

BACHELORARBEIT

Vergleich unterschiedlicher Löschmethoden zur Brandbekämpfung von Li-Ionen- Energiespeichern

vorgelegt am 26. März 2024 von
Julian Michael Eisenschmidt



1. Prüfer: Prof. Dr. Frank Hörmann
2. Prüfer: M. Eng. Dirk Crome

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Fakultät Life Sciences
Ulmenliet 20
21033 Hamburg

in Zusammenarbeit mit
der Feuerwehr Hamburg

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**
Hamburg University of Applied Sciences

**VERGLEICH UNTERSCHIEDLICHER
LÖSCHMETHODEN ZUR
BRANDBEKÄMPFUNG VON LI-IONEN-
ENERGIESPEICHERN**

Bachelorarbeit vorgelegt von
Julian Michael Eisenschmidt

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meine Dankbarkeit gegenüber den Personen zum Ausdruck bringen, die mich während der Erstellung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zunächst möchte ich meinem Betreuer, Herrn Dirk Crome, für seine unermüdliche fachliche Unterstützung, kontinuierliche Ermutigung und seinen wertvollen Rat während des gesamten Forschungsprozesses danken. Seine Expertise und Anleitung waren von unschätzbarem Wert und haben maßgeblich dazu beigetragen, diese Arbeit zu formen und zu verfeinern.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meinem Professor Frank Hörmann, dessen fachliche Kompetenz, kritisches Feedback und ermutigende Worte wesentlich dazu beigetragen haben, dass dieses Projekt erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Sein Engagement für die Förderung des akademischen Fortschritts seiner Studierenden ist bewundernswert und inspirierend.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Familie für ihre bedingungslose Unterstützung, ermutigende Worte und geduldige Begleitung während meiner akademischen Reise. Ihre unerschütterliche Unterstützung hat mir die nötige Stabilität verliehen, um dieses Projekt erfolgreich abzuschließen.

Ein weiteres herzliches Dankeschön gilt meiner Partnerin, deren unermüdliche Unterstützung, Verständnis und Ermutigung mich durch die Höhen und Tiefen dieses Prozesses begleitet haben. Ihre Loyalität und Hingabe waren eine unersetzliche Quelle der Stärke und Inspiration für mich.

Ich möchte auch denjenigen danken, die in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ihre Beiträge, sei es durch Diskussionen, kritisches Feedback oder moralische Unterstützung, haben dazu beigetragen, die Qualität dieser Arbeit zu verbessern.

Ohne die Unterstützung und dem Beistand dieser bemerkenswerten Menschen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ihre Mitwirkung und ihr Vertrauen in meine Fähigkeiten haben meinen Erfolg maßgeblich beeinflusst.

Hinweis: Diese Bachelorarbeit verwendet eine geschlechtsneutrale Sprache, um die Lesbarkeit zu verbessern und allen Geschlechtern gerecht zu werden. Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechteridentitäten, unabhängig von biologischem Geschlecht oder sozialer Geschlechtszugehörigkeit.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Kurzzusammenfassung	2
1 Einleitung	2
1.1 Problemstellung	4
1.2 Ziel der Arbeit	5
1.3 Methodisches Vorgehen	5
1.3.1 Literaturarbeit als methodisches Vorgehen	6
1.3.2 Experteninterview als methodisches Vorgehen	7
2 Theoretischer Hintergrund	9
2.1 Li-Ionen-Energiespeicher	9
2.1.1 Alternative Fahrzeugantriebe mit Li-Ionen-Energiespeichern und ihre daraus resultierenden Gefährdungen	11
2.1.2 Photovoltaikanlagen und ihre resultierenden Gefährdungen	13
2.2 Einsatzgrundsätze bei Hybrid- und Elektroantrieben	14
2.2.1 Verkehrsunfall ohne Brand	14
2.2.2 Fahrzeugbrände	18
2.3 Einsatzgrundsätze für Photovoltaikanlagen mit Batteriespeichersystemen ..	20
2.4 Löschmethoden	21
2.4.1 Konventionelle Löschmethode mit C-Mehrzweck Strahlrohren	22
2.4.2 Präventives Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern	22
2.4.3 Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern nach dem Brand	24
2.4.4 Invasive Löschmethode	25
2.4.4.1 E-Löschlanze	25
2.4.4.2 Schneid-Löschsystem	26
2.4.5 Defensive Taktik	30
2.4.6 Maßnahmen im Anschluss an die Brandbekämpfung	30
2.5 Taktisches Vorgehen der Feuerwehr Hamburg bei Bränden von Li-Ionen- Energiespeichern	30
2.6 Tätigkeitsbereich der Feuerwehr Hamburg	32
2.7 Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes	34
2.7.1 Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien	34
2.8 Hinweise und Informationen der DGUV	37
2.8.1 FBFHB-024	37
2.8.2 205-041	39
2.9 Bericht über die Brandschutzforschung der Bundesländer	43
3 Experteninterviews	50

3.1	Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr.....	51
3.2	Experteninterview Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität	53
4	Ergebnisse	55
4.1	Zusammenfassung	55
4.2	Methodisches Vorgehen durch Anwendung von Experteninterviews und Literaturrecherche	57
4.3	Aufbau von Li-Ionen-Energiespeichern.....	58
4.4	Sicherheit bei der Erkundung und Deaktivierung.....	59
4.5	PV-Anlagen	65
4.6	Löschmethoden	66
4.7	Taktisches Vorgehen und das Einsatzgebiet der Feuerwehr Hamburg	74
5	Diskussion.....	75
6	Fazit.....	78
	Literaturverzeichnis	80
	Abbildungsverzeichnis.....	82
	Tabellenverzeichnis.....	82
	Eidesstattliche Erklärung	83
	Anhang.....	84
	Anhang 1: Gesprächsleitfaden Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr.....	84
	Anhang 2: Gesprächsleitfaden Experteninterview Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität.....	86
	Anhang 3: Transkript Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr	88

Abkürzungsverzeichnis

AGT	Atemschutzgeräteträger
BEV	Elektrofahrzeuge
BMS	Batteriemanagementsystem
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
E-Fahrzeuge	Elektrofahrzeuge
ERG	Emergency Response Guide
FwA-LiMa	Feuerwehranhänger-Lichtmast
GKW 1	Gerätekraftwagen 1
HF	Fluorwasserstoff
Li-Ionen-Energiespeicher	Lithium-Ionen-Energiespeicher
LKW	Lastkraftwagen
NiMH	Nickel-Metallhydrid
OEM	Originalhersteller
PKW	Personenkraftwagen
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PV-Anlagen	Photovoltaik-Anlagen
TR	Thermal Runaway
VU	Verkehrsunfall
WBK	Wärmebildkamera

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit hat das Ziel, die Unterschiede zwischen verschiedenen Löschmethoden zur Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Energiespeichern (Li-Ionen-Energiespeichern) zu untersuchen, um die effektivste und sicherste Methode zu ermitteln. Insbesondere in diesem Bereich unterliegt das Vorgehen zur Brandbekämpfung ständigen Veränderungen aufgrund von Forschung und Innovation. Lange Zeit wurden invasive Löschesysteme kritisch betrachtet. Sie rücken jedoch nun aufgrund neuer Regelungen in den Fokus und gelten gemäß aktuellen Studien als die effektivste Methode zur Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeicher im Einsatzbereich der Feuerwehr Hamburg. Dieser Einsatzbereich umfasst nicht nur Personenkraftwagen (PKW), sondern auch andere Einsatzstellen, an denen Li-Ionen-Energiespeicher zu finden sind, die nicht so einfach zugänglich sind, wie bei Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), Lastkraftwagen (LKW) und Schiffen. Dabei wurde festgestellt, dass zukünftig die Feuerwehröffnungen in Li-Ionen-Energiespeichern die bevorzugte Methode sein werden, um diese effektiv und sicher zu löschen. Allerdings wird es noch einige Zeit dauern, bis jeder Li-Ionen-Energiespeicher über solche Öffnungen verfügt.

Im Rahmen der Untersuchung werden verschiedene Löschmethoden miteinander verglichen und analysiert. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf invasiven Löschesystemen, die mit dem Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern in wassergefüllten Containern verglichen werden.

1 Einleitung

Die Produktion von alternativen Antriebssystemen für Fahrzeuge erfährt eine zunehmende Verbreitung. Als Alternative werden Antriebe betrachtet, die ohne die Verwendung von Diesel und Benzin auskommen. Die Anzahl der Umrüstungen auf alternative Antriebe steigt ebenfalls kontinuierlich an. Seit dem 1. Januar 2023 wurden in Deutschland insgesamt 1.013.099 Neuzulassungen von Elektro-Personenkraftwagen (PKW) registriert, was einen signifikanten Anstieg im Vergleich zum 1. Januar 2019 darstellt, als der Bestand noch unter 250.000 Zulassungen lag. Des Weiteren verzeichnen auch Plug-in-Hybrid- und Hybridfahrzeuge einen deutlichen Zuwachs. Im Gegensatz dazu ist der Bestand an Diesel- und Benzinantrieben rückläufig.¹

¹ Kraftfahrt-Bundesamt 2023, o.S.

Bestand an Personenkraftwagen mit alternativen Antrieben

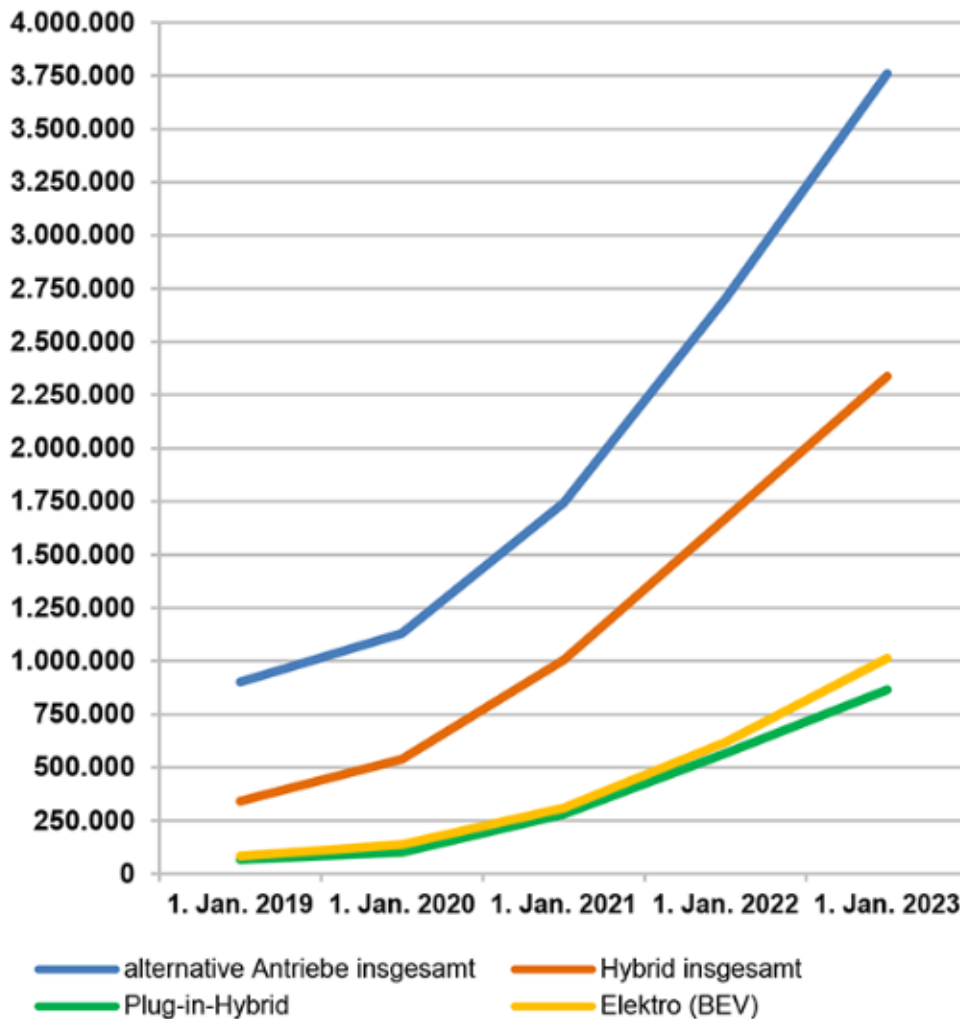


Abbildung 1: Bestand an Personenkraftwagen mit alternativen Antrieben 2023²

Auch Photovoltaik-Anlagen erlangen zunehmende Beliebtheit. Bis November 2022 waren etwa 2,5 Millionen Anlagen installiert. Im Januar 2018, zu Beginn der Datenerhebung, gab es lediglich 1,7 Millionen Anlagen, was einem Anstieg um 47 % entspricht.³

Die zunehmende Popularität alternativer Antriebsmittel und erneuerbarer Energiequellen erfordert eine kontinuierliche Weiterentwicklung der feuerwehrtechnischen Ausrüstung und Ausbildung. Insbesondere das Löschen von Lithium-Ionen-Energiespeichern erfordert eine regelmäßige Überprüfung der Möglichkeiten, diese effektiv, sicher und umweltfreundlich zu löschen.⁴

² Kraftfahrt-Bundesamt 2023, o.S.

³ Statistisches Bundesamt 2023, o.S.

⁴ Neumann 2023, o.S.

1.1 Problemstellung

In den letzten Monaten wurden zahlreiche neue Erkenntnisse im Bereich des Kühlens von Li-Ionen-Energiespeichern gewonnen. Ein schwedisches Unternehmen hat schon vor längerer Zeit ein Produkt auf den Markt gebracht, das ursprünglich als Lösung für die Brandbekämpfung entwickelt wurde. Das Produkt ist ein Schneid-Löschsystem, das speziell für den Einsatz bei Bränden in Gebäuden, Tunneln und anderen schwer zugänglichen Bereichen konzipiert wurde. Das Produkt ermöglicht es, Wasser und Löschmittel mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit auf den Brandherd zu richten, was zu einer effektiven Brandbekämpfung führt. Das Schneid-Löschsystem wird auch für die Schiffsbrandbekämpfung eingesetzt. Aufgrund seiner Fähigkeit, Wasser und Löschmittel mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit auf den Brandherd zu richten, ist das Produkt ideal für die Bekämpfung von Bränden auf Schiffen geeignet. Die Flexibilität und Mobilität dieses Löschsystems ermöglicht es den Einsatzkräften, schnell und effektiv auf Brände zu reagieren und so potenzielle Gefahren zu minimieren. Seit Neuestem zeigt sich das Schneid-Löschsystem nun als geeignet für die Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern.⁵

Es ist von großer Bedeutung, die verschiedenen Methoden zur Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern regelmäßig zu überprüfen, um die effektivste und effizienteste Maßnahme zu ermitteln. Insbesondere hinsichtlich der in letzter Zeit häufig angewandten Methode des Versenkens von Li-Ionen-Energiespeichern gibt es neueste Empfehlungen. Seit November 2023 rät die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) sogar vom präventiven Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern ab⁶. Zusätzlich ermöglicht ein invasives Löschsystem das Penetrieren von Li-Ionen-Energiespeichern von Photovoltaik-Anlagen, die in Kellerräumen liegen. Bei Li-Ionen-Energiespeichern in Fahrzeugen sind diese oft in wasserfesten Gehäusen verbaut. Das Versenken erfordert viel Zeit und eine große Wassermenge. Es ist nicht möglich, Wasser schnell in die Li-Ionen-Energiespeicher zu bringen.

Ursprünglich für die Schiffsbrandbekämpfung angeschafft, ist das Schneid-Löschsystem in Hamburg nur in einem einzigen Abrollcontainer im gesamten Einsatzgebiet vorhanden. Die lange Rüstzeit bei der Alarmierung, führt dazu, dass sich Einsatzleiter oft gegen den Einsatz dieses Systems entscheiden. Eine konventionelle Verladung auf jedem Löschfahrzeug könnte die Nutzung des Systems für Einsatzleiter erleichtern.⁷

Somit lautet die zentrale Fragestellung: Inwiefern stellt das Schneid-Löschsystem als derzeit bestehende Technik der Feuerwehr Hamburg die effektivste Methode dar, Brände von Li-Ionen-Energiespeichern zu löschen?

⁵ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

⁶ DGUV 2023, S. 5

⁷ Neumann 2023, o.S.

1.2 Ziel der Arbeit

Zur Bewältigung der oben skizzierten Problematik strebt die vorliegende Untersuchung an, die Optimierung und essenzielle Verbesserung der Gefahrenabwehr bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern durch das Schneid-Löschsystem der Feuerwehr Hamburg zu ergründen. Dabei soll detailliert dargelegt werden, ob die Anwendung dieses invasiven Löschsystems gegenüber bisherigen Methoden, wie dem Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern, präferiert werden sollte. Ferner wird die Analyse darauf abzielen, den optimalen Vorgehensweg bei Bränden von Photovoltaik-Anlagen zu identifizieren und aufzuzeigen, ob das Schneid-Löschsystem in diesem Kontext einen Mehrwert bietet. Insbesondere im Hinblick auf Photovoltaik-Anlagen wird eine kritische Bewertung angestrebt, um die Effektivität und Sicherheit des wassersparenden Schneid-Löschsystems im Vergleich zu alternativen Löschmethoden zu beleuchten. Im Kontext von Elektrofahrzeugen soll darüber hinaus herausgefunden werden, inwieweit es erforderlich ist, den Li-Ionen-Energiespeicher und die wasserdichten Gehäuse zu durchdringen.⁸

Zusammenfassend soll die vorliegende Untersuchung Erkenntnisse darüber liefern, ob das invasive Löschsystem in verschiedenen Einsatzszenarien die Feuerwehr Hamburg unterstützen kann, welche Verteilung im gesamten Stadtgebiet sinnvoll wäre und welche Brandszenarien effektiv durch das invasive Löschsystem abgedeckt werden können.

Die vorliegende Bachelorarbeit gewährt der Feuerwehr Hamburg einen erheblichen Mehrwert, indem sie der Politik eine prägnante Zusammenfassung präsentiert, die verdeutlicht, ob dieses Löschsystem in konventioneller Weise auf jedem Löschfahrzeug verfügbar sein sollte, und nicht lediglich als Sonderkomponente auf einem isolierten Abrollcontainer. Insbesondere im Hinblick auf die Sicherheit der Einsatzkräfte spielt die Untersuchung dieses Löschsystems eine entscheidende Rolle. Dies gilt nicht nur im Kontext eines Innenangriffs bei einem kritischen Wohnungsbrand, sondern auch in Bezug auf Lithium-Ionen-Energiespeicher, die in Kellerräumen verbaut sind oder in Fahrzeugen ausgasen und somit explosive Gemische bilden können. Die vorliegende Arbeit wird bedeutende Erkenntnisse in diesem Bereich hervorbringen.

1.3 Methodisches Vorgehen

Für die vorliegende Untersuchung wurden sowohl Literaturrecherche als auch Experteninterviews als Methoden herangezogen. Die Literaturrecherche ermöglichte eine gründliche Analyse vorhandener wissenschaftlicher Arbeiten und lieferte wichtige Grundlagen für die Untersuchung. Zusätzlich wurden Experteninterviews durchgeführt, um Einblicke von Fachleuten auf dem Gebiet zu erhalten und deren persönliche Erfahrungen und Einschätzungen zu erfassen. Durch die Kombination dieser Methoden

⁸ Neumann 2023, o.S.

wurde ein umfassendes Verständnis des Forschungsthemas erreicht und unterschiedliche Perspektiven berücksichtigt.

Die Auswertung der durchgeführten Untersuchung erfolgt anhand eines methodischen Ansatzes, der sowohl die Ergebnisse der Literaturrecherche als auch der Experteninterviews berücksichtigt. In diesem Prozess werden die erhobenen Daten präsentiert und analysiert, wobei besondere Aufmerksamkeit auf die Identifizierung von Trends und die Aufdeckung von Zusammenhängen gelegt wird. Die Auswertung basiert auf einer gründlichen Prüfung der vorliegenden Daten und ermöglicht es, Schlussfolgerungen zu ziehen, die der Forschungsfrage gerecht wird.

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Kontext des Forschungsfeldes, wobei bestehende Theorien kritisch hinterfragt und mögliche Erklärungen für beobachtete Phänomene vorgeschlagen werden. Dieser Diskurs erlaubt es, die Bedeutung der Ergebnisse zu verstehen und neue Fragen aufzuwerfen, die weitere Forschungsimpulse liefern können.

Im abschließenden Fazit werden die wichtigsten Erkenntnisse der Studie zusammengefasst und ihre Bedeutung hervorgehoben. Es dient dazu, die Schlüsselergebnisse zu betonen und ihre Relevanz für das Forschungsfeld zu unterstreichen. Somit rundet das Fazit den wissenschaftlichen Text ab und vermittelt einen klaren Überblick über die erreichten Erkenntnisse, während es gleichzeitig die Notwendigkeit weiterer Forschung unterstreicht.

1.3.1 Literaturarbeit als methodisches Vorgehen

Die Nutzung von Literaturarbeit als Alternative zur empirischen Forschung bietet eine faszinierende Möglichkeit, ein Thema zu untersuchen, indem vorhandene Literatur kritisch betrachtet wird. Diese Vorgehensweise erfordert eine eigenständige Zusammenstellung relevanter Literatur sowie eine sorgfältige Auseinandersetzung mit den präsentierten Theorien und Konzepten. Dabei kann man verschiedene Aktivitäten wie den Vergleich von Theorien durchführen und Forschungslücken aufzeigen.

Um eine fundierte Literaturrecherche durchzuführen, stehen verschiedene Quellen zur Verfügung, darunter Universitätsdatenbanken, Bibliotheksportale, Google Scholar und wissenschaftliche Journale. Die Anwendung der Schneeballmethode kann dabei helfen, zusätzliche relevante Literaturquellen zu entdecken und den Untersuchungsrahmen zu erweitern.

Die Gliederung eines literaturbasierten Forschungsberichts ähnelt zwar der einer empirischen Studie, jedoch liegt der Schwerpunkt im Methodikteil auf der Betrachtung von Literaturaspekten. Hier werden Auswahlkriterien diskutiert, die kritische Auseinandersetzung mit den gefundenen Quellen sowie deren Bezug zur Forschungsfrage.

Eine der Hauptvorteile der Literaturlarbeit liegt in der Verfügbarkeit von Daten, wodurch keine direkte Abhängigkeit von Kooperationen besteht und der Arbeitsaufwand besser planbar ist. Jedoch ist zu beachten, dass eine umfangreiche Literaturrecherche Zeit in Anspruch nimmt und es schwierig sein kann, an aktuelle Daten zu gelangen. Zudem ist der Untersuchungsgegenstand begrenzt, und es werden keine neuen empirischen Erkenntnisse generiert.

Ein Vergleich mit empirischer Forschung zeigt, dass die Literaturlarbeit eine solide Basis für die Forschung bietet und den aktuellen Forschungsstand präsentiert, während empirische Forschung die eigene Datenerhebung und -auswertung umfasst. Es ist wichtig, den Arbeitsaufwand nicht zu unterschätzen, da das Lesen und Analysieren von Texten viel Zeit erfordert. Dennoch bieten empirische Forschungsmethoden praktische Alternativen, die je nach Forschungsfrage und Zielsetzung in Betracht gezogen werden sollten.⁹

1.3.2 Experteninterview als methodisches Vorgehen

Experteninterviews spielen in der wissenschaftlichen Forschung eine entscheidende Rolle, insbesondere bei Themen, die neuartig sind und für die es nur begrenzte Literatur gibt, da sie kaum erforscht wurden. Diese Interviews dienen dazu, einen Experten auszuwählen, der Fragen zu dem Thema der Bachelorarbeit beantworten kann, und somit zur Beantwortung der Forschungsfrage beiträgt. Es existieren verschiedene Formen von Experteninterviews, wobei eine Unterscheidung zwischen qualitativen und quantitativen Interviews vorgenommen wird.¹⁰

Qualitative Interviews zielen darauf ab, tiefergehende Einblicke in die Meinungen, Perspektiven und Erfahrungen des Experten zu erhalten. Sie ermöglichen es, komplexe Themen aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und eine reichhaltige Datenbasis für die Analyse zu schaffen. Durch die Offenheit der Fragen können neue Erkenntnisse gewonnen werden, die möglicherweise nicht in vorherigen Studien oder Literatur zu finden sind. Diese Art von Interview eignet sich besonders für Themen, die noch nicht vollständig erforscht wurden oder bei denen ein Verständnis für individuelle Meinungen und Einschätzungen von Bedeutung ist.

Bei qualitativen Interviews zeichnet sich der Fragebogen durch seine Flexibilität aus, da er Raum für spontane Antworten lässt und keine starren Strukturen vorgibt. Die Antworten werden frei formuliert, um den Interviewten die Möglichkeit zu geben, ihre Gedanken und Erfahrungen offen darzulegen. Die Auswertung dieser Interviews erfolgt in der Regel durch Transkription und Interpretation der gesammelten Daten. Zu diesem Zweck wird ein Leitfaden erstellt, der als Orientierungshilfe während des Interviews dient und sicherstellt, dass alle relevanten Themen angesprochen werden.

⁹ Pfeiffer 2021b, o.S.

¹⁰ Pfeiffer 2021a, o.S.

Vor Beginn des Interviews wird eine Einwilligungserklärung ausgestellt, die dem Interviewten erklärt, wie die erhobenen Daten verwendet werden und welche Rechte er bezüglich seiner Teilnahme hat. Dies ist ein wichtiger ethischer Aspekt, um sicherzustellen, dass die Privatsphäre und die Rechte der Teilnehmer respektiert werden.

Nach Abschluss der Interviews werden die gesammelten Informationen in die Arbeit eingearbeitet und ausgewertet. Dies beinhaltet eine sorgfältige Analyse der Transkripte, um Muster, Themen und Zusammenhänge zu identifizieren. Die Ergebnisse werden dann interpretiert und in Bezug auf die Forschungsfrage analysiert, um Erkenntnisse zu generieren und Schlussfolgerungen zu ziehen.

Insgesamt ermöglichen qualitative Interviews eine eingehende Untersuchung komplexer Themen und bieten einen tiefen Einblick in die individuellen Perspektiven und Erfahrungen der Interviewten. Durch ihre flexible Natur und ihre Fokussierung auf die Erhebung von qualitativen Daten tragen sie zur Entwicklung eines umfassenden Verständnisses bei und bereichern die wissenschaftliche Forschung.

Quantitative Interviews hingegen sind darauf ausgerichtet, strukturierte Daten zu sammeln, die es ermöglichen, statistische Analysen durchzuführen und allgemeine Trends oder Muster zu identifizieren. Sie basieren auf einem vordefinierten Fragenkatalog und erlauben es, Daten von einer größeren Anzahl von Experten zu sammeln. Dies ermöglicht es, Aussagen über die Verbreitung bestimmter Ansichten oder Verhaltensweisen zu treffen und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen zu untersuchen. Quantitative Interviews sind besonders nützlich, wenn es darum geht, Hypothesen zu testen oder quantitative Zusammenhänge zu untersuchen.¹¹

Insgesamt spielen Experteninterviews eine wichtige Rolle bei der Generierung von neuem Wissen und der Vertiefung des Verständnisses zu komplexen Themen. Durch die Auswahl qualifizierter Experten und die Anwendung geeigneter Interviewmethoden können wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Weiterentwicklung des Forschungsfeldes beitragen. Diese Bachelorarbeit nutzt die Methodik der qualitativen Interviews.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein zweites Experteninterview durchgeführt, das, obwohl qualitativ geführt, aufgrund von Forschungsbeschränkungen nicht für eine Veröffentlichung in Form eines Transkripts zugänglich war. Dieser Umstand führte dazu, dass der Autor lediglich im Quellenverzeichnis aufgeführt wurde, ohne dass ein Transkript im Anhang vorliegt.

Die Entscheidung, das Experteninterview ohne Transkript zu belassen, lässt sich aus verschiedenen Gründen rechtfertigen. Primär spielt hierbei die Wahrung der Vertraulichkeit eine entscheidende Rolle.

¹¹ Günther 2023, o.S.

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden muss, ist die Frage der Forschungsethik. Die Entscheidung, ein Interview ohne Transkript zu führen, schützt auch die Einhaltung ethischer Standards in Bezug auf Datenschutz und Privatsphäre.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Forschungsstand im Bereich der Li-Ionen-Energiespeicher erläutert. Zunächst werden die Grundlagen zusammenfassend dargelegt, um den Kenntnisstand zu verdeutlichen. Hierbei werden Aspekte wie der Aufbau, die Verwendung und vorhandene Löschmethoden behandelt. Im Fokus liegen dabei ausschließlich invasive Löschverfahren sowie das Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern.

Des Weiteren wird das taktische Vorgehen der Feuerwehren in Deutschland, speziell der Feuerwehr Hamburg, beschrieben und erläutert.

Zudem werden Forschungsergebnisse und gesetzliche Regelungen dargestellt und erläutert, die im Zusammenhang mit der Nutzung und Sicherheit von Li-Ionen-Energiespeichern relevant sind.

2.1 Li-Ionen-Energiespeicher

Zu Beginn wird der Aufbau von Li-Ionen-Energiespeichern erläutert, um ein Verständnis für die internen Abläufe im System zu vermitteln. Dies ermöglicht es, die Wirkung der Löschmethoden nachvollziehen zu können.

Der Aufbau von Lithium-Ionen-Energiespeichern ist äußerst vielschichtig und umfasst eine Reihe von komplexen Komponenten. Innerhalb der Batterie werden viele kleinere Akkus in Reihe geschaltet, wobei die inneren Zellen unterschiedliche Formen aufweisen können, darunter zylindrische, prismatische oder in Pouch-Formen. Eine "Pouch-Form" bei einem Akku bezieht sich auf die Bauform oder das Gehäuse des Akkus. Statt eines traditionellen Metallgehäuses, das in vielen herkömmlichen Batterien verwendet wird, wird bei einem Pouch-Akku ein flexibles, flaches Beutel- oder Taschengehäuse verwendet. Dieses Gehäuse besteht typischerweise aus einer laminierten Folie, die die internen Batteriekomponenten wie Elektroden und Elektrolyt umschließt. Diese einzelnen Zellen werden dann zu Modulen zusammengefasst, um die Batteriepakete zu bilden. Ein wesentlicher Bestandteil des Aufbaus ist das Gehäuse, das die Batterie sowie weitere Komponenten, einschließlich Kühlungselementen schützt, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Der Begriff "Li-Ionen-Energiespeicher" umfasst eine Vielzahl von Akkus und wird hauptsächlich in Fahrzeugen mit hoher Reichweite eingesetzt, während Nickel-Metall-

Hybrid-Akkus weniger verbreitet sind. Die Zellen des Li-Ionen-Energiespeichers sind mit einem Elektrolyten gefüllt, der aus organischen Lösungsmitteln, gelösten Leitsalzen und anderen Substanzen besteht. Es ist wichtig zu beachten, dass die organischen Lösungsmittel brennbar sind, während das Leitsalz Lithiumhexafluorophosphat enthält und, anders als vermutet, kein elementares Lithium. Daher ist Wasser als Löschmittel geeignet.

Parallelen zu Diesel- und Benzinfahrzeugen können gezogen werden, da auch hier brennbare Flüssigkeiten enthalten sind. Hybridfahrzeuge verwenden oft Nickel-Metall-Hydrid-Energiespeicher, da diese nicht die Kapazität für reine Elektroantriebe bieten, aber gleichzeitig weniger gefährlich sind. Ein zentrales Problem von Li-Ionen-Energiespeichern ist ihre Anfälligkeit gegenüber Überladung, Tiefenentladung, mechanischer Beschädigung und thermischer Beanspruchung.

