineswegs (E3, E5). Kunkelmann empfiehlt (2015) außerdem Batterien nicht unbeaufsichtigt zu laden. Wird die Batterie unbeaufsichtigt geladen, wird empfohlen dies in einer brandgeschützten Umgebung mit Brandmeldeanlage zu tun (Kunkelmann 2015). Es ist festzuhalten, dass das Laden der Batterien keineswegs in die Wohnung verlagert werden sollte, da dies ein größeres Schadenspotenzial birgt.

5.3 Interpretation ausgewählter Maßnahmen

Jede geschlossene Garage ist anders und unterscheidet sich in Größe und Struktur. Dementsprechend ist jede Garage individuell unter den jeweils zutreffenden Risikoaspekten zu beurteilen. Ein Brandschutzkonzept ist entsprechend unter Risikoabwägung und auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte zur

Optimierung der Ausführung in brandschutztechnischer Hinsicht zu erstellen. Diese in Brandschutzkonzepten festgelegten Maßnahmen sind an den Einzelfall geknüpft.

Nachfolgend werden die im Experteninterview baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen diskutiert.

5.3.1 Bauliche Maßnahmen

Die Novellierung der MGarVO sieht einige Verschärfungen vor (E3). Dabei ist sowohl die Elektromobilität (E3) als auch die erhöhte Brandlast moderner Fahrzeuge berücksichtigt worden (Synopse: MGarVO-MGarStVO vom 04.09.2020).

Ein Experte erachtet eine schutzzielorientierte Nachweisführung für die Standsicherheit der Konstruktion als sinnvoll (E4). In einer schutzzielorientierten Nachweisführung muss die Erfüllung der Schutzziele nachgewiesen und dafür die Brandschutzplanung überprüft werden. Dieser Nachweis muss das Zusammenwirken der Brandschutzmaßnahmen und die Wechselwirkung mit Planungsparametern berücksichtigen (DIN 18009-1). Eine Nachweisführung könnte in Anlehnung an Meyer et al. (2021) durchgeführt werden. Meyer et al. (2021) haben die Zuverlässigkeit von Verbundträgern offener, oberirdischer Parkgaragen berechnet. Auch eine Orientierung an die Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Eurocode 6 (Graubner et al. 2020) könnte aus Sicht des Autors zielführend sein.

Eine weitere Maßnahme betrifft die Maße der Einstellplätze und insbesondere die Breiten der Zu- und Ausfahrten. Die Zu- und Ausfahrten sollten breit genug sein, um das Bergen eines verunfallten elektrisch betriebenen Fahrzeuges zu ermöglichen. Die Breiten der Einstellplätze sind unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Kapitel 5.2.1 und 5.3.2 kritisch zu betrachten.

Für zwei Experten ist eine Löschwasserrückhaltung sinnvoll. Dies ist insbesondere unter Berücksichtigung der vorkommenden Schadstoffe, die unter anderem der WGK 3 und WGK 2 zugeordnet sind aus Sicht des Autors in Erwägung zu ziehen. (Vergleiche Kapitel 5.2.1).

5.3.2 Anlagentechnische Maßnahmen

Ausgewählte beurteilte anlagentechnische Maßnahmen betreffen selbsttätige Löschanlagen und die Ladestationen.

Selbstständige Löschanlagen

Löschanlagen sind von den Experten als sichere Maßnahme zur Verhinderung der Brandweiterleitung angemerkt worden (E1-E5). Eine qualifizierte Hochdruckwassernebellöschanlage erfüllt dieses Schutzziel ebenso wie eine klassische Sprinkleranlage (E2, E4) Dabei verbraucht die Hochdrucknebelwasserlöschanlage weniger Wasser als die Sprinkleranlage (E1). Eine Richtlinie für die qualifizierte Planung und den Einbau der Hochdruckwassernebellöschanlage stellt die VdS 3188 dar. Eine Richtlinie für die qualifizierte Planung und den Einbau einer Sprinkleranlage ist die VdS CEA 4001. Das Schutzziel in der Garage, die Brandweiterleitung auf benachbarte Fahrzeuge zu verhindern, kann eine normgerecht ausgeführte Löschanlage erfüllen (E2).

Bauordnungsrechtlich sind Löschanlagen nur in speziellen Fällen gefordert. Ein Experte begründet dies mit dem politischen Willen kostengünstigen Wohnraum zu errichten (E3). Eine Löschanlage würde die Baukosten erhöhen (E3). Es gilt schutzziel- und risikoorientiert, auch unter Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, die Notwendigkeit einer Löschanlage in der Garage im Einzelfall zu bestimmen.

Ladestationen

Der Ladevorgang stellt grundsätzlich eine Gefahr dar (Vergleiche Kapitel 3.3.3). Durch die fachgerechte Installation der Ladestationen lässt sich diese Brandentstehungsgefahr minimieren (E1, E5). Die Anforderungen der VdS 3885 geben weitere Anhaltspunkte und unterstützen die Aussagen der Experten. Siehe auch Kapitel 3.1.4.

5.3.3 Organisatorische Maßnahmen

Eine von den Experten erörterte organisatorische Maßnahme ist die Stellplätze für die Elektromobilität nahe den Zu- und Abfahrten zu realisieren (E1, E3, E5). Dabei ist den Experten die gegenwärtige Entwicklung bewusst. Aufgrund der stark steigenden Anzahl der Neuzulassungen elektrisch betriebener Fahrzeuge (Kraftfahrt Bundesamt 05.01.2022), ist jedoch abzusehen, dass schon bald mehr Elektrofahrzeuge, als konventionelle Kfz in der Garage untergebracht werden müssen (E1, E3, E5). Dennoch ist die Bergung eines verunfallten Fahrzeuges, wie in Kapitel 0 beschrieben, von einsatztaktischer Bedeutung.

Für den Brandschützer sind organisatorische Maßnahmen an die Gegebenheiten der Garage zu treffen. Eine Liste organisatorischer Maßnahmen sind Kapitel 3.1.2 und der von den Experten empfohlenen Richtlinie: VdS 3885 zu entnehmen. Die vorgegangenen Empfehlungen sind aufgrund der Übereinstimmungen der Experten mit der Literatur als sichere und wirksame Maßnahmen einzustufen.

5.4 Fazit und Ausblick

Neue, moderne Garagen und alte Bestandsgaragen sind mit der Elektromobilität neuen Herausforderungen ausgesetzt. Im Brandfall ist die Feuerwehr bei Beteiligung der Batterie am Brandgeschehen, durch das thermische Durchgehen („thermal runaway“), gefordert. Dennoch stellt in der Praxis ein einzelnes Fahrzeug für die Feuerwehr einen Routineeinsatz dar, auch wenn der Löscheinsatz im Falle eines elektrisch betriebenen Fahrzeuges mehr Zeit und mehr Löschwasser in Anspruch nehmen kann als der Brand eines konventionellen Kfz. Es gilt, die Brandweiterleitung auf benachbarte Fahrzeuge zu verhindern. Qualifizierte Löschanlagen können die Brandausbreitung verhindern. Inwiefern, auch unter wirtschaftlicher Betrachtung, Löschanlagen in geschlossenen Garagen sinnvoll sind, muss in weiterführenden Betrachtungen untersucht werden.

Bei der Betrachtung der Brandentstehungsgefahr zeigt sich, wie wichtig die verschiedenen in Kapitel 3.3 erörterten, Sicherheitskomponenten sind. Versagt eine, kann es zu einer starken Wärmefreisetzung und somit zum „thermal runaway“ kommen. Diese zusätzliche, erhöhte Brandentstehungsgefahr beim Ladevorgang, durch Über- oder Tiefenentladungen, bei Stoßbeanspruchungen (z.B. bei Unfällen) oder durch eine Überhitzung, ist in der Theorie vorhanden; aus den aktuell vorliegenden Statistiken gehe aber derzeit keine erhöhte Brandentstehungsgefahr hervor. (GDV 09.03.2021) Um die Frage der Brandgefahr und insbesondere der Brandentstehungsgefahr eindeutig beantworten zu können, bedarf es belastbarer Brandursachenstatistiken. Diese gilt es, sobald die Datenlage es hergibt, kritisch auszuwerten.

Bei den Rauchgasen gibt es einige Überschneidungen. Sowohl die Brandgase der Batterien als auch die Kunststoffe, die in modernen Fahrzeugen verbaut werden, sind als toxisch einzustufen. Inwiefern sich die Konzentrationen der beinhaltenen Stoffe bei einem elektrisch betriebenen Fahrzeug mit Lithium-Ionen-Batterie von der Konzentration eines konventionellen Kfz unterscheidet, insbesondere unter Berücksichtigung der Explosionsgrenzen, gilt es in einer näheren Betrachtung zu erörtern.

Aktuelle Brandversuche zeigen, dass die Wärmeentwicklung (HRR) bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen geringer ist als bei modernen konventionellen Kfz (Lam et al. 2016), (Lecocq et al. 2012). Experten sehen eine erhöhte Gefahr nicht von der Elektromobilität ausgehend, sondern vielmehr von den höheren Brandlasten moderner Kfz (E2, E4). Eine kommentierte Gegenüberstellung der MGarVO mit der MGarStVO zeigt, dass diese bis zu 3-fach höhere Brandlast in der Novellierung bereits mit eingeflossen ist (Synopsis: MGarVO-MGarStVO vom 04.09.2020). Die Elektromobilität wird in der Novellierung aber nicht erwähnt, auch wenn sie nach Aussage eines Experten sehr wohl bei

der Bearbeitung mitberücksichtigt worden ist. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Automobilindustrie und ihre Technologien sich stetig weiter entwickeln. Um auch zukünftig Erkenntnisse dieser Entwicklungen über die Brandrisiken zu erhalten, gilt es kontinuierlich Brandversuche mit den neusten Modellen durchzuführen und auszuwerten.

Eine besondere Gefährdung geht von Elektrokleinstfahrzeugen aus. Elektroautos unterliegen einer wesentlich strengeren Zulassungsordnung als E-Fahrräder oder E-Scooter. Bei Elektrokleinstfahrzeugen kann durch einfaches Umkippen die Batterie unbemerkt beschädigt werden. Eine weitere Gefährdung stellen die oft herausnehmbaren Batterien dar, wodurch eine Brandgefahr unter Umständen mit in die Wohnungen gebracht wird.

Kern (2021) kritisiert die zum Teil veralteten Garagenvorschrift hinsichtlich der Stellplatzbreiten und den breiten der Zu- und Ausfahrten. Auch wenn sich mit der Novellierung der MGarVO einige Verschärfungen ergeben haben, bleiben die Breiten unverändert. Es gilt zu klären, ob moderne Löschanlagen, auch unter Berücksichtigung der deutlich größeren Breite moderner Kfz, eine Brandweiterleitung ausreichend begrenzen. Auch gilt es zu klären, in welchem Maße eine frühe Alarmierung der Feuerwehr durch Brandmeldeanlagen oder vergleichbarer Systeme wie Gefahrenwarnanlagen eine Brandweiterleitung in einer geschlossenen Garage verhindern kann. Außerdem ist zu überprüfen, ob die Möglichkeit verunfallte Elektrofahrzeuge zu bergen über die zum Teil engen Zu- und Abfahrten besteht.

Die Forschungshypothese lässt sich weder bestätigen noch negieren. Von Elektrofahrzeugen geht eine andere Brandgefahr aus als von konventionellen Kfz, der Brand ist aber durchaus beherrschbar. Es ergibt sich nach aktuellem Kenntnisstand kein unmittelbar erhöhtes Risiko, das zusätzlicher brandschutztechnischer Maßnahmen bedarf. Auch die Gegenhypothese lässt sich nicht bestätigen oder negieren. Indizien für ein erhöhtes Risiko, insbesondere eines Brandentstehungsrisikos, konnten im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt werden. Diese Indizien sind mittels genannter fortführender Untersuchungen und Statistiken zu belegen bzw. zu widerlegen.

6 Literaturverzeichnis

- Ahlhaus, Martin A. RA und Dipl. Verw.wirt/Öttinger, Michael RA (2021). Das Batteriegesetz 2021. Erläuterungen, Änderungen, Rechtstexte. Beuth.
- Baur, Nina/Blasius, Jörg (Hg.) (2014). Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- BG BAU (2022). Karzinogenität. Online verfügbar unter <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/sicherheitsdatenblatt/karzinogenitaet/> (abgerufen am 26.02.2022).
- Bisschop, Roeland/Willstrand, Ola/Rosengren, Max (2020). Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events. *Fire Technology* 56 (6), 2671–2694. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01038-1>.
- Boehmer, Haavard R./Klassen, Michael S./Olenick, Stephen M. (2021). Fire Hazard Analysis of Modern Vehicles in Parking Facilities. *Fire Technology* 57 (5), 2097–2127. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01113-1>.
- Bogner, Alexander/Littig, Beate/Menz, Wolfgang (2014). Interviews mit Experten. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bohnert, M. (2007). Kraftfahrzeugbrand. *Rechtsmedizin* 17 (3), 175–186. <https://doi.org/10.1007/s00194-007-0436-0>.
- Claussen, Jens/Jankowski, Dana/Dawid, Florian (2020). Aufnehmen, Abtippen, Analysieren. Wegweiser zur Durchführung von Interview und Transkription. Norderstedt, BoD – Books on Demand.
- Daimler AG (Hg.) (2011). CRASH SAFETY OF HYBRID- AND BATTERY ELECTRIC VEHICLES, 22nd Enhanced safety of vehicles conference, Washington.
- DFV und AGBF (2021). Keine erhöhte Brandgefahr durch in Tiefgaragen abgestellte Elektrofahrzeuge. Deutscher Feuerwehrverband und Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren, Pressemitteilung vom 22.02.2021.
- DGUV (2020). Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen -Akkus bei Fahrzeugbränden. Fachbereich AKTUELL (024).
- DIN 18009-1. Brandschutzingenieurwesen – Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung. 10772 Berlin.
- DIN EN 15194. Fahrräder - Elektromotorisch unterstützte Räder - EPAC, November 2018. 10772 Berlin.
- Dorn, Roland/Schwartz, Reiner/Steurich, Bjoern (2013). Batteriemanagementsystem. In: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, 177–187.
- Franke, Thomas/Gödker, Markus/Averdun, Kaspar Konrad (2021). Bidirektionales Laden bei Elektrofahrzeugen: Auf dem Weg zu virtuellen Kraftwerken, 24.08.2021.
- GDV (2021). E-Autos in Tiefgaragen: Keine erhöhte Brandgefahr feststellbar. Online verfügbar unter <https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/e-autos-in-tiefgaragen--keine-erhoehte-brandgefahr-feststellbar-66230> (abgerufen am 13.10.2021).

Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren vom 03.11.2020.

Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge - Elektromobilitätsgesetz vom 12.07.2021.

Graubner, Carl-Alexander/Brehm, Eric/Förster, Valentin/Ostendorf, David/Purkert, Benjamin/Schermer, Detleff Clemens/Schmidt, Ulf/Scheller, Eckehard (Hg.) (2020). Eurocode 6 - DIN EN 1996 mit nationalen Anhängen: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Kommentierte Fassung. Berlin/Wien/Zürich/Berlin, Beuth; Ernst & Sohn.

Hofstetter, Markus (2021). Wegen Brandgefahr: Beliebtes E-Auto-Modell darf nur mit 15 Meter Abstand parken. Merkur.de vom 14.10.2021.

IFA (2022a). GESTIS-Stoffdatenbank: Cyanwasserstoff (HCN). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter <https://gestis.dguv.de/data?name=012450> (abgerufen am 10.02.2022).

IFA (2022b). GESTIS-Stoffdatenbank: Fluorwasserstoffsäure (HF). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter <https://gestis.dguv.de/data?name=520038> (abgerufen am 10.02.2022).

IFA (2022c). GESTIS-Stoffdatenbank. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp> (abgerufen am 20.02.2022).

IFA (2022d). GESTIS-Stoffdatenbank: Kohlenmonoxid (CO). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter <https://gestis.dguv.de/data?name=001110> (abgerufen am 10.02.2022).

IFA (2022e). GESTIS-Stoffdatenbank: Phosphin (PH₃). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Online verfügbar unter <https://gestis.dguv.de/data?name=003530> (abgerufen am 10.02.2022).

IFS (2022). Lithium-Ionen-Akkus. Online verfügbar unter <https://www.ifs-ev.org/schadenverhuetung/feuerschaeden/lithium-ionen-akkus/?highlight=akkus> (abgerufen am 30.01.2022).

Infineon Technologies AG (Hrsg.) (2021). Hybrid Auto: Definition, Vorteile & Varianten 2021. Online verfügbar unter <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/hybrid-auto/> (abgerufen am 02.02.2022).

Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e.V. (2022). Brandursachenstatistik - Elektromobilität. E-Mail, 02.02.2022.

Kampker, Achim/Vallée, Dirk/Schnettler, Armin (Hg.) (2018). Elektromobilität. Springer.

Kern, Ingo (2021). Garagenverordnung im Bild. Zurück in die Steinzeit. Der Bausachverständige 2021 (Jg.17, Nr. 1, 2021), 55–66.

Korthauer, Reiner (Hg.) (2013). Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Springer.

Kraftfahrt Bundesamt (2022). Pressemitteilung 01/2022. Fahrzeugzulassungen im Dezember 2021 - Jahresbilanz, Pressemitteilung vom 05.01.2022. Online verfügbar unter

- https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2022/pm01_2022_n_12_21_pm_komplett.html?snn=3662144 (abgerufen am 05.01.2022).
- Kunkelmann, Jürgen (2015). Untersuchung des Brandverhaltens von Lithium-Ionen- und Lithium-Metall-Batterien in verschiedenen Anwendungen und Ableitung einsatztaktischer Empfehlungen. Karlsruher Institut für Technologie Forschungsstelle für Brandschutztechnik.
- Lam, Cecilia/Mac Neil, Dean/Kroeker, Ryan/Lougheed, Gary/Lalime Ghislain (2016). Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles. In: SP Technical Research Institute of Sweden (Hg.). Fires in Vehicles - FIVE 2016, FIVE Fires in Vehicles. Baltimore, USA, 95–106.
- Lecocq, Amandine/Bertana, Marie/Truchot, Benjamin/Marlain, Guy (2012). Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. 2. International Conference on Fires In Vehicles - FIVE 2012.
- Li, Huang/Peng, Wen/Yang, Xulai/Chen, Haodong/Sun, Jinhua/Wang, Qingsong (2020). Full-Scale Experimental Study on the Combustion Behavior of Lithium Ion Battery Pack Used for Electric Vehicle. *Fire Technology* 56 (6), 2545–2564. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00988-w>.
- Long, R. Thomas, Jr./Blum, Andrew F./Bress, Thomas J./Cotts, Benjamin R.T. (2013). Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results. Fire Protection Research Foundation 2013.
- LUMITOS AG (2022). Aldehyde. Online verfügbar unter <https://www.chemie.de/lexikon/Aldehyde.html> (abgerufen am 20.02.2022).
- Mäßling, Jochen (2012). Gefährdungspotenzial von Li-Ionen-Zellen. Online verfügbar unter <https://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/gefaehrdungspotenzial-von-li-ionen-zellen.92479.html> (abgerufen am 07.01.2022).
- Matzer, Claus Uwe (2013). Untersuchung zur Darstellung interner Kurzschlüsse von HV-Batteriezellen. Masterarbeit. Graz, Technische Universität Graz.
- Mercedes-Benz Group AG (2009). Patent Nr. DBP 854 157, Lebensretter für Tausende. Online verfügbar unter <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Patent-Nr-DBP-854-157-Lebensretter-fuer-Tausende.xhtml?oid=9913733> (abgerufen am 26.02.2022).
- Methley, Abigail M./Campbell, Stephen/Chew-Graham, Carolyn/McNally, Rosalind/Cheraghi-Sohi, Sudeh (2014). PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC health services research* 14, 579. <https://doi.org/10.1186/s12913-014-0579-0>.
- Meyer, Patrick/Schaumann, Peter/Fischbek, Lukas/Sander, Lisa/Zehfuß, Jochen (2021). SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR BRANDRISIKOANALYSE VON OFFENEN OBERIRDISCHEN PARKGARAGEN IM ZUGE DER E-MOBILITÄT. *Stahlbau*.
- Morche, Dirk/Schmitt, Fabian/Genuit, Klaus/Elsen, Olaf/Kampker, Achim/Deutskens, Christoph/Heimes, Heiner Hans/Swist, Mateusz/Maue, Andreas/vom Hemdt, Ansgar/Lienemann, Christoph/Haunreiter, Andreas/Wessel, Saskia/Hollah, Ansgar/Friedrich, Bernd/Vest, Matthias/Georgi-Maschler, Tim/Honggang, Wang (2018). Fahrzeugkonzeption für die Elektromobilität. In: Achim Kampker/Dirk Vallée/Armin Schnettler (Hg.). *Elektromobilität*. Springer.

- Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen vom 04.09.2020.
- Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen vom 30.05.2008.
- Musterbauordnung vom 25.09.2020.
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen vom 03.09.2020.
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen vom 03.09.2020.
- NIST (2021). Fire Dynamics. Online verfügbar unter <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/firegov-fire-service/fire-dynamics> (abgerufen am 26.02.2022).
- Nordhausen, Thomas/Hirt, Julian (2020). Manual zur Literaturrecherche in Fachdatenbanken. Online verfügbar unter https://refhunter.eu/files/2020/11/Manual_Version_5.0.pdf (abgerufen am 10.10.2021).
- Ortner/Hensler (1995). Beurteilung von Kunststoffbränden. Bei einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs entstehende Stoffe nach den Anhängen II -IV der 12. BImSchV. Online verfügbar unter <https://www.lfu.bayern.de/suchen/index.htm?q=kunststoffbr%C3%A4nde#/?h=8W-kO38BeqA021vGo1wy> (abgerufen am 10.02.2022).
- Ouvrier, Robert Leon (2014). Gefahren im Umgang mit Lithium-Batterien aus brandschutztechnischer Sicht. Bachelorarbeit. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Online verfügbar unter <http://edoc.sub.uni-hamburg.de/haw/volltexte/2015/2837>.
- Pehrs, Inka/Meyer, Patrick/Veenker, Klaus (2021). Zeitgemäße Ingenieuransätze für den Brandschutz von Garagen. In: Nabil A. Fouad (Hg.). Bauphysik Kalender 2021. Wiley, 415–440.
- Przemyslaw Komarnicki/Jens Haubrock/Zbigniew A. Styczynski (Hg.) (2020). Elektromobilität und Sektorenkopplung. Infrastruktur- und Systemkomponenten. 2. Aufl. Springer.
- Rajko Rothe/Frank Leismann/Lukas Fast/Stephan Klüh (2021). Brandschutz für E-Fahrzeuge in Park- und Tiefgaragen. FeuerTrutz Magazin (Ausgabe 4.2021). Online verfügbar unter <https://www.feuertrutz.de/brandschutz-fuer-e-fahrzeuge-in-park-und-tiefgaragen-17092021> (abgerufen am 08.01.2022).
- Rochus Zalud (2020). SCHWERPUNKT E-MOBILITÄT. eMobility in Tiefgaragen - ein Risiko? Sicherheits-Berater (6/2020). Online verfügbar unter <https://www.vzm.de/fachbeitraege/brandschutz/e-mobility-in-tiefgaragen-ein-risiko/> (abgerufen am 05.01.2022).
- Ross, Hans-Leo (2019). Funktionale Sicherheit im Automobil. Die Herausforderung für Elektromobilität und automatisiertes Fahren. 2. Aufl. München, Hanser.
- Schäfer, Stefanie/Henke, Sarah/Lohmeier, Yvonne (2014). Forschen im Praxissemester. Überblick, Methoden, Beispiele. Online verfügbar unter <https://blogs.uni-paderborn.de/fips/2014/11/26/schreiben/> (abgerufen am 08.01.2022).

- Schmucker, Christine/Nothacker, Monika/Möhler, Ralph/Kopp, Ina/Meerpohl, Jörg J. (2017). Bewertung des Verzerrungsrisikos von systematischen Übersichtsarbeiten: ein Manual für die Leitlinienerstellung. <https://doi.org/10.6094/UNIFR/12657>.
- Schwarz, Robert (2018). Geprüfte Schutz- und Sicherheitskraft (IHK). Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- SP Technical Research Institute of Sweden (Hg.) (2016). Fires in Vehicles - FIVE 2016, FiVE Fires in Vehicles. Baltimore, USA.
- Straßenverkehrsgesetz vom 12.07.2021.
- Straßenverkehrs-Ordnung vom 12.07.2021.
- Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26.11.2019.
- Sun, Peiyi/Bisschop, Roeland/Niu, Huichang/Huang, Xinyan (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology* 56 (4), 1361–1410. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>.
- Synopse - Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen vom 04.09.2020.
- Thielmann, Axel/Wietschel, Martin/Funke, Simon/Grimm, Anna/Hettesheimer, Tim/Langkau, Sabine/Loibl, Antonia/Moll, Cornelius/Neef, Christoph/Plötz, Patrick/Sievers, Luisa/Espinoza, Luis Tercero/Edler, Jakob (2020). Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI. Online verfügbar unter <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf> (abgerufen am 08.01.2022).
- Uni Trier (Hrsg.) (2002). Methodische Überlegungen zu qualitativen Befragungsmethoden, 2002. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwja4dSB2ob2AhWZQ_EDHf0nCBQQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.uni-trier.de%2Ffileadmin%2Ffb4%2Fprof%2FVWL%2FAPO%2F4207ws0102%2Fefstudien.pdf&u sg=AOvVaw0w2i8INF6WifkudQS_lcnm (abgerufen am 02.02.2022).
- VDE e.V. (2021). Kompendium: Li-Ionen-Batterien. Grundlagen, Merkmale, Gesetze und Normen.
- VdS 3188. Wassernebel-Sprinkleranlagen und Wassernebel-Löschanlagen (Hochdruck Systeme), Oktober 2019. Amsterdamer Str. 172-174, 50735 Köln.
- VdS 3885. Elektrostraßenfahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft - Entwurf, 2020-12.
- VdS CEA 4001. VdS CEA-Richtlinien für Sprinkleranlagen, Planung und Einbau, Januar 2021. Amsterdamer Str. 172-174, 50735 Köln.
- Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr - Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung vom 06.06.2019.
- Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr - Fahrzeug-Zulassungsverordnung vom 02.10.2019.
- vfdb (2017). Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen. Merkblatt 06/04 2017.

Viehmann, Sebastian (2021). Elektroauto: Willkommen in der Grünen Flammenhöhle. Ladeverbot in Tiefgaragen kein Tabu. Focus Online vom 18.10.2021. Online verfügbar unter https://www.focus.de/auto/ratgeber/sicherheit/ladeverbot-in-tiefgaragen-kein-tabu-elektroautos-willkommen-in-der-gruenen-flammenhoelle_id_24321920.html (abgerufen am 15.01.2022).

Xia, Yong/Wierzbicki, Tomasz/Sahraei, Elham/Zhang, Xiaowei (2014). Damage of cells and battery packs due to ground impact. *Journal of Power Sources* 267, 78–97. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.05.078>.

Anlage 1

Leitfaden eines Experteninterviews

Seite A1 bis A5

Interviews zwischen dem 18.11.2021 und dem 10.12.2021

Leitfaden für das Experteninterview

A2

Nummer: 4	Start: 14:00	Ende 14:30	Dauer: 35 Minuten	Name: Herr [REDACTED]	Ort: MS Teams	Datum: [REDACTED]
--------------	-----------------	---------------	----------------------	--------------------------	------------------	----------------------

Vorbereitung und Einführung

- Begrüßung der Befragten Person und bedanken für die Teilnahme am Interview
- **Thema:** Elektromobilität in geschlossenen Garagen – Machbarkeitsanalyse aus Sicht des Brandschützers
- **Ziel des Interviews:** Ziel ist es die bauordnungsrechtliche Situation aufzuzeigen und ein erhöhtes Risiko der Elektromobilität in geschlossenen Garagen aufzuzeigen / zu widerlegen. Außerdem sollen mögliche Bauliche, Anlagentechnische sowie Organisatorische Maßnahmen aufgezeigt werden, um einen sicheren Betrieb der geschlossenen Garagen trotz etwaiger erhöhter Risiken weiterhin sicher zu gewährleisten.
- **Zeitraumen:** 30 – 45 Minuten
- **Vertraulichkeit und Freiwilligkeit:** Das Interview wird aufgezeichnet, damit das Gespräch anschließend verschriftlicht und ausgewertet werden kann. Die Angaben des Experten werden vertraulich behandelt. Aussagen werden anonymisiert und ohne Namen veröffentlicht. (Das Interview ist freiwillig und kann selbstverständlich jederzeit abgebrochen werden.)
- **Einverständniserklärung:** mündlich erläutern. Hinweis – der Datenschutz verlangt dies!
- **Rückfragen:** Möglichkeit für Rückfragen – „Haben Sie Fragen?“

Material – Vorbereitung und Einführung

- Einverständniserklärung wird zum Beginn der Aufzeichnung erläutert

Ich habe jetzt die Ton-Aufzeichnung begonnen. Bitte bestätigen Sie noch einmal, dass Sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend verschriftlicht wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interviewtextes werden alle Angaben zu Ihrer Person aus dem Text entfernt oder anonymisiert. Außerdem wird das Interview in der Wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang Sie als Person nicht erkennbar macht.

Interviewfragen

A3

Nr.	Haupt - Detailfrage	Zielsetzung
1	<p>Können Sie zum Einstieg schildern, wie Ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen Sie im Bereich der Elektromobilität bzw. des Brandschutzes haben?</p>	<p>Eisbrecher <input type="checkbox"/></p> <p>Verbindung zum Thema der Arbeit herstellen <input type="checkbox"/></p>
1.1	<p>- Haben Sie Erfahrungen mit Elektromobilität in geschlossenen Garagen?</p>	<p>Spezifischer auf die Arbeit eingehen <input type="checkbox"/></p> <p>Mögliche Problempunkte ausfindig machen <input type="checkbox"/></p>
1.2	<p>- Forschungsprojekt SUVEREN? Ergebnisse Forschungsdaten</p>	<p>Prioritäten des Experten kennen <input type="checkbox"/></p>
2	<p>Welche potentiellen Gefährdungen gehen von Elektrofahrzeugen und Ihren Ladestationen aus? Welche Erfahrungen haben Sie gemacht?</p>	<p>Brandentstehungsgefahr (Selbstentzündung) <input type="checkbox"/></p> <p>Brandweiterleitungsgefahr <input type="checkbox"/></p> <p>Brandtemperatur <input type="checkbox"/></p> <p>erschwerter Möglichkeit zur Brandbekämpfung <input type="checkbox"/></p> <p>Rauchentwicklung <input type="checkbox"/></p>
2.1	<p>- Wie schätzen Sie die Brandgefahr ein? Entstehung/Weiterleitung & Temperaturen</p>	<p>Alle Brandgefahren erörtern <input type="checkbox"/></p>
2.2	<p>- Inwiefern unterscheiden sich diese Gefährdungen von konventionellen Verbrennern?</p>	<p>Verbrenner = geringere Gefährdung? <input type="checkbox"/></p>
2.3	<p>- Sind die Batterien selbst eine Gefährdung für die Einsatzkräfte oder lässt sich die Gefährdung durch Einhalten der Hinweise und Informationen wie die der DGUV Info ausreichend eingrenzen?</p>	<p>Elektrische Gefährdung <input type="checkbox"/></p>

Interviewfragen

A4

Nr.	Haupt - Detailfrage	Zielsetzung
2.4	- Wie schätzen Sie die Rauchentwicklung und Brandtemperatur ein?	Rauchentwicklung <input type="checkbox"/>
2.5	- Wie schätzen Sie die Möglichkeit der Brandbekämpfung ein?	Brandbekämpfung generell <input type="checkbox"/> Anlagentechnisch <input type="checkbox"/> Durch die Feuerwehr <input type="checkbox"/>
3	Was wären, Ihrer Meinung nach, wichtige weitere Voraussetzungen bzw. Maßnahmen, um zu mehr Planungs- und Umsetzungssicherheit für die Elektromobilität in geschlossenen Garagen und damit eine Verbesserung der Ladeinfrastruktur/Stellplatzsituation zu erreichen?	Bauliche Maßnahmen <input type="checkbox"/> Anlagentechnische Maßnahmen <input type="checkbox"/> Organisatorische <input type="checkbox"/>
3.0	- Inwiefern halten Sie zusätzliche Bauliche / Anlagentechnische Anforderungen in Garagen mit Elektrofahrzeugen für notwendig?	Zweiter Impuls für O.a. <input type="checkbox"/>
3.1	- Benötigen das Tragwerk und die Decken eine höhere Feuerwiderstandsklasse? (Tragende Wände F90, Decken zwischen Garagen F90, Trennwände wie die Tragenden mindestens aber F30) – Stahlbeton, Beton als Feuerbeton	Ansprechen der Baulichen Anforderungen <input type="checkbox"/>
3.2	- Wie bewerten sie Sprinkleranlagen und weitere Technische Anlagen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, gerade bei kleineren geschlossenen Garagen?	Ansprechen Anlagentechnische Maßnahmen Unter den Wirtschaftlichen Gesichtspunkten <input type="checkbox"/>

Interviewfragen

A5

Nr.	Haupt - Detailfrage	Zielsetzung
3.3	<ul style="list-style-type: none"> - Unter Berücksichtigung der Novellierung der Muster Garagen Verordnung, ist die gegenwärtige Bauordnungsrechtliche Grundlage ausreichend? 	DGUV <input type="checkbox"/> GDV <input type="checkbox"/> Normungen; VdS <input type="checkbox"/>
3.4	<ul style="list-style-type: none"> - Wie ist mit Parkpaletten / Garagen mit Fahrstühlen umzugehen? 	Besondere Garagenformen <input type="checkbox"/>
3.5	<ul style="list-style-type: none"> - Wie sehen mögliche Organisatorische Maßnahmen zur Problemlösung aus? 	Bestimmte Bereiche, in denen nur E-Autos parken. <input type="checkbox"/> Abstände <input type="checkbox"/>
4.0	Möchten Sie etwas ergänzen, was Ihnen noch wichtig ist?	<input type="checkbox"/>

Nach dem Interview und der Aufzeichnung

- Resümee einfordern

Anlage 2

Transkripte der Experteninterviews

Seite A6 bis A37

Interviews zwischen dem 18.11.2021 und dem 10.12.2021

Transkript Nr.:	Seite
Transkriptionsregeln	A7
Experteninterview 1:	A8
Experteninterview 2:	A13
Experteninterview 3:	A19
Experteninterview 4:	A24
Experteninterview 5:	A30

Transkriptionsregeln

1. Der Text wird übernommen, wie er gesprochen wird. Grammatikalische Fehler in der Satzstellung werden übernommen. Ausnahme Punkt 3 bis 5.
2. Alle Aussagen, auch unwichtige Füllwörter werden erfasst.
3. Dialekte werden ins Hochdeutsche angepasst.
4. Nonverbale Zwischenlaute werden weggelassen (z. B. Ähm, Stottern).
5. Inhaltlich irrelevante Hörerbestätigungen werden weggelassen. Außer diese leisten einen inhaltlichen Beitrag.
6. Besondere Ereignisse werden in Klammern gesetzt.
7. Abkürzungen werden nur dann abgetippt, wenn die Person sie genauso ausspricht.
8. Nur wörtliche/direkte Rede wird in Anführungszeichen gesetzt.
9. Satzzeichen werden sinnvoll gesetzt, um Bandwurmsätze zu vermeiden. Konjunktionen (z. B. „Und“) kann hierbei am Anfang stehen.
10. Höflichkeitspronomina wie „Sie“ und „Ihnen“ werden großgeschrieben.
11. Die Groß- und Kleinschreibung bei Fremdwörtern wird so gewählt, wie man das deutsche Äquivalent schreiben würde (Verben klein und Nomen groß).
12. Alle Zahlen von eins bis zwölf werden ausgeschrieben und ab 13 als Ziffern geschrieben.
13. *Entfällt aufgrund der Anonymisierung des Interviews.*
14. Der Interviewer wird als I und der Interviewte als B benannt. Bei mehreren Personen wird eine Nummer hinzugefügt, z.B. I1, I2, B1 etc. Die Bezeichnung der Personen werden fettgeschrieben. (Ausnahme bei Einschüben siehe Punkt 21)
15. Unvollständige Sätze werden mit einem „-“ gekennzeichnet (z.B. „Also dann waren-, nein, nochmal: Da waren vier Leute in dem-.“). Nach dem „-“ werden wie im Beispiel reguläre Satzzeichen gesetzt. Das „-“ wird direkt hinter das Wort gesetzt, ohne Leerzeichen
16. Unvollständige Wörter werden nur aufgenommen, wenn sie einen inhaltlichen Mehrwert haben.
17. Pausen über vier Sekunden werden mit der Sekundenanzahl in Klammern gekennzeichnet, also z.B. bei sieben Sekunden Pause: (7 Sek.).
18. Wörter, die unverständlich sind und das Wort nur Vermutet wird, werden mit einem Fragezeichen gekennzeichnet und in Klammern gesetzt (z.B. (?Koryphäe))
19. Unverständliche Stellen (z.B. aufgrund von Rauschen oder anderen Störgeräuschen) werden mit einem Zeitstempel nach dem Format ... #hh:mm:ss# gekennzeichnet.
20. Außer im Falle von Punkt 19 werden keine Zeitstempel gesetzt
21. Bei sehr kurzen Einschüben der anderen Person (auch gleichzeitig Gesprochenem) können diese Aussagen in den Redefluss der anderen Person in Klammern eingebaut werden (z.B. „I: Das waren 12 Jahre, (B: Nein, 13.) ich erinnere mich.“).

Die Transkription erfolgt in Anlehnung an Claussen et al (2020).

Transkript Experteninterview 1

I: Ich habe die Aufzeichnung begonnen bitte bestätigen Sie noch einmal, dass sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet wird. Anschließend verschriftlicht wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interview Textes werden alle Angaben zu Ihrer Person. Aus dem Text entfernt oder anonymisiert und außerdem wird das Interview in der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang Sie als Person nicht erkennbar macht.

B: Damit bin ich einverstanden.

I: Sehr gut, dann würde ich mit der ersten Frage anfangen. So als kleinen Einstieg würden Sie einmal erzählen, wie Ihr beruflicher Hintergrund aussieht und inwiefern sie da bereits Erfahrung mit der Elektromobilität gesammelt haben.

B: Also aktuell bin ich Abteilungsleiter für den Versuch in [REDACTED] für die Firma [REDACTED]. In der Position bin ich verantwortlich für ein Prüffeld mit 6000 Quadratmetern und 70 Mitarbeitern und ein Teil oder ein Team von mir beschäftigt sich eben mit der Erprobung von E-Komponenten. Bis hin zu Batterien und Leistungselektronik. Darüber hinaus haben wir natürlich auch jetzt in den anderen Bereichen der (?elektrotechischen) Erprobung und im Bereich des Fahrzeugssicherheitsversuchs immer wieder mit E-Fahrzeugen zu tun. Weil das im Moment die Fahrzeuge sind, die entwickelt werden, und die müssen wir hier bei unserem Standort (?testen). Genau das ist sozusagen der Background so zu diesen Fahrzeugen.

I: Dementsprechend haben sie so große Erfahrungen mit der Elektromobilität in geschlossenen Garagen noch gar nicht gesammelt.

B: Also ich betreibe tatsächlich keine Garage, aber letztendlich tue ich in meinen Versuchsräumen Fahrzeuge, E-Fahrzeuge abstellen das sind Zum Teil Serien nahe Fahrzeuge oder auch serienfahrzeuge aber auch noch einmal im frühen Entwicklungsstadien.

I: Alles klar.

B: Das ist sozusagen der Grund.

I: Sehr gut, welche potenziellen Gefährdungen haben Sie bei Elektrofahrzeugen und ihren Ladestationen ausfindig gemacht? Und welche Erfahrungen haben Sie da sammeln können?

B: Es gibt zwei Aspekte denke ich, die da zentral sind. Einmal der Aspekt der Arbeitssicherheit, das heißt wir arbeiten mit hohen Spannungen. Und entsprechend ist es eben notwendig da entsprechend fachkundiges Personal zur Verfügung zu haben, die dann an diesem Hochspannungssystem arbeiten können. Und der Rest der Mitarbeiter muss natürlich insofern qualifiziert sein, dass Sie eben wissen, wie weit Sie- sage ich mal- an so ein Fahrzeug heranwagen dürfen. Und ab wann- sag ich mal- man dann entsprechende höherqualifiziere Elektrofachkräfte da eingreifen müssen. Da gibts ja auch, ein entsprechendes Qualifizierungsschema. Das ja auch grundsätzlich in anderen Betrieben so- auch Anwendung findet. Das heißt dann- das sind dann diese Stufen, die wir entsprechend von den Mitarbeitern #00:04:11# (5 sec.) Auf diese qualifiziert sind dann um entsprechend gewisse Tätigkeiten da am Elektrofahrzeugen- tätig zu werden. Also vom Elektrotechnischen Laien, bis hin zur Elektrofachkraft. #00:04:28#

I: Also sehen Sie (**B:** Das ist- ja) Also stellen Sie die Gefährdung der Batterien beziehungsweise der elektrischen Spannung da, für ihre Mitarbeiter schon einen sehr hohen Stellenwert entgegen.

B: Ja, genau also. Die Fahrzeuge werden auch speziell gekennzeichnet, und da darf dann auch nicht jeder- sag ich mal- einfach Hand anlegen an den Fahrzeugen. Genau das ist aber ein Aspekt das ist der Aspekte der Arbeitssicherheit. Und- ich sag mal- der nächste Aspekt, der natürlich von großem Interesse ist, ist das Thema Brandschutz. Da geht es um- sag ich mal- eine Brandgefahr die von diesen Hochvoltspeichern ausgeht. Je nachdem was- sag ich mal- in welchem Entwicklungsstadium wir sind und- sag ich mal- was dieser für Vorgeschichte haben, wir machen ja auch Versuche an denen, da kann es natürlich auch zu einer Schädigung kommen und dann müssen wir eben auch wissen was oder wo kann man so ein Fahrzeug dann abstellen? Was muss man da tun? Das- sag ich mal- die Gefährdung da minimiert wird.

I: Genau die Stichworte Brandentstehungsgefahr und Weiterleitungsgefahr auf umliegende Gebäude oder (**B:** Ja genau) andere Fahrzeuge. Inwiefern unterscheiden sich da die Brandgefahren zu herkömmlichen Verbrennern?

B: Ich sag mal im Prinzip ist auch der Verbrenner nicht ungefährlich und wie ich immer so schön sage, bloß mit einem brennenden Tank kommt man nicht mehr in Youtube. Und dann ist der Tesla viel spannender. Aber natürlich ist es ein anderes Medium, was brennt und das Brandverhalten ist einfach unterschiedlich. Und von einem Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem Tank mit-Kraftstofffüllung.

I: Haben sie da explizite Werte, die das belegen diesen Unterschied.

B: Also, ich denke mal der grundsätzliche Unterschied ist ja, dass so ein Lithium Ionen Speicher auch unter (?Luft) Ausschluss reagieren kann. Dagegen- sage ich mal- der Benzintank das ist- sage ich mal- eine klassische Verbrennung mit dem Branddreieck und eben Sauerstoff. Dann das, was dann da verbrennt. Und eben auch die Zündenergie braucht, um so eine Verbrennung dann eben auch zu haben. Und bei dem Lithium-Ionen-Speicher kann das Ganze natürlich auch aus sich heraus geschehen. Da braucht es dann- also da kann man den Sauerstoff wegnehmen und trotzdem setzt der dann um. Das ist denke ich der große Unterschied an der Stelle wenn es um die Brandgefahren (?geht).