Dies kann Kurzschlüsse hervorrufen, die wiederum Hitze erzeugen und dazu führen, dass das brennende Elektrolyt verdampft und über Druckentlastungsöffnungen abgeblasen wird, welches in geschlossenen Räumen explosionsfähige Gemische verursacht. Obwohl der Akku selbst nicht bersten kann, ist eine Kettenreaktion möglich, die als thermisches Durchgehen bekannt ist. Dabei können Elektrolytdämpfe zünden und zu Stichflammen, Lichtbögen und Graphitwolken führen, die giftig und krebserregend sind.¹²

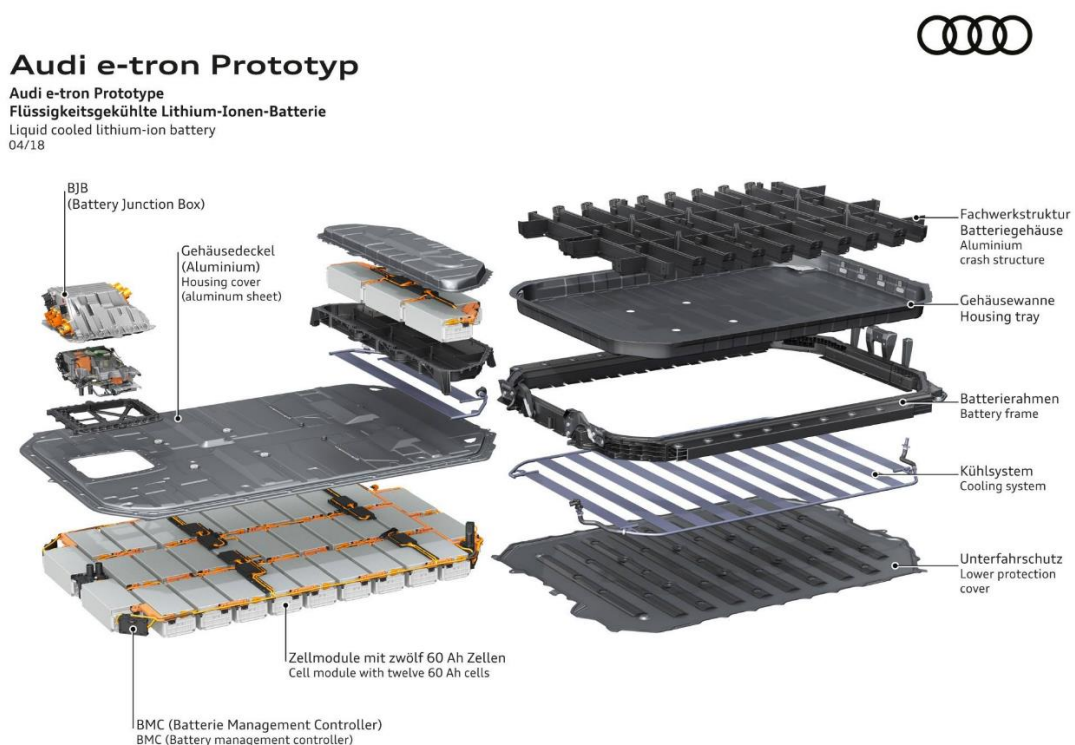


Abbildung 2: Li-Ionen-Energiespeicher Audi e-tron¹³

¹² Heck 2022, S. 32ff.

¹³ Bönnighausen 2018, o.S.

2.1.1 Alternative Fahrzeugantriebe mit Li-Ionen-Energiespeichern und ihre daraus resultierenden Gefährdungen

Um ein Verständnis für die Gefahren an der Einsatzstelle zu erlangen, wird im Folgenden auf diese eingegangen. Dies ermöglicht eine umfassende Beantwortung der Forschungsfrage im Hinblick auf die Sicherheit.

Der elektrische Motor eines Elektroautos wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um. Diese Energie wird im Li-Ionen-Energiespeicher des Fahrzeugs gespeichert. Der Elektromotor ist das Gegenstück zum Generator, da er elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt, während der Generator mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Ein Hybridantrieb tritt auf, wenn zwei verschiedene Motoren das Fahrzeug antreiben, wobei einer davon oft ein Elektromotor ist, während der andere ein konventioneller Verbrennungsmotor ist.¹⁴

In der modernen Automobiltechnik werden Akkus mit einem hohen Maß an Sicherheit integriert, um im Falle eines Unfalls potenzielle Risiken zu minimieren. Diese Integration gewährleistet nicht nur den Schutz der Akkumulatoren selbst, sondern auch eine Resistenz gegen äußere Einflüsse wie Spritzwasser, was als präventive Maßnahme gegen potenzielle Gefahren im Zusammenhang mit beschädigten Li-Ionen-Energiespeichern dient.



Abbildung 3: Aufbau Elektrofahrzeug mit Hochvoltbatterie im Fahrzeugboden¹⁵

Ein Schlüsselaspekt dieses Sicherheitskonzepts ist der Berührungsschutz, der dafür sorgt, dass kein Stromschlagrisiko besteht, solange das Fahrzeug nicht beschädigt ist. Es bleibt jedoch anzumerken, dass der Berührungsschutz auch nach einem Unfall intakt sein kann. Aus diesem Grund werden bei der Erkennung eines Unfalls in den meisten

¹⁴ Heck 2022, S. 10

¹⁵ ADAC 2023a, o.S.

Fahrzeugen automatisch Komponenten wie das Hochvoltsystem abgeschaltet. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass diese Abschaltungen oft mit der Steuerung von Airbags oder anderen Sicherheitssystemen verbunden sind und nur aktiviert werden, wenn diese ausgelöst wurden.

Nicht alle Unfälle können eindeutig erkannt werden. Einige Fahrzeugmodelle sind mit einem Trägheitsschalter ausgestattet, der bei bestimmten Überschreitungen die Systeme abschaltet. Die Präsenz solcher Schalter ist jedoch nicht von außen erkennbar. Infolgedessen dienen ausgelöste Airbags als Indiz dafür, dass die Antriebssysteme abgeschaltet wurden. Trotzdem sollte stets eine manuelle Abschaltung vorgenommen werden, um jegliche potenzielle Risiken zu minimieren.

Es sei angemerkt, dass moderne Sensorsysteme in der Regel Brände nicht erkennen können. Daher können brennende Fahrzeuge trotzdem mit dem System verbunden sein, insbesondere wenn kein Unfall vorausgegangen ist. Diese Überlegungen unterstreichen die Bedeutung eines umfassenden Sicherheitsansatzes, der stetig weiterentwickelt wird, um die Sicherheit der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Es ist zu beachten, dass der Druck in Li-Ionen-Energiespeichern im Gehäuse bei erhöhter Temperatur, insbesondere im Brandereignis, ansteigt und daraufhin über Überdrucköffnungen abgeleitet wird.¹⁶

Die Positionierung von Akkus in Fahrzeugen variiert je nach Typ und Größe des Akkus, sowie des Fahrzeugs. Bei Elektrofahrzeugen liegt der Li-Ionen-Energiespeicher oft im Bereich der Hinterachse, um das Gewicht gleichmäßig zu verteilen und die Fahrstabilität zu verbessern. Bei Fahrzeugen mit einem größeren Li-Ionen-Energiespeicher kann dieser auch in der Mitte des Fahrzeugs platziert sein.

Kleinere Akkus hingegen finden oft im Motorraum Platz, wo sie leichter zugänglich sind. Für Lastkraftwagen (LKW) ist es üblich, den Akku seitlich am Fahrgestell anzubringen. Dies ermöglicht eine effiziente Nutzung des verfügbaren Platzes. Bei Bussen hingegen befindet sich der Li-Ionen-Energiespeicher in der Regel auf dem Dach des Fahrzeugs.

Darüber hinaus verfügen einige Busse über einen Ultrakondensator, der zusätzliche Energie speichern kann. Diese Kondensatoren werden während der Fahrt aufgeladen, um bei der nächsten Beschleunigung die gespeicherte Energie bereitzustellen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Installation von Akkus in Fahrzeugen ist die Verlegung von Hochvoltkabeln im gesamten Fahrzeug. Diese Kabel sind für die sichere Übertragung von Strom zwischen den verschiedenen Komponenten des elektrischen Antriebssystems verantwortlich und müssen entsprechend den Sicherheitsstandards sorgfältig verlegt werden.¹⁷

Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind mit Spannungen zwischen 12 und 800 Volt ausgestattet. Schon eine Wechsellspannung von 25 Volt und eine Gleichspannung von 60 Volt stellen eine potenzielle Gefahr für Menschen dar. Insbesondere können

¹⁶ Heck 2022, S. 10ff.

¹⁷ Heck 2022, S. 26f.

Herzrhythmusstörungen auftreten, die im schlimmsten Fall zu einem Herzstillstand führen können.

Um diese Gefahren zu minimieren, sind in den Fahrzeugen Sicherheitseinrichtungen integriert, die im Falle eines Defekts oder eines Unfalls auslösen und somit Schutz bieten sollen.

Darüber hinaus dienen orangefarbene Kabel als Kennzeichnung für Hochvoltleitungen. Diese visuelle Kennzeichnung soll dazu beitragen, dass Personen, welche Wartungsarbeiten an den Fahrzeugen durchführen, die Gefahr von Hochspannungskomponenten erkennen und angemessen darauf reagieren können. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass Personen, die mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen arbeiten, über die Risiken und Sicherheitsmaßnahmen informiert sind, um Unfälle oder Verletzungen zu vermeiden.¹⁸

Zusätzlich zu den Sicherheitsmaßnahmen in Elektrofahrzeugen ist es wichtig zu erwähnen, dass das Hochvoltsystem durch einen Wartungsstecker aktiviert werden kann. Allerdings dürfen nicht alle Wartungsstecker von Rettungskräften verwendet werden.¹⁹

2.1.2 Photovoltaikanlagen und ihre resultierenden Gefährdungen

Für eine umfassende Vorbereitung auf potenzielle Einsatzszenarien mit Li-Ionen-Energiespeichern in PV-Anlagen werden in diesem Abschnitt die potenziellen Gefährdungen detailliert erörtert. Eine angemessene Sicherheit kann nur durch ein fundiertes Verständnis dieser Gefährdungen in Kombination mit geeigneten Löschmethoden gewährleistet werden.

Photovoltaikanlagen, eine immer häufiger anzutreffende Technologie zur Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht, bestehen aus PV-Modulen, die Solarzellen beherbergen. Diese Zellen wandeln Lichteinstrahlung in elektrische Spannung um, die anschließend durch Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Alternativ können Inselanlagen den erzeugten Strom in Akkumulatoren speichern und für verschiedene Zwecke nutzen.

Die PV-Module sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Es gibt sie entweder mit Rahmen oder rahmenlos, und sie verfügen über eine Glasabdeckung auf der Vorderseite, die als Schutz dient. Die Montagegestelle dieser Module sind fest mit dem Dach verbunden und erfüllen zusätzlich eine Funktion als Diebstahlschutz. Die Verkabelung der PV-Module wird in Generatoranschlusskästen zusammengeführt und von dort zum Wechselrichter geleitet, der je nach Gebäudesituation an verschiedenen Orten installiert werden kann.

¹⁸ Heck 2022, S. 27f.

¹⁹ Heck 2022, S. 31

Im Falle von Bränden oder technischen Notfällen an PV-Anlagen müssen spezifische Gefahrenpotenziale und entsprechende Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Gefahren können durch herabfallende Teile, Elektrizität und Atemgifte entstehen, weshalb präzise Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Die Feuerwehr greift dabei auf spezielle Gefahrenschemata und Maßnahmen gemäß DIN VDE 0132 zurück, die für Einsätze an elektrischen Anlagen relevant sind. Sowohl Personen als auch Geräte müssen vor den potenziellen Gefahren geschützt werden, die von PV-Anlagen ausgehen können, insbesondere vor elektrischen Gefährdungen.

Insgesamt erfordert die technische Komplexität von PV-Anlagen eine fundierte Herangehensweise bei der Brandbekämpfung und technischen Hilfeleistung, wobei ein umfassendes Verständnis der Anlagen sowie der spezifischen Risiken und Schutzmaßnahmen unerlässlich ist.²⁰

2.2 Einsatzgrundsätze bei Hybrid- und Elektroantrieben

Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden Einsatzprinzipien erläutert, die von Feuerwehren in Deutschland allgemein befolgt werden, wenn es um die Brandbekämpfung oder das präventive Löschen von Elektrofahrzeugen geht. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Erkundung und Identifizierung des Fahrzeugantriebs, sowie auf der Überprüfung von Schäden an Hochvoltbatterien. Des Weiteren wird die Sicherung des Fahrzeugs gegen Wegrollen, sowie die Deaktivierung des Fahrzeugs behandelt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Meiden von Gefahrenzonen, um das Risiko für Einsatzkräfte zu minimieren.

2.2.1 Verkehrsunfall ohne Brand

Die Untersuchung des Vorgehens bei Verkehrsunfällen ohne Brand ist von Bedeutung, da das Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern auch präventiv angewendet werden kann. Die rasche Identifizierung alternativer Antriebe gestaltet sich in den ersten Minuten als herausfordernd, dennoch sollten Einsatzkräfte diese Information frühzeitig erlangen. Hierbei bietet die Befragung des Fahrers einen ersten Ansatzpunkt. Zusätzlich sind äußere Erkennungsmerkmale, sowie der Motor- und Kofferraum sorgfältig zu erkunden. Die Abfrage des Kennzeichens bei der Leitstelle stellt dabei die sicherste Methode dar, um herauszufinden, ob ein alternativer Antrieb vorliegt. Ein eindeutiges äußeres Erkennungsmerkmal für alternative Antriebe existiert nicht.

Des Weiteren müssen auch andere bauliche Aspekte, die für den Einsatz relevant sind, erkundet werden. Diese Einsatzgrundsätze werden zwar nicht im Detail erläutert, jedoch

²⁰ Deutscher Feuerwehr Verband 2010, S. 6-17

als selbstverständlich vorausgesetzt. Über die Leitstelle kann dann ein Rettungsdatenblatt angefordert werden. Gegebenenfalls wurde dieses bereits durch den eCall, einen automatischen Anruf des Fahrzeugs, der durch den Unfall ausgelöst wird, übermittelt. Das Rettungsdatenblatt enthält alle erforderlichen Informationen zur Ermittlung der Antriebsart. Anschließend erfolgt die Anwendung der AUTO-Regel, welche als Gedankenstütze für die Einsatzkräfte dient, um den Einsatz mit alternativen Antrieben erfolgreich durchzuführen.

Zunächst wird das **A**ustreten von Betriebsstoffen erkundet, gefolgt von der Untersuchung des **U**nterbodens auf das Vorhandensein möglicher Hochvoltkabel. Dann wird der **T**ankdeckel untersucht, um Symbole zu identifizieren, die auf die Antriebsart hinweisen, sowie die Form des Einfüllstutzens. Abschließend wird die **O**berfläche des Autos erkundet, um gegebenenfalls Symbole zu finden, die Informationen zur Antriebsart liefern.

Es sei angemerkt, dass spezielle KFZ-Kennzeichen für Elektroantriebe keine Pflicht sind und für Nutzfahrzeuge nicht vorgesehen sind. Allerdings kann bei Vorhandensein eines E-Kennzeichens sicher davon ausgegangen werden, dass ein Li-Ionen-Energiespeicher verbaut ist.²¹

Die Prüfung einer Hochvoltbatterie auf mögliche Schäden ist von entscheidender Bedeutung, um potenzielle Risiken zu identifizieren. Hierbei kann das Rettungsdatenblatt als hilfreiches Instrument dienen, um zu überprüfen, ob sich an den beschädigten Stellen des Fahrzeugs eine Hochvoltbatterie befindet. Es ist wichtig zu betonen, dass die Gefahr, die von Li-Ionen-Energiespeichern ausgeht, unabhängig vom Fahrzeugzustand ist.

Im Falle einer Beschädigung der Hochvoltbatterie besteht die ernsthafte Gefahr, dass aus diesem Energiespeicher toxische und entzündbare Gase austreten, welche die Entstehung eines Brandes begünstigen könnten. Im Gegensatz dazu verfügen Nickel-Metall-Hydrid-Akkus nicht über brennbare Elektrolyte, welches ihre Sicherheit in solchen Situationen erhöht.²²

Jedoch muss die Batterie bei einer starken Beschädigung des Fahrzeuges oder einem Brand nicht zwangsläufig beschädigt sein²³. Es ist sogar eher unwahrscheinlich, dass die Batterie in Mitleidenschaft gezogen wird. Nichtsdestotrotz ist zu beachten, dass Brände auch lange nach der Beschädigung auftreten können, wie es etwa bei einem PKW der Fall war, der erst drei Wochen nach einem Crash Feuer fing. Diese Information ist für Abschleppunternehmen von entscheidender Bedeutung, um angemessen zu handeln.

Es ist wichtig zu betonen, dass nicht jede Beschädigung automatisch zu einem Brand führt. Ebenso bedeutet das Vorhandensein eines Brandes nicht zwangsläufig eine Beschädigung der Hochvoltbatterie, welches wiederum impliziert, dass eine erneute Entzündung nicht immer eintreten muss.

²¹ Heck 2022, S. 39-47

²² Heck 2022, S. 54-57

²³ Hellsten 2023, o.S.

Die Anzeichen für eine beschädigte Hochvoltbatterie können vielfältig sein, darunter sichtbare Reaktionen wie Rauchentwicklung, ungewöhnliche Geräusche wie Knistern oder Zischen, Funkenbildung und ein auffälliger Brandgeruch. Darüber hinaus kann eine Erwärmung der Hochvoltbatterie aufgrund innerer Reaktionen auftreten, die durch eine Wärmebildkamera (WBK) erfasst werden kann. Die dicke Verpackung der Batterie stellt jedoch eine Herausforderung dar, da eine genaue Messung mit der Wärmebildkamera nur bei längeren Beobachtungszeiträumen möglich ist.

Um die Gefahren vollständig zu erfassen, wird die Verwendung von Mehrgasmessgeräten empfohlen, da bei Beschädigung der Hochvoltbatterie verschiedene Gase wie Kohlenmonoxid, Methan, Wasserstoff und organische Carbonate entstehen können.²⁴

Ein Fahrzeug, das keine Betriebsgeräusche von sich gibt, kann trotzdem betriebsbereit sein, weshalb alle Fahrzeuge, die verunfallt sind, grundsätzlich gegen Wegrollen gesichert werden müssen. Dies geschieht durch das Unterlegen von Keilen unter die Räder, das Ziehen der Feststellbremse und bei Fahrzeugen mit Automatiktrieb das Einstellen des Schalters auf die Parkstellung (P). Ein entscheidender Aspekt hierbei ist, dass bei Fahrzeugen, die nicht mehr auf allen vier Reifen stehen, insbesondere bei solchen mit großen Hochvoltbatterien, berücksichtigt werden muss, dass diese den Schwerpunkt des Fahrzeugs beeinflussen können. Dies muss daher beim Sichern des Fahrzeugs bedacht werden.²⁵

Die Deaktivierung des Hochvoltsystems ist von entscheidender Bedeutung, um sicher an Fahrzeugen mit Hochvoltbatterien arbeiten zu können. Obwohl das Auslösen des Airbags die Systeme möglicherweise bereits abschaltet, sollte dennoch stets eine manuelle Abschaltung erfolgen, wie sie in den Rettungsdatenblättern beschrieben wird. Dabei stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung, wobei bei Elektro- und Hybridantrieben eine zusätzliche Option besteht.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Zündung auszuschalten, welches die Schutzrelais an der Hochvoltbatterie öffnet und gleichzeitig die Stromversorgung des Steuergeräts unterbricht. Dies verhindert auch ein unbeabsichtigtes Anspringen des Fahrzeugs während der Arbeit. Es ist jedoch wichtig zu überprüfen, ob sich durch das Ausschalten der Zündung Sitze oder andere Komponenten verstellen, weshalb der Schlüssel im Zündschloss verbleiben sollte. Alternativ kann das Bordnetz unterbrochen werden, weshalb das Risiko von Bränden oder Kurzschlüssen minimiert und ein ungewolltes Einschalten des Systems verhindert. Dabei ist darauf zu achten, ob die Warnblinkanlage noch funktioniert, da sie auf ein abgeschaltetes System hinweisen kann.

Im Falle eines Fahrzeugs mit Start-Stopp-Automatik kann diese betätigt werden, um das Fahrzeug auszuschalten. Es sollte jedoch nicht umgekehrt erfolgen, wenn das Fahrzeug bereits aus ist, wie durch vorhandene Kontrollleuchten erkennbar ist. Nach

²⁴ Heck 2022, S. 54-57

²⁵ Heck 2022, S. 64

beiden Methoden sollte dennoch immer das Bordnetz abgeklemmt werden, um ein Wiedereinschalten zu verhindern, obwohl das Hochvoltsystem oft verzögert abschaltet.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert das Hochvoltsystem während des Ladens, da es aktiv ist, selbst wenn das Fahrzeug inaktiv erscheint. Zudem sind die Sensoren zur Unfallerkennung deaktiviert. In diesem Fall ist das Trennen des Ladekabels vom Fahrzeug der wichtigste Schritt, wobei verschiedene Methoden gemäß den Rettungsdatenblättern beschrieben werden.

Das Abziehen des Steckers ist jedoch nur möglich, wenn das Fahrzeug entriegelt ist, um unbefugtes Entfernen zu verhindern. Sollte es nicht möglich sein, den Stecker vom Fahrzeug zu lösen, ist es erforderlich, die Ladestation zu deaktivieren. Dies ist in der Regel nur bei privaten Ladestationen möglich. Darüber hinaus kann auch von der Ladestation eine Gefahr ausgehen, insbesondere wenn sie beschädigt wurde.²⁶

Eine der herausragendsten Gefahren besteht darin, dass es zum Austritt von giftigen und brennbaren Gasen kommen kann. Diese Gase sind nicht nur reizend, sondern können auch ätzend wirken. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Entstehung eines Brandes, der eine ernsthafte Bedrohung darstellen kann.

Insbesondere im Falle einer Beschädigung der Hochvoltbatterie sind bestimmte Vorsichtsmaßnahmen unerlässlich. Es ist wichtig zu betonen, dass solange die Hochvoltbatterie nicht zerstört ist und keine internen Teile freiliegen, keine unmittelbare elektrische Gefahr für die Einsatzkräfte von ihr ausgeht. Dennoch ist es entscheidend, die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

Erstens sollte der Fahrzeuginnenraum kontinuierlich belüftet werden, selbst bei der Übergabe an den Abschleppdienst. Im Falle einer sichtbaren Beschädigung der Hochvoltbatterie ist es ratsam, diese mit Wasser zu kühlen, um potenzielle thermische Reaktionen zu verhindern.

Des Weiteren ist es wichtig, dass Einsatzkräfte auch dann Atemschutz tragen, wenn keine offensichtlichen Flammen am Fahrzeug sichtbar sind, da austretende Gase eingeatmet werden könnten, was gesundheitliche Risiken birgt.

Selbst wenn Abschaltssysteme vorhanden sind, muss das Vorgehen bei einer beschädigten Hochvoltbatterie angepasst werden. In diesem Fall geht von den freiliegenden Komponenten eine potenzielle elektrische Gefahr aus, und es ist erforderlich, ausschließlich mit elektrisch isolierter Ausrüstung zu arbeiten. Dies gilt auch dann, wenn elektrische Komponenten auf dem Boden liegen und von den Einsatzkräften aufgesammelt werden müssen.²⁷

Im Bereich der Elektromobilität ist es stets angebracht, von einer unter Spannung stehenden und voll aufgeladenen Hochvoltbatterie auszugehen. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Hochvoltbatterie von den Einsatzkräften nicht mechanisch beschädigt wird, solange sie intakt ist. Hierfür ist es unerlässlich, mithilfe

²⁶ Heck 2022, S. 65-80

²⁷ Heck 2022, S. 58f.

des Rettungsdatenblattes zu ermitteln, wo sich die Batterie befindet. Häufig ist sie im Bereich des Fahrzeugbodens angeordnet.²⁸

2.2.2 Fahrzeugbrände

Die Einsatzgrundsätze bei einem Verkehrsunfall (VU), ohne dass das Fahrzeug brennt, gelten leicht abgewandelt auch für Fahrzeugbrände. Sobald Flammen aus dem Fahrzeug schlagen, muss von einem Totalverlust des Fahrzeugs ausgegangen werden. In solchen Szenarien sollte daher eine risikoarme Taktik angewendet werden. Fahrzeugbrände stellen für die Einsatzkräfte eine Vielzahl von Gefahren dar. Diese können durch das Auslösen von Airbags, das Platzen von Reifen, den Zerknall von Gasdruckdämpfern oder die Reaktion von Löschwasser mit Leichtmetallen wie Magnesium in der Karosserie auftreten. Zudem besteht die Gefahr, dass brennende Fahrzeuge wegrollen. Bei Bränden werden vor allem Atemgifte durch Brandrauch freigesetzt. Außerdem kann bei einem Fahrzeugbrand nicht davon ausgegangen werden, dass die Abschaltmechanismen automatisch wirksam sind. Deshalb muss nach dem Löschen immer eine manuelle Deaktivierung erfolgen. Die Brandbekämpfung muss daher stets in vollständiger Persönlicher Schutzausrüstung (PSA) durchgeführt werden. Des Weiteren ist beim Löschen immer ein ausreichender Sicherheitsabstand einzuhalten. Nach dem Brand ist das Fahrzeug gemäß dem Rettungsdatenblatt zu deaktivieren. Die Einsatzgrundsätze umfassen zudem die Identifizierung des Fahrzeugantriebs, die Überprüfung von Schäden an der Hochvoltbatterie, das Sichern des Fahrzeugs gegen Wegrollen, die Durchführung der Brandbekämpfung und die Deaktivierung des Fahrzeugs.²⁹

Das Löschen von Bränden bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen erfordert eine differenzierte Herangehensweise. Entscheidend ist, ob der Li-Ionen-Energiespeicher vom Brand betroffen ist oder nicht. Bei Bränden ohne Einbeziehung der Hochvoltbatterie deutet die Brandursache auf externe Brandquellen hin. Nicht jeder Brand führt zwangsläufig zum Entflammen der Hochvoltbatterie. Für eine Reaktion des Li-Ionen-Energiespeichers bedarf es einer langen Hitzeeinwirkung oder einer starken mechanischen Beschädigung. Ein Brand, der die Hochvoltbatterie nicht tangiert, kann konventionell gelöscht werden, ohne dass zusätzliche Maßnahmen zur Kühlung des Li-Ionen-Energiespeichers erforderlich sind. Ein Beispiel hierfür könnte ein Brand im Motorraum sein, während sich der Li-Ionen-Energiespeicher im Kofferraum befindet.

Bei einem Brand, an dem die Hochvoltbatterie beteiligt ist, kann dieser sowohl durch interne als auch durch externe Ursachen entstehen. Durch eine erhebliche Hitzeeinwirkung kann der Hochvoltspeicher entzündet werden, was jedoch eine längere Vorbrandzeit erfordert. Diese Entzündung ist visuell und akustisch wahrnehmbar. Auch

²⁸ Heck 2022, S. 80

²⁹ Heck 2022, S. 82

mechanische Einwirkungen oder ein Kurzschluss der Hochvoltbatterie können zur Entzündung führen. Zu Beginn des Brandes werden brennbare Elektrolyte freigesetzt, was in geschlossenen Räumen zu einer explosionsartigen Gemischbildung führen kann. Wenn diese Elektrolyte entzündet werden, kann sich der Brand auf das gesamte Fahrzeug ausbreiten. Es ist wichtig anzumerken, dass diverse Brände von Li-Ionen-Energiespeichern während des Ladevorgangs aufgetreten sind. Ist der Li-Ionen-Energiespeicher in das Brandgeschehen involviert, erfordert die Brandbekämpfung eine abweichende Vorgehensweise im Vergleich zur konventionellen Methode.

Es ist zu beachten, dass eine Brandbekämpfung mit nicht invasiven Löschmodellen innerhalb der Hochvoltbatterie oft nur bedingt möglich ist, da das Löschwasser das Batterieinnere nicht erreicht. Studien haben ergeben, dass ohne eine gewisse Vorbrandzeit ein nicht entflammter oder thermisch beanspruchter Li-Ionen-Energiespeicher nicht brennt. Solange die Hochvoltbatterie nicht mechanisch beschädigt ist, besteht keine elektrische Gefährdung. Dennoch wird empfohlen, die Strahlrohrabstände einzuhalten, da das Hochvoltsystem nach Norm als elektrische Anlage betrachtet wird. Die Atemgifte bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern sind vergleichbar mit denen konventioneller Fahrzeugbrände, daher ist Atemschutz unerlässlich.

Bei Li-Ionen-Energiespeichern kann neben Schwermetallen auch Fluorwasserstoff (HF) freigesetzt werden, was die Bedeutung der Einsatzstellenhygiene unterstreicht. Die Wärmefreisetzung unterscheidet sich nicht von einem Vollbrand konventioneller Fahrzeuge. Das Löschwasser bei E-Fahrzeugbränden ist stark mit Schwermetallen (Kobalt, Nickel, Mangan) kontaminiert, was beim Brand von konventionellen Fahrzeugen nicht nachgewiesen werden konnte. Wasser ist als Löschmittel geeignet, während Netzmittel oder andere Zusätze die Löschwirkung möglicherweise erhöhen können.

Aufgrund der vorhandenen Hochvoltbatterie ist mit einem erhöhten Löschmittelbedarf und einer längeren Löschdauer zu rechnen, welche die Tragezeit eines einzelnen Atemschutzgeräteträgers (AGT) übersteigen kann. Ohne invasive Löschmodellen gestaltet es sich schwierig, Löschwasser in das Innere der Hochvoltbatterie einzubringen, was den hohen Wasserbedarf erklärt, der sich ausschließlich auf das Löschen ohne invasive Maßnahmen bezieht. Das Versenken von Hochvoltbatterien wirkt meist nur von außen kühlend. Vor der Anwendung eines invasiven Löschmodells war es notwendig, dass durch das Brandereignis ausreichend Löcher in der Hochvoltbatterie entstanden, damit das Löschwasser eindringen konnte, oder es musste gewartet werden, bis das brennbare Elektrolyt, im inneren der Li-Ionen-Energiespeicher, aufgebraucht war. Ein verzögertes Wiederentzünden des Hochvoltspeichers ist möglich, jedoch eher unwahrscheinlich³⁰. In einem Versuchszyklus trat eine verzögerte Wiederentzündung nach 22 Stunden auf.³¹

³⁰ Hellsten 2023, o.S.

³¹ Heck 2022, S. 86-89

2.3 Einsatzgrundsätze für Photovoltaikanlagen mit Batteriespeichersystemen

Die Einsatzgrundsätze für PV-Anlagen werden ebenfalls erläutert, um das aktuelle Vorgehen der Einsatzkräfte in Deutschland zu verdeutlichen. Dies ermöglicht eine Bewertung am Ende der Arbeit, ob ein Vorgehen mit invasiven Löschmodern bei Lithium-Energiespeichern sinnvoll ist oder inwieweit das Versenken dieser Speicher notwendig und angebracht ist.

Die Vorbereitung und Durchführung von Einsätzen im Zusammenhang mit Photovoltaikanlagen erfordert ein hohes Maß an Planung und Fachkenntnis. Dieser wissenschaftliche Text untersucht die verschiedenen Aspekte, die bei der Einsatzvorbereitung, -durchführung, -sicherung und -sicherheit zu berücksichtigen sind. Insbesondere werden die Empfehlungen an PV-Anlagenbetreiber, sowie die Schutzmaßnahmen nach dem Einsatz beleuchtet.

Die Erfassung vorhandener PV-Anlagen im Objekt ist ein wesentlicher Schritt, um den Einsatz effektiv zu planen und potenzielle Gefahren zu identifizieren. Die Überarbeitung von Feuerwehrplänen ermöglicht eine aktualisierte Dokumentation der Anlagen und ihrer Lage im Objekt. Darüber hinaus sollten Anlagenbesichtigungen für Einsatzkräfte angeboten werden, um diese mit der Technik und dem Aufbau von PV-Anlagen vertraut zu machen. Die Prüfung der eigenen Ausrüstung und Fachkenntnisse ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die Feuerwehr für den Einsatz gerüstet ist. Ein Rufnummernverzeichnis für Notfälle sollte erstellt werden, um im Ernstfall schnell handeln zu können.

PV-Anlagenbetreiber sollten einen Übersichtsplan der Anlage bereitstellen, der den Einsatzkräften schnell zeigt, wo sich spannungsführende Teile befinden. Hinweisschilder sollten angebracht werden, um die Anwesenheit einer PV-Anlage deutlich zu kennzeichnen. Die Einhaltung baurechtlicher Bestimmungen bei der Planung und Errichtung von PV-Anlagen ist unerlässlich, um vorbeugenden Brandschutz zu gewährleisten.