I: Zum Thema Brandbekämpfung selbst. Wie schätzen Sie die Möglichkeit der Brandbekämpfung ein? Sie hatten vorher schon angesprochen, dass die Arbeitssicherheit bei Ihnen einen großen Stellenwert hat. Das ist es bei der Feuerwehr selbstverständlich auch so. Die Feuerwehr hat auch einen sehr hohen Arbeitssicherheitsstandart. Inwiefern ist das vereinbar? Es gibt da Beispiele mit so einer Löschlanze, die in die Batterien direkt nah an den Hochspannungs-Teilen rangehen. Das ist natürlich auf den ersten Blick sehr gefährlich.

B: Also eine der einfachsten Maßnahmen ist erstmal das Fahrzeug nicht in der Halle zu haben. Ich meine das ist natürlich bei Garagen- da geht man davon aus das es dasteht. Aber ich sag mal bei uns ist natürlich eine Möglichkeit das Fahrzeug auf einer Freifläche abzustellen. Oder in einem Abgetrennten Bereich, wo- sag ich mal- nichts Wertvolles außen rum ist. Und- sage ich mal- wenn das Fahrzeug umgesetzt dann- sage ich mal- der Schaden der Umgebung natürlich minimal ist. Da kann man es auch kontrolliert abbrennen lassen. Da kann auch die Feuerwehr dann sehr gut hinkommen, das ist natürlich das einfachste. Was wir natürlich auch machen, wenn wir gerade solche Tests in (?Klimakammern) im Haus durchführen mit den Fahrzeugen. Das wir sozusagen das Batterien Management anzapfen, die dann kontinuierlich den Status regeln von der Batterie. Und- sag ich mal- wenn da schon irgendwelche Werte außerhalb der vorgegebenen Grenzen auftauchen, dass wir dann- sag ich mal- den Versuch abbrechen und das Fahrzeug dann bevor noch was

schlimmeres passiert auch wieder ins Freie bringen. Da haben wir dann entsprechende Abschleppvorrichtungen, um die da heraus zu ziehen ins Freie. Ja, ansonsten muss man natürlich- sag ich mal-. Es ist Schwierig, weil tatsächlich löschen, ein Thema ist, was gerade in den Gesamtfahrzeugen nicht ganz einfach ist. Und wenn wir dann- sag ich mal- in den Versuchslaboren, wo sehr viel teures Equipment außen rum steht, kann ich auch ohne Probleme noch größeren Schaden erzeugen, wenn ich da mit Löschmitteln da umgehe. Deswegen haben wir jetzt- sage ich mal- für den Fall der Fälle spezielle Brandschutzdecken uns beschafft. Die über das Fahrzeug gezogen werden kann und- ich sage mal- das Brandgeschehen deutlich eindämmt. Also ich weiß nicht ob Sie die kennen, dass ist die car fire blanket professional von der Firma (?TSF). Weiß ich nicht ob Sie die kennen.

I: Habe ich schon Versuche zu gesehen, bei uns im Nachbar Kreis in Segeberg wurden, die ausgiebig getestet. Dieser Löschdecken- in der Feuerwehr.

B: Ok

I: Sehen natürlich auf dem ersten Blick gerade für eingeeengte Bereiche sehr viel versprechend aus.

B: Genau was natürlich schwierig ist oder was wir zum Beispiel jetzt noch nicht #00:11:36# was sicherlich auch noch eine Möglichkeit ist wir testen auch Batterien, also diese Lithium-Ionen-Speicher unabhängig vom gesamt Fahrzeug. Da haben wir spezielle Prüfkammern für. Und die haben wir mit entsprechenden Hochdrucksprühnebelanlagen versehen. Die Falls da eine (?Haverie) passiert, sozusagen definiert die Energie in Form von einer Verdampfung des Sprühnebels aus der Kammer raus holen. Das heißt wir müssen die Kammer nicht komplett Fluten. Was natürlich auch ein Problem wäre, weil- sag ich mal- ja die Kammer dann- sag ich mal- dann ja auch deutlich beansprucht (?wird), wenn da zig Kubikmeter Wasser drin sind, muss (?das) die Kammer erstmal aushalten. Und da ist man wohl derzeit mit solchen Hochdrucksprühnebelanlagen deutlich im Vorteil. Und man hat auch nicht so viel kontaminiertes Wasser am Ende- das ist alles.

I: Wie schätzen Sie

B: Aber das- Ob die sowas können, dass kann ich mir natürlich auch für das Gesamtfahrzeug vorstellen.

I: Genau solche Konzepte gibt es auch schon zu den Hochdrucknebellöschanlagen in Tiefgaragen, dessen Ziel es ist, die Temperatur in der Garage selbst möglichst niedrig zu halten, um eine Weiterleitung auf andere Fahrzeuge zu verhindern. Wie stehen Sie dazu?

B: Also ich finde das Konzept ganz gut. Also ich sag mal mit dem Hochvolt speichern denke ich funktioniert, das ja auch ganz gut. Bloß wenn man sich jetzt mal so ein Gesamtfahrzeug umguckt ist da aber natürlich deutlich mehr Brandlast verbaut, als im eigentlichen Speicher. Und entsprechend müssen die auch anders Dimensioniert sein, weil da dann ja viel mehr brennt als nur der Speicher selbst. Aber im Prinzip finde ich die Idee gut, weil nicht so viel Wasser wie sage ich mal einer flüssig-Löschung notwendig ist.

I: Genau sie hatten vorhin erwähnt, dass Sie eine extra Brandschutzdecke sich geholt hatten. Diese Brandtemperaturen, die da erreicht werden, hält diese Decke an sich ja schon aus. Zumindest um den Brand einzudämmen. Was wäre Ihrer Meinung nach wichtig, um mehr Planungssicherheit? Für die Elektromobilität, für Architekten, im gesamten Bauverfahren zu erhalten, welche baulichen Anlagen, technische oder organisatorische Maßnahmen könnten Sie sich da vorstellen?

B: Also ich sag mal. Das mit der Decke funktioniert ja nur, wenn jemand da ist, der dann auch im Brandfall diese Decke über das Fahrzeug zieht. Und das müssen wir auch üben also, das (?kann man) jetzt nicht unbedingt einen leihen machen lassen, das muss man üben. Eventuell sogar

Atemschutz, den wir ja auch haben bei uns am Gelände. Das ist schwierig, ich denke so Sprühanlagen, die von sich aus losgehen wenn ein Brand diktiert wird, sind sicherlich interessante Konzepte. Das Problem ist natürlich Wasser und Hochspannung ist natürlich auch noch mal so ein spezielles Thema, was ja auch immer noch eine Gefährdung ist. In der Kombination, also von daher weiß ich nicht-, also wenn ich bei mir in der Kammer das Problem habe dann weiß ich, die ist geerdet und da kann ja auch keiner rein laufen. Wie es in der Garage aussieht, wenn da so ein Sprühnebel kommt und so ein Elektrofahrzeug benebelt, auch dann- sag ich mal- ist hier eine Gefahr. Auch für Leute, die dann durchlaufen durch diese Pfützen, die dann entstehen in Kombination mit dem Hochvoltspeicher. (6 sec.) Von daher denke ich und muss so eine optimierte Garage für E-Fahrzeuge schon ein bisschen anders aus schauen als das, was wir da jetzt im Moment haben.

I: Genau eine optimierte Garage, wie Sie sagten. Gerade heute haben wir natürlich noch viele Altbauten, viele alte Garagen, die schwer zugänglich sind. Aber auch werden neue Garagen gebaut, die sogar nicht mehr erreichbar sind. Dort stellt man das Auto in den Fahrstuhl und das Auto kommt direkt an seinen Platz. Hier würde die Feuerwehrler so gut wie gar kein Erreichen zum Brandherd haben. Also würden Sie ja auch da empfehlen weiter auf die Sprinkleranlagen, Sprühnebelanlagen zu setzen und zu schauen, inwiefern die dem Brand einher werden können?

B: Also ist sicherlich ein Konzept was irgendwie mit überschaubarem Aufwand umzusetzen ist. Aber (?man könnte sich) natürlich auch vorstellen, dass man die Fahrzeuge (?wenn man an so) hochautomatisierten Garagen denkt, dass die in Boxen kommen die- sage ich mal- eigentlich sicher sind und- sag ich mal-, bis ich den Brand dann abdecken könnten, das wäre natürlich auch eine Möglichkeit. Macht aber natürlich die Garage wahrscheinlich deutlich teurer.

I: Genau eine Frage der wirtschaftlichen Möglichkeit des Bauherren. (9 Sec.) Was halten Sie von möglichen organisatorischen Maßnahmen? Wie spezielle E-Auto Bereiche im Garagen? Um eben die spontane Entzündung- nicht spontane-, aber die Entzündung der E-Autos durch die benachbarte Hitze zu verhindern.

B: Nee, Ach so schwierig die Frage ist. Aber wie schnell wird- sag ich mal- eine Flotte hier Parken wollen, die zum großen Teil elektrifiziert ist? Und wenn man das mal mit der Größenordnung sieht, wie vielleicht in manchen Tiefgaragen irgendwelche freien Parkplätze zu finden sind., können wir dann an einer Hand abzählen. Die werden sicherlich nicht reichen und da die Kapazität zu liefern, die man dann selber in nicht allzu ferner Zukunft braucht. Also- Vor allem ist man dann ja auch- sag ich mal- schon bevor der Parkende dann einfährt (?muss man) schon wissen ob sage ich mal, die Anzahl an Parkplätzen auch noch frei sind, für das Elektrofahrzeug. Dann müssen wir dann gegebenenfalls auch die Einfahrt verweigern. Aber das ist glaube ich, sage ich mal, organisatorisch sicherlich für eine Übergangszeit- kann man sowas vielleicht machen- sag ich mal-, um Zeit zu gewinnen den Rest dann auch noch dahin zu bekommen. Aber das kann nicht die Endlösung sein sondern immer nur ein (?Übergang) #00:19:25#. (7sec.)

I: Ja, ich schaue einmal. (15 sec) Ich glaube das wäre es so weit. Dann noch eine Frage an Sie, möchten Sie noch etwas ergänzen, was Ihnen noch wichtig ist zu dem Thema?

B: Also ich- meiner Ansicht nach ist es tatsächlich so, dass das- sage ich mal- jetzt mit der Energiewende auf einmal die Elektrifizierung der Fahrzeuge relativ schnell voranschreiten wird. Und natürlich ist es notwendig das- sage ich mal- auch die Garagen sich da entsprechend schnell entwickeln. Das- sage ich mal- die Gefahren, die da sind, auch handhabbar sind. Wobei ein Brand erstmal grundsätzlich so häufig- und so wie ich die Feuerwehrkollegen verstanden habe, mit denen ich darüber (?bisher) gesprochen habe. Ein Brand ist, also- ich sage mal- wir haben jetzt erstmal nicht so den großen Einfluss auf das, was die Feuerwehr dann tut. Also der Brand muss halt gelöscht

werden und- ich sage mal- tatsächlich ist ja auch ein konventionelles Fahrzeug eine Brandgefahr in der Garage. Also von daher-. Aber es- Ich denke, es ist sehr wichtig, dass man sich- sage ich mal- umhört und auch sich Gedanken macht was man denn tun muss.

I: Genau da ist mir gerade noch eine Frage ins Auge gefallen. Und zwar mit der steigenden Nachfrage nach Elektromobilität wird es ja auch eine Nachfrage an Ladestationen in den Garagen geben. Welche Möglichkeiten zur Sicherung sehen Sie da? Um einen externen Kurzschluss, der eine potentielle Brandgefahr darstellt, zu verhindern? Diese Wall Boxen sind da ja schon recht ausgereift, aber wie kann man auch- wie kann man das noch verbessern?

B: Ja gut. Ich meine ich bin ja jetzt Leiter von einer Versuchseinrichtung es gibt ja die entsprechenden (?Schutzerhaltungs) Tests zum Beispiel. Das ist ja auch bei Hochvoltbatterien extrem wichtig entsprechende Sicherheitskontrollen und so zu machen ich sage mal die Stecker Konzept die müssen natürlich auch- sag ich mal- ausgereift sein. Da denke ich kommst du auf einfach eine Standardisierung hinzubekommen, um sag ich mal einen Qualitätsstandart festzulegen. Der dann über einen Test- über eine Freigabe abzuprüfen ist damit sage ich mal die größtmögliche Sicherheit (?vorhanden) ist. Das ist, denke ich der Punkt bei der Geschichte.

I: Alles klar! Wunderbar! Dann bedanke ich mich und beende jetzt die Aufnahme.

Transkript Experteninterview 2

I: So die Aufnahme ist gestartet. Ich habe die Aufzeichnung begonnen bitte bestätigen Sie noch einmal, dass sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet wird. Anschließend verschriftlicht wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interview Textes werden alle Angaben zu ihrer Person dem Text entfernt oder anonymisiert und außerdem wird das Interview in der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in aus Schnitten zitiert, um gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang Sie als Person nicht erkennbar macht.

B1: Ja, das war in Ordnung für mich.

B2: Ja, für mich auch.

I: Dann würde ich mit der ersten Frage gleich nochmal anfangen so zum Einstieg. Könnten sie ja einmal erklären, wie ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen sie im Bereich der Elektromobilität und im Bereich des Brandschutzes bereits gemacht haben.

B1: Ja gut, fang ich mal an also. Mein Name ist [REDACTED] Jahre alt, habe mal Sicherheitstechnik in [REDACTED] studiert mit Schwerpunkt Brand und Explosionsschutz. Bin anschließend zu [REDACTED] gegangen. Bin Sachverständiger für den Anlagen technischen Brandschutz, also für Löschanlagen und vom Land Nordrhein-Westfalen anerkannter Sachverständiger. Hab verschiedene Positionen bei uns im Unternehmen gehabt und Leite jetzt bei uns das Produktmanagement in der technischen Prüfstelle. Was wir machen ist halt- wir beschäftigen uns ja vor allem mit dem anlagentechnischen Brandschutz, also Sprinkleranlagen und co. Und haben natürlich in dem Zusammenhang regelmäßig fragen üblich ja Tiefgarage, Sprinterschutz passt das zusammen? Gibt es da Änderungsbedarf, ist das Risiko grösser? Und viele andere Themen. Was wir auch machen wir machen regelmäßig Wirksamkeitsnachweise, Brandversuche mit allen möglichen Dingen. Zertifizieren Schutzkonzepte oder kommen auch immer wieder fragen auf mit Batterien und da haben wir auch schon einige Brandversuche gemacht. Das Problem bei den Brand versuchen ist nur immer. Oder was heißt immer, nicht immer aber meistens ist es so, dass derjenige, der sie bezahlt, der Kunde halt dann Verschwiegenheit haben will. Und das ist allgemein natürlich ein Problem, dass es eine ganze Menge an Versuchen gibt leider das wenigste davon öffentlich zugänglich und publiziert wird. Das vielleicht einmal so als, als ganz kurzer Einstieg zum Thema von mir.

B2: Mein Name ist [REDACTED], ich bin [REDACTED] Jahre alt, habe letztes Jahr bei [REDACTED] angefangen. In der Abteilung Produktmanagement von Herrn [REDACTED] und habe mich da zum großen Teil auch mit dem Thema Lithium-Ionen-Batterien und Brandschutz auseinandergesetzt und hab da auch, wie Herr [REDACTED] schon gesagt hat, auch schon mal ja Brandversuche und andere Dinge begleitet. Worüber ich natürlich nicht sprechen kann wie Herr [REDACTED] aber auch schon gesagt hat. Ja, und hauptsächlich auch für Springkieranlagen, Wasserlöschanlagen zuständig.

I: Ah, sehr gut. Da sind Sie ja bestens geeignet. Zur nächsten Frage, aus Ihren Erfahrungen heraus welche potenziellen Gefährdungen gehen von Elektrofahrzeugen und ihren Ladestationen aus?

B1: Also ich persönlich bin der Meinung das lässt sich halt leider vieles davon nicht wirklich durch Versuche untermauern, dass das Elektrofahrzeug an sich in der Garage kein erhöhtes Problem darstellt. Der Hinsicht, dass die Brandlast höher ist oder so. Ich sag mal gesagt Focus ist ja bei uns der anlagentechnische Brandschutz. Wenn ich auf die Sprinkleranlage gucke, einen brennenden

PKW kann ich so oder so nicht löschen, weil das Wasser kann halt nicht in das Auto eindringen. In die Motorhaube oder sowas. Das heißt das Schutzziel ist natürlich an der Stelle zu verhindern, dass sich der Brand auf benachbarte Fahrzeuge ausbreitet. Und da bin ich der Meinung, dass das egal ist, ob das jetzt ein Elektrofahrzeug ist oder Verbrennermotor ist. Das werden Sprinkleranlagen schaffen. Zumindest ist mir auch kein Fall bekannt, wo es bei einer Garage gebrannt hätte im Elektrofahrzeug, wo das nicht funktioniert, hätte an der Stelle. Also von daher sehe ich da erstmal an der Stelle kein Problem, was als das Schadensausmaß angeht, was sicherlich so ist vor allem wenn die Fahrzeuge geladen werden haben wir wahrscheinlich ein höheres Risiko der- oder einer höheren Wahrscheinlichkeit- der Brandentstehung. Das halt während des Ladevorgangs das natürlich es da zu dem Moment kommt zu dem Moment die Batterie überhitzt oder irgendwas passiert sodass die Eintrittswahrscheinlichkeit wahrscheinlich höher ist, aber das Schadensausmaß vor allem auch einmal im Hinblick, was kann die Sprinkleranlage, die Löschanlage da machen? Denke ich ist an der Stelle gleich und der Einfluss ist dann wahrscheinlich weniger die Batterie. Sondern eher das Thema, wenn ich mir jetzt Ford Focus aus den 80er Jahren angucke und dann daneben einen Q-7 Stelle von Audi. Dann ist einfach Kunststoffanteil die Größe des Fahrzeuges und sowas ist sicherlich ein viel größerer Einfluss Faktor, als ob da jetzt 50 Liter Tank Benzin drin ist oder die Batterie. Meine Einschätzung.

I: Sie sagten unter anderem, dass die Weiterleitungsfahr, bei vorhandenen Sprinkleranlagen Ihrer Erfahrung nach immer gewährleistet ist. Demnach etwaige erhöhte Brand, Temperaturen selbst von Elektrofahrzeugen dem kann auch die Sprinkleranlage einher werden.

B1: Naja also ich kenne keine Versuche die das bestätigen oder widerlegen würden alles. Das ist natürlich schwierig, man müsste Brandversuche machen mit aktuellen Autos und naja da sträuben sie Hersteller, dass man dann neue Autos anzündet. Wir machen regelmäßig Versuche, aus allen möglichen Gründen. Dann sind das eher halt ältere Modelle. Und halt nicht die Elektrofahrzeuge von daher kann ich nicht weder beweisen noch widerlegen. Es gab ja jetzt letzten Sonntag in Ravensburg einen Brand in der Tiefgarage wo dann ein, Elektroauto gebrannt hat. Wenn ich mir da so die Fotos angucke, dann ist da sicherlich über dem Fahrzeug schon waren da schon hohe Temperaturen. Aber wenn ich auf die Bilder gucke- sehe ich in wenigen Metern Entfernung- sehe ich, dass da zum Beispiel noch Lampen an der Decke funktionsfähig sind. Von daher sieht das für mich jetzt nicht so aus, ob da ein viel schlimmeres Szenario war als mit einem anderen Auto erwarten können. Wie gesagt, dass wir alles so Indizien, wo ich sage ja, in ein paar Meter Entfernung sehe ich die Grüne oder rote Leuchte, die anzeigt, ob der Stellplatz frei ist oder nicht, die ist noch in Funktion. Von daher kann es da nicht so heiß gewesen sein an der Stelle? Alles Indizien, Vermutungen. Man hat vielleicht noch, man kann es halt noch erwähnen, dass sich da auch international was die Auslegung der Sprinkleranlagen angeht einiges tut, also es gibt natürlich auch einige Länder oder Institutionen, die da die Anforderungen an die Sprinkleranlagen hochschrauben. (4. Sek) Ich kenne aber auch keine Versuche, die dem zugrunde liegen. Wenn man das aber mal vergleicht, also jetzt eine Sprinkleranlage die nach einer VdS Regelwerk ausgelegt ist und das da an der Stelle identisch zum europäischen Regelwerk. Da haben wir rein theoretisch in der Praxis dann mehr rein theoretischen Wasserbedarf von 900 Litern also 5 Millimeter Wasserbeaufschlagung über 180 Quadratmeter und die 900 Liter. Das ist, wenn man dann das amerikanische Regelwerk bei NFPA guckt ist das ist das schon ist das schon deutlich mehr da haben die 1500 Liter und FM Global hat deutlich hochgeschraubt die Anforderungen. Da brauchen wir fast 4000 Liter. Ich kenne aber keine Versuchsberichte von FM GLOBAL. Ich hab auch schon mal angefragt bei den ob das erläutern könnten. Die kurze Antwort war naja, wir stufen die heutigen PKWs als Kunststoff ein. Also die Begründung war weniger die Batterie, sondern einfach naja das ist für uns die Kunststoff Lagerung Halt dann keine Ahnung eine Meter 80 (1,80 m) hohe Kunststofflagerung und deswegen

haben sie das hochgeschraubt. Also da gibt es viele Diskussionen und (?zuletzt) auch Angst, Zuschläge, die man irgendwo hinzu macht. Aber das ist wirklich versuche gibt, wo man sagt. (?guck mal)- Wir haben jetzt also bei NFPA zum Beispiel hochgestuft von OH 1 auf OH 2 das ist, weil wir die und die Versuche haben oder die und die Schäden. Ist mir alles nix nichts bekannt an der Stelle.

I: Ja, die OH Stufe 2 die wir haben gemäß DIN 4001 der aktuellen DIN VdS CEA da sind jetzt auch die Elektrofahrzeuge mit berücksichtigt, diese sollen Wasser vorrätig halten für 60 Minuten. Und vor allem unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit bei kleineren Tiefgaragen. Was sagen Sie dazu ist? Es ist dennoch sinnvoll, eine Sprinkleranlage in kleineren, geschlossenen Garagen einzubauen.

B1: Naja, sinnvoll ist das ja- eine Sprinkleranlage ist immer sinnvoll. Wir sind in Deutschland sicherlich Entwicklungsland, was Sprinklerschutz angeht. Wenn sie, wenn Sie das vergleichen auch vor allem die Wohngebäude geht oder so. Ist man international in vielen Ländern wird viel mehr gesprinkelt, als in Deutschland. Ein Hauptproblem ist wir sind da in Deutschland exklusiv unterwegs, dass wir Riesenprobleme haben die Sprinkleranlagen ans Trinkwasser Netz anzuschließen. Weltweit macht man das. In Deutschland hat man Angst davor. Das heißt in vielen anderen Ländern schließt man- Wohngebäude werden einfach ans Trinkwassernetz angeschlossen die Sprinkler und man hat die gesprinkelt. Da ist an der Stelle sicherlich Deutschland ein Entwicklungsland. Leider und von daher muss ich sagen ja immer eine Löschanlage macht immer Sinn und auch bei den kleinen Garagen. Ich habe gestern noch mit einem jemand aus gesprochen und der sagte die Tendenz ist tatsächlich, dass einige Länder jetzt hingehen und da die letzten Jahre diverse Brandschäden, wo große Garage abgebrannt sind, nicht gesprinkelt, sondern ungesprinkelt und viele Länder wollen jetzt die Sprinklerung von Garagen einführen in ihre Bauordnung. Wir haben aber mit dem OH 2 schon- Es ist denen einfach zuviel Wasser, weil sie da Probleme haben das aus dem Trinkwassernetz rauszukriegen. Ich weiß gar nicht, also, der hat gestern gesagt, dass das, was ich glaube mindestens in Tschechien ist es schon so. Und ich glaub in Belgien, Polen und den Niederlanden denkt man drüber nach. Das man kleinere Tiefgaragen nur mit OH 1 schützen muss. Wären also 90 Quadratmeter (?Wirkfläche), sprich 450 Liter. Ja, ob das dann ausreicht ist natürlich schwer zu sagen. Aber auch auf ihre Frage, ich denke, es ist immer Sinnvoll die Frau [REDACTED] und ich sind auch beide lange in der Feuerwehr und wenn ich mir überlege, wie die Garagen, die natürlich dann auch extrem schnell verrauchen, ohne Löschanlage schnell hohe Temperaturen da sind, dann ist das natürlich eine echte Herausforderung für die Feuerwehr die da kommt. Würde ich immer sagen, dann machen Sprinkleranlage da Sinn. Wirtschaftlich (?gut) Wirtschaftlich müssen andere bewerten, das ist klar. Also Löschanlagen wirtschaftlich zu rechnen ist ja immer schwierig, weil man versucht ja einen Schaden zu verhindern, wenn der dann eintritt und das dann finanziell gegenzurechnen ist natürlich ist natürlich schwierig.

I: Gerade in der Entwurfs Planung schreckt das den Bauherren dann doch sehr häufig ab.

B1: Ja, alle freiwillig wird das ja keiner Einbauen. Gerade jetzt in kleinen Tiefgaragen wir sprechen ja dann vielleicht davon, ich hab dann irgendwie so. Ein mehrgeschossiges Gebäude und die haben dann da für die Eigentümer oder für die Mieter und dann hat man eine kleine Garage drunter. Mit-keine Ahnung- 40 Stellplätzen oder so etwas. Da wird ja der Investor oder der Bauherr wird ja freiwillig, dann niemals eine Sprinkleranlage einbauen. Wenn er von der Bauordnung dazu gezwungen wird dann hat er keine Wahl, aber ansonsten wird das ja der extreme Ausnahmefall sein, dass man sagt: „ne mir ist der Brandschutz so viel wert und ich bau die Anlage da ein“. Zumal halt wirklich in Deutschland haben wir das Problem er bräuchte eine Pumpe, er bräuchte einen Behälter, er brauch viel Platz. Das sind halt alles diese Dinge die dem Ausland oft nicht nötig sind, weil man einfach ins Trinkwasser rangeht.

I: Halten Sie für so kleine Tiefgaragen eine Hochdruck, Nebellöschanlage oder organisatorische Maßnahmen für Zielführend?

B1: Vom Grundsatz her sehe ich die Hochdruckwassernebellöschanlagen gleichwertig zu den Sprinkleranlagen an, wenn sie ihre Wirksamkeit nachgewiesen haben. Also, wir machen da ja auch- Wir zertifizieren entsprechende Systeme für Garagen. Und wenn es da Brandversuche gab und die waren erfolgreich, dann macht das aus unserer Sicht keinen Unterschied. Ob in die Garage eine klassische Sprinkleranlage einsetzen oder eine Hochdruckwassernebellöschanlage. Das ist aus unserer Sicht gleichwertig. Organisatorische Maßnahmen würde ich gar nicht als entweder oder ansehen. Also ich denke, die organisatorischen Maßnahmen müssen immer da sein. Man sollte natürlich immer alles versuchen um Brände zu verhindern. (6 sec) Vor allem also immer versuchen, Brände zu verhindern, vor allem auch wenn ich Elektroautos habe oder sowas an der Stelle. Das ich natürlich dann entsprechend die Elektroinstallation auf dem Stand der Technik halte und solche Geschichten alles das ist natürlich auch alles wichtig. Ordnung und Sauberkeit ist immer wichtig, das muss alles sein, und dann ist halt die Sprinkleranlage für den Fall, dass die Organisation organisatorischen Maßnahmen nicht gereicht haben.

I: Wie sehen solche organisatorischen Maßnahmen für Sie aus?

B1: Es gibt da ein Merkblatt [REDACTED]

vom GDV ich hab jetzt tatsächlich gerade die Nummer gar nicht zur Hand, aber es gibt ja tatsächlich da extra ein Merkblatt für- Für Elektro-Fahrzeuge eben- Also das richtet sich hier vor allem tatsächlich an Eigentümer an diese kleinen Garage und an (?mittlere). In welchem steht tatsächlich jetzt? Die Nummer raus- raussuchen aber da steht die- Diverse organisatorische Maßnahmen drin. Die man da umsetzen sollte.

I: Ist klar, dann würde ich einmal zu den Gefährdungen der Einsatz Einsatzkräfte rüberspringen Sie sagten, Sie sind beide tätig in der Feuerwehr. Welche zusätzlichen Gefahren gibt es dafür die Feuerwehrleute? Reicht es aus, wenn man sich an Hinweise und Informationen wie die der DGUV beispielsweise hält, oder gibt es weiteres was zu beachten ist?

B1: Ja gibt ja sicherlich- sicherlich eine ganze Menge, ich weiß jetzt gar nicht- ob es da von der vfdB irgendwas dazu gibt. Die da mal was publiziert- ich weiß das gar nicht. Also was ich gerade gefunden habe den- das Merkblatt was ich gerade mal meinte ist das VdS 3885. Das ist vom GDV, und zwar zusammen mit ADAC VDA und so weiter publiziert. Und da stehen diverse organisatorische Hinweise drin, die sicherlich sinnvoll sind. Für die Einsatzkräfte gibt es dann sicher eine ganze Reihe Dinge. Es fängt dabei an, das ist ja auch Untersuchung die- die Kontamination der Kleidung. also waren nach- nach einem Einsatz ist meine Kleidung kontaminiert? Aber das das da natürlich durch die Batterien dann nochmal deutlich mehr- deutlich mehr Schadstoffe ausgehen, sodass dann nochmal deutlich mehr die Kleidung kontrolliert ... #00:18:26#. Nach Einsätzen mit Lithium Ionen Akkus komplett entsorgen. Kleidung also, das ist sicherlich ein Punkt, was den Einsatzkräften klar sein muss. Ansonsten die Gefährdung stell-, ich glaube, das Problem ist die starke Rauchentwicklung, man sieht nix, hohe Temperaturen, aber das liegt- liegt weniger an den Batterien, sondern an den (?schweren) Fahrzeugen. Vielmehr Kunststoff sie sind größer und wenn auch nochmal der Q7 brennt, dann ist sicherlich Herausforderung, weil ich diese hohe Temperaturen und riesige Rauchentwicklung habe, hat aber nicht- nicht unbedingt was mit der mit der Batterie zu tun. Ja, also sonst so zum Beispiel spezielle Gefährdung der Einsatzkräfte fällt mir jetzt spontan, spontan da nichts groß Einfallen.

I: Also sehen Sie die elektrische Gefährdung eher untergeordnet. Beziehungsweise als „ja“ vorhanden aber-.

B1: Also die elektrische Gefährdung tatsächlich, dass man an der Batterie irgendwie. Des elektrischen Stromes da- da eine Gefährdung hat- also (4 Sec.) Ja, also in Na klar muss man als Einsatzkraft aufpassen, dass man, wenn man da an das Auto rangeht, ne dass da jetzt spannungsführende Teile irgendwo sein könnten, wo sie früher nicht waren oder irgendwas früher waren 24 Volt oder so und jetzt hab ich da deutlich andere Spannungen. Ähm Ja! Hat jetzt aber dann auch nichts mit der Tiefgarage zu tun. Ich glaube, dass ist den Einsatzkräften jetzt aber auch klar, ich meine Elektroautos können uns überall begegnen und dass ich da ein bisschen aufpassen muss, wo ich da bei einem havarierten Fahrzeug anfasse. Und auch mit dem meinen- mit meinem Schlauch im Wasser nicht zu nah ran gehe, weil da Spannung sein könnte. Ich glaube, dass sollte eigentlich so weit den Einsatzkräften bekannt sein ne.

B2: Ich finde, das sollte selbstverständlich sein, dass man die Sprühweite auch des Strahlrohres ausnutzt und dann halt nicht zu nah rangeht. Und die Temperaturen werden ihr Bestes dazu geben, dass man nicht so nah rangeht, wenn es zu heiß wird, bleibt man ein bisschen weiter zurück und ja, man sollte halt abwägen- ja oder halt sich auch darüber im Klaren sein, dass man wirklich erstmal nur von außen löscht und nicht irgendwie in die Batterie eindringt und versuchen die Batterie von innen zu löschen mit irgendwelchen Systemen oder mit der Axt aufzureißen und sowas. Das sollte denke ich mal einfach im Bewusstsein der Feuerwehrleute drin sein. Das es gefährlich ist, wenn man da die Batterien noch weiter beschädigt und man ja auch nicht von vornherein weißt, wenn dieses Elektroauto brennt, ob es tatsächlich die Batterie ist, die brennt, weil das kann ja auch einfach sonstige Teile im Motorraum oder im Innenraum des Autos- oder die Reifen brennen. Deswegen, da sollte man sich bewusst sein. Aber da bin ich der Hoffnung, das dies auch so ist.

B1: Ja, wie gesagt ich glaube das ist jetzt- Ja sollte sollte ich kann da Hand da jetzt nicht ins Feuer legen, aber das sollte soweit den Feuerwehrleuten in Deutschland, soweit eigentlich bekannt sein.

I: Dann haben wir heutzutage ja auch sehr moderne Park Systeme Park-Paletten sozusagen, wo die Autos einfach nur noch auf eine Park Fläche gestellt werden und dann verlagert werden. Dort ist- Die Brandbekämpfung der Feuerwehr äußerst schwierig. Dort gibt es sicherlich auch eigene Maßnahmen für den Sprinklerschutz bei solchen Park-Paletten.

B1: Genau also der Sprinklerschutz sieht dann eher aus, wie ich auch in einem Hochregallager oder so, dass ich dann halt seitlich an den Autos da entsprechend Sprinkler anordne. Aber auch hier ist das Schutzziel natürlich klar, dass ich verhinder, dass sich der Brand ausbreitet und das ist das Auto selber werde ich, werde ich von außen natürlich schön kühlen können, aber im Zweifelsfall nicht löschen. Das das ist glaube ich tatsächlich ein Problem. Das vielen Feuerwehren auch nicht klar ist im Zweifel man muss daran. Das Auto muss raus. Ja, man kann natürlich die Sprinkleranlage da, wenn ich irgendwie Wasser Nachspeise tagelang laufen lassen, aber eigentlich- ist das Ziel der Anlage ich kontrolliere das und dann kommt die Feuerwehr und macht es aus oder holt das Auto raus. Und da glaube ich fehlen oft bei diesen großen Systemen fehlen da glaube ich oft die Konzepte also ich rede jetzt ja nicht davon, wenn irgendwo mal so Doppel Parker ist vor 2 übereinander stehen oder vielleicht 3 sondern wirklich wie gesagt dieser automatischen Dinge, wo die Plattform irgendwo in tatsächlichen Regalsystem reinfährt. Und da ist wichtig, dass die Feuerwehr Konzepte hat. Und man sich- oder auch der Betreiber ist ja auch erstmal verantwortlich Konzepte hat und sich überlegt was mache ich im Schadensfall? Da gibt es dann eben keine Ahnung 10 Metern Höhe steht da oben in der Auto und brennt. Gut Sprinkleranlage verhindert, dass es sich ausdehnt meine gesamte Fördertechnik wird wahrscheinlich nicht mehr funktionieren, im Zweifelsfall hat Sie Kurzschluss vom Wasser bekommen oder so und dann muss man sich überlegen wie komme ich

ran an das Auto, wie kriegt man das Auto raus? - Um die finale Bekämpfung durchzuführen. Ja also da ist sicherlich große Verantwortung, bei der Feuerwehr, von der Löschtechnik eher weniger und wie gesagt Hochregallager schützen wir auch, da kommen halt entsprechend Sprinkler seitlich dazwischen oder so.

I: Was ähnliches wäre es dann ja auch bei Fahrstuhl-systemen von Autos. Wo dann auch die Schwierigkeit besteht, das Fahrzeug rauszubekommen.

B1: Ja also ich hab schon gesehen Systeme da hat man dann tatsächlich so ein komplettes Lager, mit einer Leichtschaum-Löschanlage ausgestattet und im Zweifelsfall wird das Ding dann komplett mit Leichtschaum geflutet. Wobei einem auch klar ist nach paar Stunden, wann auch immer ist der Schaum halt weg. Dann ist das Auto immer noch da kann auch sein, dass dann immernoch so ein bisschen- Flammen da sind und dann fängt es wieder an. Da muss die Feuerwehr dann im Zweifelsfall tatsächlich hin und es dann finale Ablöschen.

I: Gerade auch im Hinblick auf den Thermal Run Away, dass die Batterie, auch wenn sie gelöscht scheint, gerne wieder selbst Feuer fängt.

B1: Exakt deswegen haben wir da ja- also das das ist halt- auch der Grund, warum wir hingegangen sind und in der Richtlinie wo normalerweise- liegt- die Tiefgarage früher mit einer Betriebszeit von 40 Minuten ausgekommen sind, wo wir gesagt haben Mensch genau aus diesem Grund setzen wir das hoch auf 60 Minuten. Um dann einfach da nochmal ein bisschen mehr Puffer ist um die- um dann nochmal länger die Fahrzeuge zu kühlen, ja.

I: Alles klar. Dann wäre ich mit meinen Fragen so weit durch möchten Sie noch etwas ergänzen, ist Ihnen etwas in dem Bereich besonders wichtig, was sie loswerden wollen?

B1: Ja, das eine ist vielleicht, dass man auch gerade bei der Löschanlage natürlich aufpassen muss. Da wird ja viel- CEA Firmen sagen ja hier, wir können Lithiumbatterien löschen und zeigen dann irgendwelche Versuche. Ich glaub, da ist immer wichtig, dass man auch darauf achtet, wer hat denn als unabhängige Stelle solche Versuche begleitet? Oder so ne. Ob wir das jetzt als [REDACTED] sind oder FM-global oder so ist, dann ist dann eigentlich egal. Aber man sieht dann manchmal Versuche wo aus Holzpaletten dann irgendwelche Autos nachgebaut worden sind und am Ende heißt es ja aber wir haben damit nachgewiesen. Wir können auch Lithium-Ionen-Akkus löschen. Aber also, da muss man glaube ich tatsächlich aufpassen und sage nur das, was sein seine Wirksamkeit wirklich unabhängig nachgewiesen hat nur das können wir auch tatsächlich als Anlagentechnik akzeptieren. Wie gesagt in den Zeiten von Youtube und sowas findet man da leider eine ganze Menge Videos die auch Toll aussehen, aber wenn man sie hinterfragt das ist dann halt nicht #00:26:58# . Ich meine der Deutsche Feuerwehrverband und genauso wie der wieder GDV vertreten ja auch die Meinung #00:27:07#. [...] Erstmal kein Problem- Also gerade auch als dann da in Kulmbach mal eine Zeit lang verboten wurde Elektroautos in der Garage gestellt haben sich auch viele, viele klar positioniert und die Meinung vertrete ich absolut auch. Wir haben da- mit den Löschanlagen kein Problem, die Wahrscheinlichkeit geht vielleicht hoch, aber das Ziel, dass der Brand sich nicht auf weitere Fahrzeuge ausbreitet, das schaffen die Löschanlagen.

I: Alles klar? Dann würde ich die Aufnahme jetzt einmal beenden.

Transkript Experteninterview 3

I: Ich habe jetzt die Ton Aufnahme begonnen. Bitte bestätigen Sie noch einmal, dass Sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend verschriftlichen wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interview Textes, werden alle Angaben zu ihrer Person aus dem Text entfernt oder anonymisiert. Außerdem wird das Interview in der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in Ausschnitten zitiert und gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang Sie als Person nicht erkennbar macht.

B: Ja, ich bin damit einverstanden.

I: Gut, dann würde ich gleich mit der ersten Frage beginnen. Zum kleinen Einstieg können Sie schildern, wie Ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen Sie im Bereich der Elektromobilität gemacht haben.

B: Also ich bin von Haus aus Architektin. [REDACTED], wo wir uns mit der Fortschreibung der [REDACTED] Bauordnung beschäftigen und auch mit den darauf aufbauenden Rechtsgrundlagen, sowas wie die Garagenverordnung oder Versammlungsstättenverordnung. Und wir legen halt die [REDACTED] Bauordnung aus. In Bezug auf wie Paragraphen oder rechtsverhalte zu bewerten sind als Fach vorgesetzte Dienststelle für die Bauprüfabteilung in den Bezirken. Ja, mit der Elektromobilität haben wir uns in dem Sinne- da hingehend beschäftigt, dass wir die Garageverordnung ja auch auslegen in Bezug auf ihre Punkte und in dem Sinne noch schauen müssen für die Zukunft. In wie wir die Elektromobilität dort einbinden werden. Ich war auch beteiligt an der Fortschreibung der Muster-Garagenverordnung, die auf der Argebau Ebene stattgefunden hat. Also ich bin dann Mitglied in der Projektgruppe Brandschutz. Wo wir als einzelne Landesvertreter ja in einer Arbeitsgruppe zusammenarbeiten und uns um die muss- also die Fortschreibung der Muster Vorschriften kümmern.

I: Alles klar dann haben Sie denn ja, man sieht schon sehr viele Erfahrungen mit Elektromobilität gesammelt. (**B:** Ja) Welche potenziellen Gefährdungen haben Sie bei der Elektromobilität feststellen können?

B: Also soweit ich das wahrgenommen habe, führt die Elektromobilität nicht unbedingt zu einer höheren Brandlast, sondern in dem Sinne sagen uns die Feuerwehr Kollegen immer wieder, dass das hier einen Brand mit einem Elektroauto zwar beherrschen können, aber das ist wesentlich länger dauert, weil der Löschvorgang einfach wesentlich länger dauert, wenn die Lithium-Ionen-Batterien sich dort entzünden. Dann müssen die aufwendig gekühlt werden und das in dem Sinn, dass auch sich über mehrere Tage hinwegziehen kann bis dann ein Brand dann tatsächlich gelöscht ist oder beherrschbar ist. Also das ist in dem Sinne ein ganz anderer- eine ganz andere- Löscheinsatz der Feuerwehr fordert als bei einem normalen Kfz Brand.

I: Ja, inwiefern unterscheidet sich da die Brandbekämpfung der Einsatzkräfte in Bezug auf die Sicherheit dieser?

B: Also sowie- wie mir die Feuerwehrkollegen das immer geschildert haben oder wie sieht das jetzt wahrscheinlich auch üben. In Ihrer Einsatztechnik, versuchen sie dann schon ein brennendes Elektroauto in einem Bereich zu ziehen, wo sie es in dem Sinne gut kühlen können. Also selbst wenn es denn-. Also normalerweise geht, ja, die Feuerwehr in ein Brandraum rein und versucht den möglichst schnell zu löschen. Das geht halt bei einem Elektroauto nicht, sondern man würde

versuchen, mit einem Gabelstapler oder Ähnliches das Auto, das brennende E-Auto möglichst in den Außenraum zu ziehen und muss dann unter ständiger Kühlung durch Wasser in dem Sinne-. Das zieht sich dann halt über mehrere Tage hin in dem Sinne zu löschen. Und ich habe halt schon gehört, dass das Kollegen das dann in dem Sinne, wenn es kleinere E-Fahrzeuge sind sowas wie ein Smart oder sowas, wenn der in dem Sinne mit Elektro ist, dass sie das mit einem Gabelstapler in den Container hieven, der dann mit Wasser gefüllt ist. Also das dann in dem Sinne so ein Auto dann im Prinzip in irgendwas versenkt wird, um es zu kühl. Und da ist natürlich die Frage wenn man jetzt Tiefgaragen hat oder ähnliches, wie kriegt man solche brennenden E Autos aus der Tiefgarage raus, um sie dann tatsächlich in so einem mit Wasser gefüllten Container ablöschen zu können? Das funktioniert ja vielleicht nicht in jeder Tiefgarage, also wenn es dann so ist, dass man ein E-Auto aus einer Tiefgarage so nicht herausziehen kann, muss die Feuerwehr dann wirklich vielleicht 2, 3 Tage vor Ort sein und das das E Auto dort vor Ort löschen. Also mir geht halt natürlich ganz viel Löschwasser bei drauf.