Bei der Durchführung des Einsatzes ist es wichtig, einen Überblick über die vorhandene PV-Anlage zu erhalten und beschädigte Anlagenbauteile zu lokalisieren. AC-Sicherungen sollten ausgeschaltet und gesichert werden, während bei Vorhandensein von DC-Freischaltern entsprechend gehandelt werden muss. Es müssen spezifische Regeln beachtet werden, wenn Löschmittel eingesetzt werden.

Die Abschaltung des PV-Systems ist erforderlich, wenn die Isolation beschädigt ist. Eine rechtzeitige Freischaltung ist bei längeren Einsätzen wichtig. Schaltheilungen dürfen nur von geeigneten Personen durchgeführt werden, um Gefahren zu vermeiden.

Sicherheitsabstände müssen eingehalten und potenziell unter Spannung stehende Bereiche gesichert werden. Die Herstellung der Spannungsfreiheit sollte durch eine Elektrofachkraft erfolgen, um Unfälle zu verhindern.

Die Einsatzstelle sollte nur im gesicherten Zustand verlassen werden. Alle relevanten Informationen sollten an die zuständige Person übergeben werden. Zerstörte PV-

Anlagenteile müssen entsprechend behandelt werden. Recyclingmöglichkeiten für beschädigte PV-Module sollten erkundet werden.

Die erfolgreiche Bewältigung von Einsätzen im Zusammenhang mit PV-Anlagen erfordert eine sorgfältige Planung, Durchführung und Nachbereitung. Durch die Einhaltung der empfohlenen Maßnahmen können potenzielle Risiken minimiert und die Sicherheit von Einsatzkräften und Anlagenbetreibern gewährleistet werden.³²

Die Präsenz von Hochvoltbatterien in Gebäuden, z.B. durch die Hochvoltbatterien von PV-Anlagen, führt zu besonderen Situationen, die sorgfältige Überlegungen erfordern. Es ist von entscheidender Bedeutung, zu überlegen, ob die Hochvoltbatterie aus dem Gebäude entfernt werden sollte, sobald dies sicher möglich ist. Dabei können Hilfsmittel wie Rangierhilfen oder Transportroller, die üblicherweise von Abschleppunternehmen genutzt werden, hilfreich sein. Ihr Einsatz zielt darauf ab, sowohl die Gefahren im Falle eines Brandes zu minimieren als auch die Kontamination durch Brandfolgeprodukte zu reduzieren.

Es ist von eminenter Wichtigkeit, zu betonen, dass das Abblasen unverbrannter Elektrolytdämpfe aus einer Hochvoltbatterie in geschlossenen Räumen zu einer erheblichen Explosionsgefahr führen kann.³³

2.4 Löschmethoden

Die Komplexität moderner Elektrofahrzeuge manifestiert sich nicht nur in ihrer innovativen Technologie, sondern auch in den Herausforderungen, die bei der Sicherheit und Brandbekämpfung auftreten können. Ein wesentlicher Aspekt ist das Verhalten von Hochvoltbatterien in Notfallsituationen. Hochvoltbatterien lassen sich nicht einfach abschalten. Das bedeutet, dass sie auch nach der Deaktivierung des Fahrzeugs ihr elektrisches Potenzial behalten. Diese Eigenheit erfordert eine differenzierte Herangehensweise bei der Brandbekämpfung, da herkömmliche Löschmethoden möglicherweise nicht ausreichend sind.³⁴

In diesem Kapitel wird eingehend auf die Vielfalt der Löschmethoden eingegangen, wobei besonderes Augenmerk auf ihre spezifischen Vorgehensweisen gelegt wird. Die Darlegung umfasst nicht nur die Löschmaßnahmen nach einem Brand, sondern auch die präventiven Ansätze zur Brandbekämpfung.

³² Deutscher Feuerwehr Verband 2010, S. 18-23

³³ Heck 2022, S. 95f.

³⁴ Heck 2022, S. 59

Die Einteilung von Löschmethoden in offensive und defensive Taktiken ist von entscheidender Bedeutung im Umgang mit Fahrzeugbränden, insbesondere solchen, die Hochvoltbatterien betreffen.³⁵

Insgesamt erfordert der effektive Umgang mit Bränden von Lithium-Ionen-Energiespeichern ein gut koordiniertes Zusammenspiel verschiedener taktischer Maßnahmen und Ressourcen, um die Sicherheit von Einsatzkräften und Bürgern zu gewährleisten.³⁶

2.4.1 Konventionelle Löschmethode mit C-Mehrzweck Strahlrohren

In diesem Kontext ist es von Interesse, die Vorgehensweise der französischen Taktik hervorzuheben, die auf die Verwendung von zwei Strahlrohren setzt.

Der Grund hierfür liegt in der präzisen Aufteilung der Aufgaben: Während ein Strahlrohr darauf abzielt, die Hochvoltbatterie zu kühlen und somit die potenzielle Ausweitung des Brandes zu minimieren, fokussiert sich das andere Strahlrohr auf die direkte Brandbekämpfung des Fahrzeuges. Diese Strategie gewährleistet eine effektive und zugleich sichere Vorgehensweise, die darauf abzielt, den Brand unter Kontrolle zu bringen, ohne die Gefahr einer Eskalation zu erhöhen.

Darüber hinaus empfiehlt die Taktik die Integration weiterer Hilfsmittel, wie Hydroschilder oder ähnliche Vorrichtungen, unter den betroffenen Fahrzeugen. Diese Maßnahme dient dazu, eine großflächige Verteilung von Wasser unter dem Fahrzeug zu ermöglichen, was wiederum dazu beiträgt, die Temperatur der Hochvoltbatterie weiter zu reduzieren und somit die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.³⁷

2.4.2 Präventives Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern

Die Bergung und Entsorgung von Elektrofahrzeugen nach einer Deformation oder einem Brand ohne sichtbare Anzeichen einer Reaktion der Hochvoltbatterie erfordert eine professionelle Herangehensweise. Spezialisierte Abschleppdienste sind darauf ausgerichtet solche Fahrzeuge sicher zu bergen. Dies geschieht entweder mithilfe geeigneter Transportfahrzeuge oder durch spezielle Transportcontainer, die im Bedarfsfall mit Wasser geflutet werden können. Ein gängiges Verfahren ist die Verpackung des Fahrzeugs in eine Löschdecke oder das Versenken in einen mit Wasser gefüllten Container, wie in den Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

³⁵ Heck 2022, S. 90

³⁶ Neumann 2023, o.S.

³⁷ Heck 2022, S. 90



Abbildung 4: Löschdecke zur Brandbekämpfung und präventiv Maßnahmen³⁸



Abbildung 5: Hochvolt-Container³⁹

³⁸ ADAC 2023b, o.S.

³⁹ Brand 2022, S. o.S.

Zusätzlich sind Quarantäneplätze für die abgeschleppten Fahrzeuge erforderlich. An diesen Plätzen muss gewährleistet sein, dass die Möglichkeit einer erneuten Brandentstehung minimiert oder im Notfall schnell reagiert werden kann. Die Dokumentation mittels eines Übergabeprotokolls zwischen den Einsatzkräften und dem Abschleppunternehmen ist von entscheidender Bedeutung, um den Zustand des Fahrzeugs bei der Bergung festzuhalten und entsprechende Handlungsempfehlungen zu dokumentieren.

Sollte keine spezialisierte Abschleppdienstleistung verfügbar sein, obliegt es der Feuerwehr, einzuspringen. Es sei hervorzuheben, dass die Feuerwehr diese Handlung lediglich im Rahmen ihrer unterstützenden Funktion ausführt, während die primäre Verantwortung für den Verkehrsunfall stets beim Verursacher verbleibt. Es ist zu beachten, dass bei einem Defekt der Hochvoltbatterie von einem Totalschaden ausgegangen werden kann. In solchen Fällen kann das Fahrzeug versenkt werden, um eine potenzielle Brandausbreitung zu verhindern, die andere Verkehrsteilnehmer gefährden könnte. Die Feuerwehr kann dabei behilflich sein, einen Behälter zum Versenken bereitzustellen oder einen sicheren Transport zu gewährleisten, der möglicherweise von einem Löschfahrzeug begleitet wird.

Es ist von großer Bedeutung, dass eine beschädigte Hochvoltbatterie als Gefahrgut behandelt werden muss. Dies gilt insbesondere, wenn die Batterie nicht aus dem Fahrzeug entfernt werden kann. Die Deaktivierung muss daher spätestens vom Abschleppunternehmen durchgeführt werden. Das Fahrzeug kann in der Quarantänestelle im Wasserbehälter verbleiben, um sich dort zu entladen.

Dieser Prozess bedeutet einen erheblichen logistischen Aufwand für die Einsatzkräfte und sollte nur dann angewendet werden, wenn es unumgänglich ist. Es ist zu betonen, dass das Versenken des Fahrzeugs dazu beiträgt, potenzielle weitere Entzündungen zu verhindern. Jedoch entsteht dabei das Problem der Kontamination von Kühlwasser, das zusammen mit der Batterie fachgerecht entsorgt werden muss, vergleichbar mit dem Löschwasser nach Bränden von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.⁴⁰

2.4.3 Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern nach dem Brand

In der heutigen Zeit stehen auf dem Markt diverse spezialisierte Container, Abrollbehälter oder Anhänger zur Verfügung, die sich insbesondere für die Brandbekämpfung eignen. Ein nachhaltiger Löscheffekt wird dabei durch das vollständige Eintauchen der Hochvoltbatterie in ein Wasserbad erzielt. Diese Methode erfordert jedoch, dass der Brand zunächst in einem Maße gelöscht wird, das eine sichere Bewegung des Fahrzeugs ermöglicht. Generell basiert auch hier das Prinzip darauf, dass das Löschwasser in beschädigte Lithium-Ionen-Energiespeicher eindringt und gleichzeitig die Entladung der Hochvoltbatterie initiiert wird.

⁴⁰ Heck 2022, S. 59-64

Es ist zu beachten, dass ein hoher logistischer Aufwand erforderlich ist und diese Taktik nur als letztes Mittel angewendet werden sollte, wenn keine andere Möglichkeit mehr besteht. Der Prozess verläuft dabei ähnlich wie bei einem Verkehrsunfall ohne Brand.⁴¹

Es sei angemerkt, dass herkömmliche Löschmulden oft nicht ausreichend groß sind, um Lithium-Ionen-Energiespeicher, die in Lastkraftwagen verbaut sind, sicher zu kühlen. Daher ist der Einsatz invasiver Methoden sinnvoll, insbesondere bei größeren Hochvoltbatterien, die nicht in Mulden versenkt werden können.⁴²

2.4.4 Invasive Löschmethode

In der gegenwärtigen Zeit zeigt sich eine breite Vielfalt an invasiven Löschmethoden auf dem Markt. Diese technologischen Vorrichtungen stellen eine innovative Lösung dar, um verschiedenen Anforderungen im Bereich des Brandschutzes gerecht zu werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese Arbeit nicht dazu dient sämtliche Marken aufzuzählen, sondern sich vielmehr darauf konzentriert, die verschiedenen Anwendungsformen dieser invasiven Löschanlagen zu präsentieren.

2.4.4.1 E-Löschlanze

Eine Technologie, die im Einsatz ist, sind die sogenannten E-Löschlanzen. Diese Lanzen werden mit einem einzigen Schlag in die Hochvoltbatterie eingeführt, während gleichzeitig Wasser in die Batterie fließt. Experimente haben gezeigt, dass durch dieses gezielte Einbringen von Löschwasser, Brände innerhalb der Hochvoltbatterie erfolgreich bekämpft werden können, wobei deutlich weniger Wasser benötigt wird.

Die Effektivität dieser Methode ist unbestreitbar, jedoch wirft sie gewisse Bedenken auf. Das Einbringen der Lanze widerspricht den Anweisungen der Fahrzeughersteller, die darauf bestehen, dass das Batteriegehäuse unter keinen Umständen beschädigt werden sollte. Darüber hinaus bleibt das Risiko einer elektrischen Gefährdung bestehen. Aufgrund dieser Faktoren wurde das Nutzen solcher Löschlanzen lange Zeit nicht empfohlen. Diese Bedenken bezogen sich jedoch hauptsächlich auf handgeführte Lanzen und nicht auf ferngesteuerte Varianten.

Es ist wichtig anzumerken, dass nur eine beschädigte Li-Ionen-Energiespeicherzelle durchstoßen werden darf, damit die Lanze effektiv eingesetzt werden kann. Andernfalls besteht die Möglichkeit, dass die Hochvoltbatterie durch das Einbringen der Lanze unerwünschte Reaktionen auslöst.⁴³

⁴¹ Heck 2022, S. 94

⁴² Neumann 2023, o.S.

⁴³ Heck 2022, S. 93f.

2.4.4.2 Schneid-Löschsystem

Die Schneid-Löschtechnik ist eine innovative Methode zur effektiven Brandbekämpfung von Li-Ion-Energiespeichern, insbesondere in Elektrofahrzeugen. Diese Technik bietet eine Vielzahl von Vorteilen, darunter die Möglichkeit für Feuerwehrleute, heiße Brandgase sicher von außerhalb des Brandraums zu kühlen. Durch einen Hochdruck-Wasserstrahl, der mit Abrasiv kombiniert wird, können alle bekannten Baustoffe schnell durchdrungen werden. Dabei entsteht ein kleines durchbohrtes Loch. Ein feiner Wassernebel erzeugt eine große effektive Oberfläche, um die Brandgase äußerst effektiv zu kühlen. Trotz der hohen Leistung verbraucht das Schneid-Löschsystem nur etwa 30-60 Liter Wasser pro Minute.

Wissenschaftliche Studien bestätigen, dass das Eindringen von Wasser in den Li-Ionen-Energiespeicher die einzige Möglichkeit ist, eine im Thermal Runaway befindliche Hochvoltbatterie zu stoppen. Erste Tests bei einem Automobilhersteller in Tschechien zeigten vielversprechende Ergebnisse. Hier wurde das Schneid-Löschsystem aus Schweden dazu genutzt, Flammen und giftigen Rauch zu unterdrücken und die Kühlung von innen durchzuführen. Über 20 Akkupacks wurden erfolgreich mit der Schneid-Löschtechnik getestet, wobei sowohl Tests mit als auch ohne Additive durchgeführt wurden.

Es ist wichtig zu beachten, dass das Schneid-Löschsystem keine elektrische Gefahr darstellt, solange das Fahrzeug nicht an der Ladesäule oder an einem anderen Ladepunkt angeschlossen ist.

Die Tests zeigten, dass das Eindringen von Wasser in die Akkupacks und die gezielte Kühlung der Zellen eine effektive Methode darstellt, um die Ausbreitung von Bränden zu stoppen. Die Methode des Flutwasser-Batteriepacks wurde erfolgreich validiert, und die Identifizierung von Hot Spots mittels Wärmebildkameras erwies sich als äußerst nützlich. Die Schneid-Löschtechnik kann vielseitig eingesetzt werden, von der Brandbekämpfung in Elektrofahrzeugen bis hin zu Dachbodenbränden oder Industriebränden.

Es ist wichtig, die Sicherheitsaspekte bei der Anwendung der Schneid-Löschtechnik zu berücksichtigen, einschließlich der Verwendung von geeigneter Schutzausrüstung und der Durchführung einer umfassenden Risikoanalyse. Empfohlen wird außerdem, das Schneid-Löschsystem nur dann einzusetzen, wenn bereits Flammen sichtbar sind, und auf den Einsatz von Abrasiv zu verzichten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Warnung vor explosivem Rauch.

Insgesamt hat sich die Schneid-Löschtechnik als eine äußerst effektive Methode zur Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern erwiesen, wobei die Sicherheit der Einsatzkräfte stets im Vordergrund steht.⁴⁴

⁴⁴ Hellsten 2023, o.S.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von invasiven Löschsystemen und anderen Technologien in der Brandbekämpfung ist von entscheidender Bedeutung, um die Sicherheit der Feuerwehrleute zu gewährleisten und Brände effizient zu bekämpfen. Durch Schulungen, Forschung und den Austausch bewährter Praktiken kann die Brandbekämpfung weiter verbessert und das Risiko für Feuerwehrleute verringert werden.

Die Zukunft der Brandbekämpfung liegt in innovativen Technologien und einem ganzheitlichen Ansatz zur Sicherheit und Gesundheit der Feuerwehrleute. Das Schneid-Löschsystem ist dabei ein wichtiges Werkzeug, das Sicherheit und Effizienz vereint und die Brandbekämpfung in vielfältiger Weise unterstützt.⁴⁵

Zudem kann das Schneid-Löschsystem mithilfe einer hochentwickelten Funkfernsteuerung präzise gesteuert werden, wobei diese Steuerungseinheit fein abgestimmte Signale an die Handlanze sendet, um eine reibungslose und effiziente Navigation sowie gezielte Einsätze zu ermöglichen.⁴⁶

Die Sicherheit der Einsatzkräfte steht an erster Stelle, und daher ist es unerlässlich, vor jedem Einsatz eine gründliche Risikobewertung durchzuführen. Diese Bewertung ermöglicht es, fundierte Entscheidungen bezüglich Taktik, Technologie und Sicherheit zu treffen, um sicherzustellen, dass der Einsatz erfolgreich und die Einsatzkräfte geschützt sind.

Für den Einsatz des Schneid-Löschsystems ist eine umfassende PSA von entscheidender Bedeutung. Diese PSA umfasst die Schutzhülle am Gerät, einen Helm, Gehörschutz, Visier oder Maske, Feuerwehr-Einsatz-Schutzkleidung, Handschuhe und Sicherheitsschuhe. Diese Schutzausrüstung bietet einen umfassenden Schutz gegen potenzielle Gefahren, denen die Einsatzkräfte während des Einsatzes begegnen könnten.

Es ist von größter Wichtigkeit, dass alle Einsatzkräfte die korrekte PSA tragen und strikt die Sicherheitsanweisungen befolgen. Dies gewährleistet nicht nur ihre eigene Sicherheit, sondern trägt auch dazu bei, Unfälle und Verletzungen während des Einsatzes zu vermeiden. Durch eine strenge Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen können die Einsatzkräfte effektiv arbeiten und gleichzeitig das Risiko von Zwischenfällen minimieren.⁴⁷

Durch optimierten Wassereinsatz lässt sich nicht nur die Einsatzzeit verkürzen, es können auch Ressourcen eingespart werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass weniger Löschwasserverbrauch zu weniger anfallendem kontaminiertem Löschwasser führt, welches gegebenenfalls hinterher aufwändig entsorgt oder nachbehandelt werden muss.

⁴⁵ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

⁴⁶ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

⁴⁷ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

Die genaue Bestimmung des Ausbreitungsgrades während eines Brandes ist herausfordernd und wird durch externe Faktoren wie Temperatur, Rauch und Geräusche beeinflusst. Zusätzlich spielen interne Faktoren wie Zellchemie, Ladestand und Batteriearchitektur eine wichtige Rolle bei der Brandentwicklung.

Die Analyse von Rettungsblättern und des Emergency Response Guide (ERG) ist entscheidend für die Einsatzplanung. Erfolgreiche Tests haben gezeigt, dass das Batteriepack erreichbar ist und die Brandbekämpfung möglich ist.

Es ist jedoch wichtig, die potenzielle Restenergie im Batteriepack zu berücksichtigen, da dies zu Wiederaufflammungen führen kann. Eine umfassende Risikoabschätzung und entsprechende Sicherheitsvorkehrungen sind daher unerlässlich.

Diese Faktoren verdeutlichen die Komplexität der Brandbekämpfung bei Li-Ionen-Energiespeicherbränden und betonen die Bedeutung einer ganzheitlichen Herangehensweise für eine effektive Eindämmung und Minimierung von Gefahren.⁴⁸



Abbildung 6: Schneid-Löschsysteem im Einsatz⁴⁹

Ein vorgeschlagener Plan für den Einsatz in Umgebungen mit geringem Risiko umfasst spezifische Funktionen und die entsprechende Ausrüstung.

Die vorgesehenen Funktionen während eines solchen Einsatzes umfassen den Einsatzleiter, den Bediener, den Sekundant, den Bediener des Strahlrohrs und den Fahrer. Jede dieser Rollen ist entscheidend für eine effektive und koordinierte Reaktion.

Die erforderliche Ausrüstung beinhaltet Atemschutzgeräte, persönliche Schutzausrüstung, das Schneid-Löschsysteem zur gezielten Brandbekämpfung, Schläuche, eine Wärmebildkamera und eine Überdruckbelüftung siehe Abbildung 6.

⁴⁸ MSB 2023, S. 39

⁴⁹ Cold Cut Systems 2023, S. 1

Diese Ausstattung ermöglicht es den Einsatzkräften, sicher und effektiv zu arbeiten, während sie potenzielle Gefahren minimieren.

Darüber hinaus ist es wichtig, zusätzliche Ausrüstung gemäß den örtlichen Vorschriften bereitzuhalten, um den Einsatz an die spezifischen Gegebenheiten anzupassen und sicherzustellen, dass alle erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden können.

Die effektive Koordination von Funktionen und die Bereitstellung geeigneter Ausrüstung sind entscheidend, um einen sicheren und erfolgreichen Einsatz bei Elektrofahrzeugbränden zu gewährleisten. Dies erfordert kontinuierliche Schulungen und die Anpassung an neue Entwicklungen und Erkenntnisse auf diesem Gebiet.⁵⁰

Die Euro-Rescue-App ermöglicht den Zugriff auf Fahrzeugdaten. Dies ist bei der Planung des Einsatzes hilfreich. Beim Annähern an das Fahrzeug ist es wichtig, das Teilen des Stromkreises der Traktionsbatterie zu vermeiden, um potenzielle Gefahren zu minimieren.

Die Überwachung des Fortschritts während des Einsatzes kann mit Hilfe einer Wärmebildkamera erfolgen. Das Ziel des Angriffs mit dem Schneid-Löschsystem besteht darin, die Traktionsbatterie unter 50 °C abzukühlen und die Temperatur zu stabilisieren. Auch nach dem Löschen des Feuers muss die Traktionsbatterie kontinuierlich überwacht werden, um mögliche erneute Entzündungen zu verhindern.

Eine Anpassung des taktischen Vorgehens bei herkömmliche Fahrzeugbrandbekämpfungen ist ebenfalls wichtig, wobei das Schneid-Löschsystem für einen schnellen und effizienten Zugriff mit begrenzter Wassermenge verwendet wird. Die Lokalisierung von Hotspots mit der Wärmebildkamera ermöglicht eine gezielte Anwendung des Schneid-Löschsystems mit zusätzlicher Wasserquelle.

Die Handlankenverlängerung wird eingesetzt, um einen optimierten Angriff von außerhalb des Fahrzeugs zu ermöglichen, während die Kommunikation zwischen den Teammitgliedern die optimale Positionierung der Schneid-Löschsystem-Lanze sicherstellt. Gleichzeitig wird durch die Verwendung der Handlanze der Abstand zwischen dem Lanzenbediener und dem Fahrzeug vergrößert, wodurch der Kontakt zwischen dem Lanzenbediener und dem Fahrzeug nahezu ausgeschlossen wird. Somit wird der Lanzenbediener nicht in das elektrische System Batterie-Fahrzeug eingebunden.

Mit entsprechendem Wissen und Übung können Brände von Elektrofahrzeugbatterien kontrolliert werden, wobei die Vorteile des Schneid-Löschsystems, wie die Begrenzung von Wasserschäden im Vergleich zu herkömmlichen Methoden, der niedrige Wasserverbrauch und die flexible Nutzung, zum Tragen kommen. Die Ergonomie und einfache Bedienung machen das Schneid-Löschsystem zu einem vielseitigen Werkzeug für verschiedene Brandszenarien und Fahrzeugtypen. Schulungen bieten die Möglichkeit für einen sicheren und effektiven Einsatz dieses Instruments.⁵¹

⁵⁰ Cold Cut Systems 2023, S. 3

⁵¹ Cold Cut Systems 2023, S. 4f.

2.4.5 Defensive Taktik

Eine defensive Taktik setzt voraus, dass die Umgebung des brennende Objekts dies auch zulässt und dort keine anderen Erwägungen, z.B. Schutz des höherwertigen Gutes, eine defensive Taktik ausschließt. Die Leitlinie hier ist das kontrollierte Brennen lassen. Es könnte auch in Betracht gezogen werden, Hochvoltbatterien kontrolliert abbrennen zu lassen. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass dies nur dann sinnvoll ist, wenn dabei nicht das gesamte Fahrzeug in Brand gerät, sondern der Brand durch konventionelle Methoden auf den Li-Ionen-Energiespeicher begrenzt wurde und herkömmliche Lösversuche erfolglos waren. Es ist daher zu erwarten, dass im Li-Ionen-Energiespeicher im Laufe der Zeit durch das Brandereignis Löcher entstehen, durch die beim Versenken Löschwasser eindringen kann. Dabei ist es derzeit noch nicht möglich zu beschreiben, wieviel Zeit das Abbrennen lassen in Anspruch nehmen kann.⁵²

2.4.6 Maßnahmen im Anschluss an die Brandbekämpfung

Die Gefahr einer verzögerten Wiederentzündung der Hochvoltbatterie stellt eine bedeutende Herausforderung dar und erfordert eine angemessene Nachbeobachtung des Li-Ionen-Energiespeichers nach der Brandbekämpfung. Diese Phase ist von entscheidender Bedeutung, da weiterhin bestehende Reaktionen durch Rauch oder Wärmeentwicklung die potenzielle Notwendigkeit des Feuerwehreinsatzes signalisieren. Sobald der Brand erfolgreich bekämpft wurde, bleibt jedoch die Möglichkeit einer Wiederentzündung, die mit äußerster Vorsicht behandelt werden muss. Diese Vorgehensweise ist in Kapitel 2.4.2 über das präventive Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern detailliert erläutert.⁵³

2.5 Taktisches Vorgehen der Feuerwehr Hamburg bei Bränden von Li-Ionen- Energiespeichern

Das taktische Vorgehen der Feuerwehr Hamburg wird hier erläutert, um zu untersuchen, inwieweit das Schneid-Löschsystem als bestehende Technik der Feuerwehr Hamburg, als effektive Methode angesehen wird. Dabei wird der aktuelle Einsatz des Schneid-Löschsystems analysiert, um mögliche Verbesserungen zu identifizieren.

Derzeit befindet sich das invasive Löschsystem auf einem Abrollbehälter der Technik- und Umweltwache. Dieser Abrollbehälter wird auf Anforderung des Einsatzleiters zum

⁵² Heck 2022, S. 94f.

⁵³ Heck 2022, S. 95

Einsatzort gebracht. Die genaue Positionierung des Abrollbehälters an der Einsatzstelle ist oft noch unklar, wobei es von großer Bedeutung ist, dass er nicht unmittelbar an die vorderste Front des Einsatzortes gebracht wird.

Zusätzlich zur Bereitstellung des Abrollcontainers wird die Freiwillige Feuerwehr Eppendorf oder je nach Zuordnung durch das Einsatzleitsystem, die Freiwillige Feuerwehr Warwisch herangezogen, um die Einheit personell zu unterstützen. Eppendorf ist für den Nordwesten der Stadt und Warwisch für den Bereich der Vier- und Marschlande zuständig. Beide Wehren verfügen über ein Löschfahrzeug und einen Gerätekraftwagen 1 (GKW 1) mit Feuerwehranhänger-Lichtmast (FwA-LiMa), sodass der gesamte Zug für das invasive Löschesystem aus dem Abrollcontainer, einem Löschfahrzeug und einem GKW 1 mit FwA-LiMa besteht.

Die Frage nach der Bereitstellung des invasiven Löschesystems auf einem separaten Fahrzeug in der Größe eines Kleintransporters steht im Raum. Es wird angestrebt, mehrere solcher Fahrzeuge im Stadtgebiet zu positionieren, um auf eine Vielzahl von Einsatzszenarien vorbereitet zu sein.

Eine weitere Idee besteht darin, das invasive Löschesystem nicht auf Fahrzeugen ähnlich einem Kleintransporter zu verlasten, sondern auf einen Pick-up. Es ist zu erwägen, Fahrzeuge aus dem Bestand der Feuerwehr Hamburg zu verwenden. Diese Fahrzeuge, hätten den Vorteil, dass die Einsatzbereitschaft des invasiven Löschesystems schneller und kontinuierlich gewährleistet wäre. Im Gegensatz steht die derzeitige Situation mit dem Abrollcontainer, der im Winter längere Rüstzeiten erfordert, da dieser nicht im Warmen stehen kann.

Zur Flexibilität des Systems ist das invasive Löschesystem auf dem Abrollcontainer zusätzlich auf einem Rollwagen verlastet, um an der Einsatzstelle mobil zu sein. Dort gibt es eine klar gekennzeichnete Führungskraft für das invasive Löschesystem, die zur Erkennung mit einer Weste ausgestattet ist, welche auf dem Rollwagen verlastet ist.

Für das Personal der Fahrzeuge, die zuerst ohne das invasive System an der Einsatzstelle eintreffen, ist eine zusätzliche Schulung zur konventionellen Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen (E-Fahrzeugen) von großer Bedeutung. Dies beinhaltet auch das Abschalten der Fahrzeuge, für das die Feuerwehrleute mit den entsprechenden Rettungsdatenblättern vertraut sein müssen.

Die Feuerwehr Hamburg verfügt derzeit nicht über spezielle Vorrichtungen zum Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern. Stattdessen kühlt sie die Akkus konventionell mit Strahlrohren herunter oder verwendet das Schneid-Löschesystem.

Die taktischen Maßnahmen bei Wohnungsbränden sind von zentraler Bedeutung und gewinnen auch bei der Bekämpfung von Bränden in Photovoltaik-Anlagen an Relevanz. Bisher fehlt jedoch ein einsatzspezifisches Konzept für Brände von PV-Anlage mit Li-Ionen-Energiespeicher.⁵⁴

⁵⁴ Neumann 2023, o.S.

2.6 Tätigkeitsbereich der Feuerwehr Hamburg

Des Weiteren wird das Einsatzgebiet der Feuerwehr Hamburg erläutert, um zu verstehen, warum eine effektive Methode zur Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern ermittelt werden soll. Wie in vielen Großstädten gibt es auch in Hamburg zahlreiche Orte, an denen die Feuerwehr auf Li-Ionen-Energiespeicher stoßen kann.

Die Feuerwehr Hamburg fungiert als vielseitige Einsatzkraft, deren Tätigkeitsfeld von der Brandbekämpfung über technische Hilfestellungen bis hin zu Umweltschutzmaßnahmen reicht. Ihre Verantwortung liegt in der Gewährleistung der Sicherheit und des Schutzes der Bürgerinnen und Bürger Hamburgs in diversen Szenarien, darunter Brandbekämpfung, technische Hilfe bei Verkehrsunfällen, Rettung von Personen aus Notsituationen, Tierrettungen, und Umweltschutzmaßnahmen wie etwa Ölspurbeseitigung.⁵⁵

Besonders relevant ist die Thematik der Akkubrände, mit der die Berufsfeuerwehr Hamburg in verschiedenen Kontexten konfrontiert sein kann:

Dies ist in Brandfällen mit Li-Ionen-Energiespeicher in elektronischen Geräten, wie Smartphones, Laptops, Tablets, Elektrofahrzeugen oder anderen batteriebetriebenen Geräten, der Fall.

In Industrie- oder Gewerbegebieten, in denen große Mengen Li-Ionen-Energiespeicher oder andere Akkutypen gelagert werden.

Bei Bränden in Recyclingzentren oder Abfallanlagen, wo elektronische Geräte mit Batterien entsorgt werden.

Bei Transportunfällen, insbesondere wenn Fahrzeuge mit Li-Ionen-Energiespeichern oder anderen Akkus beteiligt sind, was potenziell zu Bränden führen kann.

Hamburg, als eine bedeutende Großstadt Deutschlands, beherbergt eine beträchtliche Anzahl von Kraftfahrzeugen, die täglich auf ihren Straßen unterwegs sind. Dies ist insbesondere auf die verkehrsgünstige Lage an der Elbe sowie auf die gut ausgebaute Infrastruktur zurückzuführen, die den Autoverkehr in und um die Stadt erleichtert.

Ein zentraler Bestandteil des Hamburger Verkehrsnetzes ist der Elbtunnel, der die beiden Ufer der Elbe miteinander verbindet und eine wichtige Verkehrsader darstellt. Dieser Tunnel ermöglicht es Fahrzeugen, schnell und effizient zwischen den Stadtteilen auf beiden Seiten des Flusses zu pendeln und trägt somit maßgeblich zur Mobilität in der Metropolregion bei.