I: Dementsprechend dann auch eine erhöhte Umweltverschmutzung durch das Löschwasser.

B: Ja, genau. Löschwasserrückhaltung ist da ein Thema und Ähnliches.

I: Ja. Wie schätzen Sie in dem Zusammenhang Parkpaletten oder moderne Tiefgaragen ein, die nur noch mit Fahrstühlen erreichbar sind?

B: Ja, also schwierig, ne dieser automatischen Garagen da kommt man ja auch gar nicht unbedingt als Feuerwehr unmittelbar an das Brandereignis heran. Also ich hab von einem Brand in Berlin gehört, wo so ein Elektroauto gebrannt hat, was auf so einer-. Wo die in dem Sinne übereinander stehen, mit so einer Grube Untendrunter diese Doppelstöckigen Park Lifts. Und das hat halt dazu geführt, weil das Auto unten gebrannt hat, dass in dem Sinne die acht Autos die da im Verbund miteinander waren, das ist ja immer so ein rotierendes System, was denn da eingebaut wird, dass sie dann alle komplett in den Brand aufgegangen sind. Das denn da die Brandbekämpfung schon wirklich sehr schwierig war. Und das ist dann halt auch wirklich lange gebrannt hat und dann hat die Feuerwehr. Auch alles eingesetzt was sie hatte mit Wasser, Schaum alles.

I: Zur Brandbekämpfung, da gibt es ja die neue VDS 4001, die regelt für die Elektrofahrzeuge, wie diese gesprinkelt werden sollen, da in der Gefährdungsstufe OH 2 mit mindestens 60 Minuten Wasser Vorhaltung vorgesehen. Halten Sie diese für ausreichend?

B: Also bei einem Brand von einem Elektroauto ist das nicht ausreichend, also jedenfalls nicht das. Was, was die Feuerwehrkollegen mir von ihren Einsätzen da berichtet haben.

I: Was wäre Ihrer Meinung nach- was wären Ihrer Meinung nach wichtige weitere Voraussetzungen um- Beziehungsweise Maßnahmen, um mehr Planungs-/ und Umsetzungs-/ Sicherheit für die Elektromobilität in geschlossenen Garagen zu erreichen.

B: Also ich denke, es wäre schon gut, wenn man die Plätze, wo E-Fahrzeuge Parken sollen, wenn wir die möglichst an den Ausgängen orientiert. Also dort, wo man dann tatsächlich vielleicht als Feuerwehr noch die Chance hat, das Auto möglichst schnell irgendwie rauszuziehen, also dass sie an den an den ab oder Zufahrten angeordnet werden. Aber wenn die E-Mobilität tatsächlich in dem Maße zunehmen wird, wie es auch schon von unserer Bundesregierung angestrebt wird, dann haben wir ja irgendwann gar nicht mehr die Möglichkeit, irgendwo Bereichen zu separieren, sondern dann wird man so viele Autos haben, dass das auch gar nicht mehr irgendwie in einzelne Bereiche irgendwie unterteilt werden kann, weil es einfach viel zu viele E-Fahrzeuge dann sein werden. Da kann man nur hoffen, dass die Technik wirklich immer weiter fortentwickelt wird und ausgereifter irgendwann sein wird. Das es vielleicht nicht mehr so eine aufwendige Löschtechnik Bedarf, um E-Autos entsprechend löschen zu können.

I: Können Sie sich in dem Zusammenhang auch eine Erneuerung der baulichen Anforderungen für Garagen vorstellen?

B: Sie meinen jetzt für Bestands Garagen?

I: Für Neubauten.

B: Naja also, wir haben jetzt gerade die neue Garagen-Verordnung auf den Weg gebracht und die sieht ja schon einige Verschärfungen vor, jetzt gar nicht speziell für E Mobilität. Also da- sie finden in der ganzen neuen Muster Garagenverordnung nicht das Wort Elektromobilität, aber das steckte natürlich schon in allen Köpfen bei der neuen Formulierung der Anforderungen mit drin und also so hat man jetzt in dem Sinne zum Beispiel gesagt, dass man sich keine hoch Garagen mehr in F 0 Konstruktion vorstellen kann, sondern dass mindestens eine F 30 Konstruktion bedürfen. Damit man in dem Sinne bisschen mehr Sicherheit hat, dass die Feuerwehr vorher wenigstens die Chance hat, weil bei so einem Brandereignis dann überhaupt hinzukommen, um mit Löschmaßnahmen anfangen zu können. Weil bei F 0 müsste man einfach sonst davon ausgehen, dass es viel zu schnell versagt und die Feuerwehr dann selbst gefährdet ist, wenn sie ein Löschangriff vornehmen würde. Also von daher ist man- bei der Fortschreibung der Muster Garagen Verordnung schon zu etwas verschärften Anforderungen gekommen, auch wenn es sich nicht explizit auf die E-Mobilität bezieht, aber wie gesagt, das ist so ein bisschen im Hintergrund immer mit dabei gewesen.

I: Ok. Einige Experten fordern Sprinkleranlagen auch für kleinere Garagen, für die das aktuell noch nicht gefordert ist. Wie bewerten Sie das insbesondere im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit?

B: Ja, das ist immer so eine Sache also grad bei Wohnhausgaragen, wenn man da jetzt überall standardmäßig eine Sprinkleranlage fordern würde, dann wird es schon wieder ganz schön teuer und Kostenaufwendig und ja das werden wir politisch, glaube ich, nicht durchhalten können, wenn wir in dem Sinne sagen wir wollen kostengünstigen Wohnungsbau und würden dann an der Stelle jetzt gerade für die Wohnhaus Garage so eine Anforderungen erheben, also von daher glaube ich muss schon Lösungen geben, wo man in dem Sinne- Ja darauf aufbauen kann, dass man jetzt nicht jede Wohnhausgarage mit einer Sprinklerung versehen muss. Da also- Das können wir uns nicht leisten als eine Stadt, die wir 10.000 Wohneinheiten pro Jahr bauen wollen.

I: Ja schwierig- nein, alles klar, dann wäre ich mit meinen Fragen auch schon soweit durch. Haben Sie noch- möchten Sie noch etwas ergänzen? Fällt Ihnen noch etwas ein, was Ihnen-

B: Ich hätte noch sonst ein paar Materialien, die ich Ihnen schicken kann, wenn Sie da Bedarf haben.

I: Ja, sehr gerne.

B: Da kann ich was raussuchen und Ihnen mal zur Verfügung stellen, und Sie können das ja dann gern verwenden, also jetzt gerade auch in Bezug auf die neue Muster-Garagenverordnung, wenn Sie da- ich weiß nicht, was sie da anstellen werden, aber wenn Sie da bedarf haben, kann ich Ihnen gerne zukommen lassen.

I: Das wäre sehr lieb ja.

B: Also wir haben zum Beispiel so eine Synapse gemacht, wo gegenübergestellt worden ist, was die Regelung der alten Garagen-Verordnung angeht in Bezug auf die neuen Regelungen und auch was die Verschärfung angeht und diese Synopse könnte ich Ihnen zuschicken. Weil ich glaube, die ist nicht bei dem IS-Argebau da, wo man sich die neue Muster-Garagenverordnung, runterladen kann eingestellt.

I: Ich habe eine Synapse mal entdeckt im Netz.

B: Ja doch okay.

I: Mit den rot markierten Stellen dann.

B: Ja, genau es gibt dann so eine dritte Spalte daneben. Wo diese Anmerkung drin enthalten sind? Hab ich Sie? (**I:** Die habe ich ja.) Ja gut. Und dann kann ich sonst noch mal gucken, ob ich irgendwas finde, aber ich finde diese Synopse nochmal ganz aufschlussreich. (**I:** Ja wunderbar-) Ja, wenn Sie da zu Ergebnissen kommen, sind wir auch sehr daran interessiert. Gerade wenn das wenn es-. Wenn da in dem Sinne Missstände aufgezeigt werden. Also wir sind wie gesagt eigentlich immer sehr- Ja, noch sehr vorsichtig. (**I:** Ja) Wir sehen ja nicht nur das Risiko bei Kraftfahrzeugen, sondern vor allem auch bei Fahrrädern. Wenn jetzt vermehrt Fahrräder in der Garage abgestellt werden und hier auch alle mit Akkus ausgestattet werden, weil E-Fahrzeuge haben wir wenigstens noch die Auflage, dass die in regelmäßigen Abständen zum TÜV müssen und da kontrolliert werden. Das hat man ja bei E-Bikes nicht. Und gerade, wenn die E Bikes irgendwie in der Garage geladen werden, wir gehen ja davon aus, dass es zu einem Brand meistens in dem Fall kommen wird, wo das Gerät geladen wird. Also gar nicht wenn es irgendwo fährt und abgestellt wird und kein Ladevorgang passiert, dann gehen wir eigentlich nicht davon aus, dass es zum Brandereignis kommt, sondern beim Ladevorgang. Und wenn jetzt in dem Sinne verstärkte E-Bikes in Tiefgaragen oder sowas geladen werden. Ja, dann hat man schon irgendwie ein schlechtes Gefühl, dass ich darüber auch in Brand Ereignis ausbreiten könnte. Und da haben wir aber keine verschärfenden Vorschriften in einer Muster-Garagenverordnung zum Abstellort von Fahrrädern getroffen.

I: Wahrscheinlich, weil diese auch sehr oft nahe der Rettungswege abgestellt werden.

B: Ja, nicht nur. Es ist einfach politisch nicht gewünscht, verschärfende Regelungen zur E-Mobilität zu machen. (**I:** Ja) Da kommen wir an unsere Grenzen.

I: Im Rahmen meiner Recherche bin ich auch schon darauf gestoßen, dass Elektrofahrzeuge sich ja nicht nur beim Aufladen, vor allem aber unter anderem auch nach kleineren Unfällen, die zunächst unscheinbar sind, passieren.

B: Ja, also wir haben das von der Feuerwehr Kollegen auch gehört, dass es gerade mit den E-Scootern und auch bei den Fahrrädern so ist, wenn die öfter umfallen, ne und da? Der Akku wird beschädigt, man sieht es vielleicht gar nicht. Oder man achtet nicht drauf, weil man vielleicht auch nicht mitkriegt, dass dann sein Fahrrad irgendwo umgeschmissen wird. Und dass ich das denn dann halt auch- ja schneller vonstattengehen kann. Immer bei Beschädigungen- es ist halt Vorsicht geboten. Letztendlich muss man aber auch immer wieder sagen, es ist besser, wenn wir die in Garagen aufgestellt werden, weil wir- da keinen Aufenthalts Raum, für Menschen drin haben. Also- Letztendlich, der Herr [REDACTED] aus [REDACTED] meint immer ihm wäre es lieber alles brennbare würde in dem Sinne in der Garage vonstattengehen. Also gerade so Ladevorgänge oder so. Als wenn jetzt die Leute von den E-Bikes ihren Akku mitnehmen, gehen in ihrer Wohnung laden und sich dadurch dann den Brand in die Wohnung holen, wo sie dann schlafen. Und dass sie das während sie schlafen nicht mitkriegen. Also dann soll es doch lieber in der Garage brennen. Die Argumentation kann man natürlich auch verfolgen, das ist ja auch vollkommen in Ordnung. Es soll nicht möglichst in der Wohnung brennen, aber insgesamt müsste die Technik viel besser werden. Dass diese Lithium-Ionen-Akkus noch besser geschützt sind, dass sie sich nicht so leicht entzünden können.

I: (4 sec) Um diesen Thermal Run Away zu verhindern.

B: Ja also, ich hab Hannover muss dann den großen Brand gegeben haben von so einem Fahrradladen der denn da ober- unterhalb einer Garage war. Das muss da irgendwie am Hauptbahnhof gewesen sein. Da sind halt die Fahrräder dann hochgegangen die ganzen E-Bikes und das hatte dazu geführt, dass sind die Garage, die darüber angeordnet war, dann komplett verraucht

war. Ein (?Ding) da ist auch wieder kein Mensch zu Schaden gekommen. Aber ich wette, sobald irgendwann mal beim Brand tatsächlich Menschen zu Schaden kommen werden dann- Erst dann werden wir verschärfende Regelungen zur Elektromobilität machen dürfen. Also es muss erst jemand sterben, auch wenn das furchtbar traurig ist. Also- bis dahin wird man nicht ernst genommen mit seinen (I: bedenken) Ängsten, ja.

I: Nein, schwierig das Stimmt.

B: Ja, also wie gesagt, wenn sie da noch weitere Fragen haben, können Sie mich gerne auch nochmal an morsen kein Problem und ich versuche nochmal ein paar Sachen rauszusuchen vielleicht hilft es Ihnen ja doch noch was?

I: Vielen Dank. Auf jeden Fall.

B: Alles klar. Dann machen Sie s gut und eine Fröhliche Vorweihnachtszeit noch.

I: Danke Ihnen auch!

Transkript Experteninterview 4

I: Sehr gut, dann habe ich jetzt die Ton Aufzeichnung begonnen. Bitte bestätigen Sie noch einmal, dass Sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend verschriftlicht wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interview Textes werden alle Angaben zu Ihrer Person aus dem Text entfernt oder anonymisiert. Außerdem wird das Interview in der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang sie als Person nicht erkennbar macht?

B: Damit bin ich einverstanden.

I: Wunderbar. Dann würde ich einmal mit der ersten Einstiegsfrage starten. Können Sie einmal zum Einstieg schildern, wie ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen sie im Bereich der Elektromobilität beziehungsweise des Brandschutzes haben.

B: Ja, ich hab Umwelttechnik und Ressourcen Management studiert an der Universität [REDACTED]. Es ist dort auch ein Ingenieursstudiengang, Maschinenbau und Bauingenieurwesen. Und danach dann den Abschluss an der Bundesanstalt für Material Forschung im Bereich Brandschutz, Brandsimulation. In der Brandschutzforschung habe ich schon gearbeitet unter anderem wie- Ja. Projekte für U-Bahn, Sicherheit. Und bin jetzt dann für- gewechselt irgendwie so vor ein paar Jahren und bin dann jetzt bei [REDACTED] Brandschutz geblieben. Dort in der Entwicklung tätig und hab dort mit der Elektromobilität angefangen. Das Projekt [REDACTED], wo es um die Sicherheit in Unterirdischen Verkehrsanlagen bei eben neuen Energieträgern ging, wobei die neuen Energieträger, die wir primär jetzt aus aktuellem Anlass behandelt haben, tatsächlich die Lithium-Ionen-Batterie waren und dementsprechend Elektro Fahrzeugen.

I: Genau. Welche potenziellen Gefährdungen haben Sie- während des Forschungsprojektes und oder in ihrer Zeit, die Sie jetzt Erfahrung mit Elektrofahrzeugen haben- Welche Gefährdungen gehen von Elektrofahrzeugen und ihren Ladestationen aus?

B: Also erstmal ganz grundsätzlich. Genau- das können Elektrofahrzeuge auch-. Elektrofahrzeuge sind einmal Fahrzeuge, die brennen können, wie jedes andere Fahrzeug auch, weil viel dann auch Kunststoff-Bestandteile im Fahrzeug sind. Reifen, ähnliches brennbaren Materialien. Das ist das eine, das halt tatsächlich so Fahrzeuge wirklich gut brennen. Muss man einfach sagen. Und die speziellere Gefahr aus der älteren Mobilität oder von den geht halt dann aus der große Unterschied die Batterie ist Lithium Ionen Batterie wie diese Elektro Fahrzeuge antreibt und die hat tatsächlich ein paar Besonderheiten im Brand verhalten. Ist ja- anders als Benzin das eine Flüssigkeit ist oder Diesel fertiges also-. Erstmal anders brennt und im Endeffekt da läuft das Brandverhalten über dieses thermische Durchgehen englisch: „Thermal Run Away“ ab. Und ist dementsprechend sind das Ereignisse für die von Zelle zu Zelle. Sozusagen auch passieren und dementsprechend weiter-. Weiter ausbreiten können und das sind tatsächlich erstmal- das ist ein anderes Brand verhalten. Und wenn es ein anderes Brand verhalten hat, muss man den Brand auch anders- Gegebenenfalls anders begegnen. Und als Besonderheit würde ich tatsächlich da sehen, dass es halt durch diese- Möglichkeit. Also die Zusammensetzung dieser Batterie, dass hier zum Beispiel nicht Fehler beim Laden oder sonstige Vorschädigung sind diese in der Lage, so ein Fahrzeugbrand zu starten. Das ist halt tatsächlich, wenn in der Batterie der Brand ausbricht sich das auf die ganze Batterie und Fahrzeug ausbreitet. Und dann hat man da halt eine andere Zündquelle die man beim Elektrofahrzeug nicht hat- beim Verbrennungs-Fahrzeug nicht hat. Und gleichzeitig ist das- ist dann

durchaus so eine große Einzelbrandlast die Batterie ist- Die einen Benzintank oder der Inhalt von einem Benzintank auch ist, ist diese große Einzelbrandlast direkt am Brand beteiligt und das ist halt sozusagen die größte Besonderheit und Herausforderung. Die ich da sehen würde, insbesondere weil Ladefehler oder Fehler beim Laden, elektrische Fehler so etwas auslösen können und da muss man da dann natürlich genau bei Ladestationen gegebenenfalls noch mal genauer hinsehen.

I: Sie sagten schon zu der Brandentstehungsgefahr durch etwaige äußere Beschädigung etwas. Wie sieht es denn bei der Brandweiterleitungsgefahr aus bei Elektrofahrzeugen?

B: Auch da ist für mich die Frage immer unterschiedlich zwischen- die Weiterleitung eines Fahrzeugs an sich ist Vergleiche mit dem Verbrennungsfahrzeug. Weil Stand heute die Fahrzeuge sehr ähnlich sind. In der Brandentwicklung oder auch alternativ innerhalb der Batterie haben wir durchaus in Brandversuchen festgestellt, die kann sehr schnell von sich vonstattengehen. Sehr schnell und sehr heftige Reaktion gehen das hat so ne ganze Batterie tatsächlich auch in wenigen Minuten komplett unter hoher Wärmefreisetzung reagiert. Das ist auf jeden Fall-. Genau, als das haben wir in den Versuchen auf jeden Fall gesehen, dass das möglich ist.

I: Wurden bei diesen Versuchen auch erhöhte Brandtemperaturen dargestellt oder sind die Brandtemperaturen vergleichbar mit den eines Verbrenners.

B: Wir haben, auf jeden Fall erhöhte- hohe Temperaturen haben wir tatsächlich an den Oberflächen der Batterien festgestellt. Da waren wir bis auf 1000 Grad. Und ansonsten kann ich das jetzt so 1 zu 1 nicht mehr sagen, wir haben die 1000 Grad hatten wir nicht jederzeit in der Luft. Wir haben tatsächlich aber wir genau, da kann ich jetzt- .Vor allem bei erhöhte Temperatur auf jeden Fall Oberflächen sagen das ist da auch nochmal hohe, sehr hohe, sehr hohe Temperaturen sind.

I: Genau die Batterien selbst stellen als solche. Ja grundsätzlich eine elektrische Gefährdung da, die dann für die Einsatzkräfte- Wo die Einsatzkräfte sich auch einer weiteren Gefahr bei der Brandbekämpfung aussetzen. Wie schätzen Sie diese, zusätzliche Gefährdung ein?

B: Da würde ich natürlich sagen, dass bei der Löschung des Fahrzeuges- Nicht so groß ist. Im Unterschied- man kann sich tatsächlich dieser auch am Elektrofahrzeug nähern, das auch Anfassen. Die Erdung ist in dem Moment nicht gegeben, man muss sicherlich aufpassen vor-. Also wie gesagt wenn die Batterie nass ist und spürt es irgendwie, so gibt es auch da untersuchen, dass man sich trotzdem noch nähern kann zur Person Rettung. Und wie gesagt- da das heißt allgemein gibt es auch da- ich überleg- glaub ich von der deutschen Gemeinschaft für Unfallversicherung die auch die Einschätzung, dass diese Gefahr eines Stromschlags-, das deckt sich mit den Überlegungen aus den USA, auch relativ gering ist, das tatsächlich die einzelne Feuerwehrfrau oder Mann dort ein Stromschlag bekommt. Sicherlich muss man beim- wenn man an dem Wagen selber hantiert, schauen ob man- ne wo die Kabel- Starkstromkabel verlegt sind oder die langfließen. Dieses Wissen sollte- schadet dem Einsatz nicht, wenn man den Wagen aufschneiden muss. Ansonsten gilt aber auch da, dass man den als- den taktisch begegnen sollte, in dem man zum Beispiel versucht jederzeit die Batterie auch zu deaktivieren. Und genau. Da ist die Einsatz Taktik sicherlich auch nochmal. unterschiedlich. Ob es jetzt einen Unfall war, wo der Wagen üblicherweise stark- ja deformiert ist oder und dann auf eine Person gerettet werden muss oder ob es ein Fahrzeug- ein Wagen ist der in der Garage. Oder meistens erstmal unbeteiligt, ohne beteiligte Person brennt. Wie umgegangen werden muss. Aber, so die grundsätzliche Einsatztaktik, die ich halt hier auch mitgenommen haben. Auch aus Workshops mit Feuerwehrleuten, ist vergleichbar mit einem Elektrofahrzeug und einem Verbrennungsfahrzeug #00:08:31# wie die Feuerwehr vorgeht, um den Wagen auszumachen. Ein großer Unterschied wird darin bestehen, dass man mehr Zeit braucht oder einplanen muss für ein Elektrofahrzeug, für den Fall oder auch immer, dass die Batterie

beteiligt ist. Die muss runter gekühlt sein und auch signifikant runter gekühlt werden, bevor man den sicher übergeben kann.

I: Somit schätzen Sie die Möglichkeit der Brandbekämpfung eines Elektrofahrzeuges. Ähnlich zu dem eines herkömmlichen Verbrenners.

B: Also jetzt im Abwehren Brandschutz durch die Feuerwehr würde ich da auch sagen. Taktik ist ähnlich Taktik ist ähnlich man wird, das muss man Wissen mehr Zeit in Anspruch- es nimmt mehr Zeit in Anspruch, weil eben im Nachgang Fahrzeug länger kühlen muss, dass ich- wenn die Batterie beteiligt ist, kann die sich tatsächlich noch weiter wieder entzünden. Und da muss noch viel- sollte auf jeden Fall darauf geachtet werden, dass das A nicht mehr passiert und dann auch da irgendwie ein Temperatur-Grenzwert teilweise sagt man jetzt so 80 Grad oder in diesem Bereich, dass wir die Batterie wirklich sicher runtergekühlt hat. Die Temperatur sinkt unter 80 Grad und dann kann man sagen ok, so langsam ist hier die Gefahrensituation vorbei und dann können jetzt auch anschließende Dienstleister zum Beispiel damit umgehen. Da muss man dann allerdings mit einer längeren Einsatz Dauer durchaus rechnen, das ist ja- Ja, das ist aber tatsächlich eher dass ich das so einschätzen würde nach unsere bisherigen Überlegungen und auch austauschen das dieser längere Zeit im Nachgang kommt, wenn die Flammen halt- die Flammen zum ersten Mal gelöscht sind, dass man dann aber tatsächlich unterstellt noch mehr Zeit benötigt.

I: Ja, wie schätzen Sie denn die Möglichkeit zur anlagentechnischen Brandbekämpfung ein, im Vergleich zu Verbrennern.

B: Im Vergleich zu Verbrennern, im Effekt, für beiden muss man sagen, dass anlagentechnischer Brandschutz, würden wir dann über Garagen in aller Regel sprechen. Tatsächlich sind halt irgendwie noch installieren kann und hier würde ich durchaus sehen, dass der- das auch an Punkt ähnlich Fahrzeug- beide Fahrzeugtypen, dass man einfach gucken muss die Brandausbreitung von einem Fahrzeug zum nächsten Fahrzeug, das ist ein kritischer Punkt. Das war aus meiner Sicht oder aus Sicht des Forschungsprojektes ein kritischer Punkt, in einem Garagen Brand. Das Fahrzeug-, der Brand bricht in der Regel in einem Fahrzeug aus und die Ausbreitung bis zum nächsten Fahrzeug ist, weil es eine sehr hohe Brand Last darstellt, so ein modernes Fahrzeug, ist deshalb durchaus möglich, das halt in der die Nachbar Fahrzeuge in Brand geraten. Und das ist aus unserer Sicht der Punkt den, einer anlagentechnische Ausstattung verhindern sollte und das auch kann. Und weil einfach ein Fahrzeug zu löschen ist für Rettungskräfte durchaus als Routine zu bezeichnen in Deutschland. Das passiert häufig das können die relativ gut und sicher machen auch in so einem Relativ ungünstigen Umfeld wie der Garage. Aber wenn wir fünf oder sechs Fahrzeuge haben, wird es- da wird es gefährlich für die Rettungskräfte. Und das heißt, das möchte man verhindern, dass da tatsächlich viele Fahrzeuge zu einer Kettenreaktion in Brand kommt. Und da als Besonderheit mit den Elektrofahrzeugen ist halt auch dazu, dass es da einfach durch-. Wenn wir eine schnell reagierende Batterie haben, wenn diese halt auch den Brand auslöst, dass ein Paar wenn's. Aber, dann haben wir tatsächlich schon sehr schnelle Brand Entwicklung. Und da würde ich am ehesten den Unterschied und die größte Gefahr sehen. Das je schneller, die Brände entwickeln können. Oder #00:12:19# Und dann ein Brand der nicht Anlagen technisch betreut wird, sag ich mal. Dergerade dann, kann sich halt potenziell auf benachbarte Fahrzeuge ausbreiten und dann haben wir eben sehr großen Brand.

I: Wie bewerten Sie in der Hinsicht Sprinkleranlagen oder andere technische Anlagen gerade unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit bei kleineren, geschlossenen Garagen? Was ist ja heute noch nicht gefordert ist.

B: Nur rein Wirtschaftlichkeit auf kleinere Anlagen kann ich tatsächlich so aus dem Stand nichts direkt sagen, weil die Frage ist immer ist ich weiß, dass eine Abwägung sind, ob man irgendwie für Sicherheit und- Oder halt- Äh ja- die ja auch kostet wählt. Aber wie gesagt zu diesem wirtschaftlichen wie teuer, dann so Anlagen sind da muss ich leider passen. Das könnte ich doch mal Richtung bei uns im Vertrieb nachfragen, aber da bin ich selber aus der Entwicklung nicht so sehr, aber ich verkaufe die Anlage nicht selber. Da würde ich leider passen.

I: Was wären Ihrer Meinung nach weitere wichtige Voraussetzungen, beziehungsweise Maßnahmen vom Gesetzgeber, um mehr Planungssicherheit und Umsetzungssicherheit für die Elektromobilität in geschlossenen Garagen zu erhalten.

B: Ich würde tatsächlich begrüßen, wenn es halt gerade für die Installation von Ladesäulen also überhaupt Regelungen gibt, die werden in der Garagen Ordnung bisher, soweit ich das sehe, auch in der aktuellen Novellierung gar nicht mitberücksichtigt. Und das ist zumindest für mich der Leerstelle irgendwie so die geschlossen gehört. Das man da tatsächlich einfach, weil es da ein-. Das Fahr- ein Elektrofahrzeug auf jeden Fall hat ein anderes Risiko in Brand zu geraten, während es lädt und während es ohne Ladung Parkt. Die Batterie ist aktiv, das ist da auf jeden Fall erhöht die Gefahr, dass da dort etwas passiert. Aktuelle Statistiken so absolut Zahlen liegen da sicherlich noch nicht vor. Aber zumindest irgendeine Adressierung, indem man auch- sozusagen warnend: „Ja, es gibt Elektrofahrzeuge in Garagen und auch halt Ladestationen“. Das würde das- da das ist einfach im Endeffekt- Ja, Regelungen zu gibt und dann selbst wenn es halt ist, dass man zu dem Schluss kommt: „Ach das Macht überhaupt keinen Unterschied“. Würde ich mir aber tatsächlich in der Regelung wünschen, das dort festzuschreiben. Und auch so zusagen also, weil die größte Schwierigkeit jetzt tatsächlich das einfach wenig Regelung und klare Regulierung dort gibt. Das haben wir als- das haben wir zu Beginn des Forschungsprojekt gemerkt. Merken wir als Unternehmen auch immer wieder das sind also in vielen Punkten auch mit dem Batterie Anwendungen, das so richtig diese Regelwerke und Regelungen nicht gibt. Und dementsprechend weiß man noch gar nicht so genau was können wir uns denn jetzt richten? Wonach planen wir unsere Brandschutzkonzepte? Und da würde ich mir tatsächlich auf jeden Fall aussagen zu wünschen, wie man mit den Elektrofahrzeugen umgeht. Weil es halt so immer wieder unterschiedliche auch so zu sehr unterschiedlichen Auffassungen kommt. Wenn- es gibt tatsächlich immer noch Zeitungsberichte, wo Elektrofahrzeugbrände als unvorstellbar, gefährlich, unlöschbar und ähnliches bezeichnet werden. Das hieß (?es) dann auch in den letzten Jahren immer noch. Und andersrum gibts halt auch Überlegung, dass man die gut in den Griff bekommt, wie ich vorhin auch erwähnt hab und dass man da tatsächlich-. Das zumindest sich dazu positioniert einfach. Wie wird das gesehen? Und ich glaube, das werden auch sicherlich Punkte gerade für Besitzer oder Besitzerin von Ihnen halt auch angesprochen kleineren Garagen, dass sie halt einfach wissen ok brauche ich da eine zusätzliche Maßnahme oder nicht? Das- Oder welche Maßnahmen kann ich noch treffen? Oder ist alles super? Und da ist sicherlich grundsätzlich noch zusehen, dass ich der Meinung bin, dass Fahrzeug oder nicht (?ich), aber auch Ergebnisse des Forschungsprojektes das Fahrzeugbrände sich in den letzten 20, 30 Jahren durchaus deutlich erhöht haben von der Intensität- und Entwicklung her. Und das auf jeden Fall auch berücksichtigt werden sollte in solchen Regelungen und den Brandschutz. Das betrifft sowohl Elektrofahrzeuge als Verbrennungsfahrzeuge. Der Fahrzeugbrand von vor 20 Jahren. Wenn ich mit einem Wagen von vor 20 Jahren, anlagentechnisch- Anlagentechnik teste- Brauche ich eigentlich gar nicht mehr machen, weil Aussagen über das, was heute in der Garage steht hat das einfach nicht mehr ausreichend meiner Meinung nach.

I: Sehen Sie da, in der Hinsicht, auch erhöhte Anforderungen an die baulichen Anforderungen an das Tragwerk. Zwischendecken oder irgendwelche Trennwände? Für Garagen?

B: (7. Sec.) Also es kommt also gerade die Anforderungen. Kommt- sicherlich zu betrachten auch mit je nach Werkstoffen. Wir haben tatsächlich auch schon Parkhäuser aus Stahl und Aluminium untergekommen, da muss man andere Kriterien logischerweise im Bau beachten. Und es ist sicherlich im Zweifelsfall nachzuweisen, dass die Temperaturen die entstehen-, welche Temperaturen entstehen in einem Brand und hält die Anlage das, ist der- hält der Werkstoff, das an der Stelle aus und da ist sicherlich- ja der tatsächlich eine Möglichkeit so eine Schutzzielzielorientierte Nachweisführung zu machen das ein „performance based design“ im Englischen ist, dass wir tatsächlich für den Fall nachprüfen kann. Im Fahrzeugbrand hält und damit kann man auch die Decken Konstruktionen, die Bauteile halt dort Tests unterzieht, dass man halt weiß, in welcher Temperatur- welche Temperaturen entstehen und dann halt auch da gucken kann die verhält sich das dort?

I: Gerade modernste Parkgaragen in den großen Städten rüsten immer mehr auf Parkpaletten oder Garagen mit Fahrstuhl Systemen um. Häufig wird bei der Feuerwehr in Garagen noch so gehandhabt für Elektrofahrzeuge, die ziehen die Elektrofahrzeuge aus der Garage raus um Sie dann in einen Container reinzupacken, um die Batterie eben zu kühlen. Wie schätzen Sie die Möglichkeit der Brandbekämpfung oder dem einher werden des Brandes in solchen Garagen formen ein?

B: Ich muss da einfach etwas das erste Aufzüge und vorher hatten Sie gesagt?

I: Parkpaletten so mehrfach Parker wo die Fahrzeuge nur noch übereinander gestapelt stehen.

B: Genau bei so- gestapelten Parkhäusern oder zum einen ist das die Sache das die Brand Ausbreitung schneller sein kann. Die sollten doch- also das glaub ich aber auch vorgeschrieben sollten auf jeden Fall Anlagentechnik geschützt sein und da sollte man vor allem wirklich anlagentechnisch auch- dem Schutzziel auch die Anlage nicht auslegen und zum Nachweis führen machen, dass zum Beispiel nur ein oder 2 Fahrzeuge für einen längeren Zeitraum dort betroffen sein können. Und das würde halt in dem Moment dann dementsprechend, auch den Einsatzkräften die Zeit verschaffen, vor Ort zu agieren. Jetzt bin ich selber nicht in der Feuerwehr aktiv und kann dementsprechend da keine Einsatz Erfahrung. Aber ich würde tatsächlich immer noch meinen das halt auch wenn man mit irgendeiner Art von C-Schlauch dann dort vor Ort ist und dann nicht das Wasser entweder komplett von oben gelegt hat oder Löschwasser Einspeisung zu bekommen hat der Platz da ist das dann dementsprechend auch so ein Fahrzeug da vor Ort ausreichend abzulöschen ist, dass man den nicht brennt daraus ziehen muss. Und genau. Und die Löschung in diesem Batterie Container-. Ich will das wahrscheinlich gar nicht mehr als Löschmethode sehen, sondern wirklich als kühlen im Nachgang. Und da ist ganz grundsätzlich so, dass ich einmal sagen muss, das ist eine Möglichkeit, das zu machen und das ist allerdings in vielen vielen Fällen nicht notwendig, dass das da tatsächlich eher mit so bisschen Kanonen auf Spatzen schießt und die Fahrzeuge-. Wir können auch anders im Nachgang kontrolliert beherrschbar sind. Das ist- da möchte ich auch nochmal sagen also meiner Meinung nach nicht die einzige und auch gar nicht unbedingt die dann immer am ehesten zu vollziehende Lösung für so ein Elektrofahrzeug. Weil damit werden wir tatsächlich sonst auch nochmal in Schwierigkeiten geraten, wenn plötzlich 5 Elektrofahrzeuge in einen Unfall verwickelt sind und die mitten irgendwo in Brandenburg fünf dieser Container zusammenfahren müssen.

I: Alternativ wäre dann ja eine lange, Kühleinwirkung über etwaige Strahlrohre auf die Batterie notwendig. Da hätten wir ja eine relativ hohe Umweltbelastung von Schadstoffen und Löschwasser, was so höchstwahrscheinlich im Einsatzfall, dann nicht abgefangen werden kann.

B: Genau ja, also ich glaub das auf der grünen Wiese kann man, da müssen wir auch fragen, wie das Einsatz taktisch gewährleistet werden kann, weiß ich jetzt nicht. Würde ich auch eher sagen

nein. So Löschwasserrückhaltung kann man aber tatsächlich ja in Garagen, also in dem Bauwerk kann man sie integrieren und das macht durchaus auch Sinn, weil es sind etliches an Schwermetallen in so Löschwasser drin. Die Proben haben wir auch im Forschungsprojekt entnommen und da sollte man auf jeden Fall meiner Meinung nach drüber nachdenken ob man da nicht das Löschwasser auffängt, sowohl das, was halt aus dem Anlagen technischen einfach aus dem Abwehrenden Brandschutz halt verursacht wird.

I: Zu den Rauchgasen, die bei solchen Bränden entstehen, gab es in dem Forschungsprojekt Auswertungen dazu, inwiefern sie sich unterscheiden und wie gefährlich diese Rauchgase sind.

B: Ja gab es, wir haben Analysen gemacht und wir haben tatsächlich auch dieses HF festgestellt, was tatsächlich- HF's sind flurhaltige Säuren, also vielleicht auch mal Thema war. Es gibt dementsprechend, auch weitere Bestandteile- saure Bestandteile und HCL, HCN also Wasser-, Salzsäure und Blausäure, festgestellt also das ist tatsächlich ungesund auch darüber hinaus waren weitere- über 10 weitere Stoffe, die nicht gesundheits- nicht gesundheitsförderlich sind in dem Rauchgas vorhanden. Das ist giftig. Und die Einordnung ist tatsächlich sonst zu nehmen irgendwie so das aber natürlich, wenn jetzt ein Fahrzeug brennt, auch da wenige-. Die Luft ist nicht gesund in dem Moment und da fügt es sich ein. Also es gibt tatsächlich auch Untersuchungen, also das sind jetzt nicht von uns selber aber auch Quellen sagen das hat durchaus vergleichbar mit einem Plastik Brand ist, was da so an Toxizitäts-Mix am Ende rauskommt. Und unterm Strich, ist auf jeden Fall das ist auf gar keinen Fall gesund. Und das ist ein Fahrzeug Brand grundsätzlich nicht.

I: Wie sehen Sie- Wie stehen sie zu möglichen organisatorischen Maßnahmen, um in einer Garage Elektrofahrzeuge unterstellen zu können.

B: Es ist auf jeden Fall-, mir fällt jetzt kein-, hab ich keine konkreten direkten Vorschlag sowieso für allerdings grundsätzlich ist ein Punkt, den man bei Fahrzeugen durchaus betrachten muss, gerade wenn man nicht automatisch löscht oder löschen wollte, dass man halt- die Fahrzeuge sind unbeaufsichtigt und dementsprechend ist durchaus einige Zeit in Anspruch nehmen kann, bis so einen Brand überhaupt detektiert wird oder ähnliches. Und da ist sicherlich immer eine Möglichkeit, auch mit Organisatoren Maßnahmen im Zusammenspiel mit baulichen und halt anlagentechnischen Lösungen. So ein gesamt- komplett (?Paket) an Lösung findet. Das finde ich tatsächlich auch im Rahmen, so einer Nachweisführung- sehe das auch als Stärke dieser Schutzzielorientiert Nachweisführung sehen, was man da tatsächlich die Schutzziele und auch die Lösung genau definieren kann, die man halt in diesem Einzelfall oder in diesen Fällen vor Ort hat. Und dann kann man halt auch organisatorische Maßnahmen entsprechend, wenn sie denn vorhanden sind, noch berücksichtigen. Und dann wirds glaub ich- im Endeffekt kommen wir auf so einen Dreiklang im Endeffekt. Was uns gegenseitig kompensieren müssen - können mit dem Bau- baulichen Maßnahmen Organisatorischen mit den Anlagentechnischen.

I: Alles klar? Dann wäre ich soweit, mit meinen Fragen durch möchten Sie noch etwas ergänzen? Ist sie noch etwas wichtig zu dem Thema?

B: Ich glaube, ich kann es jetzt auch erstmal dafür belassen.

I: Wunderbar, dann würde ich einmal die Aufnahme stoppen.

Transkript Experteninterview 5

I: So ich habe jetzt die Tonaufnahme begonnen. Bitte bestätigen Sie noch einmal, dass Sie damit einverstanden sind, dass das Interview mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend verschriftlicht wird. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interview Textes werden alle Angaben zu ihrer Person aus dem Text entfernt oder anonymisiert. Außerdem wird das Interview in der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Bachelorthesis nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber Dritten sicherzustellen, dass der in dem Interview entstehende Gesamtzusammenhang Sie als Person nicht erkennbar macht. Das Transskript wird vorab zur Durchsicht an Sie weitergegeben und frei gezeichnet. Sind Sie damit einverstanden?

B: Ja

I: Wunderbar, dann würde ich mit der ersten Frage beginnen. Als kleinen Einstieg, können Sie einmal schildern, wie Ihr beruflicher Hintergrund aussieht und welche Erfahrungen Sie im Bereich der Elektromobilität und des Brandschutzes bereits gemacht haben?

B: Naja, ich bin seit Anfang 2021 Referatsleiter für- im Bereich Vorbeugender Brand und Gefahren Schutz der Feuerwehr [REDACTED] zuständig für die Beratungen und für Genehmigungsverfahren. Und gleichzeitig stellvertretender Abteilungsleiter. Daneben bin ich als Vertreter der AGBF für das Bundesland [REDACTED] Teilnehmer im Arbeitskreis VB-Grundsatz von AGBF und DFV. Das AGBF Arbeitskreises Vorbeugender Brandschutz, Mitglied als Vertreter für die Feuerwehr [REDACTED]. Und ja, insofern hab ich also thematisch hier und dort Berührungspunkte inhaltlicher Natur einfach gehabt, welche Fragen ergeben sich rund um die den Umgang von E-Mobilität in Garagen.

I: Welche potenziellen Gefährdungen konnten Sie von Elektrofahrzeugen ausgehend und ihren Ladestationen ausfindig machen?

B: Bislang ist es so, dass ein Elektrofahrzeug- Ich fange mal einfach so an einen Elektro- oder ein Fahrzeug hat erstmal eine erhöhte Brandlast. Das ist aber unabhängig erstmal vom Antrieb des Fahrzeuges. Der Hauptteil der Brandlast liegt in Kunststoffteilen, Schaumstoffen und ähnliches-ähnlichem die innen im Fahrzeug Innenraum verbaut sind. Von daher ist also erstmal Fahrzeug unabhängig von der Antriebs Art. Ein- Stellt eine Brandlast dar die dann im Ereignisfall die Einsatzkräfte ja vor eine gewisse Herausforderung stellt, weil Kunststoffe natürlich sehr stark Rauch entwickeln und das in einer Garage dann eben mitunter zu einer sehr starken Verrauchung führt. Was also die Brand-bekämpfung erschwert. Die Elektrofahrzeuge, die unterscheiden sich von herkömmlichen- oder Fahrzeugen mit anderen Antrieben insofern, dass natürlich eine Fahrzeugbatterie verbaut ist. Also ich nenne es einfach im folgenden Akku oder Batterie, in denen Stoffe enthalten sind zum Beispiel die Lithium-Ionen-Batterien, die bei der thermischen Zersetzung starke Säuren bilden können von daher ist die Frage, ob eine besondere Gefährdung von dem Elektrofahrzeug ausgeht nur dann relevant, wenn bei dem Brand-Ereignis die Batterie zerstört wird. Also, wenn irgendwo eine Beschädigung der Batterie und damit also ein Produkt austritt dessen was da drin ist- Passiert. Wenn die Batterie also nicht selbst vom Brand beaufschlagt wird oder nicht thermisch reagiert, dann ist ein Elektrofahrzeug erstmal ein- analog einem anderen Fahrzeug von der Gefährlichkeit oder der Brandintensität her zu werten. Also insofern ist der- Die Besonderheit einfach die Fahrzeug Batterie und wenn die betroffen ist, dann hat man mitunter das Problem, dass die Batterie schwieriger zu löschen ist. Also-. Was teilweise her so in der Fachwelt herumgeisterte also die Feuerwehr kann Elektrofahrzeuge nicht löschen und so weiter. Das ist in der Form nicht der

Fall. Also das- die können solche Fahrzeuge löschen im Zweifelsfall, wenn die Batterie beschädigt ist, dauert das eben länger, wenn die Batterie weiter reagiert, dann muss eben mitunter über längeren Zeitraum gekühlt werden und das bedeutet dann, dass im Brandereignisfall so ein Fahrzeug, dann aus der Garage herausgebracht werden muss. So das unterscheidet das teilweise eben von anderen Fahrzeugen. Was genau in welche Richtung genau, brauchen Sie da noch Informationen?