Darüber hinaus sind zwei Autobahnen, die A7 und die A1, von entscheidender Bedeutung für den Autoverkehr in Hamburg. Die A7, als eine der längsten Autobahnen Deutschlands, verläuft durch das Stadtgebiet und dient als wichtige Nord-Süd-Verbindung, während die A1 eine bedeutende Ost-West-Route bildet. Diese Autobahnen

⁵⁵ Feuerwehr Hamburg 2022, S. 21-24

sind stark frequentiert und dienen als Hauptverkehrsadern für Pendler, Lieferverkehr und den Transit durch die Stadt.

Die Präsenz dieser Verkehrswege, kombiniert mit der wirtschaftlichen Dynamik und dem urbanen Lebensstil, führt dazu, dass Hamburg eine große Anzahl von Autos beherbergt, die täglich auf den Straßen unterwegs sind. Trotz Bemühungen um den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs und der Förderung alternativer Mobilitätskonzepte bleibt das Auto ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrslösungen in dieser lebendigen Großstadt.

Der Hamburger Hafen, als einer der größten Containerhäfen Europas und ein bedeutender Umschlagplatz für Waren weltweit, birgt ein erhöhtes Risiko im Umgang mit Akkus aufgrund mehrerer Faktoren.

Im Transport: Container im Hamburger Hafen können eine Vielzahl von Produkten beherbergen, darunter solche mit Lithium-Ionen-Akkus. Bei unsachgemäßer Handhabung oder Beschädigung besteht ein Brandrisiko.

In der Lagerung: Große Mengen an Waren, auch solche mit Lithium-Ionen-Akkus, werden im Hafenbereich gelagert. Dies erhöht das Risiko von Akkubränden aufgrund von Beschädigungen, Überhitzung oder anderen Faktoren.

Im Schiffsverkehr: Neben dem Containerumschlag transportieren Schiffe ebenfalls Waren mit Lithium-Ionen-Akkus. Dies birgt das Risiko von Bränden an Bord durch technische Defekte, Kurzschlüsse oder andere Ursachen.

Elektrisch betriebene Schiffe oder Hybrid-Schiffe nutzen Akkus oder Batterien als Energiequelle, um die Motoren anzutreiben. Diese Art von Schiffen wird oft in Küstengewässern, Flüssen oder Seen eingesetzt, wo die Strecken überschaubar sind und die Ladeinfrastruktur verfügbar ist. Elektro- oder Hybrid-Schiffe tragen dazu bei, den Treibstoffverbrauch zu senken und die Emissionen von Schadstoffen wie Kohlendioxid, Stickoxiden und Feinstaub zu reduzieren. Während sie bisher vor allem in kleinerem Maßstab eingesetzt werden, gibt es Bemühungen, die Technologie weiter zu verbessern und auch für größere Schiffe und den Hochseeverkehr nutzbar zu machen.

Durch industrielle Aktivitäten: Neben seiner Funktion als Logistikzentrum beherbergt der Hamburger Hafen verschiedene Industrieanlagen und Unternehmen, die Batterien und Akkus in ihren Betriebsabläufen verwenden. Dies stellt ebenfalls ein potentiell Risiko dar.

In Anbetracht dieser Sachverhalte ist es von höchster Wichtigkeit, dass die Feuerwehr Hamburg über entsprechende Ressourcen und Fachkenntnisse verfügt, um effektiv auf Akkubrände zu reagieren und die Sicherheit sowohl im Hafen als auch in der gesamten Stadt zu gewährleisten.

2.7 Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes

Die Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und der Deutsche Feuerwehrverband sind Organisationen, die sich für die Belange der Feuerwehren in Deutschland einsetzen. Die Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren vertritt die Interessen der Berufsfeuerwehren, während der Deutsche Feuerwehrverband die Gesamtinteressen der Feuerwehren in Deutschland vertritt, einschließlich der Freiwilligen- und Werkfeuerwehren. Somit ist es von großem Interesse für diese Arbeit, die Einschätzung dieser Verbände zu Li-Ionen-Energiespeichern zu erläutern und in die Beurteilung miteinzubeziehen.

2.7.1 Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien

Die Verbreitung von Lithium-Ionen-Energiespeichertechnologien in Elektrofahrzeugen hat die Notwendigkeit einer Überarbeitung der Sicherheitsrichtlinien hervorgebracht, insbesondere hinsichtlich potenzieller Brandgefahren. Eine definitive Festlegung von geeigneten Sicherheitskonzepten gestaltet sich gegenwärtig schwierig, bedingt durch die Vielfalt und rasante Weiterentwicklung dieser Technologien.

Die potenziellen Gefahren für Brände und Unfälle im Zusammenhang mit Lithium-Ionen-Energiespeichern können aus mechanischer Beschädigung, elektrischer Überlastung oder thermischer Beanspruchung resultieren. Trotz dieser Risiken gelten Lithium-Ionen-Speichermedien unter der Bedingung einer sorgfältigen Herstellung, Zertifizierung der Systeme und angemessenen Handhabung als sicher.

Im Falle eines Brandes können herkömmliche Methoden zur Brandbekämpfung angewendet werden, wobei Wasser als bevorzugtes Löschmittel empfohlen wird. Es ist jedoch essenziell, dass die Feuerwehr effektive Löschmaßnahmen durchführt und gleichzeitig die Wärmeentwicklung des Speichermediums überwacht.

Ein direkter Ausbau der Batterien aus ihren Gehäusen wird in der Regel nicht empfohlen, da dies zusätzliche Gefahren birgt. Stattdessen kann eine frühzeitige Kühlung der Batterie dazu beitragen, das sogenannte "thermische Durchgehen" zu verhindern.

Elektrische Gefahren erfordern die strikte Einhaltung spezifischer Sicherheitsstandards. Dabei ist die Verwendung persönlicher Schutzausrüstung gemäß EN 469 und unabhängiger Atemschutz unerlässlich, insbesondere aufgrund der potenziellen Entstehung krebserregender Stoffe bei Bränden.

In Anbetracht der Komplexität und Dynamik der Lithium-Ionen-Batterietechnologien ist eine fortlaufende Anpassung der Sicherheitsmaßnahmen unumgänglich, um eine sichere Nutzung in Elektrofahrzeugen zu gewährleisten.⁵⁶

⁵⁶ FA VB/G 2018, S. 1f.

Die Produktion und der Betrieb von Elektrofahrzeugen, einschließlich Hybridfahrzeugen, erfolgen gemäß strenger Standards, die darauf abzielen, potenzielle Fehler auf ein Minimum zu reduzieren. Zertifizierte Elektrofahrzeuge zeichnen sich durch orangefarbene Kennzeichnungen an unter Spannung stehenden Teilen aus und verwenden zertifizierte Ladeeinrichtungen sowie eine sorgfältige Zellenüberwachung.

Die Beurteilung der Brandgefahren und -leistung von Elektrofahrzeugen steht in direktem Vergleich zu anderen Antriebsarten und hängt maßgeblich von den verbauten Brandlasten ab. Daher sollten Brandschutzdienststellen bei Gefährdungsbeurteilungen die gleichen Kriterien anwenden wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Besonders in Garagen, einschließlich Tiefgaragen, gelten zertifizierte Ladeeinrichtungen als unverzichtbar, um potenzielle Risiken zu minimieren. Im Falle eines Brandes sollten Elektrofahrzeuge mit Wasser gelöscht werden, wobei Löschmittelzusätze zur Effektivität beitragen können.

Nach dem Löschen ist eine engmaschige Überwachung der Batterietemperatur erforderlich, um ein mögliches Wiederentzünden zu erkennen. Um Rückzündungen zu vermeiden, ist es von entscheidender Bedeutung, den Batteriebereich ausreichend lange mit Wasser zu kühlen, bevor das Fahrzeug an den Abschleppdienst übergeben wird.

Elektrofahrzeuge, die sich in geschlossenen Bereichen mit potenzieller Rückzündungsgefahr befinden, sollten gegebenenfalls ins Freie verbracht werden, um die Sicherheit von Personen und Eigentum zu gewährleisten. Diese präventiven Maßnahmen sind von wesentlicher Bedeutung, um potenzielle Risiken im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen zu minimieren und die Sicherheit in allen Situationen zu gewährleisten.⁵⁷

Die Verwendung von Kleinbatterien in großem Umfang kann, bedingt durch fehlende Zertifizierung und Überwachung, zu ernsthaften Sicherheitsproblemen führen. Es besteht insbesondere das Risiko der Selbstentzündung und einer schnellen Ausbreitung von Bränden. Obwohl in normalen Mengen eingesetzt, stellen Kleinbatterien keine unmittelbare Gefahr dar, erfordern jedoch im Falle eines Brandes den Einsatz von Wasser zur Eindämmung des Feuers. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass bei der Explosion von Batterien Teile umherfliegen können und somit das Risiko für Personen und Eigentum weiter erhöhen.

Hauspeicheranlagen, die zertifiziert und überwacht sind, bergen ähnliche Risiken wie andere elektrische Geräte. Um die Wahrscheinlichkeit einer starken Erwärmung während eines Brandes zu verringern, wird empfohlen, diese Anlagen gemäß den Richtlinien der VDE AR E 2510-2 anzuordnen. Des Weiteren sollte die Temperatur der Batterien sorgfältig überwacht werden, um Rückzündungen zu verhindern. Im Falle eines Brandes wird ebenfalls Wasser als Löschmittel empfohlen.

⁵⁷ FA VB/G 2018, S. 2f.

Die Lagerung von Lithium-Ionen-Speichermedien stellt ein komplexes Risiko dar, das von verschiedenen Faktoren wie der Lagermenge, der Umgebungstemperatur und möglichen mechanischen Beschädigungen abhängt. Es ist entscheidend, bauliche Abschottungen zu implementieren und sicherzustellen, dass die Feuerwehr über ausreichende Wasserversorgung verfügt, um effektive Löscharbeiten durchführen zu können. Zur Begrenzung eines Brandabschnitts müssen grundlegende taktische Vorgehensweisen mit Wasser durchgeführt werden, wobei hohe Mengen an Löschwasser erforderlich sind.

In Anbetracht dieser Risiken ist es von entscheidender Bedeutung, dass bei der Handhabung von Energiespeichersystemen sowohl präventive Maßnahmen als auch effektive Notfallpläne implementiert werden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Behörden und Feuerwehren, um die Sicherheit von Personen und Eigentum zu gewährleisten.⁵⁸

Die Entsorgung von Batterien wird durch das Gemeinsame Rücknahmesystem der Batteriehersteller koordiniert. Allerdings besteht bei der Entsorgung ein erhebliches Risiko von Brandereignissen, insbesondere durch beschädigte Lithium-Ionen-Energiespeicher, die sich selbst entzünden können oder durch mechanische Belastung wie beispielsweise beim Zusammendrücken in Müllfahrzeugen. Aufgrund der Vielzahl von Batteriezuständen ist das genaue Risiko jeder einzelnen Zelle schwer abzuschätzen. Besonders gefährlich sind beschädigte Zellen, die Substanzen austreten lassen, da sie als Gefahrgut eingestuft werden.

Um präventiven Brandschutz zu gewährleisten, sollten ausgesonderte Batterien außerhalb von Gebäuden gelagert werden oder in speziell brandschutztechnisch abgetrennten Bereichen. Bei der Lagerung von Batterien, die Flüssigkeiten abgeben können, ist die Installation einer Löschwasserrückhaltung ratsam.

Im Falle eines Brandes müssen grundlegende taktische Vorgehensweisen mit Wasser angewendet werden, wobei die Möglichkeit besteht, Löschmittelzusätze zu verwenden. Es ist entscheidend, ausreichende Mengen an Löschwasser bereitzustellen, um den Brand auf einen begrenzten Bereich zu kontrollieren, wobei die Wurfweite genutzt werden kann, um die Gefährdung für Einsatzkräfte zu minimieren. Die Handhabung von Produktaustritten sollte gemäß der FwDV 500 erfolgen.

Weitere Forschung ist dringend erforderlich, um den Umgang mit Batterien zu verbessern. Hierzu gehört die Entwicklung von geeigneten Kennzeichnungen für Batterien, Logistikgebinden und Transporte, um Einsatzkräfte zu unterstützen und die bestehenden Produktnormen zu ergänzen. Es ist auch wichtig, den Markt und insbesondere die Entwicklung der Nutzung von Hausspeicheranlagen zu beobachten. Zudem bedarf es Forschung zur Entwicklung von Entsorgungstechniken für Batterien mit höheren Energiemengen, die vermehrt auf den Markt kommen und neue Herausforderungen mit sich bringen.⁵⁹

⁵⁸ FA VB/G 2018, S. 3f.

⁵⁹ FA VB/G 2018, S. 4f.

2.8 Hinweise und Informationen der DGUV

Die DGUV ist der Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und Unfallkassen in Deutschland. Sie ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts und vertritt die Interessen der gesetzlichen Unfallversicherungsträger auf Bundesebene. Die DGUV ist zuständig für die Prävention von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren sowie für die Rehabilitation und Entschädigung von Versicherten bei Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten. Sie entwickelt unter anderem Vorschriften und Regeln zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz und unterstützt Unternehmen bei der Umsetzung dieser Vorschriften. Es ist daher dringend notwendig, die Bewertungen der DGUV zu Li-Ionen-Energiespeichern in die Beurteilung einzubeziehen, um anschließend bewerten zu können, inwieweit die Schneid-Löschmethode als effektive Methode für die Feuerwehr Hamburg eingesetzt werden kann.

2.8.1 FBFHB-024

Die Zunahme von Feuerwehreinsätzen bei Unfällen mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen wirft Fragen zur sicheren Brandbekämpfung und den damit zusammenhängenden potenziellen Gefahren auf, insbesondere wenn Li-Ionen-Energiespeicher betroffen sind. Die Brandbekämpfung bei Fahrzeugbränden mit solchen Batterien unterscheidet sich im Wesentlichen nicht von herkömmlichen Fahrzeugbränden. Es ist jedoch zu beachten, dass die Hinweise in diesem Dokument als Unterstützung dienen sollen, jedoch nur für Serienfahrzeuge gelten. Für Fahrzeuge in Kleinserienproduktion oder individuell nachgerüstete Fahrzeuge sollten diese Hinweise nur als grobe Orientierung betrachtet werden.

Li-Ionen-Energiespeicher fungieren primär als Energiespeicher für das Hochvoltsystem in Elektrofahrzeugen, können aber auch im Bordnetz mit niedrigeren Spannungen verwendet werden. Sie sind üblicherweise in robusten, wasserdichten Gehäusen verbaut, die in die Fahrzeugstruktur integriert sind. Dies erschwert das Erreichen des Brandherdes, selbst bei minimaler Beschädigung des Gehäuses.

Bei der Brandbekämpfung von Fahrzeugbränden mit Li-Ionen-Energiespeichern ist zu beachten, dass externe Kühlung wenig effektiv ist, da die Zellen thermisch isoliert sind. Dies kann zu einer Verlängerung der Löschdauer und einem erhöhten Bedarf an Löschmitteln führen. Ein erfolgreicher Löscheinsatz erfordert, dass ausreichend Wasser in das Innere der Batterie gelangt. Wasser hat sich dabei als geeignetes und empfohlenes Löschmittel erwiesen, Zusätze sind nicht erforderlich.

Es ist wichtig anzumerken, dass nicht alle Batterien in Fahrzeugen Li-Ionen-Energiespeicher sind; es gibt auch andere Technologien wie NiMH, die in einigen Hybridfahrzeugen verbaut sind. Diese sind weniger reaktiv und dynamisch im Brandverhalten. Bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern werden Atemgifte und

gesundheitsschädliche Verbrennungsprodukte freigesetzt, ähnlich wie bei anderen Bränden auch.⁶⁰

Li-Ionen-Energiespeicher sind anfällig für Brände aufgrund von mechanischer Beschädigung, internen und externen Ereignissen wie Beflammung oder Kurzschlüssen. Während eines solchen Brandes breitet sich das Feuer innerhalb der Li-Ionen-Energiespeicher von Zelle zu Zelle aus. Die Rauchentwicklung manifestiert sich durch eine hellgraue bis tiefschwarze Rauchwolke, begleitet von brennbaren Elektrolyten, erkennbar ist dies an weißem Rauch oder Dampf, sowie Graphit, der sich als grauer Rauch zeigt.

Ein besonders gefährliches Phänomen ist das Abblasen von brennbaren Elektrolytdämpfen, das außerhalb der Batterie ein zündfähiges Gas/Luft-Gemisch bilden kann, welches zu Stichflammenbildung oder einer Durchzündung führt. In geschlossenen Räumen besteht die Gefahr der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre.

Während des Brandes können glühende Metallteile und andere brennende Komponenten aus der Batterie ausgestoßen werden. Durch die hohen Temperaturen können auch Löcher im Batteriegehäuse entstehen, durch die Löschmittel eindringen können.

Der genaue Verlauf eines solchen Brandes ist von verschiedenen Faktoren abhängig, darunter die Bauform der Zellen, die Zellchemie und der Ladezustand. Daher ist er nicht zuverlässig vorhersehbar.⁶¹

Die Bekämpfung von Fahrzeugbränden, insbesondere bei Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, birgt besondere Herausforderungen aufgrund potenzieller Zusatzgefahren wie umherfliegende Teile und brennende Leichtmetalle. Eine elektrische Gefährdung durch die Hochvoltanlage ist zwar unwahrscheinlich, dennoch sollten Sicherheitsabstände gemäß DIN VDE 0132 eingehalten werden. Es ist wichtig, das Ladekabel im Zuge der Brandbekämpfung zu trennen, was gegebenenfalls eine Notentriegelung erfordert.

Nicht jeder Fahrzeugbrand betrifft die Lithium-Ionen-Energiespeicher. Indikatoren für eine Beteiligung der Batterie am Brandgeschehen sind Rauch- oder Dampfentwicklung, Geräuschentwicklung, Funkenflug, abnormer Geruch, Temperaturerhöhung des Batteriegehäuses und Hinweise des Fahrzeuginformationssystems. Ein gezieltes Einbringen von Löschwasser in die Li-Ionen-Energiespeicher sollte nur erfolgen, wenn bestimmte Indikatoren auf einen Batteriebrand hinweisen, da austretende Dämpfe und Gase giftig und brennbar sind und eine explosionsfähige Atmosphäre bilden können.

Im Falle eines Fahrzeugbrands kann der Li-Ionen-Energiespeicher aufgrund ihrer begrenzten Zugänglichkeit weiterbrennen. Verschiedene Optionen stehen für die Brandbekämpfung zur Verfügung, darunter das Einbringen von Löschwasser durch vom Hersteller vorgesehene Öffnungen, invasive Löschtechniken, das kontrollierte Brennen

⁶⁰ DGUV 2023, S. 1

⁶¹ DGUV 2023, S. 2

lassen der Li-Ionen-Energiespeicher im abgelöschten Fahrzeug oder das Einbringen des Fahrzeugs in ein wasserdichtes Behältnis und Flutung bis zur Oberkante der Li-Ionen-Energiespeicher.

Die Auswahl der geeigneten Brandbekämpfungsmethode sollte anhand einer Gefährdungsbeurteilung und unter Berücksichtigung der Herstellerangaben getroffen werden. Brandbegrenzungsdecken sind in diesem Zusammenhang nicht für aktive Brandbekämpfungsmittel vorgesehen.⁶²

Nach erfolgreicher Brandbekämpfung von Fahrzeugen mit Lithium-Ionen-Energiespeicher sollten bestimmte Maßnahmen ergriffen werden. Zunächst ist es ratsam, das Fahrzeug gemäß den Angaben im Rettungsdatenblatt zu deaktivieren, sofern dies möglich ist. Beschädigte Batterien, die keine Anzeichen eines fortbestehenden Brandes zeigen, sollten mit Sicherheitshinweisen und gegebenenfalls einem Übergabe- und Temperaturmessprotokoll an ein Bergungsunternehmen übergeben werden.

Es wird dringend davon abgeraten, Hybrid- und Elektrofahrzeuge präventiv in einem wassergefüllten Container zu versenken. Stattdessen empfiehlt sich eine trockene Quarantäne oder Lagerung auf einer geeigneten Abstellfläche durch ein qualifiziertes Bergungsunternehmen.

Um die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten, sind geeignete Schutzmaßnahmen erforderlich, um eine Gefährdung durch Brandzersetzungsprodukte oder Rückstände von Li-Ionen-Energiespeichern zu verhindern. Kontaminierte Schutzkleidung und Ausrüstungsgegenstände sollten entsprechend behandelt werden, beispielsweise gemäß der DGUV Information 205-035 "Hygiene und Kontaminationsvermeidung bei der Feuerwehr".⁶³

2.8.2 205-041

Li-Ionen-Energiespeicher haben sich seit ihrer Einführung vor über 30 Jahren als unverzichtbare Energiespeicher in verschiedenen Bereichen des Alltags und der Arbeitswelt etabliert. Ihr Einsatz ermöglicht eine kabellose Nutzung. Dies führt zu einer erhöhten Bewegungsfreiheit. Weiterhin produzieren sie keine schädlichen Abgase. Diese Vielseitigkeit macht sie zu einer bevorzugten Wahl für eine breite Palette von Anwendungen. Li-Ionen-Energiespeicher sind in verschiedenen Ausführungen und Leistungsstufen erhältlich, um den spezifischen Anforderungen gerecht zu werden.

Sie begleiten uns während ihres gesamten Lebenszyklus, angefangen von der Herstellung bis hin zum Recycling. Die aktuelle Forschung konzentriert sich auf neuartige Lithium-Metall-Energiespeicher, die als potenzielle 5. Generation gelten. Diese

⁶² DGUV 2023, S. 3f.

⁶³ DGUV 2023, S. 5

Batterien weisen ähnliche Gefahren wie herkömmliche Li-Ionen-Energiespeicher auf und werden unter dem einheitlichen Begriff "Lithiumbatterien" zusammengefasst.

Brandereignisse sind bei Li-Ionen-Energiespeichern in verschiedenen Phasen möglich, sei es während der Entwicklung, Herstellung, Verwendung, Entsorgung oder Recycling. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein, darunter Qualitätsmängel, unsachgemäßer Umgang, ungeeignete Ladeinfrastruktur oder mangelhaftes Batteriemanagementsystem (BMS).

Die öffentliche Wahrnehmung der Brandgefahr von Lithiumbatterien wurde durch verschiedene Vorfälle in Smartphones, Notebooks, Powerbanks und Elektrofahrzeugen geschärft. Dies spiegelt sich auch in Gerichtsurteilen wider, die die erhöhte Brandgefahr beim Laden von Li-Ionen-Energiespeichern betonen.

Um die Sicherheit zu gewährleisten, werden verschiedene Maßnahmen empfohlen, darunter das Laden von Li-Ionen-Energiespeichern fern von brennbaren Materialien, auf nicht brennbarem Untergrund und unter ständiger Beobachtung. Die DGUV Information 205-041 bietet umfassende Informationen zu Li-Ionen-Energiespeichern sowie Sicherheitshinweise, um Brände beim Umgang mit diesen zu vermeiden.⁶⁴

Li-Ionen-Energiespeicher existieren in zwei Hauptvarianten: primäre und sekundäre. Primäre Li-Ionen-Energiespeicher sind nicht wiederaufladbar und finden sich beispielsweise in Knopf- oder Blockzellen, die in Rauchmeldern oder Hörgeräten Verwendung finden. Sekundäre Li-Ionen-Energiespeicher, auch bekannt als Lithium-Ionen-Akkus, sind hingegen wiederaufladbar und werden in einer Vielzahl von Produkten eingesetzt, darunter Mobiltelefone, Computer, E-Bikes und Großspeicher.

Li-Ionen-Energiespeicher sind in verschiedenen Anwendungsgebieten präsent, darunter Kommunikation, Freizeit, Mobilität, Energiewirtschaft und Industrie. Sie werden entweder als Einzelzellen oder in Reihenschaltung verwendet, um einen höheren Energieinhalt zu erreichen. Es gibt verschiedene Bauformen von Li-Ionen-Energiespeichern, wie zylindrische (Rundzelle), Pouch- und prismatische Zellen.

Der Aufbau eines Li-Ionen-Energiespeicher umfasst typischerweise eine Kathode, eine Anode, einen wasserfreien Elektrolyten und einen Separator. Es ist wichtig zu beachten, dass Lithium empfindlich auf Wasser reagiert, daher enthalten Elektrolyte Lithium-Salze.

Li-Ionen-Energiespeicher werden durch verschiedene Kennzahlen charakterisiert, darunter Spannung (V), Kapazität (Ah) und Leistung (Wh). Gemäß dem Batteriegesetz müssen Li-Ionen-Energiespeicher gekennzeichnet sein, wobei die Kapazität sichtbar und ein Symbol für Altbatterien vorhanden sein muss.

Um die Sicherheit zu gewährleisten, reguliert ein BMS den Ladeprozess von Li-Ionen-Energiespeichern. Regelmäßiges Laden und das Vermeiden von Tiefentladung tragen zur Verlängerung ihrer Lebensdauer bei. Darüber hinaus gibt es spezifische Transportvorschriften, die von der Nennenergie und dem Gewicht der Batterien abhängen.

⁶⁴ DGUV 2024, S.5f.

Li-Ionen-Energiespeicher werden gemäß der VdS 3103 in verschiedene Leistungsklassen eingeteilt, wobei sie je nach ihren Eigenschaften als geringe, mittlere oder hohe Leistung klassifiziert werden. Diese Klassifizierung spielt eine wichtige Rolle bei der Handhabung und Verwendung dieser Energiespeicher in unterschiedlichen Anwendungen.⁶⁵

Die Verwendung von Li-Ionen-Energiespeichern ist bei bestimmungsgemäßer Anwendung sicher. Jedoch besteht eine potenzielle Brandgefahr, insbesondere bei beschädigten oder defekten Li-Ionen-Energiespeichern. Diese Brände werden größtenteils durch unsachgemäße Handhabung verursacht. Zahlreiche Vorfälle wurden in Presseberichten dokumentiert, darunter qualmende Batterien im Kofferraum, brennende Elektrofahrräder, Elektro-Busse und -Fahrzeuge, sowie Smartphones und Laptops.

Die Gefährdungen im Zusammenhang mit Li-Ionen-Energiespeichern umfassen Brandgefahren durch Erwärmung, Kurzschluss, Überladung und Tiefentladung, mechanische Gefährdungen durch Gehäuseschäden, sowie Gefahren durch austretende Gefahrstoffe. Elektrische Gefährdungen und Explosionsgefahren sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Potenzielle Gefahrenquellen und Risiken im Zusammenhang mit Li-Ionen-Energiespeichern umfassen alle Phasen des Lebenszyklus, einschließlich Herstellung, Konfektionierung, Entwicklung, Prüfung, Service, Reparatur, Transport, Lagerung, Montage und Entsorgung.

Für die sichere Handhabung von Li-Ionen-Energiespeichern ist es wichtig, Herstellerhinweise zu beachten, nur empfohlene Batterien zu verwenden und beschädigte Batterien sofort zu entsorgen. Es sollten äußere Einwirkungen vermieden und Batterien weder manipuliert noch repariert werden. Entladene Batterien müssen ebenfalls sicher gehandhabt werden.

Beim Laden von Li-Ionen-Energiespeichern sollten ausschließlich empfohlene Ladegeräte verwendet werden, auf einer nicht brennbaren Unterlage geladen und die Batterien vor dem Laden auf Raumtemperatur erwärmt werden. Der Ladevorgang muss überwacht und regelmäßig geprüft werden.

Eine Gefährdungsbeurteilung bei der Verwendung von Li-Ionen-Energiespeichern erfordert Substitution, technische und organisatorische Schutzmaßnahmen sowie die Nutzung persönlicher Schutzausrüstung.

Ein sicherer Umgang mit Li-Ionen-Energiespeichern umfasst Aspekte wie Transport, Aufbewahrung und Laden, wobei Reparaturen ausschließlich von Fachbetrieben durchgeführt werden sollten. Persönliche Schutzmaßnahmen müssen gemäß der Gefährdungsbeurteilung beachtet werden.⁶⁶

Der Transport von Li-Ionen-Energiespeichern birgt verschiedene Gefahren, darunter Stöße, Quetschungen und Herunterfallen, die zu mechanischen Beschädigungen im

⁶⁵ DGUV 2024, S. 10-17

⁶⁶ DGUV 2024, S. 18-26

Inneren der Batterie führen können. Dies kann wiederum zum Austreten ätzender und giftiger Flüssigkeiten oder Dämpfe führen. Besonders bei einem hohen Ladezustand besteht die Gefahr von inneren Kurzschlüssen und Bränden, weshalb es wichtig ist, äußere Kurzschlüsse durch die Sicherung der Kontakte zu vermeiden.

Die Transportvorschriften für Li-Ionen-Energieträger unterliegen dem Gefahrgutrecht und erfordern die Beachtung spezifischer Verpackungsanweisungen und Sondervorschriften. Es ist ratsam, sich über aktuelle Bestimmungen zu informieren, da diese je nach Verkehrsträger (Straße, Schiene, Seefracht, Luftfracht) variieren können.

Die Rücknahme von Batterien gemäß dem Batteriegesetz muss erfolgen und unterliegt ebenfalls dem Gefahrgutrecht, da eine hohe Brandgefahr besteht. Es gelten spezielle Vorschriften je nach Zustand und Art der Batterie.

Die Kennzeichnung von Li-Ionen-Energieträgern erfolgt durch unterschiedliche UN-Nummern für verschiedene Batterietypen sowie durch Gefahrzettel Nr. 9A oder Kennzeichen gemäß Sondervorschrift 188.⁶⁷

Der Brandschutz im Umgang mit Li-Ionen-Energiespeichern basiert auf einer sorgfältigen Brandrisikoanalyse, die die Verwendung und den Umgang mit Li-Ionen-Energiespeichern berücksichtigt und die Festlegung entsprechender Brandschutzmaßnahmen ermöglicht. Li-Ionen-Energiespeicher und ihre Zellen sind durch mehrere Sicherheitseinrichtungen geschützt. Das Brandrisiko von Li-Ionen-Energiespeichern variiert jedoch abhängig von verschiedenen Parametern wie Batteriezustand, Typ, Lagermenge und Ladezustand sowie den betrieblichen Gegebenheiten.

Instandsetzungen von Li-Ionen-Energiespeichern erfordern besondere Brandschutzmaßnahmen, da der Brand eines Li-Ionen-Energiespeichers durch Brennbares, Sauerstoff und eine Zündquelle ausgelöst wird. Das Branddreieck zeigt die Ursachen für Li-Ionen-Energiespeicher-Brände auf, einschließlich Anoden-Material, Elektrolyt, Umgebung, Wärmeeinstrahlung, Ladevorgang und interne Fehler.

Der Brandverlauf bei Li-Ionen-Energiespeicher-Bränden umfasst das thermische Durchgehen und die thermische Propagation, wobei Temperaturen von bis zu 1400°C erreicht werden können. Ein Druckanstieg bei einem Brand in Li-Ionen-Energiespeichern führt zur Freisetzung von Elektrolyten. Der dabei entstehende Brandrauch enthält entzündliche, giftige und ätzende Substanzen wie Lithiumhexafluorophosphat.

Zur Erkennung von Li-Ionen-Energiespeicher-Bränden werden Brandmelder wie optische Rauchmelder und Wärmemeldern empfohlen. Zusätzlich zu reaktiven Maßnahmen werden präventive Maßnahmen wie der Einsatz von Brandmelde- und Wasserlöschanlagen zur Minimierung von Schäden und Risiken empfohlen.

Die Lagerung von Li-Ionen-Energiespeichern erfordert die Beachtung von Parametern wie Ladezustand, Lagertemperatur und Herstellerangaben, wobei eine getrennte Lagerung von Li-Ionen-Energiespeichern und Gefahrstoffen empfohlen wird, um das Risiko von Bränden zu minimieren. Die Brandausbreitung bei Li-Ionen-Energiespeicher-

⁶⁷ DGUV 2024, S. 27-30

Bränden kann durch bauliche Maßnahmen verhindert werden. Die Brandschadensanierung nach Li-Ionen-Energiespeicher-Bränden erfordert spezielle Maßnahmen und Fachbetriebe.⁶⁸

2.9 Bericht über die Brandschutzforschung der Bundesländer

Um die Effektivität des Schneid-Löschsystems weiter zu ergründen, ist es von Bedeutung, den aktuellen Forschungsstand zu berücksichtigen. Hierbei wird insbesondere auf die Brandschutzforschung der Bundesländer verwiesen, die sich intensiv mit der Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern auseinandersetzt.

Diese Studie zielt darauf ab, die Wirksamkeit verschiedener Brandbekämpfungsstrategien bei Batteriebränden in Elektrofahrzeugen zu untersuchen. Dabei werden insbesondere die Einsatzzeit sowie der Verbrauch von Lösch- und Kühlwasser als Versuchsparameter betrachtet.

Zu den untersuchten Systemen zählen Hohlstrahlrohre, Lösch- und Kühlwassereinbringungssysteme, externe Kühlsysteme, sowie Brandbegrenzungsdecken. Die Initiierung der Batteriebrände erfolgt durch Metallspitzen, um eine realitätsnahe Simulation zu ermöglichen.

Die Brandphasen, darunter der Vollbrand, die Brandentstehungsphase und der Austritt von Ventinggas, werden im Verlauf der Untersuchung analysiert. Hierbei stehen die jeweiligen Einsatzstrategien für die verschiedenen Brandphasen im Fokus.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Einsatz von Hohlstrahlrohren zur Brandbekämpfung mit einer Reduzierung des Volumenstroms. Ebenso werden die Effekte des Einsatzes von Löschmitteleinbringungssystemen während Vollbrandphasen betrachtet.

Als Empfehlung zur Sicherstellung eines effektiven Brandschutzes wird der Einsatz zweier Löschfahrzeuge mit Staffelbesatzung vorgeschlagen. Diese Maßnahme unterstreicht die Bedeutung einer professionellen und koordinierten Vorgehensweise im Ernstfall.

Darüber hinaus wird die Wichtigkeit von Aus- und Fortbildung sowie regelmäßigem Training für die Feuerwehrkräfte betont. Nur durch eine kontinuierliche Schulung können die Einsatzkräfte für die Herausforderungen im Umgang mit Batteriebränden in Elektrofahrzeugen optimal vorbereitet werden.⁶⁹

In Anbetracht der Bemühungen Europas, CO₂-Emissionen im Straßenverkehr zu reduzieren und Elektrofahrzeuge als Schlüsselakteure zu etablieren, hat sich eine Herausforderung im Bereich der Brandsicherheit eröffnet. Insbesondere die

⁶⁸ DGUV 2024, S. 31-46

⁶⁹ Neske et al. 2022, S. 1-5

zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen mit Hochvoltbatterien hat Bedenken in Feuerwehrcreisen aufgeworfen, verstärkt durch mediale Berichte über Fahrzeugbrände.

Trotz dieser Sorgen zeigen Statistiken, dass das Brandrisiko von Elektrofahrzeugen nicht höher ist als das von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Dennoch sind feuerwehrspezifische Fachpresse und Verbände aktiv geworden, indem sie Richtlinien zum Umgang mit brennenden Elektrofahrzeugen anbieten. Gleichzeitig identifizieren unabhängige Forschungsstellen Erkenntnislücken im Bereich der Brandbekämpfung.

Im Rahmen dieses Projekts liegt der Fokus auf der Bewertung von Brandbekämpfungsstrategien bei Elektrofahrzeugen. Diese Bewertung basiert auf Empfehlungen aus der Feuerwehrpraxis, Fachliteratur, Expertenbefragungen und dem Wissen der Originalhersteller (OEM). Experimente zur Brandbekämpfung werden begleitet von physikalischer und chemischer Messtechnik zur Bewertung der Effektivität.

Obwohl eine detaillierte Untersuchung der Li-Ionen-Energiespeicher ausgespart wird und auf vorhandene Literatur zurückgegriffen wird, werden Elektrofahrzeuge von BMW, Opel und Volkswagen im Detail betrachtet. Andere OEMs konnten aufgrund begrenzter Mittel nicht einbezogen werden.

Erste einsatztaktische Maßnahmen werden vorgeschlagen, jedoch wird betont, dass weitere Studien notwendig sind, um bestehende Wissenslücken zu schließen. Ein Folgeprojekt ist bereits in Planung, welches weitere OEMs einbeziehen und bis zum Frühjahr 2023 abgeschlossen sein sollte. Es wird erwartet, dass dieses Projekt Handlungsempfehlungen und Unterrichtspräsentationen hervorbringt.

Ein wichtiger Aspekt des Berichts ist die Anonymisierung der Ergebnisse, um herstellerunabhängige Aussagen zu ermöglichen und eine objektive Bewertung der Brandbekämpfungsstrategien bei Elektrofahrzeugen sicherzustellen.⁷⁰

Elektrofahrzeuge (BEV) nutzen eine fortschrittliche Technologie, um ihren Motor mit elektrischer Energie zu versorgen, die aus der Traktionsbatterie stammt. Diese Batterie besteht aus verschiedenen Batteriemodulen, die wiederum Zellblöcke enthalten. Diese Zellblöcke setzen sich aus einzelnen Zellen zusammen, die die Lithium-Ionen-Technologie verwenden.

Um die erforderliche Kapazität zu erreichen, werden die Lithium-Ionen-Zellen in Gruppen parallel oder in Reihe geschaltet. Es gibt verschiedene Arten von Zellen, die in Traktionsbatterien verwendet werden können, darunter Pouchzellen, zylindrische oder prismatische Zellen.

Traktionsbatterien, die im Automobilbereich eingesetzt werden, gelten aufgrund ihrer hohen Spannung als Hochvolt-Systeme. Die Sicherheitsanforderungen für Lithium-Ionen-Zellen in diesen Batterien sind entsprechend hoch und unterliegen Normen wie ECE-R100.

⁷⁰ Neske et al. 2022, S. 6ff.

Ein zentrales Element des Batteriesystems ist das BMS, das den Ladezustand, den Strom, die Spannung und die Temperatur der einzelnen Zellen sowie des gesamten Batteriesystems überwacht und regelt.

Das Batteriesystem selbst ist in einem Gehäuse untergebracht, das nicht nur vor Umwelteinflüssen schützt, sondern auch ein integriertes Kühlsystem für die Batteriemodule enthält. Besonders der untere Teil des Gehäuses, bekannt als der Batterietrog, ist gegen Beschädigungen geschützt und gewährleistet so die Sicherheit und Langlebigkeit des Batteriesystems im Fahrzeug.⁷¹

Batteriebrände stellen eine ernsthafte Gefahr dar und werden oft durch Beschädigungen einzelner Zellen oder Module ausgelöst. Diese Beschädigungen können durch verschiedene Faktoren wie Überladung, Tiefenentladung, Wärme oder mechanische Schäden verursacht werden.

Bei Temperaturen über 100 °C tritt in den Batteriezellen eine chemische Reaktion auf, die als Thermal Runaway (TR) bekannt ist. Während dieses Prozesses entstehen Gase und Dämpfe, die unter Druckentlastung austreten können. Die Zusammensetzung dieser freigesetzten Gase hängt von der Zellchemie ab, wobei Lithium-Ionen-Zellen mit höherem Ladezustand eine größere Neigung zum Thermal Runaway zeigen.

Es wurden fünf Szenarien des Thermal Runaway auf Zellebene identifiziert: Ausgasung, Stichflammen, Funkensprühen, Feuerball und Explosion. Besonders besorgniserregend ist, dass sich ein Thermal Runaway auf benachbarte Zellen und Module ausbreiten kann, wenn die Wärme nicht effektiv abgeführt oder absorbiert wird. Die Ausbreitung des Thermal Runaway im gesamten Batteriesystem hängt von der Temperaturdifferenz zwischen den Zellen und ihrer Grenztemperatur ab.

Unter bestimmten Bedingungen können Flammen an den Druckentlastungsöffnungen des Batteriesystems auftreten, wenn die Zündbedingungen erfüllt sind. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Komplexität und die potenziellen Gefahren von Thermal Runaway in Li-Ionen-Energiespeichern und unterstreichen die Notwendigkeit effektiver Sicherheitsmaßnahmen und -protokolle, um solche Vorfälle zu minimieren.⁷²

Feuerwehren stehen regelmäßig vor der Herausforderung, Fahrzeugbrände zu bekämpfen, darunter auch solche mit alternativen Antriebssystemen wie Elektro- und Hybridfahrzeugen. Die herkömmlichen Einsatzstrategien zur Brandbekämpfung basieren traditionell auf dem Einsatz von Wasser und Löschschaum. Doch die zunehmende Verwendung von Kunststoffen in Fahrzeugen hat neue Herausforderungen mit sich gebracht.

Besonders die versteckten Batteriesysteme und der damit verbundene erschwerte Zugang erfordern eine Anpassung der Einsatzstrategien. In diesem Zusammenhang dienen die A U T O - Regel und die G A M S - Regel als Leitfaden für Einsätze mit alternativen Antrieben, um die Art des Fahrzeugs zu bestimmen und die entsprechenden Maßnahmen zu ergreifen.

⁷¹ Neske et al. 2022, S. 9-12

⁷² Neske et al. 2022, S. 13-18

Um Informationen über Fahrzeugtypen und Batteriesysteme zu erhalten, können Kennzeichenerfassungssysteme und spezifische Rettungsdatenblätter herangezogen werden. Die Brandbekämpfungstaktiken für Elektrofahrzeuge erfordern besondere Vorsichtsmaßnahmen, darunter die Sicherung gegen Wegrollen, die Abschaltung der Zündung, die Sicherung von Hochvoltkabeln und die Rettung von Personen.

Die Kühlung des Batteriesystems spielt eine entscheidende Rolle, doch der Zugang zu den Batterien kann durch die Fahrzeugstruktur erschwert werden. Es werden verschiedene Einsatzhinweise zur Brandbekämpfung vorgeschlagen, wie die Verwendung großer Wassermengen und das Vermeiden von handgeführten Löschgeräten aufgrund der Gefahr von Stichflammen und Elektrizität.

Nach Abschluss der Brandbekämpfungsmaßnahmen ist es wichtig, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sicher übergeben werden. Hierbei spielen Sicherheitshinweise für das Abschleppunternehmen sowie die Kontrolle der Batterietemperatur eine wesentliche Rolle, um weitere Risiken zu minimieren.⁷³

Die OEMs BMW Group, Opel Automobile GmbH und Volkswagen AG haben insgesamt 14 Fahrzeuge für Brand- und Löschversuche zur Verfügung gestellt. Diese Fahrzeuge bieten eine Vielfalt an technischen Daten und Leistungsmerkmalen, die für die Versuche von entscheidender Bedeutung sind.

Die BMW Group hat zwei BMW i4 zur Verfügung gestellt, die mit einer Leistung von 340 PS, einer Batteriekapazität von 80,7 kWh und Hinterradantrieb ausgestattet sind. Opel Automobile GmbH beteiligte sich mit fünf Opel Corsa e und einem Opel Mokka e. Die Corsa e Modelle verfügen über eine Leistung von 136 PS und eine Batteriekapazität von 45 kWh.

Volkswagen AG unterstützte das Projekt mit sechs Fahrzeugen, darunter fünf Volkswagen ID.4 und einen ID.5. Die ID.4 Modelle weisen eine Leistung von 204 PS auf, während der ID.5 eine Leistung von 299 PS hat. Alle Fahrzeuge sind mit Batteriekapazitäten ausgestattet, die zwischen 77 kWh netto und 82 kWh brutto variieren.

Diese Fahrzeuge wurden speziell für die Brand- und Löschversuche verwendet, wobei die Positionen für die Brandinitiierung durch Metalldorne markiert wurden. Diese umfangreiche Bereitstellung von Fahrzeugen ermöglichte es den Forschern, verschiedene Szenarien zu simulieren und die Wirksamkeit der Brandbekämpfungsstrategien umfassend zu untersuchen.⁷⁴

Im Rahmen umfangreicher Brand- und Löschversuche wurden vier effektive Brandbekämpfungsstrategien identifiziert und bewertet. Diese Strategien wurden sorgfältig analysiert, wobei verschiedene Parameter wie Lösch-/Kühlwassermengen und Löschzeiten berücksichtigt wurden. Es ist anzumerken, dass während dieser Versuche kein Einsatz von Löschmitteln wie Schaum oder Gel erfolgte.

⁷³ Neske et al. 2022, S. 19-28

⁷⁴ Neske et al. 2022, S. 29-33

Die identifizierten Strategien umfassten: Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren, Löschmitteleinbringung in Batteriesysteme mittels spezieller Löschtechnik, Externe Kühlung mittels unter dem Fahrzeug positionierter Kühllarmatur, und Verwendung von Brandbegrenzungsdecken.

Zur Bewertung dieser Strategien wurden auch zwei Referenzversuche durchgeführt, bei denen keine spezifischen Brandbekämpfungsmaßnahmen ergriffen wurden, um die Effektivität der angewandten Strategien quantitativ zu erfassen.

Die Beschreibung jeder Strategie erfolgte detailliert und umfasste spezifische Techniken wie den Einsatz von Hohlstrahlrohren, speziellen Löschsystemen wie dem Rosenbauer Löschsystem und der Murer E-Löschlanze sowie externe Kühlungssysteme. Ebenso wurde die Verwendung von Brandbegrenzungsdecken erörtert, wobei ihre Funktion zur Unterbindung von Flammerscheinungen durch Sauerstoffreduzierung im Fokus stand.

Darüber hinaus wurden umfassende Sicherheitsmaßnahmen und Anwendungshinweise für jede Strategie bereitgestellt, um nicht nur die Wirksamkeit, sondern auch die Sicherheit der angewandten Brandbekämpfungsmaßnahmen zu gewährleisten. Dieser Ansatz zielt darauf ab, fundierte Entscheidungen im Umgang mit Batteriebränden in Elektrofahrzeugen zu ermöglichen und die Effizienz der Rettungs- und Brandbekämpfungsmaßnahmen kontinuierlich zu verbessern.⁷⁵

Die Erforschung wirksamer Brandbekämpfungsstrategien erfordert eine tiefgreifende Untersuchung verschiedener Variablen, um fundierte Erkenntnisse zu gewinnen. In diesem Zusammenhang wurden Experimente durchgeführt, die von einer präzisen messtechnischen Begleitung geprägt waren. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Erfassung zeitabhängiger Temperaturverläufe sowie der Messung von Wärmeflüssen an spezifischen Positionen.

Zur Erfassung der Lösch- und Kühlwasserströme wurden Durchflussmesser eingesetzt, die eine detaillierte Analyse ermöglichten. Diese Untersuchungen wurden durch eine begrenzte Messung der relevanten Schadstoffe in den Lösch- und Kühlwässern sowie an der PSA der Einsatzkräfte ergänzt.

Ein entscheidender Aspekt dieser Experimente war die Evaluierung verschiedener Brandbekämpfungsstrategien. Dabei wurde besonders darauf geachtet, die Bewegungsfreiheit der Löschtrupps sicherzustellen und die Zugänglichkeit der Karosserie zu gewährleisten. Die Verwendung von Thermoelementen und Wärmeflussaufnehmern ermöglichte die präzise Messung von Temperatur und Wärmestrahlung, welches entscheidend für die Analyse der Wirksamkeit der angewandten Strategien war.

Des Weiteren wurden die Lösch- und Kühlwasserströme mittels Durchflussmessern erfasst, um die Effizienz der eingesetzten Löschmittel zu bewerten. Zur Analyse der Rauchgasbestandteile kam ein FTIR-Spektrometer zum Einsatz, das detaillierte Einblicke in die chemische Zusammensetzung des Rauches ermöglichte.

⁷⁵ Neske et al. 2022, S. 34-39

Besondere Aufmerksamkeit galt auch der Untersuchung der Schadstoffe in den Lösch- und Kühlwässern, da diese potenziell eine Kontamination der PSA der Einsatzkräfte verursachen könnten. Diese Aspekte wurden sorgfältig dokumentiert, wobei eine Videodokumentation mit zwei Kameras und der Einsatz von Wärmebildkameras für eine umfassende Erfassung der Experimente sorgten.

Insgesamt bieten die durchgeführten Experimente wertvolle Erkenntnisse zur Optimierung von Brandbekämpfungsstrategien und zur Gewährleistung der Sicherheit der Einsatzkräfte in Gefahrensituationen. Die kombinierte Analyse von Temperaturverläufen, Wärmeflüssen, Schadstoffkonzentrationen und Einsatzstrategien liefert eine solide Grundlage für zukünftige Forschungen und praktische Anwendungen im Bereich des Brandschutzes und der Notfallrettung.⁷⁶

Die Wirksamkeit von Brandbekämpfungsstrategien bei Batteriebränden ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit und Effektivität von Rettungsmaßnahmen. Um diese zu evaluieren, wurden Experimente durchgeführt, die eine präzise Vorbereitung erforderten, um maximale Vergleichbarkeit der Versuche zu gewährleisten. Der Startpunkt der Versuche markierte die Penetration des Batteriesystems, woraufhin die Brandentwicklung einsetzte.

Die Experimente umfassten verschiedene Methoden zur Initiierung des Thermal Runaways auf Zellebene, darunter gezielte Zellüberladung, elektrisch betriebene Heizelemente und Poolfeuer. Als schnelle und kostengünstige Alternative erwies sich die Brandinitiierung mit Metalldornen. Die darauf folgende Brandentwicklung verlief bei den meisten Versuchen in einer gleichsam stationären Brandintensität, die durch die Antriebs- und Speichertechnologie der Batterien beeinflusst wurde.

Die Brandbekämpfung wurde 15 Minuten nach der Penetration geplant, wobei der Löschangriff je nach Brandintensität angepasst wurde. Der Einsatz von zwei Löschtrupps mit spezifischen Aufgaben und Ausrüstung wurde strategisch geplant. Dabei wurden unterschiedliche Brandbekämpfungsstrategien angewendet, wobei die Versuche an die jeweiligen Brandverläufe angepasst wurden.

Die Ergebnisse der Brand- und Löschexperimente wurden gemäß den Versuchsblöcken dokumentiert, wobei relevante zeitabhängige Verläufe für Temperatur, Wärmestrahlung und Löschwasservolumenströme dargestellt wurden. Besondere Ereignisse wurden durch Zeitstempel über Diagrammen markiert, um eine detaillierte Analyse zu ermöglichen.

Die Diskussion der Ergebnisse der Referenzversuche zeigte ein unterschiedliches Verhalten in den Brandentstehungs- und Abbrandphasen, sowie die Freisetzung von Ventinggasen und deren Auswirkungen. Die Ergebnisse legten nahe, dass die Brandphasen die Löscharbeiten beeinflussen, welches in weiteren Kapiteln erläutert wurde.

Die Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren wurde durch verschiedene Brand-/Löschversuche evaluiert, wobei unterschiedliche Parameter berücksichtigt wurden. Die

⁷⁶ Neske et al. 2022, S. 40-47

Versuche zeigten eine erfolgreiche Brandbekämpfung, wobei die Brandintensität und der Wasserverbrauch je nach Brandphase variierten.

Die Löschmitteleinbringung in Traktionsbatterien erfolgte nach dem Einsatz von Hohlstrahlrohren, wobei vergleichbare Ergebnisse erzielt wurden. Externe Kühlung mittels spezieller Kühlaraturen konnte die Temperatur senken, führte jedoch zu erneuter Flammenbildung.

Chemische Untersuchungen ergaben eine Vielzahl von Schadgasen während der Brand- und Löschversuche, darunter CO, CO₂, SO₂, NH₃, NO_x und verschiedene Kohlenwasserstoffe. Die Schadstoffuntersuchungen der Lösch- und Kühlwässer ergaben eine Reihe von relevanten Parametern, die mit den geltenden Grenzwerten verglichen wurden.

Die Kontamination der PSA der Einsatzkräfte wurde ebenfalls untersucht, wobei das Ziel die Entwicklung einer geeigneten Methode zur quantitativen Erfassung der Verunreinigungen war. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit dem TÜV Rheinland und einem akkreditierten Labor in den nächsten Schritten des Projekts präsentiert.⁷⁷

Bei der Brandbekämpfung von E-Fahrzeugen stehen Feuerwehren vor spezifischen Herausforderungen, die eine fundierte Vorbereitung und strukturierte Herangehensweise erfordern. Es ist entscheidend, sich auf drei Hauptphasen oder -szenarien vorzubereiten: den Vollbrand, die Brandentstehungsphase mit Flammenbildung sowie den Austritt von Ventinggasen.

Schon bei der Alarm- und Ausrückeordnung muss die Verfügbarkeit von Atemschutzgeräteträgern sichergestellt werden, da der Einsatz von Atemschutzgeräten unerlässlich ist. Es wird empfohlen, zwei Löschfahrzeuge mit Staffelbesatzung einzusetzen, um einen effektiven Brandschutz zu gewährleisten. Insbesondere der Einsatz von Hohlstrahlrohren wird empfohlen, vorzugsweise an Front und Heck des Fahrzeugs, um eine effiziente Brandbekämpfung zu ermöglichen.

Die Erkundung des Fahrzeugs und die Einsichtnahme in das Rettungsdatenblatt sind entscheidend, um eine fundierte Einsatzstruktur und -organisation zu gewährleisten. Dies beinhaltet die Einrichtung eines Sicherheitstrupps sowie die Sicherstellung einer ausreichenden Löschwasserversorgung.

Die Dokumentation der Einsatzmaßnahmen ist von großer Bedeutung und erfordert eine enge Zusammenarbeit mit anderen Behörden wie der Polizei und Abschleppunternehmen. Nach der Brandbekämpfung sollte das Fahrzeug an ein Fachunternehmen übergeben werden, um es sicher zu verwahren und weitere Schäden zu verhindern.

Insgesamt erfordert der Umgang mit Brandphasen bei E-Fahrzeugen eine sorgfältige Planung, klare Strukturen und eine koordinierte Zusammenarbeit verschiedener Einsatzkräfte und Behörden, um effektive und sichere Lösungen zu gewährleisten.⁷⁸

⁷⁷ Neske et al. 2022, S. 58-101

⁷⁸ Neske et al. 2022, S. 102-108

Die fortlaufende Forschung im Bereich der Brandbekämpfung bei Elektrofahrzeugen identifiziert weiterhin Erkenntnislücken, die es zu schließen gilt. Insbesondere die Evaluation der Taktik während der Brandentstehungsphase stellt einen zentralen Schwerpunkt des nächsten Schrittes (Teilschritt 2) dar. Dabei soll untersucht werden, ob die aktuellen Verfahren zur Löschmitteleinbringung geeignet sind, den Reaktionsprozess im Batteriesystem zu stoppen und nicht betroffene Module zu schützen. Es stellt sich die Frage, ob eine frühe Löschmitteleinbringung die Reaktion möglicherweise forcieren könnte, was ebenfalls analysiert werden soll. Die geplanten Untersuchungen sollen nicht nur auf bestimmte Fahrzeugmodelle beschränkt sein, vielmehr ist die Verifizierung der Ergebnisse an Fahrzeugen anderer Hersteller vorgesehen.

Ein wichtiges Ziel ist die Erstellung validierter Handlungsempfehlungen für die Brandbekämpfung von E-Fahrzeugen, um eine standardisierte Vorgehensweise zu gewährleisten. Zusätzlich dazu sollen Unterrichtspräsentationen für die Standortausbildung der Feuerwehren entwickelt werden, um das Wissen über die spezifischen Herausforderungen und besten Praktiken bei der Brandbekämpfung von E-Fahrzeugen zu verbreiten.

Im kommenden Teilschritt 3 werden offene Fragen zu PSA- und Löschwasserkontaminationen weiter untersucht, ebenso wie die Evaluierung von Löschwasserrückhaltemaßnahmen. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Suche nach Fördermöglichkeiten, um Fragen zum Brandverhalten von Fahrzeugen mit SOC-Werten unter 80 % zu beantworten und die Auswirkungen auf Gefahrenabwehrmaßnahmen zu untersuchen.

Insgesamt zielen diese geplanten Untersuchungen darauf ab, die Kenntnisse und Strategien zur Brandbekämpfung bei Elektrofahrzeugen kontinuierlich zu verbessern, um eine effektive und sichere Gefahrenabwehr zu gewährleisten.⁷⁹

3 Experteninterviews

Expertengespräche sind eine unverzichtbare Quelle für wertvolle Erkenntnisse in der wissenschaftlichen Forschung. Die Differenzierung der Meinungen unter den Experten bereichert die Diskussion und erweitert den Horizont des Wissens. Im Rahmen dieser Studie wurden zwei Experteninterviews durchgeführt, die einen facettenreichen Einblick in das Forschungsfeld ermöglichten. Es sei darauf hingewiesen, dass trotz der Unterschiede in den Meinungen der Experten eine wertvolle Synergie entstand, die diese Arbeit bereichert und diversifiziert.

⁷⁹ Neske et al. 2022, S. 109

3.1 Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr

In Bezug auf den präventiven Einsatz von invasiven Löschesystemen empfiehlt der Experte eine gezielte Anwendung. Er betont die Wichtigkeit, invasive Löschesysteme nur dann einzusetzen, wenn der Akku tatsächlich betroffen ist, anstatt sie präventiv zu verwenden. Dieser Ansatz zielt darauf ab, potenzielle Risiken zu minimieren und die Effektivität der Löschesysteme zu optimieren.⁸⁰

Die Bedeutung einer gründlichen Untersuchung vor Ort wird bei Brandereignissen besonders hervorgehoben. Bevor invasive Löschesysteme eingesetzt werden, sollte zunächst untersucht werden, ob der Akku tatsächlich betroffen ist. Dieser Schritt ist entscheidend, um eine fundierte Entscheidung zu treffen und potenzielle Risiken zu minimieren. Eine sorgfältige Untersuchung ermöglicht es, die genaue Ursache des Brandes zu ermitteln und die am besten geeigneten Maßnahmen zur Bekämpfung des Feuers zu ergreifen.⁸¹

Bei der Behandlung nicht betroffener Akkus ist es wichtig zu beachten, dass sie nicht mit invasiven Methoden behandelt werden müssen. Diese Akkus können normal abtransportiert werden, ohne dass ein Einsatz von invasiven Löschesystemen erforderlich ist. Es ist ratsam, die Ressourcen und Zeit auf die Akkus zu konzentrieren, die tatsächlich betroffen sind, um eine effiziente und gezielte Reaktion auf potenzielle Brandgefahren zu gewährleisten.⁸²

Nach dem Einsatz ist die Entsorgung von Fahrzeugen, bei denen der Li-Ionen-Energiespeicher beschädigt und durchstochen wurde, von entscheidender Bedeutung. Diese Fahrzeuge müssen auf einem Quarantäneplatz abgestellt werden, um die Sicherheit zu gewährleisten und potenzielle Risiken zu minimieren. Die Entsorgung sollte von einer Fachfirma durchgeführt werden, die über das erforderliche Fachwissen und die entsprechende Ausrüstung verfügt, um den Akku sicher zu handhaben und umweltgerecht zu entsorgen. Diese Maßnahme zielt darauf ab, die Umwelt zu schützen und das Risiko von weiteren Zwischenfällen zu verhindern.⁸³

Die Restspannung in Hochvoltbatterien bleibt oft bestehen, selbst nach dem Eingriff mit einem invasiven Löschesystem. Dieser Aspekt ist wichtig zu beachten, da nicht alle Hochvoltbatterien direkt behandelt werden können. Die verbleibende Restspannung kann potenziell gefährlich sein und erfordert daher besondere Vorsichtsmaßnahmen bei der weiteren Handhabung und Entsorgung der Akkus. Es ist ratsam, entsprechende

⁸⁰ Anhang 3, Z. 14-18

⁸¹ Anhang 3, Z. 57ff.

⁸² Anhang 3, Z. 63ff.

⁸³ Anhang 3, Z. 71-74

Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, um das Risiko von unerwarteten Zwischenfällen zu minimieren.⁸⁴

Während des Löschens ist es wichtig, Vorkehrungen zu treffen, um mögliche Spannungen zu vermeiden. Dazu gehört, dass während des Löschversuchs keine direkte Berührung zwischen der Löschlanze und der Karosserie bestehen sollte. Diese Maßnahme zielt darauf ab, potenzielle elektrische Übertragungen zu unterbinden, die zu unerwünschten Folgen führen könnten. Durch die Vermeidung direkter Berührung kann die Sicherheit während des Löschvorgangs erhöht und das Risiko von Schäden an Fahrzeugen oder Verletzungen minimiert werden.⁸⁵

Namhafte Automobilhersteller in Deutschland zeigen ein Interesse an invasiven Löschmodellen und betrachten sie als wirksames Mittel zur Verbesserung der Sicherheit in Fahrzeugen. Diese Hersteller erkennen das Potenzial dieser Systeme, um Brände effektiv zu bekämpfen und damit das Risiko für Fahrzeugbesitzer und die Allgemeinheit zu reduzieren. Ihre Interessenbekundung unterstreicht die Bedeutung, die der Entwicklung und Implementierung von innovativen Sicherheitstechnologien in der Automobilindustrie beigemessen wird. Dieses Interesse kann den Weg für eine breitere Akzeptanz und Integration invasiver Löschmodelle in zukünftige Fahrzeugmodelle ebnen.⁸⁶

Tests in Schweden haben gezeigt, dass invasive Löschmodelle effektiv sind, indem sie die Reaktion der Akkus nach dem Eingriff minimieren. Diese Erfahrungen unterstreichen die Wirksamkeit dieser Systeme bei der Bekämpfung von Bränden und der Sicherung der Batterieintegrität. Die Ergebnisse dieser Tests liefern wichtige Erkenntnisse für die Weiterentwicklung und den Einsatz invasiver Löschmodelle in verschiedenen Anwendungsbereichen. Sie verdeutlichen auch die Bedeutung internationaler Zusammenarbeit und Erfahrungsaustauschs bei der Entwicklung von innovativen Sicherheitstechnologien.⁸⁷

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass invasive Löschmodelle gezielter eingesetzt werden sollten, um die Sicherheit zu gewährleisten und die potenziellen Gefahren im Zusammenhang mit beschädigten Akkus zu minimieren. Es wird empfohlen, vor Ort zu prüfen, ob der Akku betroffen ist und entsprechend zu handeln, um unnötige Risiken zu vermeiden. Die Zusammenarbeit mit Fachfirmen und das Einhalten von Sicherheitsvorkehrungen während des Löschvorgangs sind ebenfalls entscheidend.

⁸⁴ Anhang 3, Z. 84ff.

⁸⁵ Anhang 3, Z. 102-105

⁸⁶ Anhang 3, Z. 125-128

⁸⁷ Anhang 3, Z. 134-141

3.2 Experteninterview Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität

In der Forschungsabteilung fungiert der Experte nicht nur als Führungskraft der Betriebsfeuerwehr, sondern ist auch maßgeblich an der Bekämpfung von Akkubränden involviert. Der Experte legt großen Wert darauf, dass Einsatzkräfte zunächst die Einsatzgrundsätze beherrschen, um die Gefahrenlage vor Ort überhaupt zu erkennen. Eine gründliche Spezialisierung auf dieses Themengebiet ist unerlässlich, denn nur so kann beurteilt werden, ob der Akku am Brand beteiligt ist oder das Fahrzeug selbst eine Gefahr darstellt. Die korrekte Handhabung von Rettungsdatenblättern sowie das Tragen von PSA nach den jeweiligen Standards sind weitere Aspekte, die der Experte hervorhebt.

Des Weiteren unterstreicht der Experte die Bedeutung einer umfassenden Schulung für Einsatzkräfte, bevor spezifische Löschmethoden diskutiert werden. Ein einheitlicher Standard für das Freischalten von Elektrofahrzeugen fehlt derzeit. Dies stellt ein erhebliches Risiko dar und erfordert daher eine gründliche Schulung. Auch Umwelteinflüsse spielen eine entscheidende Rolle, wie etwa Wetterbedingungen oder äußere Einwirkungen durch Tiere, die zu einem Kurzschluss führen können.

Der Experte äußert sich kritisch zum Einsatz von Löschdecken bei der Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen. Er erklärt, dass herkömmliche Löschdecken für diesen Zweck nicht geeignet sind, da Lithium-Ionen-Energiespeicher, wenn sie brennen, selbst Sauerstoff generieren. Daher können sie nicht effektiv durch Löschdecken gelöscht werden. Ursprünglich wurden solche Decken für den Transport von Fahrzeugen entwickelt, die bei einem Brand auf Roll-on-Roll-off-Schiffen in Brand geraten sind. Der Experte bestätigt jedoch die Möglichkeit, ein Fahrzeug nach einem Brand mit einer solchen Löschdecke sicher zum nächsten Quarantäneplatz zu transportieren.