I: Eventuell zu den Stichworten Brandentstehungsgefahr, selbst Entzündung und Brandweiterleitungsgefahr.

B: Also bislang liegen uns hier und das ist meines Wissens auch für Deutschland so allgemein gültig, dass im Moment keine Erkenntnisse darüber vorliegen, dass durch Fahrzeug- Akkus eine besondere Brandentstehungsgefahr ausgeht, also Selbstentzündung sind soweit ich weiß, so nicht bekannt. Beziehungsweise das Risiko ist sehr, sehr gering also auch es gibt Elektrofahrzeug Brände. Es gibt aber eben auch andere Fahrzeuge, die brennen. Ist im Rahmen meines Wissens innerhalb der normalen statistischen Verteilung. Auch die Ladestation oder der Ladevorgang selber ist mir nicht bekannt, dass es dort eben statistisch signifikant und relevant bei Elektrofahrzeugen, dass dort eine besondere Gefährdung vorliegt.

I: Ja, ich hatte in der Literatur gefunden, dass bereits kleinste Beschädigungen, die die Batterie beschädigen, zum Thermal Run away zum thermischen Durchgehen führen können und somit eine Entstehungsgefahr darstellen.

B: Das ist potenziell, ist das sicherlich richtig. Allein jetzt kommt es natürlich auf die Häufigkeit der dann real eintreten Ereignisse an. Also wie gesagt, theoretisch besteht diese Gefahr in der Fläche und Zahl ist das hier nicht bekannt. (**I:** Ok) Also in Fläche und Menge eben das sind, soweit wir das hier wissen, bislang Einzelfälle. Wo das passiert ist. Und sie kennen wahrscheinlich das Papier von der AGBF von Herrn Bachmeier. Also da ist im Allgemeinen, kann zumindest im Moment noch nicht erkannt werden, dass das also ein größeres Problem ist als andere Brandursachen.

I: Sie hatten bereits die Möglichkeiten zur Brandbekämpfung dargelegt. Inwiefern stellen die Batterien selbst eine Gefährdung für die Einsatzkräfte dar. Lassen sich diese Gefährdungen durch einfaches Abstandhalten schon verhindern?

B: Ja, würde ich sagen. Also die Batterie selber sofern damit eben teilweise, höhere Ströme, Stromstärken solange da also keiner reinlangt ist aus unserer Sicht da eigentlich keine Gefahr für Einsatzkräfte, die direkt von der Batterie ausgehen. Also wir haben, es ist also so, wenn es zu einem Thermal Run Away kommt, dann haben wir Erkenntnisse darüber, dass also tatsächlich Säuren in den- im Brandrauch in den Pyrolyse Gasen enthalten sind. Die Konzentration ist allerdings relativ klein und von daher-. Wir haben das mal auch untersucht. Passiert denn da was mit der Einsatzbekleidung und das können wir also verneinen. Also ein Fahrzeugbrand auch eines E-Fahrzeuges oder eines Akkus einer Batterie. Die kann von der Feuerwehr mit der normalen bekannten Feuerweherschutzausrüstung erfolgen. Und wenn man die Schutzausrüstungen danach ordnungsgemäß reinigt, dann bleiben da also auch keine Rückstände oder Beschädigung oder irgendwas von den Brandrauch Rückständen übrig, das ist also ja also jeder Brand hat mit Schadstoffen zu tun und das ist bei einer Batterie eben insofern nicht viel anders als der Rest des Fahrzeuges der Schadstoffe emittiert also die Kunststoffe und ähnliches. Also da ist die Batterie jetzt nicht gefährlicher als der Kunststoffrauch.

I: Sie hatten erwähnt, dass es für die Brandbekämpfung notwendig ist, das Fahrzeug aus einer Tiefgarage hinauszubefördern.

B: Ja, sofern man Erkenntnis darüber hat, dass die Batterie betroffen ist. Wenn man also das anhand der Untersuchung ausschließen kann, wenn man jetzt sagt, da hat nur das normale Interior des Fahrzeuges gebrannt, dann ist das nicht erforderlich. Das kann ja vor Ort abgelöscht werden, das kann die Feuerwehr kontrollieren mit einer Wärmebildkamera, ob das Feuer aus ist, ob das Fahrzeug gelöscht ist. Dann, wie gesagt ist ein Elektrofahrzeugbrand nicht anders zu behandeln als ein herkömmlicher Fahrzeugbrand. Wenn allerdings der Thermal Run Away stattgefunden hat in einer Batterie, wo man also feststellt, die ist- oder die Batterie, die kann man ja nicht wirklich löschen, die kann man erstmal nur kühlen. Wenn also die- der thermische Reaktion Prozess noch läuft, dann ist es natürlich erforderlich, dass Fahrzeug aus der Garage heraus zu verbringen. Man will natürlich nicht, dass dieser Prozess über einen Zeitraum x, der unbekannt ist, unkontrolliert in der Garage weiterläuft. Das heißt, in dem Fall ist es also angezeigt, wenn man also die Batterie soweit runter gekühlt hat, das Fahrzeug transportfähig ist, dass man dann natürlich unter Begleitung der Feuerwehr und Kontrolle der Temperatur das Fahrzeug durch ein geeignetes Bergungsunternehmen aus der Garage erstmal rausbringt. Und dann eben geeignete weitere Maßnahmen durchführt. Aus unserer fachlichen Sicht ist ein reagierender Akku oder ein brennender Akku was auch immer, so weit runter zu kühlen, dass das Fahrzeug transportfähig ist. Und danach ist das Beste das Fahrzeug auf eine sichere Fläche zu verbringen und den Akku aus reagieren zu lassen. Ja, also die Herangehensweise, dass man dann ein Elektrofahrzeug in irgendwelchen großen Behältern, komplett in Wasser versenkt, das ist aus unserer Sicht zumindest auch für eine Einsatzstelle irgendwo in der Stadt oder so völlig unpraktikabel. Macht auch wenig Sinn, weil ich dann hinterher große Mengen kontaminiertes Löschwasser habe. Aus diesem Behälter. Von daher ist unsere fachliche Meinung an der Stelle, wenn man es mit einem reagieren Akku, Fahrzeug, Batterie zu tun hat dann das Fahrzeug auf eine sichere Fläche schleppen, dass der Fahrzeug-Akku dort ausreagieren kann und nur im Ausnahmefall also, wenn sich die Temperatur, wenn sich ja wieder ein Brand entwickelt, dann natürlich wieder ablöschen und runterkühlen, aber eben nicht der Einsatz von riesigen Mengen Wasser. Das ist also hier bei uns, bei der Feuerwehr [REDACTED], so Fachmeinung.

I: Wie sieht es da mit moderneren oder auch sehr alten kleinen Garagen aus, ich rede jetzt von modernen Garagen wie Park-Paletten, wo die Autos einfach nur noch reingefahren werden und dann übereinander gestapelt werden oder Garagen, die speziell Fahrstühle haben und gar keine Auffahrten mehr haben?

B: Die automatischen Park Garagen meinen Sie (**I:** Genau) vollautomatische. Was genau ist Ihre Frage was wollen Sie dazu wissen?

I: Dort bekommt man die Elektrofahrzeuge ja nicht wirklich aus der Garage raus. Ein-

B: Da löschen wir auch nicht drin, auch wenn konventionelles Fahrzeug in so einer Garage zum Brennen kommt, dann reagiert das da drinnen aus und dann wird es hinterher geborgen. Also auch da gehen wir nicht rein, da löschen wir nicht. (**I:** Okay.) Also deswegen sind heute diese Garage, wenn sie eben mit Gebäuden in Verbindung stehen, ja vollständig brandschutztechnisch, brandbeständig abzutrennen. Mit einer eigenen Zuwegung. Also von daher ist es einfach ein eigener Brandabschnitt sozusagen und da werden wir drin dann nicht tätig. Wenn wir da keinen Regelhaften-, wir können ja nicht durch den Aufzug rein, die haben ja meistens dann auch keine Treppenhäuser und ähnliches. Das ist dann, also mir ist da jetzt hier kein Fall bekannt aus [REDACTED], dass das passiert ist, aber im Zweifelsfall würden wir dann da erstmal nicht reingehen. Egal ob das ein Elektrofahrzeug oder ein anderes Fahrzeug ist.

I: Und wie sieht das bei älteren Garagen aus? Oder Garagen, die sehr, sehr schmal sind, wo es nicht möglich ist, das Fahrzeug aus dieser Garage heraus zu bergen?

B: Naja, wenn man reinkommt, kommt man auch raus, alles eine Frage der Technik.

I: Okay, sie machen das dann mit einem Bergungsunternehmen, was auf dem Gabelstapler das Fahrzeug lädt oder mit einem Seilzug? Wahrscheinlich gibt es da verschiedenste Möglichkeiten?

B: Joa also, wir haben eben diesen Fall in [REDACTED] meines Wissens, in der Garage noch nicht gehabt, dass wir also das Fahrzeug da wirklich raus bergen mussten. So ein Elektrofahrzeug wo ein Akku mit gebrannt hätte, wie gesagt-. Wir sind da im Moment ja einfach noch in der Findungsphase. Wahrscheinlich würde das dann durch eine Fachfirma eine Bergungsfachfirma- da gehen wir erst mal davon aus, das ist so das gängige Prozedere über Seilzugsystem- passieren. Deswegen ist also bei uns, so, dass wir die Empfehlung aussprechen, wenn Elektro- Ladestationen, also Parkplätze für Elektrofahrzeuge, in Garagen eingerichtet werden, dass die dann möglichst nah an den ein und Ausgängen errichtet werden, sodass also dann eine Bergung von Fahrzeugen bestmöglich passieren kann. (**I:** Ja dann) Das ist also das ist also stand heute. Wie das in 30 Jahren aussieht, das wird sich zeigen. Also wir können davon ausgehen, dass der Anteil an Elektrofahrzeugen kontinuierlich wächst. Vermutlich wird dann irgendwann der größte Anteil aller PKWs elektronisch- Elektro betrieben sein Und von daher werden wir das ist jetzt meine persönliche Sicht. Das wird unvermeidlich sein, dass größere Mengen an Elektrofahrzeugen in Garagen geparkt werden und auch dort geladen werden. Also das ist, da kommen wir glaube ich gar nicht drum- dran vorbei, das wird so passieren. Sie können mal auf die Seite der Bundesregierung gehen, da sehen Sie das, also die Bundesregierung, das wird jetzt wahrscheinlich nach dem Regierungswechsel nicht anders sein, die Elektromobilität und die sehr stark fördert ist also ein erklärtes Ziel, dort mehrere Millionen Elektrofahrzeuge im Verkehr einfach zu haben. Von daher ist das erklärter politischer Wille. Das heißt, da kann man sich gar nicht vor verschließen. Das wird so kommen.

I: Das ein guter Punkt der politische Wille. Gerade bei Neubauten, bei neuen Planungen oder wenn es darum geht, Garagen zu ertüchtigen, um eben für Elektromobilität vorzusorgen, gibt es sehr viel Unsicherheit bei den Planungsbeteiligten. Was wäre Ihrer Meinung nach eine wichtige Voraussetzung. Was wären wichtige Maßnahmen, um mehr Planungs- und Umsetzungssicherheit zu schaffen.

B: Also- (8 sec.) Ich sag es mal so. Die baurechtliche Situation, die ist erstmal klar. Also dazu muss man einfach wissen die einschlägigen Vorschriften, ob die Garagen Verordnung ist, die jetzt gerade novelliert wird. Oder die Bauordnungen, die sprechen ja immer nur von Stellplätzen und von Kraftfahrzeugen. Also es wird im Baurecht nicht ausdifferenziert was für eine Art von Antrieb ein Fahrzeug hat. Also ist egal, ob das ein Diesel, Benziner, Elektro oder Gas betriebenes Fahrzeug, das findet sich in der aktuellen- im Baurecht findet sich das nicht wieder. Also von daher ist insofern die die Rechtslage unverändert. So werden für Kraftfahrzeuge Stellplätze geplant. Inwiefern die Ladeinfrastruktur ein Problem ist, auch darüber ist meines Wissens- ist das abgedeckt über die einschlägigen technischen Fort- technischen Regelungen. Kann ich jetzt im Einzelnen nicht zitieren, das ist im Prinzip technische Infrastruktur einer Garage also das ist TGA. Ja also von daher und wenn das alles VDE zertifiziert und so weiter von fachkundigen Unternehmen installiert wird, dann ist aus meiner Sicht erstmal die baurechtliche Situation insofern klar, als dass sie sich eigentlich nicht verändert hat.

I: Gerade wenn es vielleicht jetzt mal weg von den Autos, den Elektromobilen aber hin zu den E-Fahrrädern, E-Rollern, die ja auch alle Platz in der Tiefgarage finden. Dort die Räume werden- Wo diese untergestellt werden, werden heutzutage ja dann häufig als Brand gefährliche Räume gekennzeichnet in einem Brandschutzkonzept. (10 sec) Anders als in den Garagen die Fahrzeuge, wobei die Fahrzeuge natürlich in der Halle stehen und auch selbst abgetrennt sind, vom restlichen Gebäudetrakt. Inwiefern halten Sie dort in den großen Teilen Anlagen technischer Anforderungen-

Fernab von Groß Garagen haben auch heute schon eine Sprinkleranlage aber bei kleineren Garagen- Wie sehr sehen Sie dort eine Notwendigkeit von Sprinkleranlagen?

B: Das das ist schwierig, das pauschal zu beantworten, das hängt natürlich alles immer mit dem Gesamten, mit dem gesamten Objekt zusammen, also das kann ich nicht pauschal beantworten. Um es nochmal auf Ihre Frage oder auf das Thema Fahrräder zurückzukommen. In der-. Auch das Fahrrad, die Nutzung von Fahrrädern, die Stärkung der Fahrradmobilität ist ebenfalls erklärter politischer Wille und wird unter der jetzt neuen Bundesregierung sehr wahrscheinlich eher noch forciert. Noch mehr forciert werden als bislang. Auch da gilt erstmal für die Rechtslage das Baurecht und die einschlägigen Vorschriften kennen nur Fahrräder. Unabhängig davon, ob sie Muskelbetrieben sind oder sonst- oder eben, ob sie ein Elektro unterstützenden Elektroantrieb haben, die ich glaube, die in der Novellierung der Garagen Verordnung werden auch andere Mobilitäts-Formen, glaube ich mit aufgenommen, also das Stichwort E-Scooter in der Richtung. Die finden sich ja bislang in den Regelwerken noch nicht wieder. Aber auch die werden Bestandteil unserer Mobilität sein. Also so viel erstmal zur Entwicklung, die sich vollziehen wird, weil da politischer Wille einfach da ist. Was die Nutzung von Garagen betrifft oder die Abstellräume für Fahrräder da ist es also so. Hier in [REDACTED] haben wir eben für zum Beispiel Wohngebäude sind Fahrradräume vorzusehen. Das gilt also erstmal wie gesagt für alle Arten von Fahrrädern. Der Anteil an Elektrorädern steigt. In Garagen, da muss man jetzt, da muss man sehr genau auf den Wortlaut achten in [REDACTED] sind Fahrräder und damit auch Elektroräder in gewissem Umfang erstmal baurechtlich zulässig auch in Garagen. Was das Fahrrad aus meiner Sicht und den E-Scooter von Autos also Kraftfahrzeugen unterscheidet ist, Kraftfahrzeuge unterliegen natürlich einer entsprechenden Zulassungssystematik und so weiter: Und das ist bei denen also salopp gesagt, ich kann mir natürlich jetzt irgendwo im Internet irgendeinen E Scooter bestellen, der aus irgendwelchen Drittländern kommt, wo ich also keine-. Die werden nicht notwendigerweise zugelassen. Von daher ist also die Qualität auch der verbauten Batterien und Akkus nicht definiert. Und das kann natürlich eine potenzielle Gefahr sein. Gleiches gilt auch für die Ladeinfrastruktur für Fahrzeuge ist das also alles zertifiziert. Das verbauen in der Regel auch Fachkundige Elektro-Firmen und ähnliches. Das gilt also. Für die Fahrräder ist es erstmal nicht geregelt. Dafür besteht aus meiner Sicht in der Tat im Moment einfach eine Regelungslücke. Das also die, die Infrastrukturen- und das wird ja auch kommen-, dass Elektrofahrzeuge sowohl in Garagen als auch in dafür vorgesehenen Fahrradabstellräume geladen werden wollen. Und dafür gibt es einfach im Moment noch keine Positiv-Regelung. Da ist also- aus meiner Sicht- im Moment einfach eine Regelungslücke da. Und wie das so im Leben ist, wenn alles ordnungsgemäß gemacht wird. Ich hab mir also ein hochwertiges Elektrofahrrad gekauft, hab da eine nach VDE und (?CE) Kennzeichnung gültige Ladeeinrichtungen, die ich im Fahrradraum durch den fachkundigen Elektriker installieren lasse, dann ist das aus meiner Sicht erstmal sicher. Wenn das so wie im Leben ist, da kommt jemand mit einem Ladegerät aus Asien und dann kommt das an den dreifachen Stecker, an den Dreifachstecker, an den Dreifachstecker, der also irgendwie durch irgendwen installiert wird. Dann kann es dazu natürlich zu entsprechenden Problemen kommen, aber wie gesagt, dazu gibt es im Moment noch keine-. Das ist nicht reguliert, mir jedenfalls nicht bekannt. Also von daher ist aus unserer Sicht da das Gefahrenpotenzial grösser als bei Fahrzeugen. Allerdings wie gesagt die baurechtlichen Regularien reglementieren das momentan nicht. Also von daher sind die-Elektrofahrzeuge genauso zulässig wie nicht- Elektrofahräder sind genauso in dem Rahmen zulässig. Das ist in den Bundesländern eben leicht unterschiedlich geregelt- sind genauso zulässig wie normale Fahrräder. (5 sec.) (**I:** Ja) Inwiefern das zu einem flächendeckenden Problem werden könnte, darüber liegen glaube ich im Moment einfach noch ja keine ausreichenden- auswertbaren, statistisch relevanten Zahlen vor. Was ich dazu noch vielleicht ergänzen will. Wenn man sich jetzt überlegt, was kann denn eigentlich

passieren und wo liegen die Gefahren? Bei vielen Fahrrädern sind die Akkus entnehmbar. Vielleicht auch bei Scootern, weiß ich nicht so genau wie das da gemacht ist. Natürlich sind wir aus Sicht der Feuerwehr- haben wir, wenn der- wenn da beim Ladevorgang eben zum Beispiel durch unsachgemäß installierte Infrastruktur- , Brandgefahren entstehen, dann ist uns das natürlich insofern in Anführungszeichen lieber, wenn das im Keller passiert, als wenn es in der Wohnung passiert. Also, das ist natürlich auch nicht unser Wunsch, dass man sagt, um die Gefahr aus den Garagen rauszubekommen, verlagern wir das Problem jetzt in die Wohnung. Also damit ist das, damit macht man nichts besser. Also, das will ich nur ergänzen zu dem Statement eben.

I: Vielleicht da zusätzlich auch nochmal zu, dass bei Autos natürlich auch durch TÜV Prüfungen und weiteren Prüfungen, da regelmäßig auf die Intaktheit des Fahrzeuges und die Batterien kontrolliert wird.

B: Genau das ist bei Fahrrädern ja im Moment nicht der Fall.

I: Dann hätte ich noch eine Frage wie stehen Sie zu möglichen organisatorischen Maßnahmen, um in Bestands-Garagen, die vielleicht nicht dem aktuellen Baurecht entsprechen, aber eben den Bestandsschutz genießen. Wenn dort Elektromobile, Autos, Fahrräder, die politisch gewollt sind, hinkommen sollen

B: Also wie gesagt für Elektrofahrzeuge ist jetzt erstmal aus meiner Sicht- die sehe ich da im Moment keine Schwierigkeiten. Also wenn die Lade Infrastruktur einfach fachgerecht installiert wird. Und das ist Sie ja eben auch. Diese Befürchtungen, die ist immer wieder geäußert worden ist durch die Ladevorgänge eben zu Brandereignissen oder eine erhöhte Gefahr der Entstehung eines Brandereignisses ausgehen sollte. Das ist bislang nicht beobachtet worden. Von daher gehe ich jetzt erstmal davon aus, dass diese Technik soweit einen Reifegrad entwickelt hat, dass wir im Moment davon ausgehen können, wenn alles fachgerecht gemacht ist, dass da keine besondere Gefahr von ausgeht. Das man das auch nachrüsten kann. Interessanterweise da bin ich bei der bei der Recherche- naja, Aufarbeitung bin ich mal über etwas gestolpert, ich weiß nicht, ob sie in [REDACTED] kennen, ob Ihnen das was sagt, ja?