Invasive Löschesysteme, so der Experte, sind nicht zukunftsweisend, da sie zwar einige Vorteile bieten, jedoch die Nachteile überwiegen. Die derzeitige DGUV-Verordnung vom November 2023, wird als vage und unterschiedlich interpretierbar kritisiert, während sich ein Wandel bei den Sicherheitseinrichtungen von Hochvoltbatterien bei Herstellern abzeichnet.

Eine zentrale Erkenntnis des Experten ist, dass Fahrzeuge bei einem Brand oft als Totalschaden gelten. Er warnt vor den Risiken invasiver Löschesysteme, die nicht nur hohe Kontamination für Einsatzkräfte bedeuten, sondern auch die Struktur der Zellen zerstören und somit die Sicherheit der Einsatzkräfte gefährden können.

Der Experte weist darauf hin, dass mit einer WBK der Thermal Runaway, also der unkontrollierte Anstieg der Batterietemperatur, gut lokalisiert werden kann. Allerdings betont er, dass das sichere Treffen des Hotspots nicht unbedingt gewährleistet ist. Dies bedeutet, dass die WBK zwar dabei helfen kann, den gefährdeten Bereich zu identifizieren, aber die präzise Zielerfassung schwierig sein kann.

Alternativmethoden wie das Versenken der Fahrzeuge werden als sicherer angesehen, wobei die Entsorgung des Löschwassers in Behältern als kostengünstig und

umweltfreundlich betrachtet wird. Der logistische Aufwand liegt jedoch nicht in der Zuständigkeit der Feuerwehr, sondern sollte von professionellen Abschleppdiensten übernommen werden.

Der Experte macht deutlich, dass Szenarien nicht so häufig auftreten, in denen Fahrzeuge in einem Ausmaß brennen, dass der Li-Ionen-Energiespeicher anschließend gesondert behandelt werden muss. Er erklärt, dass Hochvoltbatterien nicht immer sofort zu brennen beginnen. Diese Einsicht verdeutlicht, dass Brände, die eine spezielle Behandlung des Li-Ionen-Energiespeichers erfordern, nicht die Regel sind und nur selten auftreten, wie zahlreiche Experimente belegen.

Abschließend betont der Experte die Bedeutung einer gründlichen Erkundung vor Einsatzbeginn und empfiehlt die Verwendung konventioneller Strahlrohre mit Netzmitteln wie F500, um die Effektivität der Brandbekämpfung zu steigern. Darüber hinaus gibt er Anmerkungen zur Handhabung von Hochvoltbatterien aus PV-Anlagen und betont die laufende Forschung zur Integration von Kühlsystemen oder löschenden Fluiden in Hochvoltbatterien, um die Sicherheit bei Bränden weiter zu verbessern.

Für kleinere Akkus erwähnt der Experte die Verwendung von Behältern mit Glasperlen. Diese werden um den heißen Akku gelegt, wodurch die Glasperlen schmelzen und eine schützende Barriere um den Akku bilden. Dies ermöglicht es, den Li-Ionen-Energiespeicher sicher aus dem Gebäude zu entfernen. Falls keine Glasperlen vorhanden sind, kann auch ein kleiner Behälter mit Wasser verwendet werden, um den Li-Ionen-Energiespeicher zu kühlen. Diese Methode wird als effektive Möglichkeit angesehen, um mit kleineren Akkus umzugehen und ihre potenzielle Gefährlichkeit zu minimieren.

Der Experte hebt hervor, dass Automobilhersteller bereits Feuerwehröffnungen in Hochvoltbatterien integrieren. Dies wird als wegweisende Technologie betrachtet. Diese Öffnungen ermöglichen es, im Falle eines Brandes konventionelle Strahlrohre einzusetzen und Wasser direkt in das Innere der Batterie zu leiten. Dieser Ansatz macht invasive Löschsysteme überflüssig und reduziert das Risiko von Kontaminationen und strukturellen Schäden an den Zellen erheblich. Es zeigt sich, dass die Integration solcher Feuerwehröffnungen einen bedeutenden Fortschritt in der Akkubrandbekämpfung darstellt und die Sicherheit für Einsatzkräfte weiter erhöht.⁸⁸

⁸⁸ Seier 2024, o.S.

4 Ergebnisse

Zur Zusammenfassung und Darstellung der Ergebnisse werden die gewonnenen Erkenntnisse aus der Literatur sowie den durchgeführten Experteninterviews analysiert und in den Kontext der Fragestellung dieser Arbeit eingeordnet. Das erzielte Ergebnis dient der Ermittlung der Effektivität des Schneid-Löschsystems als primäres Einsatzmittel zur Brandbekämpfung in Li-Ionen-Energiespeichern.

4.1 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Alternative Antriebssysteme für Fahrzeuge mit einer steigenden Zahl von Umrüstungen auf Elektro-, Plug-in-Hybrid- und Hybridfahrzeuge, im Aufschwung sind. Im Vergleich zum Jahr 2019, als nur unter 250.000 Elektro-PKW zugelassen waren, zeigt sich ein deutlicher Anstieg. Dieser Trend wird durch Umweltbewusstsein, staatliche Anreize und technologische Fortschritte vorangetrieben.⁸⁹

Zudem stellt die vorliegende Arbeit dar, dass die Beliebtheit von PV-Anlagen mit einem Anstieg um 47%, stark zu nimmt. Dieser Trend wird durch Umweltbewusstsein, Technologiefortschritte und staatliche Förderungen vorangetrieben, welches die Bedeutung erneuerbarer Energien betont.⁹⁰

Die zunehmende Popularität alternativer Antriebsmittel und erneuerbarer Energiequellen stellt eine Herausforderung für die Feuerwehr dar. Dies erfordert eine kontinuierliche Weiterentwicklung der feuerwehrtechnischen Ausrüstung und Ausbildung. Es ist notwendig, regelmäßig zu überprüfen, wie diese effektiv, sicher und umweltfreundlich gelöscht werden können.⁹¹

Eine definitive Festlegung von geeigneten Sicherheitskonzepten gestaltet sich aufgrund der Vielfalt und raschen Weiterentwicklung dieser Technologien derzeit schwierig. Potenzielle Gefahren für Brände und Unfälle im Zusammenhang mit Lithium-Ionen-Energiespeichern können aus mechanischer Beschädigung, elektrischer Überlastung und thermischer Beanspruchung resultieren. Trotz dieser Risiken gelten Lithium-Ionen-Speichermedien unter der Bedingung einer sorgfältigen Herstellung, Zertifizierung der Systeme und angemessenen Handhabung als sicher. Im Falle eines Brandes können herkömmliche Methoden zur Brandbekämpfung angewendet werden, wobei Wasser als bevorzugtes Löschmittel empfohlen wird. Die Feuerwehr muss effektive Löschmaßnahmen durchführen und gleichzeitig die Wärmeentwicklung des

⁸⁹ Kraftfahrt-Bundesamt 2023, o.S.

⁹⁰ Statistisches Bundesamt 2023, o.S.

⁹¹ Neumann 2023, o.S.

Speichermediums überwachen. Ein direkter Ausbau der Batterien aus ihren Gehäusen wird in der Regel nicht empfohlen, da dies zusätzliche Gefahren birgt. Stattdessen kann eine frühzeitige Kühlung der Batterie dazu beitragen, das sogenannte "thermische Durchgehen" zu verhindern.⁹²

In jüngster Zeit wurden neue Erkenntnisse im Bereich des Kühlens von Li-Ionen-Energiespeichern erzielt. Ein schwedisches Unternehmen hat ein Schneid-Löschsystem entwickelt, das als Lösung für die Brandbekämpfung konzipiert wurde. Ursprünglich für den Einsatz in Gebäuden, Tunneln und schwer zugänglichen Bereichen entwickelt, ermöglicht dieses System das gezielte Richten von Wasser und Löschmittel mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit auf den Brandherd. Es hat sich als äußerst effektiv bei der Brandbekämpfung sowohl in Gebäuden als auch auf Schiffen erwiesen und ist aufgrund seiner Flexibilität und Mobilität ideal für die Bekämpfung von Bränden. Neuerdings hat es sich auch als geeignet für die Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern erwiesen.⁹³

Die Optimierung und essenzielle Verbesserung der Gefahrenabwehr bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern ist durch dieses System gegeben und in Hamburg schon teil der Ausrüstung. Die Fragestellung liegt darin, welche Präferenz für die Anwendung des invasiven Löschsystems im Vergleich zum Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern besteht. Das Analyseziel zielt auch darauf ab, den optimalen Vorgehensweg bei Bränden von Photovoltaik-Anlagen zu identifizieren und den Mehrwert des Schneid-Löschsystems zu bewerten.⁹⁴

Brandereignisse können in verschiedenen Phasen auftreten und durch Qualitätsmängel, unsachgemäßen Umgang oder mangelhafte Infrastruktur verursacht werden. Die öffentliche Wahrnehmung von Lithium-Ionen-Energiespeichern wurde durch Vorfälle in Smartphones und Elektrofahrzeugen geschärft, während Sicherheitsmaßnahmen wie das Laden unter Beobachtung empfohlen werden.

Lithium-Ionen-Energiespeicher existieren in primären und sekundären Varianten und finden Anwendung in verschiedenen Bereichen wie Kommunikation und Industrie. Sie unterscheiden sich in Bauformen und Kennzahlen wie Spannung und Kapazität. Sicherheitsaspekte wie das Batteriemanagementsystem und Transportvorschriften sind von Bedeutung.⁹⁵

⁹² FA VB/G 2018, S. 1f.

⁹³ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

⁹⁴ Neumann 2023, o.S.

⁹⁵ DGUV 2024, S. 5-46

4.2 Methodisches Vorgehen durch Anwendung von Experteninterviews und Literaturrecherche

Das methodische Vorgehen in dieser Arbeit wird wie folgt dargestellt. Die Nutzung von Literaturarbeit als Alternative zur empirischen Forschung bietet die Möglichkeit, ein Thema durch die kritische Betrachtung vorhandener Literatur zu untersuchen. Dies erfordert die eigenständige Zusammenstellung relevanter Literatur und eine sorgfältige Auseinandersetzung mit Theorien und Konzepten. Aktivitäten wie der Vergleich von Theorien und das Aufzeigen von Forschungslücken sind dabei möglich. Der Hauptvorteil der Literaturarbeit liegt in der Verfügbarkeit von Daten und der geringeren Abhängigkeit von Kooperationen. Ein Vergleich mit der empirischen Forschung zeigt jedoch, dass die Literaturarbeit eine solide Basis für die Forschung bietet und den aktuellen Forschungsstand präsentiert.⁹⁶

Eine weitere Methode in dieser Arbeit war das Experteninterview. Experteninterviews spielen eine entscheidende Rolle in der wissenschaftlichen Forschung, insbesondere bei neuen Themen mit begrenzter Literatur. Ihr Zweck liegt darin, einen Experten auszuwählen, um Fragen zum Thema der Bachelorarbeit zu beantworten und zur Beantwortung der Forschungsfrage beizutragen.⁹⁷

In dieser wissenschaftlichen Forschung spielen qualitative Interviews eine entscheidende Rolle. Ihr Ziel ist es, tiefergehende Einblicke in Meinungen, Perspektiven und Erfahrungen des Experten zu erhalten. Durch die Betrachtung komplexer Themen aus verschiedenen Blickwinkeln schaffen sie eine reichhaltige Datenbasis für die Analyse. Offene Fragen ermöglichen die Gewinnung neuer Erkenntnisse, insbesondere für wenig erforschte Themen oder individuelle Meinungen.⁹⁸

In der wissenschaftlichen Forschung sind Experteninterviews von großer Bedeutung für die Generierung von neuem Wissen und das Vertiefen des Verständnisses zu komplexen Themen. Diese Bachelorarbeit verwendet die Methodik der qualitativen Interviews. Die Entscheidung, das zweite Experteninterview ohne Transkript zu belassen, basiert primär auf der Wahrung der Vertraulichkeit und dem Schutz ethischer Standards bezüglich Datenschutz und Privatsphäre durch die Durchführung des Interviews ohne Transkript.

Trotz unterschiedlicher Meinungen der Experten entstand eine wertvolle Synergie, die die Arbeit bereicherte und diversifizierte. Die Vielfalt der Expertenmeinungen trug somit maßgeblich zur Bereicherung und Diversifizierung der Studie bei.

⁹⁶ Pfeiffer 2021b, o.S.

⁹⁷ Pfeiffer 2021a, o.S.

⁹⁸ Günther 2023, o.S.

4.3 Aufbau von Li-Ionen-Energiespeichern

Der Aufbau von Lithium-Ionen-Energiespeichern ist äußerst komplex und umfasst verschiedene Komponenten. Einzelne Zellen werden zu Modulen zusammengefasst, um Batteriepakete zu bilden. Ein entscheidendes Element des Aufbaus ist das Gehäuse, das nicht nur die Batterie, sondern auch weitere Komponenten schützt, einschließlich Kühlungselemente. Der Begriff "Li-Ionen-Energiespeicher" umfasst eine Vielzahl von Akkus, die hauptsächlich in Fahrzeugen mit hoher Reichweite eingesetzt werden. Die Zellen des Li-Ionen-Energiespeichers enthalten einen Elektrolyt aus organischen Lösungsmitteln, gelösten Leitsalzen und anderen Substanzen. Diese organischen Lösungsmittel sind brennbar, wobei das Leitsalz Lithiumhexafluorophosphat enthält, jedoch kein elementares Lithium. Daher ist Wasser als Löschmittel geeignet, wobei Parallelen zu Diesel- und Benzinfahrzeugen bestehen, da auch diese brennbare Flüssigkeiten enthalten⁹⁹. Im Gegensatz dazu nutzen Hybridfahrzeuge oft Nickel-Metall-Hydrid-Energiespeicher. Ein zentrales Problem von Li-Ionen-Energiespeichern ist ihre Anfälligkeit gegenüber Überladung, Tiefenentladung, mechanischer Beschädigung und thermischer Beanspruchung. Mögliche Kurzschlüsse können zu Hitze, brennendem Elektrolyt und explosiven Gemischen in geschlossenen Räumen führen. Eine Kettenreaktion, bekannt als thermisches Durchgehen, kann zu giftigen und krebserregenden Stichflammen, Lichtbögen und Graphitwolken führen.¹⁰⁰

Die Positionierung von Akkus variiert je nach Typ und Größe des Akkus sowie des Fahrzeugs. Bei Elektrofahrzeugen werden die Akkus oft im Bereich der Hinterachse platziert, um eine gleichmäßige Gewichtsverteilung und verbesserte Fahrstabilität zu gewährleisten. Größere Akkus können auch in der Mitte des Fahrzeugs untergebracht sein, während kleinere Akkus häufig im Motorraum für einen leichteren Zugang positioniert werden. Im Falle von Lastkraftwagen ist es üblich, den Akku seitlich am Fahrgestell anzubringen, um den verfügbaren Platz effizient zu nutzen. Bei Bussen befindet sich der Li-Ionen-Energiespeicher normalerweise auf dem Dach des Fahrzeugs. Einige Busse verfügen zusätzlich über Ultrakondensatoren zur Energiespeicherung, die während der Fahrt aufgeladen werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Verlegung von Hochvoltkabeln im gesamten Fahrzeug, um eine sichere Stromübertragung zwischen verschiedenen Komponenten des elektrischen Antriebssystems gemäß den geltenden Sicherheitsstandards zu gewährleisten.¹⁰¹

⁹⁹ FA VB/G 2018, S. 1f.

¹⁰⁰ Heck 2022, S. 32ff.

¹⁰¹ Heck 2022, S. 26f.

4.4 Sicherheit bei der Erkundung und Deaktivierung

Die grundlegenden Einsatzprinzipien der Feuerwehren in Deutschland bei der Brandbekämpfung oder dem präventiven Löschen von Elektrofahrzeugen sind ebenso von großer Bedeutung. Hierbei liegt der Fokus auf der Erkundung und Identifizierung des Fahrzeugantriebs, der Überprüfung von Schäden an Hochvoltbatterien sowie der Sicherung des Fahrzeugs gegen Wegrollen. Zusätzlich ist die Deaktivierung des Fahrzeugs ein entscheidender Schritt. Daher ist es von höchster Wichtigkeit, Gefahrenzonen zu meiden, um das Risiko für die Einsatzkräfte zu minimieren.

Das Ziel dieser Analyse besteht darin, ein tiefgreifendes Verständnis für die Sicherheitsaspekte an der Einsatzstelle zu erlangen. Dabei geht es insbesondere darum, die Forschungsfrage im Kontext der Sicherheit zu beantworten. Die Untersuchung konzentriert sich darauf, potenzielle Gefahrenquellen zu identifizieren und zu analysieren, um entsprechende Maßnahmen zur Risikominimierung zu entwickeln. Dieser Ansatz ermöglicht eine fundierte Bewertung der Sicherheitslage und trägt dazu bei, die Effektivität der Einsatzstrategien zu verbessern.¹⁰²

Moderne Autos besitzen Li-Ionen-Energiespeicher mit einem hohen Sicherheitsniveau, um potenzielle Risiken im Falle eines Unfalls zu minimieren. Ein entscheidender Aspekt ist die Integration von Schutzvorrichtungen, um die Li-Ionen-Energiespeicher vor äußeren Einflüssen zu sichern, darunter Spritzwasser. Besonders wichtig ist der Berührungsschutz, der das Risiko eines Stromschlags reduziert, solange das Fahrzeug unbeschädigt ist. Nach einem Unfall bleiben diese Vorrichtungen oft intakt, während Hochvoltssysteme automatisch abgeschaltet werden. Einige Fahrzeugmodelle verfügen über Trägheitsschalter, die bei bestimmten Überschreitungen Systeme abschalten. Diese sind äußerlich jedoch nicht erkennbar. Die Auslösung von Airbags deutet darauf hin, dass Antriebssysteme abgeschaltet wurden. Eine manuelle Abschaltung zur Risikominimierung ist dennoch ratsam. Moderne Sensorsysteme erkennen in der Regel keine Brände, daher können brennende Fahrzeuge trotzdem mit dem System verbunden sein. Im Brandfall steigt der Druck in den Li-Ionen-Energiespeichern im Gehäuse, welcher über Überdrucköffnungen abgeleitet wird, um eine sichere Handhabung zu gewährleisten.¹⁰³

Hybrid- und Elektrofahrzeuge erzeugen Spannungen im Bereich von 12 bis 800 Volt. Selbst geringe Spannungen wie 25 Volt Wechselspannung und 60 Volt Gleichspannung können potenzielle Gefahren für Menschen darstellen. Hierzu gehören insbesondere Herzrhythmusstörungen, die zu einem Herzstillstand führen können. Um Sicherheit zu gewährleisten, sind Fahrzeuge mit integrierten Sicherheitseinrichtungen ausgestattet, die im Falle eines Defekts oder Unfalls auslösen, um Schutz zu bieten. Orangefarbene Kabel dienen als Kennzeichnung für Hochvoltleitungen, um Personen, die Wartungsarbeiten durchführen, auf die Gefahr von Hochspannungskomponenten

¹⁰² Heck 2022, S. 10

¹⁰³ Heck 2022, S. 10ff.

aufmerksam zu machen. Daher ist es entscheidend, dass Personen, die mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen arbeiten, über Risiken und Sicherheitsmaßnahmen informiert sind, um Unfälle oder Verletzungen zu vermeiden.¹⁰⁴

Elektrofahrzeuge sind mit Sicherheitsmaßnahmen ausgestattet, um das Hochvoltssystem zu deaktivieren. Eine wichtige Komponente ist der Wartungsstecker, der die Deaktivierung des Hochvoltsystems ermöglicht. Allerdings sind nicht alle Wartungsstecker für die Verwendung durch Rettungskräfte geeignet.¹⁰⁵

Die Deaktivierung des Hochvoltsystems ist von entscheidender Bedeutung für sicheres Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltbatterien. Trotz der Möglichkeit einer Airbag-Auslösung wird eine manuelle Abschaltung empfohlen. Es gibt zwei grundsätzliche Methoden, mit einer zusätzlichen Option für Elektro- und Hybridantriebe.

Die erste Möglichkeit beinhaltet das Ausschalten der Zündung, welche das Schutzrelais an der Hochvoltbatterie öffnet und die Stromversorgung des Steuergeräts unterbricht. Die zweite Möglichkeit besteht darin, das Bordnetz zu unterbrechen, um das Brand- und Kurzschlussrisiko zu minimieren und ein ungewolltes Einschalten des Systems zu verhindern. Es ist wichtig zu überprüfen, ob die Warnblinkanlage noch funktioniert und die Start-Stopp-Automatik nicht zu betätigen, wenn das Fahrzeug bereits aus ist.

Das Bordnetz sollte immer abgeklemmt werden, um ein Wiedereinschalten zu verhindern, insbesondere während des Ladens des Hochvoltsystems. Beim Trennen des Ladekabels ist es wichtig, auf das abgeklemmte Bordnetz zu achten, da dies den wichtigsten Schritt darstellt und die Sensoren zur Unfallerkennung deaktiviert werden. Das Entfernen des Steckers ist nur möglich, wenn das Fahrzeug entriegelt ist. Im Falle eines nicht lösbaren Steckers oder einer beschädigten Ladestation sollte die Ladestation deaktiviert werden.¹⁰⁶

Selbst nach Deaktivierung des Fahrzeugs behalten diese Batterien ihr elektrisches Potenzial bei. Daher ist eine differenzierte Herangehensweise bei der Brandbekämpfung erforderlich, da herkömmliche Löschmethoden möglicherweise nicht ausreichen.¹⁰⁷

Elektrofahrzeuge, einschließlich Hybridfahrzeuge, werden gemäß strenger Standards produziert und betrieben, um potenzielle Fehler zu minimieren. Zertifizierte Elektrofahrzeuge sind durch orangefarbene Kennzeichnungen an unter Spannung stehenden Teilen gekennzeichnet und verwenden zertifizierte Ladeeinrichtungen sowie eine sorgfältige Zellenüberwachung. Die Beurteilung der Brandgefahren und -leistung von Elektrofahrzeugen steht im Vergleich zu anderen Antriebsarten und hängt von den verbauten Brandlasten ab. Feuerwehren sollten bei Gefährdungsbeurteilungen die gleichen Kriterien anwenden wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Zertifizierte Ladeeinrichtungen gelten insbesondere in Garagen, einschließlich Tiefgaragen, als unverzichtbar, um potenzielle Risiken zu minimieren.¹⁰⁸

¹⁰⁴ Heck 2022, S. 27f.

¹⁰⁵ Heck 2022, S. 31

¹⁰⁶ Heck 2022, S. 65-80

¹⁰⁷ Heck 2022, S. 59

¹⁰⁸ FA VB/G 2018, S. 2f.

Die DGUV empfiehlt ebenfalls Sicherheitsmaßnahmen im Umgang mit Lithium-Ionen-Energiespeichern. Fahrzeugbrände, besonders bei Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, stellen besondere Herausforderungen dar. Zusatzgefahren wie umherfliegende Teile und brennende Leichtmetalle sowie die mögliche elektrische Gefährdung durch die Hochvoltanlage sind zu beachten. Wichtig ist es, das Ladekabel während der Brandbekämpfung zu trennen, eine Notentriegelung kann erforderlich sein.¹⁰⁹

Die Darstellung der Vorgehensweise bei Verkehrsunfällen ohne Brand ist von entscheidender Bedeutung für die präventive Anwendung des Versenkens von Li-Ionen-Energiespeichern. In den ersten Minuten gestaltet sich die schnelle Identifizierung alternativer Antriebe als herausfordernd. Ein Ausgangspunkt bietet die Befragung des Fahrers. Es bedarf einer sorgfältigen Erkundung äußerer Merkmale sowie des Motor- und Kofferraums. Die Abfrage des Kennzeichens bei der Leitstelle stellt die sicherste Methode dar, um festzustellen, ob ein alternativer Antrieb vorliegt. Es existiert kein eindeutiges äußeres Erkennungsmerkmal für alternative Antriebe. Andere relevante bauliche Aspekte müssen ebenfalls erforscht werden.

Durch die Leitstelle kann ein Rettungsdatenblatt angefordert oder bereits durch den eCall übermittelt worden sein. Dieses enthält alle erforderlichen Informationen zur Ermittlung der Antriebsart. Die Anwendung der AUTO-Regel dient als Gedankenstütze für die Einsatzkräfte, um den Einsatz mit alternativen Antrieben erfolgreich durchzuführen.

Es ist wichtig, das Austreten von Betriebsstoffen zu untersuchen, den Unterboden auf mögliche Hochvoltkabel zu prüfen und den Tankdeckel zu inspizieren. Die Identifizierung von Symbolen und die Form des Einfüllstutzens am Tankdeckel sind von Bedeutung. Die Oberfläche des Fahrzeugs muss erkundet werden, um gegebenenfalls Symbole zur Antriebsart zu finden.

Obwohl spezielle KFZ-Kennzeichen für Elektroantriebe keine Pflicht sind, kann bei Vorhandensein eines E-Kennzeichens sicher davon ausgegangen werden, dass ein Li-Ionen-Energiespeicher verbaut ist.¹¹⁰

Die Inspektion einer Hochvoltbatterie auf potenzielle Schäden ist von entscheidender Bedeutung, um mögliche Risiken zu erkennen. Das Rettungsdatenblatt kann genutzt werden, um zu überprüfen, ob sich an beschädigten Stellen des Fahrzeugs eine Hochvoltbatterie befindet¹¹¹. Die Gefährdung durch Li-Ionen-Energiespeicher besteht unabhängig vom Zustand des Fahrzeugs. Im Falle einer Beschädigung der Hochvoltbatterie besteht die Gefahr des Austretens von toxischen und entzündbaren Gasen, welche die Entstehung eines Brandes begünstigen könnten. Im Gegensatz dazu verfügen Nickel-Metall-Hydrid-Akkus nicht über brennbare Elektrolyte, was ihre Sicherheit in solchen Situationen erhöht.¹¹²

¹⁰⁹ DGUV 2023, S.1-5

¹¹⁰ Heck 2022, S. 39-47

¹¹¹ Heck 2022, S. 80

¹¹² Heck 2022, S. 54-57

Die Analyse zeigt, dass eine starke Beschädigung oder ein Brand nicht zwangsläufig die Batterie beschädigt¹¹³. Dies ist für die Abschleppunternehmen relevant, da Brände auch lange nach der Beschädigung auftreten können.

Anzeichen für eine beschädigte Hochvoltbatterie sind Rauchentwicklung, ungewöhnliche Geräusche wie Knistern oder Zischen, Funkenbildung und/oder Brandgeruch. Die Erwärmung der Batterie durch innere Reaktionen kann mit einer Wärmebildkamera erfasst werden, jedoch stellt die dicke Verpackung eine Herausforderung dar.

Zur Erkundung werden Mehrgasmessgeräte empfohlen, da bei einer Beschädigung verschiedene Gase wie Kohlenmonoxid, Methan, Wasserstoff und organische Carbonate entstehen können.¹¹⁴

Es ist bekannt, dass Fahrzeuge ohne Betriebsgeräusche betriebsbereit sein können. Zur Sicherung verunfallter Fahrzeuge ist es entscheidend, Maßnahmen gegen ein mögliches Wegrollen zu ergreifen. Dies umfasst die Sicherung durch Keile unter die Räder sowie das Anziehen der Feststellbremse und das Einlegen der Parkstellung bei Fahrzeugen mit Automatiktrieb. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn Fahrzeuge nicht auf allen vier Reifen stehen. Insbesondere bei Fahrzeugen mit großen Hochvoltbatterien, muss der Schwerpunkt berücksichtigt werden, denn der Schwerpunkt kann die Sicherung des Fahrzeugs beeinflussen.¹¹⁵

Der Austritt von giftigen und brennbaren Gasen stellt eine herausragende Gefahr dar. Diese Gase können reizend und ätzend wirken und erhöhen die Brandgefahr. Besondere Vorsichtsmaßnahmen sind bei einer Beschädigung der Hochvoltbatterie erforderlich. Solange die Hochvoltbatterie nicht zerstört ist und keine internen Teile freiliegen, besteht keine unmittelbare elektrische Gefahr.

Es ist wichtig, den Fahrzeuginnenraum kontinuierlich zu belüften, auch bei der Übergabe an den Abschleppdienst. Bei sichtbarer Beschädigung der Hochvoltbatterie sollte diese mit Wasser gekühlt werden, um thermische Reaktionen zu verhindern. Einsatzkräfte sollten Atemschutz tragen, auch wenn keine offensichtlichen Flammen sichtbar sind, da das Einatmen austretender Gase gesundheitliche Risiken birgt.

Das Vorgehen bei einer beschädigten Hochvoltbatterie muss angepasst werden, da potenzielle elektrische Gefahren von freiliegenden Komponenten ausgehen können. Es ist ratsam, mit elektrisch isolierter Ausrüstung zu arbeiten. Dies gilt auch beim Aufsammeln von elektrischen Komponenten vom Boden.¹¹⁶

Im Bereich der Elektromobilität ist es stets erforderlich, von einer unter Spannung stehenden und voll aufgeladenen Hochvoltbatterie auszugehen. Solange die Batterie intakt ist, darf sie von Einsatzkräften nicht mechanisch beschädigt werden.¹¹⁷

¹¹³ Hellsten 2023, o.S.

¹¹⁴ Heck 2022, S. 54-57; DGUV 2023, S.1-5

¹¹⁵ Heck 2022, S. 64

¹¹⁶ Heck 2022, S. 58f.

¹¹⁷ Heck 2022, S. 80

Die Einsatzgrundsätze bei VU gelten auch für Elektrofahrzeugbrände, jedoch mit abgewandelter Taktik. Im Falle von Flammen aus dem Fahrzeug ist von einem Totalverlust auszugehen, daher sollte eine risikoarme Taktik angewendet werden. Fahrzeugbrände stellen für Einsatzkräfte eine Vielzahl von Gefahren dar.

Diese Gefahren umfassen das Auslösen von Airbags, das Platzen von Reifen, den Zerknall von Gasdruckdämpfern und die Reaktion von Löschwasser mit Leichtmetallen. Zudem ist die Gefahr des Wegrollens brennender Fahrzeuge zu beachten, während gleichzeitig Atemgifte durch den Brandrauch freigesetzt werden.

Nach dem Löschen ist die manuelle Deaktivierung der Abschaltmechanismen erforderlich. Die Brandbekämpfung sollte immer in vollständiger PSA erfolgen¹¹⁸. Ein ausreichender Sicherheitsabstand beim Löschen ist einzuhalten. Gemäß dem Rettungsdatenblatt sollte das Fahrzeug nach dem Brand deaktiviert werden.

Die Einsatzgrundsätze umfassen die Identifizierung des Fahrzeugantriebs, die Überprüfung von Schäden an der Hochvoltbatterie, das Sichern gegen Wegrollen, die Brandbekämpfung und die Deaktivierung des Fahrzeugs.¹¹⁹

Die Herangehensweise beim Löschen von Bränden bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen erfordert eine differenzierte Betrachtung. Es ist entscheidend, zwischen Bränden mit und ohne Einbeziehung der Hochvoltbatterie zu unterscheiden. Ein Brand ohne Beteiligung der Batterie weist auf externe Brandquellen hin und ermöglicht eine konventionelle Brandbekämpfung.

Brände mit Einbeziehung der Hochvoltbatterie können durch interne oder externe Ursachen entstehen. Eine lange Vorbrandzeit oder starke mechanische Beschädigung sind erforderlich, um den Hochvoltspeicher zu entzünden. Die Freisetzung brennbarer Elektrolyte kann in geschlossenen Räumen explosionsartige Gemischbildung verursachen.

Die Brandbekämpfung bei Einbeziehung der Hochvoltbatterie erfordert eine abweichende Vorgehensweise, da nicht-invasive Löschsysteme das Batterieinnere oft nicht erreichen können. Solange die Hochvoltbatterie nicht mechanisch beschädigt ist, besteht keine unmittelbare elektrische Gefahr.