I: Ja, die kenne ich

B: Ja, das ist ja die [REDACTED], sie sind ja im Prinzip nicht geltendes Recht, sondern sie sind eine Verfahrenshilfe für die Prüfung der Zulässigkeit von Bauvorhaben, also zum einen für die Planer ist eine Planungshilfe und für die Bauprüfer jetzt ist eine Prüfhilfe. [REDACTED]

[REDACTED] Das steht da nicht mehr und da habe ich halt mal nachgefragt bei der Baubehörde und das ist- es scheint also so zu sein, dass die Elektroladestation, die in den 90er mal drinstanden, sich natürlich auf eine andere technologische Entwicklung bezogen haben. Ich weiß nicht, inwieweit sie das noch kennen. Es gab also auch in den 90er Jahren schon Elektrofahrzeuge. Die haben, aber ich sag mal wenig gemein mit dem, was wir heute an Fahrzeugen haben. Das waren also teilweise- mit mehreren Blei-Batterien, das waren ja eher so Bastler-Fahrzeuge hat ja kein großer Hersteller gemacht, sondern das haben hier irgendwelche kleinen Erfinder oder so, haben sowas hergestellt und die haben dann meistens auch so eher so sag mal die Geschwindigkeit wie ein Mofa so irgendwie mit 25 oder 40 Stundenkilometer und immer dieser Heck Aufkleber da drauf. Sowas gab es damals mal und wie gesagt, das war noch eine völlig andere Technologie und man hat aber

erkannt, da tut sich was bei den Antriebsarten. Hat aber dann, damals, vor 8 Jahren erkannt, also das ist eigentlich insofern das spielt überhaupt keine Rolle mehr, da ist es wieder rausgeflogen und die dann jetzt wiedereinsetzende, verstärkte Nachfrage nach E-Fahrzeugen ist einfach eine völlig andere. Eine völlig andere Technik, und die hat dann erst danach wieder eingesetzt. Inwiefern da jetzt, was auch regulatorisch sich ändern soll, kann ich nicht sagen, das weiß ich nicht. Was aber eben auch in dem Zug, was ich interessant fand, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, Gasfahrzeuge, da gab es auch die Befürchtungen damals, dass da jetzt große Gefahren von ausgehen würden und ähnliches. Das hat sich aber nicht bewahrheitet. Also auch da hat man festgestellt da ist die-. Also da gibt es statistisch relevante Zahlen. Vielleicht müssen Sie da mal recherchieren, was sie da bekommen können. Da hat man festgestellt die anfangs vermutete Gefährdung, die ist nicht eingetreten und von daher hat man das Regulatorium auch wieder zurückgenommen. Und ich- das ist jetzt meine ganz persönliche Einschätzung, ich vermute, dass das auch bei der Elektromobilität so sein wird.

I: Wunderbar, dann wäre ich soweit durch mit meinen Fragen möchten Sie noch etwas ergänzen, was Ihnen noch wichtig ist.

B: Nö, ich glaube also im großen Ganzen haben wir ja das Thema einigermaßen umfassend beleuchtet ich weiß, da ist viel, viel Unsicherheit auf allen Seiten drin. Aber ich glaube, das wird sich im Laufe der Zeit wird sich das ein Pegeln. Und wie gesagt mit den bei der Brandbekämpfung von Akkus auch da- wird es den einen oder anderen Fahrzeugbrand geben und dann wird es wahrscheinlich auch den ein oder anderen problematischen Einsatz geben. Das ist aber jetzt bislang bei konventionellen Fahrzeugen auch- vielleicht an der Stelle nochmal zwei weitere Ergänzungen auch sie kennen sicherlich den Vorfall in Kulmbach-. Sind Sie da schon drüber gestorben gestolpert?

I: Sagt mir jetzt gerade nichts.

B: Also dadurch müssen Sie mal googeln. Sperrung einer städtischen Tiefgarage. Das war in der Stadt Kulmbach. Die haben nach einem Fahrzeugbrand, die eine öffentliche Garage für Elektrofahrzeuge eine Sperrung ausgesprochen. Die Brandursache war allerdings ein konventionelles Fahrzeug. Ja also es war kein Elektrofahrzeug, das gebrannt hat. Das war ein Alter Golf der in Brand geraten ist. Trotzdem gab es dort in der Stadt und das kann ich als Hintergrundinformationen einfach mal sagen, das würde ich jetzt aber nicht zitiert haben wollen.

[REDACTED]

[REDACTED] Interessant vielleicht für sie, für Ihre Arbeit finde ist und den Aspekt sollten Sie vielleicht mal beleuchten, wer in Deutschland eben großes Interesse an Sicherheit und auch eine große flächendeckende Kenntnis über die Sicherheitslage hat. Das sind die Schadenversicherer. Hier natürlich irgendwie für die das Risiko für die Einordnung von Objekten, die sie versichert haben müssen. Also von daher verfügen, die oft über bundesweit eine deutlich bessere Kenntnis und eben Datenlage als die einzelnen Feuerwehren das können. Wir wissen immer nur da hat in der Garage mal ein Auto gebrannt, aber ich will das tatsächlich waren, da sollten wir vielleicht bei denen bei den Schaden bei den Gebäudeversicherung mal Nachfragen, das ist ne Sache. Und Stichwort Fahrzeug Sperrung das ist mir jetzt in meinem Urlaub mal aufgefallen, da war ich in Luxemburg. Da habe ich an vielen Garagen ein Schild gesehen, also ein Verbotsschild für LPG, also für gasbetriebene Fahrzeuge. Ich hab das nicht recherchiert. Rein rechtlich nicht überprüft, aber was mir dazu eingefallen ist, das kann natürlich sein, dass das eine Sache ist, die mit dem Versicherungsumfang zu tun hat. Das also ein Gebäude Betreiber, der

jetzt bestimmte Fahrzeuge in seine Garage lassen oder nicht lassen will. Das vielleicht vorher mit seiner Gebäudeversicherung mal klären sollte und möglicherweise kann es ja sein, dass ein Gebäude Versicherer sagt, wenn da gasbetriebene Fahrzeuge oder was auch immer drin parken sollen, dann erhöht sich die Versicherungssumme oder so, das kann natürlich sein, also von daher. Was mir da so eingefallen ist, es gibt ja zwei Rechtsreglräume. Das eine ist also das Privatrecht und das Ordnungsrecht, also das Ordnungsrecht, eben zum Beispiel über das Bauordnungsrecht und damit die Betriebsgenehmigung. Das ist die eine Sache, die andere ist aber das private Recht, wo dann hinterher quasi das Versicherungswesen dranhängt. Also will sagen für eine Garage sagt Stand heute reglementiert das Ordnungsrecht nicht was für ein Auto da reinfahren kann. Also wie eingangs halt erwähnt, Kfz ist ein Kfz unabhängig vom Antrieb. Wenn aber jetzt ein privater Betreiber einer Garage, der kann natürlich sagen, ich möchte da keine Elektrofahrzeuge oder keine gasbetriebenen Fahrzeuge oder sonst was drin haben. Der kann auch sagen, ich möchte keine gelben oder grünen Fahrzeuge in meiner Garage stehen haben, das ist aber dann Privatrecht. Da muss man halt genau hinschauen. Wer regelt denn auf welcher Rechtsgrundlage, an welcher Stelle was? Das will ich Ihnen nur noch mal einfach für die Gesamtbetrachtung mitgeben, auch für die Einordnung, wenn jemand Maßnahmen trifft oder sie fordert. Wenn ich das für die Feuerwehr zusammenfasse ist. Da kam auch bei uns hausintern kam eben immer wieder sowas ja können wir das denn nicht verbieten oder ähnliches? Dazu kann ich nur feststellen die Feuerwehr und das gilt, glaube ich für die anderen Bundesländer gleichermaßen. Die Feuerwehr ist in diesem Belang nicht Ordnungsbehörde also, wir können da weder eine den Betrieb von Elektrofahrzeugen verbieten oder ihn genehmigen, weil wir dafür einfach nicht zuständige Behörde. Wir können allerdings Empfehlungen aussprechen und das tun wir eben und sagen dann, wenn wir zum Beispiel von Bauherren oder im Rahmen eines Baugenehmigungsverfahrens irgendwie danach gefragt werden, dann geben wir ihm die Empfehlungen und sagen halt „Elektroinstallationen eben immer durch zertifizierte Fachfirmen durchführen lassen, Ladestation möglichst nah an Zu- und Abfahrten anordnen“ und so weiter. Diese ganzen präventiv Maßnahmen, die halt empfehlen kann, die wir aber eben als nicht Ordnungsbehörde nicht durchsetzen können an der Stelle. Also allgemeine Vorsichtsmaßnahmen, sozusagen.

I: Genau, dann würde ich die Aufnahme einmal stoppen.

Anlage 3

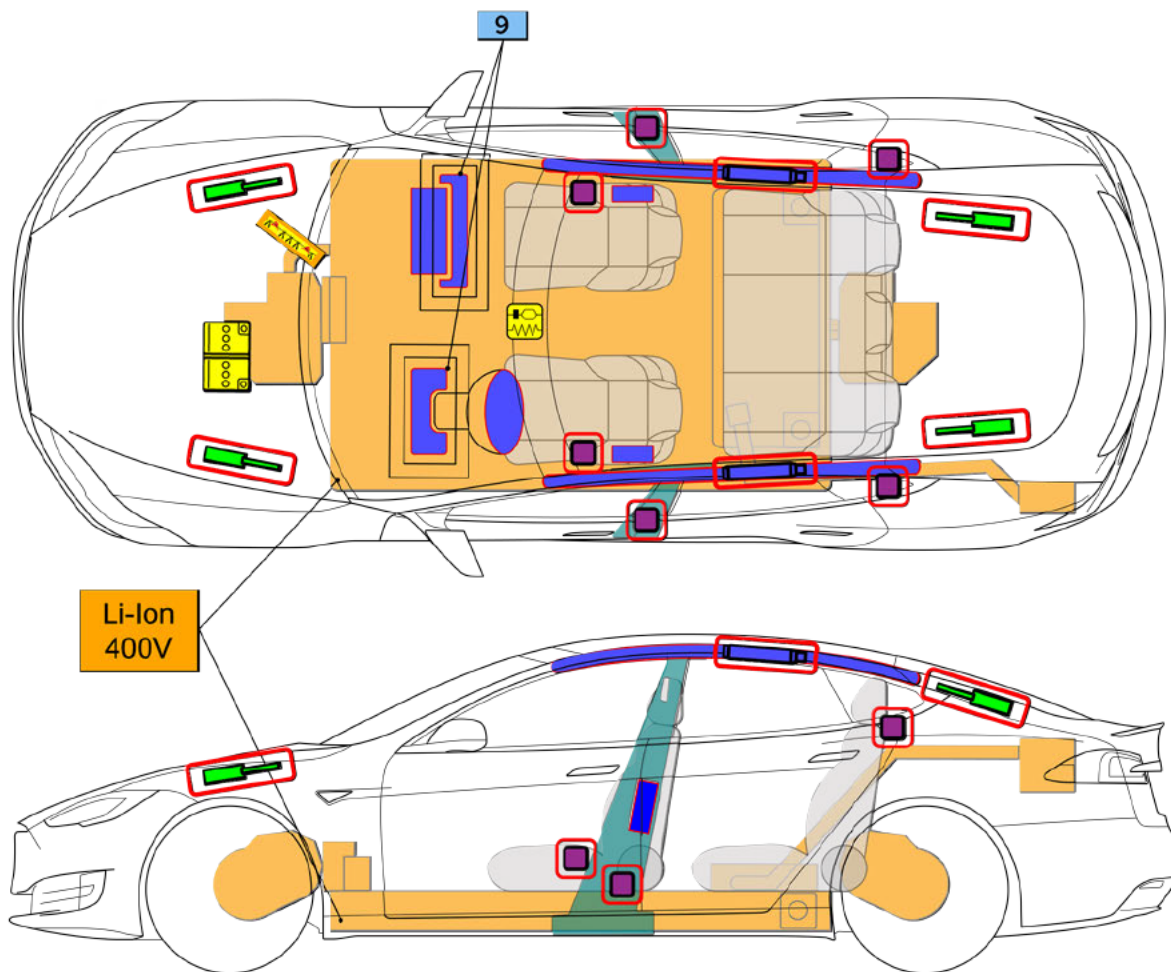
Rettungsdatenblatt Tesla Model S

Seite A38 bis A42



TESLA MODEL S

From 2016–2021



	Airbag		Stored gas inflator		Seatbelt pretensioner		SRS Control Unit		Pedestrian protection active system
	Automatic rollover protection system		Gas strut/pre-loaded spring		High strength zone		Zone requiring special attention		
	Battery low voltage		Ultra capacitor, low voltage		Fuel tank		Gas tank		Safety valve
	High voltage battery pack		High voltage power cable/component		High voltage disconnect		Fuse box disabling high voltage system		Ultra capacitor, high voltage



Cable cut



TESLA MODEL S
From 2016 – 2021

ID No.

TESLA-202012-004

Version No.

01

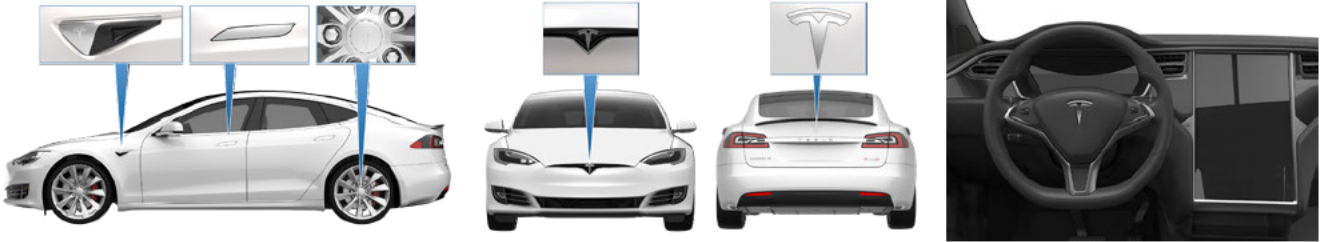
Page No.

01/04

1. Identification / recognition



WARNING LACK OF ENGINE NOISE DOES NOT MEAN VEHICLE IS OFF. SILENT MOVEMENT OR INSTANT RESTART CAPABILITY EXISTS UNTIL VEHICLE IS FULLY SHUT DOWN. WEAR APPROPRIATE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT (PPE).



NOTE: The Tesla emblem indicates a fully electric vehicle.

NOTE: The model name is located on the rear of the vehicle.

2. Immobilization / stabilization / lifting

IMMOBILIZATION

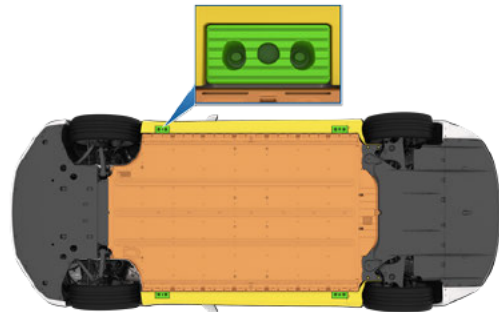
1. CHOCK WHEELS



2. PUT VEHICLE INTO **P**ARK POSITION



STABILIZATION/ LIFTING POINTS

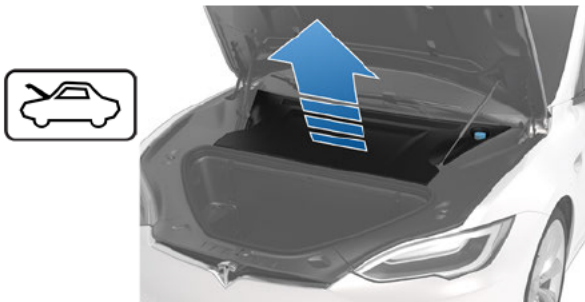


	Appropriate lift areas
	Safe stabilization points for Model S resting on its side
	High Voltage (HV) Battery

3. Disable direct hazards / safety regulations

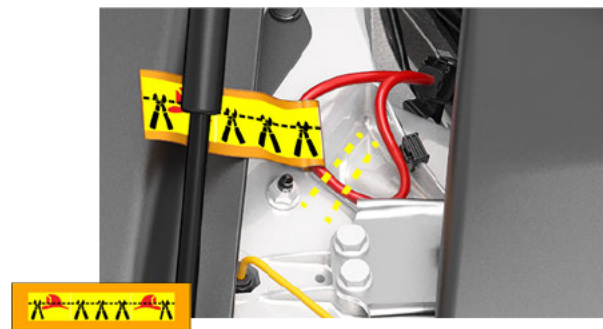
ACCESS

1. Open the hood (see chapter 4).
2. Remove the access panel by pulling it upward to release the clips that hold it in place.



MAIN DISABLE METHOD

1. Double cut the first responder loop.
2. Disable the 12V battery.



WARNING Not every high voltage component is labeled. Always wear appropriate PPE. Always double cut the first responder loop. Do not attempt to open the High Voltage (HV) battery.



4. Access to the occupants



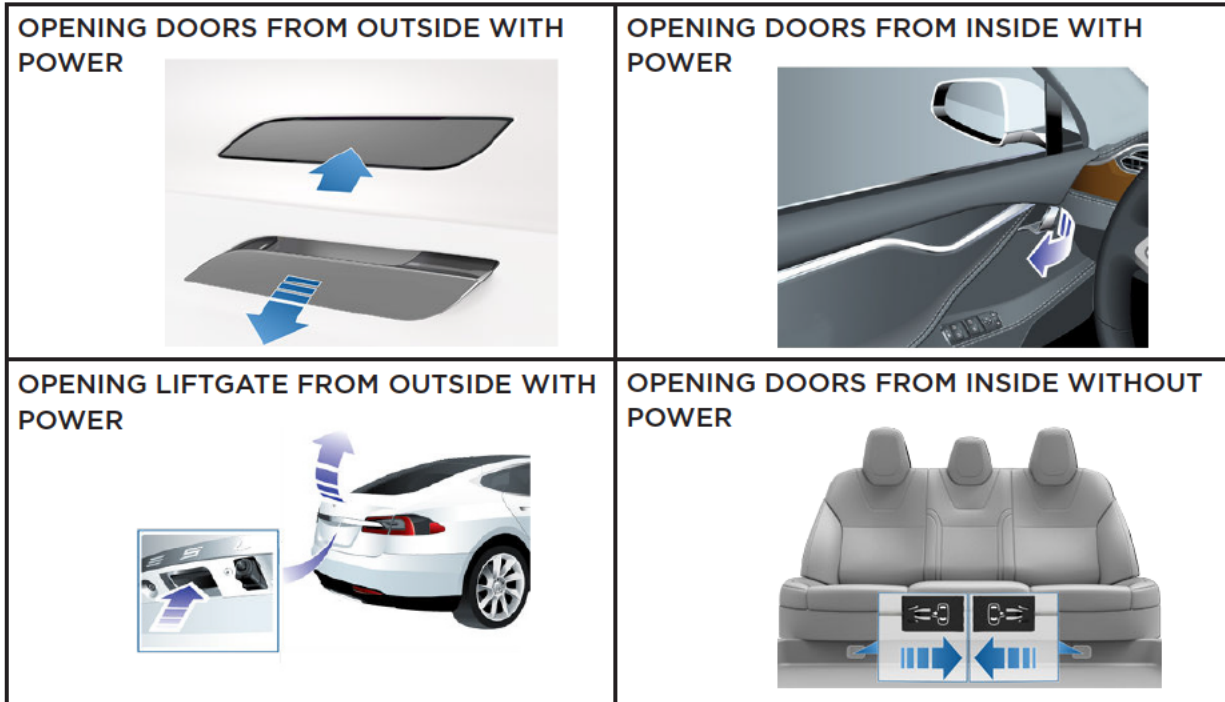
WARNING Electrical and mechanical releases may be compromised after a collision.



NOTE: The seats and steering wheel are electrically powered and may not function after a collision.

NOTE: After a collision, the doors and liftgate may not unlock from the outside. Extrication may be required. See the Model S Emergency Response Guide for more information.

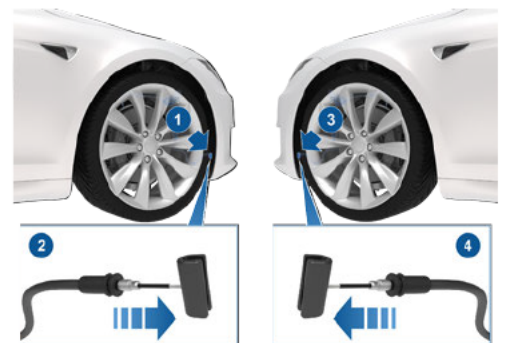
NOTE: The windshield, roof glass, rear liftgate glass on Model S are made of laminated safety glass. The side windows can be either tempered or laminated glass.



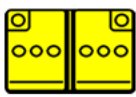



OPENING THE HOOD

To open the hood, use one of the following methods:

- Touch the associated OPEN button on the touchscreen.
- Double-click the front trunk button on the key.
- Pull the release cables located in the front wheel arch liners. First, release the cover in the RH front wheel well and pull the strap to release the primary latch. Then, release the cover in the LH front wheel well and pull the strap to release the secondary latch.



5. Stored energy / liquids / gases / solids

		12V
		400V



WARNING The cells in the HV battery are sealed and there is not enough electrolyte to create a pool of liquid. Clear liquid is likely water. The coolant is blue.



6. In case of fire



DO NOT SUBMERGE VEHICLE TO EXTINGUISH/COOL BATTERY FIRE



USE COPIOUS AMOUNTS OF WATER



POSSIBLE BATTERY RE-IGNITION!

MONITOR HV BATTERY TEMPERATURE FOR AT LEAST 24 HOURS

7. In case of submersion

Treat a submerged Model S like any other submerged vehicle. Wear appropriate PPE for water rescue. Remove the vehicle from the water and continue with normal high voltage disabling. Vehicles submerged in salt water should be handled with a greater potential risk of an HV battery fire. Tilt the vehicle to back and forth to allow water to drain out and store flat.

8. Towing / transportation / storage

Use a towing truck with flatbed.

NO towing with running traction wheels.



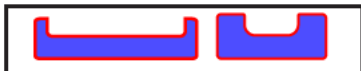
WARNING POSSIBLE BATTERY RE-IGNITION! AFTER A FIRE INCIDENT, STORE OUTSIDE AT A SAFE DISTANCE (50 FT/15 M) FROM OTHER VEHICLES AND STRUCTURES!

9. Important additional information

First Responders and Second Responders with emergencies, call Tesla Roadside Assistance. Refer to <https://www.tesla.com/support/roadside-assistance> for the applicable hotline number.

First responder information can be found at <https://www.tesla.com/firstresponders>. First responders and training officers who have questions, contact firstrespondersafety@tesla.com.

Airbags



Knee airbags are only installed in North America and South Korea.

10. Explanation of pictograms



In some working environments, the Infrared (IR) device is referred to as a Thermal Imaging Camera (TIC).