Es wird empfohlen, die Strahlrohrabstände einzuhalten, da das Hochvoltsystem als elektrische Anlage betrachtet wird. Die Freisetzung von Fluorwasserstoff (HF) unterstreicht die Bedeutung der Einsatzstellenhygiene.

Das Löschwasser ist aufgrund der starken Kontamination mit Schwermetallen belastet. Aufgrund der Hochvoltbatterie ist ein erhöhter Löschmittelbedarf und eine längere Löschdauer erforderlich.

Ohne invasive Maßnahmen gibt es Schwierigkeiten beim Einbringen von Löschwasser in das Batterieinnere. Das Versenken von Hochvoltbatterien wirkt nur von außen kühlend. Ein verzögertes Wiederentzünden des Hochvoltspeichers ist möglich, jedoch eher unwahrscheinlich¹²⁰. Vor der Anwendung eines invasiven Löschsystems sind

¹¹⁸ FA VB/G 2018, S. 1f.

¹¹⁹ Heck 2022, S. 82

¹²⁰ Hellsten 2023, o.S.

ausreichende Löcher in der Batterie erforderlich. Sollte dies nicht der Fall sein, muss darauf gewartet werden, bis das brennbare Elektrolyt aufgebraucht ist.¹²¹

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung bergen Lithium-Ionen-Energiespeicher potenzielle Brandgefahren, insbesondere bei Beschädigung oder Defekten. Bei Sicherheitsmaßnahmen sollten Herstellerhinweise beachtet und äußere Einwirkungen vermieden werden. Beim Laden sind geeignete Ladegeräte und regelmäßige Überwachung wichtig.

Der Transport von Lithium-Ionen-Energiespeichern unterliegt spezifischen Gefahrgutvorschriften, um mechanische Beschädigungen und Brände zu vermeiden. Rücknahme und Kennzeichnung gemäß Batteriegesetz sind ebenfalls geregelt.

Der Brandschutz im Umgang mit Lithium-Ionen-Energiespeichern erfordert eine sorgfältige Risikoanalyse und entsprechende Sicherheitseinrichtungen. Der Brandverlauf und die Erkennung von Bränden spielen dabei eine wichtige Rolle, ebenso wie die Lagerung und Brandschadensanierung.¹²²

Die Ergebnisse aus Experteninterviews zu invasiven Löschsystemen für Batteriebrände in Elektrofahrzeugen verdeutlichen wichtige Empfehlungen für ihren gezielten Einsatz.

Ein Experte rät dazu, invasive Löschsysteme nur bei tatsächlich betroffenen Akkus einzusetzen, um Risiken zu minimieren und die Effektivität zu optimieren. Eine gründliche Untersuchung vor Ort ist entscheidend, um fundierte Entscheidungen zu treffen und potenzielle Risiken zu minimieren. Nicht betroffene Akkus erfordern keine Behandlung mit invasiven Methoden, was Ressourcen spart und die Konzentration auf betroffene Akkus ermöglicht. Die Entsorgung beschädigter Fahrzeuge mit Li-Ionen-Energiespeichern sollte von Fachfirmen durchgeführt werden, um Umweltschutz und die Verhinderung weiterer Zwischenfälle sicherzustellen. Während des Löschens sind Vorsichtsmaßnahmen geboten, um mögliche Spannungen zu vermeiden und unerwünschte Folgen zu minimieren. Namhafte Automobilhersteller zeigen Interesse an invasiven Löschsystemen und sehen sie als wirksames Mittel zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit. Tests in Schweden bestätigen die Effektivität dieser Systeme bei der Brandbekämpfung und Batteriesicherung, welche wichtige Erkenntnisse für ihre Weiterentwicklung und Integration liefert. Die Ergebnisse betonen die Bedeutung internationaler Zusammenarbeit und den Erfahrungsaustausch für die Entwicklung innovativer Sicherheitstechnologien und ihren gezielten Einsatz. Insgesamt unterstreichen diese Ergebnisse die Relevanz und Wirksamkeit invasiver Löschsysteme bei der Bewältigung von Batteriebränden in Elektrofahrzeugen und betonen die Bedeutung einer sorgfältigen Planung und Zusammenarbeit für eine sichere und effektive Brandbekämpfung.¹²³

¹²¹ Heck 2022, S. 86-89

¹²² DGUV 2024, S. 5-46

¹²³ Anhang 3, Z. 14-141

Im Experteninterview mit Sebastian Seier, einem erfahrenen Gemeindebrandmeister, Notfallmanager und Fachberater für Elektromobilität, wurden wesentliche Erkenntnisse für die Brandbekämpfung bei Elektrofahrzeugen gewonnen.

Der Experte, welcher in der Forschungsabteilung tätig ist und die Betriebsfeuerwehr leitet, legt großen Wert auf die Beherrschung der Einsatzgrundsätze durch die Einsatzkräfte.

Eine gründliche Spezialisierung auf das Thema Elektrofahrzeugbrände ist unerlässlich, um die Gefahrenlage vor Ort angemessen zu erkennen.

Auch dieser weist auf die korrekte Handhabung von Rettungsdatenblättern hin und das Tragen von PSA, welches wichtige Aspekte sind.

Einheitliche Standards für das Freischalten von Elektrofahrzeugen fehlen derzeit und erfordern gründliche Schulungen für die Einsatzkräfte.

Umwelteinflüsse wie Wetterbedingungen und äußere Einwirkungen können zu einem Kurzschluss führen und die Brandgefahr erhöhen. Insgesamt betonen die Ergebnisse des Interviews die Bedeutung einer umfassenden Ausbildung, einer genauen Kenntnis der Gefahrenlage und einer sorgfältigen Planung für eine sichere und effektive Brandbekämpfung bei Elektrofahrzeugen.¹²⁴

4.5 PV-Anlagen

Auch die Brandbekämpfung bei PV-Anlagen wurde gründlich analysiert und wird in folgender Betrachtung reflektiert. Eine fundierte Herangehensweise bei der Brandbekämpfung und technischen Hilfeleistung bei PV-Anlagen ist entscheidend. Dies erfordert ein umfassendes Verständnis der Anlagen sowie der damit verbundenen Risiken und Schutzmaßnahmen. Nur durch dieses Wissen können effektive Maßnahmen ergriffen werden, um Brände zu bekämpfen und Schäden zu minimieren. Daher ist eine kontinuierliche Schulung und Vorbereitung der Einsatzkräfte von großer Bedeutung, um im Ernstfall adäquat reagieren zu können und die Sicherheit zu gewährleisten.¹²⁵

Die Einsatzgrundsätze und das Löschen von PV-Anlagen wurden sorgfältig untersucht, und im Folgenden wird die Lösung erläutert. Ziel ist es, die Sinnhaftigkeit eines Vorgehens mit invasiven Löschsystemen bei Li-Ionen-Energiespeichern zu hinterfragen und die Bedeutung des Versenkens dieser Speicher für die Sicherheit zu beleuchten.

Die Vorbereitung und Durchführung von Einsätzen bei PV-Anlagen erfordert eine umfassende Planung und Fachkenntnis, einschließlich der Untersuchung verschiedener Aspekte wie Einsatzvorbereitung, -durchführung, -schaltung und -sicherheit. Die Erfassung vorhandener PV-Anlagen im Objekt sowie die Überarbeitung von

¹²⁴ Seier 2024, o.S.

¹²⁵ Deutscher Feuerwehr Verband 2010, S. 6-17

Feuerwehrplänen sind entscheidend für eine effektive Einsatzplanung und die Identifikation potenzieller Gefahren.¹²⁶

Die Präsenz von Hochvoltbatterien in Gebäuden erfordert sorgfältige Überlegungen. Es muss entschieden werden, ob die Hochvoltbatterie aus dem Gebäude entfernt werden kann, sollte dies sicher möglich sein. Dabei können Hilfsmittel wie Rangierhilfen oder Transportroller zur Unterstützung eingesetzt werden. Das Ziel ist es, die Brandgefahren zu minimieren und die Kontamination durch Brandfolgeprodukte zu reduzieren.

Besondere Aufmerksamkeit muss auf das Abblasen unverbrannter Elektrolytdämpfe aus der Hochvoltbatterie in geschlossenen Räumen gelegt werden, da dies zu einer erheblichen Explosionsgefahr führen kann. Es ist daher von eminenter Wichtigkeit, diese Gefahr zu beachten und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um die Sicherheit zu gewährleisten.¹²⁷

4.6 Löschmethoden

Das untersuchte Kapitel behandelt die Vielfalt der Löschmethoden und legt dabei einen Fokus auf spezifische Vorgehensweisen. Es umfasst nicht nur Maßnahmen zur Brandbekämpfung nach einem Brand, sondern auch präventive Ansätze zur Verhinderung von Bränden.

Der effektive Umgang mit Bränden von Lithium-Ionen-Energiespeichern erfordert ein gut koordiniertes Zusammenspiel verschiedener taktischer Maßnahmen und Ressourcen. Das vorrangige Ziel besteht darin, die Sicherheit von Einsatzkräften und Bürgern zu gewährleisten.¹²⁸

Eine konventionelle Löschmethode mit C-Mehrzweck-Strahlrohren wird verwendet, um Fahrzeugbrände zu bewältigen. Die französische Taktik sieht vor, zwei Strahlrohre einzusetzen. Ein Strahlrohr wird zur Kühlung der Hochvoltbatterie eingesetzt, um die Brandausbreitung zu minimieren, während das andere sich auf die direkte Brandbekämpfung des Fahrzeugs konzentriert. Das Ziel besteht darin, eine effektive und sichere Vorgehensweise zur Brandkontrolle zu gewährleisten, ohne die Eskalationsgefahr zu erhöhen. Es wird empfohlen, weitere Hilfsmittel wie Hydroschilder unter den betroffenen Fahrzeugen zu integrieren, um eine großflächige Verteilung von Wasser unter dem Fahrzeug zu ermöglichen, was zur weiteren Reduzierung der Hochvoltbatterietemperatur und zur Sicherstellung der Einsatzkräfte-Sicherheit beiträgt.¹²⁹

¹²⁶ Deutscher Feuerwehr Verband 2010, S. 18-23

¹²⁷ Heck 2022, S. 95f.

¹²⁸ Neumann 2023, o.S.

¹²⁹ Heck 2022, S. 90

Das präventive Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern erfordert eine professionelle Herangehensweise für die Bergung und Entsorgung von Elektrofahrzeugen nach Deformation oder Brand, ohne sichtbare Anzeichen einer Reaktion der Hochvoltbatterie. Spezialisierte Abschleppdienste sind auf die sichere Bergung solcher Fahrzeuge ausgerichtet und verwenden geeignete Transportfahrzeuge oder spezielle Transportcontainer, gegebenenfalls mit Wasser geflutet. Häufig wird das Fahrzeug in einer Löschdecke verpackt oder in einem mit Wasser gefüllten Container versenkt, um potenzielle Brandausbreitung zu verhindern. Die Dokumentation mittels Übergabeprotokolls zwischen Einsatzkräften und Abschleppunternehmen ist wichtig, um den Fahrzeugzustand festzuhalten und Handlungsempfehlungen zu dokumentieren. Es sei hervorzuheben, dass die Feuerwehr diese Handlung lediglich im Rahmen ihrer unterstützenden Funktion ausführt, während die primäre Verantwortung für den Verkehrsunfall stets beim Verursacher verbleibt. Im Falle eines Hochvoltbatteriedefekts kann das Fahrzeug versenkt werden, um potenzielle Brandausbreitung zu verhindern. Dieser Prozess erfordert erheblichen logistischen Aufwand und sollte nur bei Unvermeidlichkeit angewendet werden. Das Versenken des Fahrzeugs trägt zur Verhinderung potenzieller weiterer Entzündungen bei, führt jedoch zur Kontamination von Kühlwasser, das fachgerecht entsorgt werden muss.¹³⁰

Das Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern nach einem Brand umfasst verschiedene spezialisierte Container, Abrollbehälter oder Anhänger, die auf dem Markt verfügbar sind und sich für die Brandbekämpfung eignen. Ein nachhaltiger Löscheffekt wird durch das vollständige Eintauchen der Hochvoltbatterie in ein Wasserbad erreicht. Diese Methode erfordert, dass der Brand zunächst in einem Maß gelöscht wird, das die sichere Bewegung des Fahrzeugs ermöglicht. Das Prinzip basiert darauf, dass das Löschwasser in beschädigte Lithium-Ionen-Energiespeicher eindringt und die Entladung der Hochvoltbatterie initiiert wird. Zumal ein hoher logistischer Aufwand erforderlich ist, sollte diese Taktik nur als letztes Mittel angewendet werden, wenn keine andere Möglichkeit besteht. Der Prozess ähnelt dem eines Verkehrsunfalls ohne Brand.¹³¹

Herkömmliche Löschmulden sind oft nicht ausreichend groß, um Lithium-Ionen-Energiespeicher in Lastkraftwagen sicher zu kühlen. Deshalb ist der Einsatz invasiver Methoden sinnvoll, insbesondere bei größeren Hochvoltbatterien, die nicht in Mulden versenkt werden können.¹³²

Im Folgenden wird eine umfassende Analyse der invasiven Löschmethoden präsentiert. In der heutigen Zeit gibt es eine breite Vielfalt an invasiven Löschmethoden auf dem Markt. Diese technologischen Vorrichtungen stellen innovative Lösungen dar, um verschiedenen Anforderungen im Brandschutz gerecht zu werden.

In der heutigen Technologie werden sogenannte E-Löschlanzen eingesetzt. Diese Lanzen werden mit einem einzigen Schlag in die Hochvoltbatterie eingeführt, wobei gleichzeitig Wasser in die Batterie geleitet wird. Experimente haben gezeigt, dass Brände

¹³⁰ Heck 2022, S. 59-64

¹³¹ Heck 2022, S. 94

¹³² Neumann 2023, o.S

in der Hochvoltbatterie erfolgreich bekämpft werden können, wobei weniger Wasser benötigt wird. Die Effektivität dieser Methode ist unbestreitbar, jedoch gibt es gewisse Bedenken. Das Einbringen der Lanze widerspricht den Anweisungen der Fahrzeughersteller, das Batteriegehäuse nicht zu beschädigen, was ein Risiko für eine elektrische Gefährdung darstellt. Handgeführte Lanzen wurden, im Gegensatz zu ferngesteuerten Varianten, lange Zeit nicht empfohlen. Es ist wichtig zu beachten, dass nur beschädigte Li-Ionen-Energiespeicherzellen durchstoßen werden dürfen, da das Einbringen der Lanze unerwünschte Reaktionen der Hochvoltbatterie auslösen kann, wenn eine nicht beschädigte Zelle durchstoßen wird.¹³³

Die Schneid-Löschtechnik stellt eine innovative Methode zur Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern dar. Ihre Vorteile liegen in der sicheren Kühlung heißer Brandgase von außerhalb des Brandraums. Ein Hochdruck-Wasserstrahl mit Abrasiv durchdringt schnell alle bekannten Baustoffe und erzeugt ein kleines Loch. Der feine Wassernebel kühlt effektiv die Brandgase, wobei der Wasserverbrauch gering ist, etwa 30-60 Liter pro Minute. Wasser ist die einzige Möglichkeit, ein Thermal Runaway in der Hochvoltbatterie zu stoppen. Tests in Tschechien haben vielversprechende Ergebnisse gezeigt, indem Flammen und Rauch unterdrückt wurden und eine innere Kühlung durchgeführt wurde. Über 20 Akkupacks wurden erfolgreich getestet, sowohl mit als auch ohne Additive. Es besteht keine elektrische Gefahr, solange keine festen Verbindungen zur Ladesäule bestehen. Die Schneid-Löschtechnik ist eine effektive Methode zum Stoppen der Brandausbreitung mit vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten. Es ist jedoch wichtig, Sicherheitsaspekte zu beachten, einschließlich geeigneter Schutzausrüstung und einer umfassenden Risikoanalyse. Sie sollte nur bei sichtbaren Flammen eingesetzt werden, wobei auf Abrasiv verzichtet wird. Zusätzlich sollte vor explosiven Rauchgasen gewarnt werden. Insgesamt ist die Schneid-Löschtechnik eine äußerst effektive Methode, bei der die Sicherheit der Einsatzkräfte im Fokus steht.¹³⁴

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von invasiven Löschsystemen und anderen Technologien in der Brandbekämpfung ist von entscheidender Bedeutung. Das Ziel besteht darin, die Sicherheit der Feuerwehrleute zu gewährleisten und Brände effizient zu bekämpfen. Dies wird durch Schulungen, Forschung und den Austausch bewährter Praktiken erreicht. Die kontinuierliche Verbesserung der Brandbekämpfung trägt dazu bei, das Risiko für Feuerwehrleute zu verringern. Die Zukunft der Brandbekämpfung liegt in innovativen Technologien und einem ganzheitlichen Ansatz zur Sicherheit und Gesundheit der Feuerwehrleute. Das Schneid-Löschsystem stellt dabei ein wichtiges Werkzeug dar, das Sicherheit und Effizienz vereint und die Brandbekämpfung auf vielfältige Weise unterstützt.¹³⁵

Das Schneid-Löschsystem kann mithilfe einer hochentwickelten Funkfernsteuerung gesteuert werden. Die Steuerungseinheit sendet dabei fein abgestimmte Signale an die Handlanze. Das Ziel dieser Technologie ist eine präzise Steuerung, effiziente Navigation

¹³³ Heck 2022, S. 93f.

¹³⁴ Hellsten 2023, o.S.

¹³⁵ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

und gezielte Einsätze. Durch die Funkfernsteuerung wird ein reibungsloser und effizienter Betrieb des Schneid-Löschsystems ermöglicht.¹³⁶

Vor jedem Einsatz des Schneid-Löschsystems ist eine gründliche Risikobewertung erforderlich. Das Ziel dieser Bewertung ist es, fundierte Entscheidungen hinsichtlich Taktik, Technologie und Sicherheit zu treffen, wobei die Sicherheit der Einsatzkräfte oberste Priorität hat. Eine umfassende PSA ist entscheidend für den Einsatz des Systems und umfasst die Schutzhülle am Gerät, Helm, Gehörschutz, Visier oder Maske, Feuerwehr-Einsatz-Schutzkleidung, Handschuhe und Sicherheitsschuhe. Die korrekte PSA und die Einhaltung der Sicherheitsanweisungen sind von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit der Einsatzkräfte, wodurch Unfälle und Verletzungen während des Einsatzes vermieden werden sollen. Die strenge Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen ermöglicht eine effektive Arbeit und minimiert das Risiko von Zwischenfällen.¹³⁷

Der optimierte Wassereinsatz spielt eine entscheidende Rolle bei der Verkürzung der Einsatzzeit und der Einsparung von Ressourcen. Eine Reduzierung des Löschwasserverbrauchs führt zu weniger anfallendem kontaminiertem Löschwasser. Die Bestimmung des Ausbreitungsgrades während eines Brandes ist eine herausfordernde Aufgabe, die von einer Vielzahl externer und interner Faktoren beeinflusst wird. Hierzu zählen Temperatur, Rauch, Geräusche, Zellchemie, Ladestand und Batteriearchitektur. Eine gründliche Analyse von Rettungsblättern und des ERG ist entscheidend für die Einsatzplanung. Erfolgreiche Tests haben gezeigt, dass das Batteriepack erreichbar ist und eine Brandbekämpfung möglich ist. Jedoch kann potenzielle Restenergie im Batteriepack zu Wiederauflammungen führen, weshalb eine umfassende Risikoabschätzung und Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind. Die Komplexität der Brandbekämpfung bei Li-Ionen-Energiespeicherbränden betont die Bedeutung einer ganzheitlichen Herangehensweise für eine effektive Eindämmung und Minimierung von Gefahren.¹³⁸

Der Plan für den Einsatz in Umgebungen mit geringem Risiko umfasst spezifische Funktionen und entsprechende Ausrüstung, die für eine effektive Reaktion entscheidend sind. Die vorgesehenen Funktionen umfassen den Einsatzleiter, den Bediener, den Sekundant, den Bediener des Strahlrohrs und den Fahrer, von denen jede eine koordinierte Funktion gewährleistet. Die erforderliche Ausrüstung umfasst Atemschutzgeräte, persönliche Schutzausrüstung, das Schneid-Löschsystem, Schläuche, eine Wärmebildkamera und eine Überdruckbelüftung. Diese Ausstattung ermöglicht sicheres und effektives Arbeiten bei der Minimierung potenzieller Gefahren. Es ist wichtig, zusätzliche Ausrüstung gemäß den örtlichen Vorschriften bereitzuhalten, um den Einsatz an spezifische Gegebenheiten anzupassen. Die effektive Koordination von Funktionen und die Bereitstellung geeigneter Ausrüstung sind entscheidend für einen

¹³⁶ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

¹³⁷ Eichler und Kaschner 2023, o.S.

¹³⁸ MSB 2023, S. 39

sicheren und erfolgreichen Einsatz bei Elektrofahrzeugbränden und erfordern kontinuierliche Schulung und Anpassung an neue Entwicklungen und Erkenntnisse.¹³⁹

Die Euro-Rescue-App bietet Zugriff auf Fahrzeugdaten für die Einsatzplanung. Es ist wichtig, das Teilen des Stromkreises der Traktionsbatterie zu vermeiden, um Gefahren zu minimieren. Der Fortschritt während des Einsatzes wird mit einer Wärmebildkamera überwacht. Das Ziel des Angriffs mit dem Schneid-Löschsystem ist es, die Traktionsbatterie unter 50°C abzukühlen und die Temperatur zu stabilisieren. Eine kontinuierliche Überwachung der Traktionsbatterie auch nach dem Löschen des Feuers ist entscheidend, um erneute Entzündungen zu verhindern. Die Anpassung des taktischen Vorgehens bei herkömmlichen Fahrzeugbrandbekämpfungen ist ebenfalls wichtig. Das Schneid-Löschsystem wird für schnellen und effizienten Zugriff mit begrenzter Wassermenge genutzt. Hotspots werden mit der Wärmebildkamera lokalisiert, um das Schneid-Löschsystem gezielt mit zusätzlicher Wasserquelle anzuwenden. Die Handlanzenverlängerung ermöglicht einen optimierten Angriff von außerhalb des Fahrzeugs. Die Kommunikation zwischen Teammitgliedern sichert die optimale Positionierung der Schneid-Löschsystem-Lanze. Durch die Verwendung der Handlanze wird der Abstand zwischen dem Lanzenbediener und dem Fahrzeug vergrößert, um nahezu vollständigen Kontakt zu vermeiden. Der Lanzenbediener wird aus dem elektrischen System des Batteriefahrzeugs ausgeschlossen. Mit Wissen und Übung können Brände von Elektrofahrzeugbatterien kontrolliert werden. Die Vorteile des Schneid-Löschsystems umfassen die Begrenzung von Wasserschäden, niedrigen Wasserverbrauch und flexible Nutzung. Die Ergonomie und einfache Bedienung machen das Schneid-Löschsystem vielseitig für verschiedene Brandszenarien und Fahrzeugtypen. Schulungen ermöglichen einen sicheren und effektiven Einsatz des Instruments.¹⁴⁰

Die defensive Taktik erfordert, dass die Umgebung des brennenden Objekts dies zulässt. Andere Erwägungen wie der Schutz eines höherwertigen Guts können die defensive Taktik ausschließen. Die Leitlinie besteht darin, das Feuer kontrolliert brennen zu lassen. Es ist sinnvoll, Hochvoltbatterien kontrolliert abbrennen zu lassen, insbesondere wenn nur der Li-Ionen-Energiespeicher brennt und nicht das gesamte Fahrzeug. Dies setzt voraus, dass der Brand durch konventionelle Methoden begrenzt und herkömmliche Löschversuche erfolglos waren. Es wird erwartet, dass Löcher im Li-Ionen-Energiespeicher durch das Brandereignis entstehen, sodass Löschwasser beim Versenken eindringen kann. Die genaue Dauer des kontrollierten Abbrennens kann jedoch noch nicht bestimmt werden.¹⁴¹

Die Maßnahmen im Anschluss an die Brandbekämpfung sind von entscheidender Bedeutung, da eine verzögerte Wiederentzündung der Hochvoltbatterie eine bedeutende Herausforderung darstellt. Dies erfordert eine angemessene

¹³⁹ Cold Cut Systems 2023, S. 3

¹⁴⁰ Cold Cut Systems 2023, S. 4f.

¹⁴¹ Heck 2022, S. 94f.

Nachbeobachtung des Li-Ionen-Energiespeichers nach der Brandbekämpfung. In dieser Phase ist es entscheidend, da weiterhin Rauch oder Wärmeentwicklung auftreten können, was die potenzielle Notwendigkeit eines erneuten Feuerwehreinsatzes signalisiert. Selbst nach erfolgreicher Brandbekämpfung bleibt die Möglichkeit einer Wiederentzündung bestehen, weshalb äußerste Vorsicht geboten ist. Die Vorgehensweise für das präventive Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern wird im Kapitel 2.4.2 detailliert erklärt.¹⁴²

Auch Löschmaßnahmen werden in den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes thematisiert. Im Falle eines Brandes sollten Elektrofahrzeuge mit Wasser gelöscht werden, wobei Löschmittelzusätze zur Effektivität beitragen können. Nach dem Löschen ist eine engmaschige Überwachung der Batterietemperatur erforderlich, um ein mögliches Wiederentzünden zu erkennen. Um Rückzündungen zu vermeiden, ist es wichtig, den Batteriebereich ausreichend lange mit Wasser zu kühlen, bevor das Fahrzeug an den Abschleppdienst übergeben wird. Elektrofahrzeuge in geschlossenen Bereichen mit potenzieller Rückzündungsgefahr sollten gegebenenfalls ins Freie verbracht werden, um die Sicherheit von Personen und Eigentum zu gewährleisten. Diese präventiven Maßnahmen sind wesentlich, um potenzielle Risiken im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen zu minimieren und die Sicherheit in allen Situationen zu gewährleisten.¹⁴³

Die Verwendung von Kleinbatterien in großem Umfang ohne Zertifizierung und Überwachung kann ernsthafte Sicherheitsprobleme verursachen. Risiken umfassen Selbstentzündung und schnelle Brandausbreitung. Im Brandfall erfordert es den Einsatz von Wasser zur Feuerbekämpfung, wobei auch das Risiko von Batterieexplosionen besteht. Hausspeicheranlagen, die zertifiziert und überwacht sind, bergen ähnliche Risiken wie andere elektrische Geräte. Empfohlen wird die Anordnung gemäß den Richtlinien der VDE AR E 2510-2 sowie die sorgfältige Überwachung der Batterietemperatur. Die Lagerung von Lithium-Ionen-Speichermedien ist von verschiedenen Faktoren abhängig und stellt ein komplexes Risiko dar. Bauliche Abschottungen und ausreichende Wasserversorgung sind entscheidend für effektive Löscharbeiten. Zur Begrenzung eines Brandabschnitts müssen grundlegende taktische Vorgehensweisen mit Wasser durchgeführt werden. Es ist entscheidend, präventive Maßnahmen und effektive Notfallpläne für die Handhabung von Energiespeichersystemen zu implementieren. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Behörden und Feuerwehren ist erforderlich, um die Sicherheit von Personen und Eigentum zu gewährleisten.¹⁴⁴

Die Entsorgung von Batterien wird durch das Gemeinsame Rücknahmesystem der Batteriehersteller koordiniert. Es besteht ein erhebliches Risiko von Brandereignissen während der Entsorgung, insbesondere bei beschädigten Lithium-Ionen-

¹⁴² Heck 2022, S. 95

¹⁴³ FA VB/G 2018, S. 2f.

¹⁴⁴ FA VB/G 2018, S. 3f.

Energiespeichern. Ursachen für Brände sind Selbstentzündung oder mechanische Belastung, wie sie in Müllfahrzeugen auftreten kann. Das genaue Risiko jeder einzelnen Zelle ist aufgrund der Vielzahl von Batteriezuständen schwer abzuschätzen. Besonders gefährlich sind beschädigte Zellen, die Substanzen austreten lassen, da sie als Gefahrgut eingestuft werden. Präventiver Brandschutz erfordert die Lagerung ausgesonderter Batterien außerhalb von Gebäuden oder in speziell abgetrennten Bereichen. Bei Batterien, die Flüssigkeiten abgeben können, ist die Installation einer Löschwasserrückhaltung ratsam. Im Brandfall müssen grundlegende taktische Vorgehensweisen mit Wasser angewendet werden, wobei Löschmittelzusätze möglich sind. Ausreichende Mengen an Löschwasser sind entscheidend, um den Brand auf einen begrenzten Bereich zu kontrollieren. Die Handhabung von Produktaustritten sollte gemäß der FwDV 500 erfolgen.¹⁴⁵

Die DGUV empfiehlt ebenfalls die folgenden Maßnahmen im Umgang mit dem Löschen von Lithium-Ionen-Energiespeichern. Die Brandbekämpfung von Fahrzeugbränden mit Li-Ionen-Energiespeichern stellt aufgrund verschiedener Faktoren eine komplexe Herausforderung dar. Externe Kühlung ist aufgrund der thermischen Isolation der Zellen wenig effektiv. Ein erfolgreicher Löscheinsatz erfordert ausreichend Wasser, das in das Innere der Batterie gelangt, wobei Wasser ohne Zusätze als geeignetes und empfohlenes Löschmittel gilt. Neben Li-Ionen-Energiespeichern können auch andere Batterietechnologien wie NiMH in Fahrzeugen verbaut sein, die weniger reaktiv im Brandverhalten sind. Bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern werden Atemgifte und gesundheitsschädliche Verbrennungsprodukte freigesetzt, ähnlich wie bei anderen Bränden.

Während eines solchen Brandes breitet sich das Feuer innerhalb der Li-Ionen-Energiespeicher von Zelle zu Zelle aus. Die Rauchentwicklung zeigt sich durch eine hellgraue bis tiefschwarze Rauchwolke. Brennbare Elektrolyte können als weißer Rauch oder Dampf erkennbar sein, während sich Graphit als grauer Rauch zeigt. Das Abblasen von brennbaren Elektrolytdämpfen kann außerhalb der Batterie ein zündfähiges Gas/Luft-Gemisch bilden, welches zu Stichflammenbildung oder einer Durchzündung führt. In geschlossenen Räumen besteht die Gefahr der Bildung einer explosiven Atmosphäre.

Während des Brandes können glühende Metallteile und andere brennende Komponenten aus der Batterie ausgestoßen werden. Durch die hohen Temperaturen können auch Löcher im Batteriegehäuse entstehen, durch die Löschmittel eindringen können. Der genaue Verlauf eines solchen Brandes ist von verschiedenen Faktoren abhängig, darunter die Bauform der Zellen, die Zellchemie und der Ladezustand. Das gezielte Einbringen von Löschwasser in den Energiespeicher ist nur bei bestimmten Indikatoren für einen Batteriebrand ratsam, da austretende Dämpfe und Gase giftig und brennbar sind. Im Falle eines Fahrzeugbrands kann der Energiespeicher weiterbrennen. Die Auswahl der geeigneten Brandbekämpfungsmethode erfolgt anhand einer

¹⁴⁵ FA VB/G 2018, S. 4f.

Gefährdungsbeurteilung und Herstellerangaben. Brandbegrenzungsdecken sind nicht als aktive Brandbekämpfungsmittel vorgesehen.¹⁴⁶

Die im folgenden empfohlenen Brandbekämpfungsstrategien bei Batteriebränden in Elektrofahrzeugen basieren auf den Ergebnissen des Wissenschaftlichen Berichts über die Brandschutzforschung der Bundesländer und umfasst.

Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren. Diese Methode beinhaltet den gezielten Einsatz von Hohlstrahlrohren zur effektiven Löschung des Brandes. Hohlstrahlrohre ermöglichen eine präzise und kontrollierte Wasserverteilung, um den Brand zu bekämpfen und die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.

Löschmitteleinbringung in Batteriesysteme mittels spezieller Löschtechnik. Diese Strategie beinhaltet die gezielte Einbringung von Löschmitteln in das Batteriesystem, um den Brand zu ersticken und die Ausbreitung zu stoppen. Spezielle Löschtechniken werden verwendet, um eine effektive Löschung zu gewährleisten und gleichzeitig das Risiko von Schäden an der Batterie zu minimieren.

Externe Kühlung mittels unter dem Fahrzeug positionierter Kühllarmatur. Bei dieser Methode wird eine spezielle Kühllarmatur unter dem Fahrzeug positioniert, um eine effektive Kühlung des Batteriesystems zu ermöglichen und die Temperatur zu senken. Dies hilft, die Ausbreitung des Brandes zu verhindern und die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.

Verwendung von Brandbegrenzungsdecken. Brandbegrenzungsdecken werden eingesetzt, um Flammenerscheinungen durch Sauerstoffreduzierung zu unterbinden und die Ausbreitung des Brandes zu kontrollieren. Diese Decken dienen als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme, um die Wirksamkeit der Brandbekämpfung zu erhöhen und die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.

Diese empfohlenen Methoden sollen dazu beitragen, die Effektivität und Sicherheit der Brandbekämpfung bei Batteriebränden in Elektrofahrzeugen zu verbessern und den Einsatzkräften klare Leitlinien für die Bewältigung solcher Situationen zu geben.¹⁴⁷

Zusammenfassend erörtert die Expertise von Sebastian Seier, der auf diesem Gebiet spezialisiert ist, die folgenden Erkenntnisse. Invasive Löschesysteme werden kritisch betrachtet und als nicht zukunftsweisend angesehen, da ihre Nachteile überwiegen und sie Risiken für die Einsatzkräfte bergen.

Alternative Methoden wie das Versenken der Fahrzeuge werden als sicherer angesehen und sollten bevorzugt werden.

Die Integration von Feuerwehroffnungen in Hochvoltbatterien durch Automobilhersteller wird als wegweisende Technologie betrachtet, die die Brandbekämpfung erleichtert.

Brände, die eine spezielle Behandlung des Li-Ionen-Energiespeichers erfordern, treten selten auf. Daher wird eine gründliche Erkundung vor Einsatzbeginn empfohlen.¹⁴⁸

¹⁴⁶ DGUV 2023, S.1-5

¹⁴⁷ Neske et al. 2022, S. 1-101

¹⁴⁸ Seier 2024, o.S.

4.7 Taktisches Vorgehen und das Einsatzgebiet der Feuerwehr Hamburg

Das taktische Vorgehen der Feuerwehr Hamburg bei Bränden von Li-Ionen-Energiespeichern wird analysiert, um seine Effektivität zu bewerten. Das invasive Löschesystem befindet sich auf einem Abrollbehälter der Technik- und Umweltwache und wird auf Anforderung zum Einsatzort gebracht. Die genaue Positionierung des Abrollbehälters an der Einsatzstelle ist oft unklar. Es ist jedoch wichtig, dass der Abrollbehälter nicht direkt an die vorderste Front gebracht wird. Die Freiwillige Feuerwehr Eppendorf oder die Freiwillige Feuerwehr Warwisch unterstützen die Einheit personell mit jeweils einem Löschfahrzeug und einem GKW 1 mit FwA-LiMa. Um die Einsatzbereitschaft zu verbessern, bestehen Überlegungen, das invasive Löschesystem auf separaten Fahrzeugen ähnlich einem Kleintransporter oder einem Pick-up, die aus dem Bestand der Feuerwehr kommen, zu positionieren. Das invasive Löschesystem auf dem Abrollcontainer ist auf einem Rollwagen verlastet, um an der Einsatzstelle mobil zu sein. Eine Führungskraft ist für das invasive Löschesystem benannt und mit einer Weste ausgestattet, welche auf dem Rollwagen verlastet ist. Zusätzliche Schulungen für konventionelle Brandbekämpfung von Elektrofahrzeugen ist wichtig. Vor allem für Einsatzkräfte die zuerst, ohne das Schneid-Löschsystem, ankommen. Die Feuerwehr Hamburg verfügt derzeit nicht über spezielle Vorrichtungen zum Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern und kühlt sie konventionell mit Strahlrohren oder verwendet das Schneid-Löschsystem. Es fehlt ein einsatzspezifisches Konzept für Brände von Photovoltaik-Anlagen mit Li-Ionen-Energiespeichern.¹⁴⁹

Der Tätigkeitsbereich der Feuerwehr Hamburg erstreckt sich über verschiedene Einsatzgebiete. Dies umfasst die Brandbekämpfung von Li-Ionen-Energiespeichern, deren effektive Bewältigung von großer Bedeutung ist. Im Vergleich zu anderen Großstädten ist die Häufigkeit solcher Speicher immens. Ein Schwerpunkt liegt auf der Identifizierung potenzieller Einsatzorte. Die Feuerwehr Hamburg agiert vielseitig, einschließlich Brandbekämpfung, technischer Hilfe und Umweltschutz. Einsatzszenarien umfassen Brandbekämpfung, technische Hilfeleistung bei Verkehrsunfällen, Rettung von Personen und Tieren aus Notsituationen sowie Umweltschutzmaßnahmen.¹⁵⁰

Die Berufsfeuerwehr Hamburg steht vor der Herausforderung, mit Akkubränden in verschiedenen Szenarien umgehen zu müssen. Diese können bei Brandfällen mit Li-Ionen-Energiespeichern in elektronischen Geräten wie Smartphones, Laptops, Tablets und Elektrofahrzeugen auftreten. Auch in Industrie- oder Gewerbegebieten, Recyclingzentren, Abfallanlagen und bei Transportunfällen sind Akkubrände möglich. Hamburg als bedeutende Großstadt Deutschlands mit einer beträchtlichen Anzahl von Fahrzeugen auf den Straßen ist davon besonders betroffen. Die verkehrsgünstige Lage an der Elbe und gut ausgebaute Autobahnen wie die A7 und A1 tragen zu einem hohen

¹⁴⁹ Neumann 2023, o.S.

¹⁵⁰ Feuerwehr Hamburg 2022, S. 21-24

Verkehrsaufkommen bei. Trotz Bemühungen um den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs bleibt das Auto ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrslösungen in Hamburg.

Besonders im Hamburger Hafen, einem der größten Containerhäfen Europas, steigt das Risiko von Akkubränden aufgrund mehrerer Faktoren. Im Transport, der Lagerung und dem Schiffsverkehr können Lithium-Ionen-Akkus ein Brandrisiko darstellen. Elektrisch betriebene Schiffe oder Hybrid-Schiffe nutzen ebenfalls Akkus oder Batterien, um Treibstoffverbrauch und Emissionen zu reduzieren. Die Feuerwehr Hamburg muss daher über entsprechende Ressourcen und Fachkenntnisse verfügen, um effektiv auf Akkubrände zu reagieren und die Sicherheit in der Stadt zu gewährleisten.

5 Diskussion

Um die Effektivität des Schneid-Löschsystems zu ermitteln, wurde eine umfassende Analyse von Daten und Fakten durchgeführt. Diese Analyse erfolgte mittels einer Literaturrecherche sowie durch zwei Experteninterviews. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Sicherheit bei der Erkundung und Deaktivierung von Lithium-Ionen-Energiespeichern, dem Aufbau dieser Energiespeicher und insbesondere verschiedenen Löschmethoden. Ein Schwerpunkt lag dabei auf dem Schneid-Löschsystem sowie der Methode des Versenkens von Lithium-Ionen-Energiespeichern. Zudem wurde das taktische Vorgehen der Feuerwehr Hamburg beleuchtet und analysiert.

Die Feuerwehr Hamburg führt bereits ein Schneid-Löschsystem als eine sichere und effektive Methode zur Bekämpfung von Bränden in Li-Ionen-Energiespeichern. Diese innovative Technologie ermöglicht es, reagierende Energiespeicher effektiv zu löschen und zu kühlen, ohne dass eine Umrüstung auf Container erforderlich ist. Darüber hinaus kann das Schneid-Löschsystem flexibel für verschiedene Einsatzszenarien eingesetzt werden, welches einen erheblichen Vorteil gegenüber anderen Systemen darstellt.

Das Schneid-Löschsystem bietet einen erheblichen Vorteil, da es auch für andere Einsätze genutzt werden kann, wie beispielsweise die Bekämpfung von Schiffsbränden und größeren Anlagen oder Fahrzeugen.

Es wurde erwartet, dass präventives Versenken nicht mehr erlaubt sein wird. Dies hat sich bestätigt und wird von verschiedenen Quellen empfohlen. Die Erkenntnis dieser Forschungsarbeit zeigt auf, dass zukünftig keine weiteren Löschmethoden für Li-Ionen-Energiespeicher benötigt werden, da die Hersteller vermehrt Öffnungen in die Energiespeicher integrieren, wodurch konventionelle Strahlrohre effektiv eingesetzt werden können. Überraschenderweise wird festgestellt, dass weder das Schneid-Löschsystem noch das Versenken allein zukunftsweisend sind, sondern beide Methoden relevant bleiben, während die Zukunft in den integrierten Öffnungen der

Energiespeicher liegt, welche jedoch einige Jahre benötigen werden, um vollständig flächendeckend eingebaut zu werden.

Die Feuerwehr Hamburg sollte ihr Einsatzkonzept überarbeiten, um mehr Schneid-Löschsysteme im Stadtgebiet bereitzustellen und die Erkundungsphase zu verbessern.

Die Methodik dieser Arbeit erweist sich als sinnvoll, da sie neue Erkenntnisse in diesem Bereich zusammenfasst. Empirische Forschung könnte jedoch eine weitere geeignete Alternative sein, insbesondere im Hinblick auf die Analyse des Löschwassers. Die Literaturarbeit und Experteninterviews erweisen sich als geeignete Methode, obwohl mehr empirische Forschung notwendig ist, um die Forschungsgrundlage zu diesem Thema zu erweitern.

Es ist wichtig anzumerken, dass Wasser als Löschmittel am effektivsten ist und trotz Bedenken bezüglich der Kombination von Wasser und Strom von allen Quellen als das Mittel der Wahl empfohlen wird.

Die Sicherheit der Einsatzkräfte hat oberste Priorität, da ein brennendes Fahrzeug in der Regel verloren ist. Es wird festgestellt, dass die Mehrheit der beschädigten Fahrzeuge nicht in Brand gerät.

Die Ausbildung der Feuerwehr Hamburg im Umgang mit E-Fahrzeugen ist von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Führungskräfte, um reagierende Akkus richtig zu erkennen.

Die Bedenken hinsichtlich der Genauigkeit des Schneid-Löschsystems können durch eine gründliche Ausbildung der Einsatzkräfte minimiert werden.

Die Verwendung der richtigen Ausrüstung und Schulung der Einsatzkräfte ist entscheidend für den Erfolg des Einsatzes des Schneid-Löschsystems.

Insgesamt zeigt die Studie, dass eine gründliche Ausbildung, Sicherheitsunterweisungen und die richtige Ausrüstung entscheidend sind, um effektiv auf Brände in Li-Ionen-Energiespeichern zu reagieren und die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.

Die Untersuchung des Schneid-Löschsystems in Bezug auf die Verteilung im gesamten Stadtgebiet ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da dies den Umfang der Studie überschreiten würde. Dennoch eröffnet diese Einschränkung die Möglichkeit für zukünftige Forschungsarbeiten, die die Verteilung und Anzahl der benötigten Schneid-Löschsysteme im Stadtgebiet näher untersuchen können.

Ein aktuelles Problem besteht darin, dass derzeit nur eine einzige Einheit mit dem Schneid-Löschsystem im gesamten Stadtgebiet vorhanden ist. Es ist dringend erforderlich, dieses System flächendeckend nachzurüsten.

Das Thema kontaminiertes Löschwasser wird in dieser Arbeit nur anhand der Literatur behandelt. Eine weitere Möglichkeit für zukünftige wissenschaftliche Arbeiten besteht darin, die Menge, den Schadstoffgehalt, die Kosten und die Entsorgung des kontaminierten Löschwassers genauer zu untersuchen. Ein Vergleich der

Umweltauswirkungen verschiedener Löschmethoden könnte ebenfalls wichtige Erkenntnisse liefern. Ein Vergleich zwischen kontaminiertem Wasser, das beim Einsatz des Schneid-Löschsystems und beim Versenken entsteht, kann Aufschluss darüber geben, welche Methode die geringeren Umweltauswirkungen hat und welche effizienter ist.

Des Weiteren kann in dieser Arbeit nicht festgestellt werden, ob und wie es möglich ist, den Brandrauch in geschlossenen Räumen abzukühlen, der beim Ausgasen eines Li-Ionen-Energiespeichers entsteht. Dieser Rauch ist vergleichbar mit Propangas und bildet ein explosives Gemisch. Empfehlungen zur Handhabung von ausgasenden Li-Ionen-Energiespeichern in geschlossenen Räumen könnten durch weitere Forschungsarbeiten ermittelt werden.

Die Grenzen dieser Untersuchung liegen darin, dass nur vorhandenes Wissen zusammengetragen werden konnte. Empirische Forschung sollte in diesem Themenbereich durchgeführt werden, insbesondere zur Untersuchung der Verschmutzung des Löschwassers und anderer potenzieller Gefahren.

In der Forschung zum Aufbau von Li-Ionen-Energiespeichern besteht Potenzial für die Untersuchung selbstkühlender Komponenten, die zur Verbesserung der Sicherheit und Effizienz beitragen könnten. Diese Richtung eröffnet ein neues Verständnis für die Gestaltung und Funktionalität solcher Speichersysteme.

Weitere Forschung kann sich mit der Überprüfung der PSA der Feuerwehr Hamburg im Hinblick auf die Angaben zum Schneid-Löschsystem befassen. Die Validierung der PSA im Kontext des Schneid-Löschsystems ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit der Einsatzkräfte und die Effektivität des Systems.

Empfehlungen für weiterführende Forschungen könnten beinhalten, dass empirische Studien durchgeführt werden, die Versuche an Akkus beinhalten. Solche Untersuchungen führen zu einem tieferen Verständnis der Reaktionen von Li-Ionen-Energiespeichern auf verschiedene Löschmethoden und tragen möglicherweise zu verbesserten Strategien für die Brandbekämpfung bei.

Die Durchführung von Auswertungen zu den Erfolgen der verschiedenen Löschmethoden sowie deren Wasserverbrauch und andere relevante Parameter können weitere Erkenntnisse liefern und trägt zur Optimierung der Löschtaktiken bei.

Es besteht ein Bedarf an weiterführender Forschung, um den Umgang mit Li-Ionen-Energiespeichern zu verbessern. Dazu gehört die Entwicklung geeigneter Kennzeichnungen für Li-Ionen-Energiespeicher, die Logistik und den Transport sowie die Untersuchung von Markttrends und die Nutzung von Hauspeichern. Forschung zur Entwicklung von Entsorgungstechniken für Akkumulatoren mit höheren Energiemengen ist ebenfalls notwendig, um neuen Herausforderungen gerecht zu werden.

Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit, weitere Forschung im Hinblick auf die Hygiene an Einsatzstellen nach einem Brand von Li-Ionen-Energiespeichern zu betreiben. Es ist

wichtig, die potenziellen Gefahren für die Gesundheit der Einsatzkräfte zu verstehen und geeignete Maßnahmen zur Reinigung und Dekontamination zu entwickeln, um ihre Sicherheit zu gewährleisten.

Es wird empfohlen, vermehrt quantitative Forschung durchzuführen, um fundierte Erkenntnisse über die Leistung und Effektivität verschiedener Löschmethoden und deren Auswirkungen auf die Umwelt zu erhalten. Dies trägt dazu bei, die Brandbekämpfung und den Umgang mit Li-Ionen-Energiespeichern kontinuierlich zu verbessern und die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten.

6 Fazit

Die vorliegende Arbeit wurde durch die effektive Anwendung von Literaturrecherche und Experteninterviews durchgeführt. Diese methodische Herangehensweise ermöglichte eine gründliche Analyse und Interpretation einer Vielzahl von Quellen sowie einen direkten Einblick in die Forschungs- und Einsatzpraxis. Die Experteninterviews trugen wesentlich dazu bei, ein tieferes Verständnis für die Thematik zu entwickeln und ermöglichten somit den erfolgreichen Abschluss der Arbeit. Das Hauptziel bestand darin, die Effektivität des Schneidlöschsystems für das Einsatzgebiet der Feuerwehr Hamburg zu untersuchen, was im Rahmen dieser Arbeit erfolgreich umgesetzt wurde.

Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Sicherheitsaspekte, die Einsatzgrundsätze und das Deaktivieren von Li-Ionen-Energiespeichern gelegt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf dem Aufbau der Energiespeicher sowie der Bedeutung einer gezielten Ausbildung der Feuerwehr Hamburg in diesen Bereichen. Darüber hinaus wurden verschiedene Löschsysteme analysiert und miteinander verglichen, wobei sich zeigte, dass das Schneid-Löschsystem gegenüber dem Versenken von Li-Ionen-Energiespeichern klare Vorteile bietet. Dennoch gewinnen auch die Feuerwehröffnungen in den Energiespeichern zunehmend an Bedeutung, welches einen wichtigen Forschungsaspekt darstellt.

Es wurde deutlich, dass die Sicherheit der Einsatzkräfte, die korrekte Ausbildung, das gründliche Erkunden der Einsatzstelle und die Auswahl des richtigen Löschmittels im Falle einer Reaktion oder keiner Reaktion des Li-Ionen-Energiespeichers von zentraler Bedeutung sind. Eine Erkenntnis dieser Arbeit ist zudem, dass weitere quantitative Forschung betrieben werden muss, insbesondere im Bereich der Untersuchung der Kontamination von Löschwasser und der Wirksamkeit verschiedener Löschmethoden.

Für die Feuerwehr Hamburg sollten weitere Forschungsergebnisse eine Erkenntnis darüber bringen, in welchem Maße das Schneid-Löschsystem im gesamten Stadtgebiet verteilt sein sollte, um eine optimale Einsatzbereitschaft sicherzustellen. Die

Beantwortung der wissenschaftlichen Frage ergab, dass das Schneid-Löschsystem als derzeit bestehende Technik der Feuerwehr Hamburg definitiv eine effektive Methode darstellt, um Li-Ionen-Energiespeicher zu löschen.

Jedoch sollte die Feuerwehr Hamburg ihren Fokus verstärkt auf die Ausbildung der Einsatzkräfte legen, insbesondere im Hinblick darauf, wie diese einen reagierenden Li-Ionen-Energiespeicher identifizieren können. Dadurch wird vermieden, dass unbeschädigte Akkus mit dem Schneid-Löschsystem durchströmt werden, welches die Sicherheit der Einsatzkräfte gefährdet und unnötig kontaminiertes Löschwasser produziert.

Abschließend ist festzuhalten, dass das Schneid-Löschsystem die effektivste Methode ist, Brände von Li-Ionen-Energiespeichern zu löschen, da es keine zusätzlichen Umschulungen erfordert, weniger kontaminiertes Löschwasser produziert und vielseitig einsetzbar ist. Die Zukunftsperspektive liegt jedoch in der Feuerwehröffnung im Li-Ionen-Energiespeichern, der zunehmend in Elektrofahrzeugen Verwendung findet und als sicherster Weg gilt, einen Li-Ionen-Energiespeicher zu löschen. Es wird allerdings noch einige Jahre dauern, bis die Feuerwehröffnung in sämtlichen Li-Ionen-Energiespeichern implementiert ist, weshalb sich dessen Einführung verzögert. Somit ist die Sicherheit und Effektivität des Schneid-Löschsystems die zentrale Erkenntnis dieser Arbeit, die weitere Forschung in diesem Bereich anregt.

Literaturverzeichnis

ADAC (Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V.) (2023a): Der Elektroantrieb: So funktioniert ein Elektroauto. Online im Internet unter <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/elektroantrieb/> (07.02.2024).

ADAC (Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V.) (2023b): Brennendes Elektroauto: So löscht die Feuerwehr. Online im Internet unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/e-auto-loeschen/> (17.02.2024).

Bönnighausen, Daniel (2018): Audi e-tron: Alle Details zu Ladetechnik und Batterie. Automobil. Online im Internet unter <https://www.electrive.net/2018/04/21/audi-e-tron-alle-details-zu-ladetechnik-und-batterie/> (12.02.2024).

Brand, Lambert (2022): Kühlung von brennenden E-Fahrzeugen. Landesfeuerwehrverband Niedersachsen. Online im Internet unter <https://www.lfv-nds.de/kuehlung-von-brennenden-e-fahrzeugen/> (17.02.2024).

Cold Cut Systems (2023): ANWENDUNGSFALL / ELEKTROFAHRZEUG. Broschüre. 11.12.2023.

Deutscher Feuerwehr Verband (2010): Einsatz an Photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. Online im Internet unter https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/05/BSW_Feuerwehrbroschuere_2010.pdf (10.03.2024).

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.) (2023): Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien bei Fahrzeugbränden. Online im Internet unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3907> (20.01.2024).

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.) (2024): DGUV Information 205-041. Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien. Online im Internet unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4668> (10.03.2024).

Eichler, Timo und Tobias Kaschner (2023): Schulungsunterlagen_Instructor_Cobra_1985897. Lehrgang. Feuerwehrakademie Hamburg: 12-14.12.2023.

FA VB/G (Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der deutschen Feuerwehren) (2018): Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes. Risikoeinschätzung

Lithium-Ionen Speichermedien. Online im Internet unter https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/05/2018-01_Fachempfehlung_Risikoeinschaetzung-Lithium-Ionen-Speichermedien.pdf (11.03.2024).

Feuerwehr Hamburg (2022): JAHRESBERICHT 2022. Online im Internet unter <https://www.hamburg.de/contentblob/17122340/8057ea8d42029446e07c67fc789880b8/data/jahresbericht-2022.pdf> (10.03.2023).

Günther, Lukas (2023): Qualitatives Interview – Formen und Umsetzung. Bachelor Print. Online im Internet unter <https://www.bachelorprint.de/methodik/qualitatives-interview/> (27.02.2024).

Heck, Jörg (2022): Besondere Gefahrenlagen. Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz. 2., aktual. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.

Hellsten, Jan (2023): Effizienz bei der Brandbekämpfung von Li-Ion-Akkus mittels Schneidlöschtechnik. Vortrag. Feuerwehrrakademie Hamburg: 11.12.2023.

Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2023. Pressemitteilung Nr. 08/2023. Online im Internet unter https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2023/pm08_fz_bes_tand_pm_komplett.html (02.02.2024).

MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) (2023): Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. Metodtillämpning på olika aggregationsnivåer – modul, sub-batteri, elbilspack och fordonsnivå. Online im Internet unter <https://rib.msb.se/filer/pdf/30340.pdf> (08.03.2024).

Neske, Michael, Julia Kaufmann, Daniel Butscher, Christoph Vogel (2022): Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher. Untersuchungen zum einsatztaktischen Mehrwert gegenüber anderen Löschtechniken und -taktiken. Online im Internet unter https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/imk_ber/IMK_210.pdf (11.03.2024).

Neumann, Jens (2023): Cobra Workshop. Workshop. ma-co maritimes kompetenzentrum GmbH: 18.11.2023.

Pfeiffer, Franziska (2021a): Ein Experteninterview für die Bachelorarbeit führen in 5 Schritten. Scribbr. Online im Internet unter <https://www.scribbr.de/methodik/experteninterview-bachelorarbeit/> (27.02.2024).

Pfeiffer, Franziska (2021b): Literaturarbeit als methodisches Vorgehen für die Bachelorarbeit. Scribbr. Online im Internet unter <https://www.scribbr.de/methodik/literaturarbeit/> (12.03.2024).

Seier, Sebastian (2024): Experteninterview. Notfallmanager. Gemeindebrandmeister. Fachberater Elektromobilität. Persönliche Kommunikation (05.03.2024).

Statistisches Bundesamt (2023): 87 % der importierten Photovoltaikanlagen kamen im Jahr 2022 aus China. Pressemitteilung Nr. N 012 vom 1. März 2023. Online im Internet unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_N012_43.html#:~:text=Auch%20der%20Anteil%20der%20Photovoltaik,der%20gesamten%20Stromerzeugung%20auf%20Photovoltaik. (02.02.2024).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestand an Personenkraftwagen mit alternativen Antrieben 2023.....	3
Abbildung 2: Li-Ionen-Energiespeicher Audi e-tron	10
Abbildung 3: Aufbau Elektrofahrzeug mit Hochvoltbatterie im Fahrzeugboden	11
Abbildung 4: Löschdecke zur Brandbekämpfung und präventiv Maßnahmen.....	23
Abbildung 5: Hochvolt-Container.....	23
Abbildung 6: Schneid-Löschsystem im Einsatz.....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Leitfaden zur Durchführung des Experteninterviews mit dem Senior Instructor der Firma Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamt Feuerwehr.....	84
Tabelle 2: Leitfaden zur Durchführung des Experteninterviews mit Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität.....	86

Eidesstattliche Erklärung

Verfasst von: Herr Eisenschmidt Julian Michael

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o.a. formulierten Thema ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum: 26.03.2024

Unterschrift:



Anhang

Anhang 1: Gesprächsleitfaden Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr

Einleitung (ca. 10 Minuten)

Begrüßung und Vorstellung der Teilnehmer
Einleitung und Einführung ins Thema

- Bachelorarbeit (Rettungsingenieurwesen HAW Hamburg)
 - Zielstellung: Vergleich unterschiedlicher Löschmethoden von Li-Ionen-Energiespeichern
 - Vorgehensweise: Literaturrecherche und Experteninterview
- Experteninterview
 - Garantie der Anonymität und Vertraulichkeit
 - Klärung, ob die Aufnahme des Gespräches genehmigt wird
 - Zielstellung: Beantwortung von Fragen, die in den Quellen nicht klar beantwortet werden können

Gespräch/Experteninterview (ca. 30 Minuten)

Tabelle 1: Leitfaden zur Durchführung des Experteninterviews mit dem Senior Instruktor der Firma Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamtman Feuerwehr

Hauptfragen	Mögliche Nachfragen
Kann ein invasives Löschesystem auch präventiv eingesetzt werden?	Wird ein invasives Löschesystem nur bei Energiespeichern eingesetzt, die bereits beschädigt wurden, oder auch dann, wenn noch unklar ist, ob der Energiespeicher beschädigt wurde?
Ist nach dem Einsatz von invasiven Löschesystemen immer noch ein aufwendiger Abschlepptransport erforderlich, oder entfällt dies, da der Energiespeicher von innen geflutet ist?	
Kann man durch den Einsatz eines invasiven Löschesystems erreichen, dass der Akku sich entlädt und anschließend keine Gefahr mehr von ihm ausgeht,	

ähnlich wie beim Fluten von Akkus über
einen Container?

Zusammenfassung und Ausblick (Ca. 5 min)

Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse des Experteninterviews

Danksagung für das Interview

Anhang 2: Gesprächsleitfaden Experteninterview Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität

Einleitung (ca. 10 Minuten)

Begrüßung und Vorstellung der Teilnehmer
 Einleitung und Einführung ins Thema

- Bachelorarbeit (Rettungsingenieurwesen HAW Hamburg)
 - Zielstellung: Vergleich unterschiedlicher Löschmethoden von Li-Ionen-Energiespeichern
 - Vorgehensweise: Literaturrecherche und Experteninterview
- Experteninterview
 - Garantie der Anonymität und Vertraulichkeit der Firma, der Name des Experten darf genannt werden
 - Aufnahme des Gespräches ist nicht genehmigt
 - Zielsetzung: Beantwortung von allgemeinen Fragen einer Person, die nicht bei der Feuerwehr Hamburg arbeitet und auch keiner Firma angehört, die invasive Löschsyste me entwickelt.

Gespräch/Experteninterview (ca. 30 Minuten)

Tabelle 2: Leitfaden zur Durchführung des Experteninterviews mit Sebastian Seier, Gemeindebrandmeister, Notfallmanager, Fachberater Elektromobilität

Hauptfragen	Mögliche Nachfragen
Was ist die generelle Meinung des Experten zu den verschiedenen Löschmethoden bei der Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Energiespeichern?	
Was sind die Ansichten oder Einschätzungen bezüglich der jüngsten DGUV-Verordnung vom November 2023?	Empfiehlt der Experte alternative Verordnungen?
Was ist die Einschätzung des Experten zu diesen invasiven Löschmethoden?	Besteht die Möglichkeit, dass diese Löschsyste me die Zukunft darstellen?

Zusammenfassung und Ausblick (Ca. 5 min)

Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse des Experteninterviews
Danksagung für das Interview

Anhang 3: Transkript Experteninterview Senior Instruktor Cold Cut Systems, Wachabteilungsführer Brandamt Feuerwehr

zum Telefoninterview vom 27.02.2024, von ca. 12:00– 12:45 Uhr

Audiodatei: 31 Minuten, 22 Sekunden

(Information: Im Feuerwehrwesen wird sich geduzt)

[Beginn des Interviews]

1 Sprecher 2: Kennst du die neue Verordnung der DGUV?

2

3 Sprecher 1: Ja, ich kenne die neue Verordnung bereits, aber ich habe sie noch nicht
4 vollständig in meine Arbeit integriert. Das werde ich jedoch demnächst tun. Es wird
5 darin beschrieben, wie in solchen Fällen vorzugehen ist. Deshalb komme ich auf diese
6 Frage, denn ich habe mich viel mit den Löschmethoden, die vor Erscheinen der neuen
7 DGUV-Verordnung genutzt wurden, beschäftigt und dort war viel vom Versenken der
8 Akkus die Rede. Und darum geht es auch in meiner Arbeit. Ich möchte die Löschsysteme
9 mit invasiven Methoden vergleichen. Ich vergleiche also im Grunde genommen alle
10 invasiven Löschsysteme. Und deshalb stellte ich diese Fragen.

11

12 Sprecher 2: Ah, verstehe.

13

14 Sprecher 1: Ja.

15

16 Sprecher 2: Ja.

17

18 Sprecher 1: Mir ist ein Buch in die Hände gefallen, in dem viel über diese
19 Löschmethoden steht. In diesem wurden stark die präventiven Maßnahmen
20 beschrieben, welche die DGUV nicht unbedingt verbietet, aber auch nicht mehr
21 empfiehlt. Wie siehst du das in Bezug auf invasive Löschsysteme?

22

23 Sprecher 2: Man sollte es präventiv nicht einsetzen. Erst wenn der Akku tatsächlich
24 betroffen ist, sollte man es nutzen.

25

26 Sprecher 1: Du meinst die invasiven Löschsysteme?

27

28 Sprecher 2: Ja, genau.

29

30 Sprecher 1: OK. Das heißt, du bist auch der Meinung, dass man es wirklich nur benutzen
31 sollte, wenn es notwendig ist?

32

33 Sprecher 2: Genau, ja.

34

35 Sprecher 1: OK. Denn ich habe gelesen, dass man es auch präventiv einsetzen könnte.
36 Wenn wir beispielsweise zu einem Unfallort kommen und wissen, dass es sich um ein
37 Elektrofahrzeug handelt, aber vermuten, dass der Akku nicht beschädigt ist, was häufig
38 der Fall ist. In diesem Buch, einem Kohlhammer, also einem roten Heft von Jörg Heck,
39 wurde beschrieben, dass man den Akku auch kühlen kann, wenn er nicht beschädigt ist.
40 Es wird nicht immer empfohlen, da es nicht immer notwendig ist. Aber aus
41 Sicherheitsgründen oder für den Transport des Fahrzeugs kann dies nützlich sein. Hast
42 du davon gehört oder ist das für dich nicht relevant?

43

44 Sprecher 2: Nein, das ist nicht vorgesehen. Genau, und in der neuen Version der DGUV
45 steht auch drin, dass das Einbringen des Fahrzeugs in ein wasserdichtes Behältnis
46 unbedingt vermieden werden sollte.

47

48 Sprecher 1: Genau, das habe ich auch nochmals aufgenommen. Das möchte ich in
49 meiner Arbeit betonen. Ich habe mich nur gefragt, ob es eine Alternative mit einem
50 invasiven Löschesystem gibt, wenn der Akku nicht betroffen ist. Es geht mir darum, wie
51 man das Fahrzeug von der Einsatzstelle entfernen könnte.

52

53 Sprecher 1: Wahrscheinlich könnte man mit dem invasiven Löschesystem nichts machen
54 außer mit dem Löschfahrzeug hinterherfahren und eingreifen, wenn nötig.

55

56 Sprecher 2: Ja, an der Einsatzstelle muss man sowieso warten, bis die Hotspots
57 heruntergekühlt sind. Die Hitze und die Hotspots am Auto...

58

59 Sprecher 2: Ja, entweder ist der Akku betroffen oder nicht. Es gibt nicht so etwas wie
60 eine Zwischenstufe.

61

62 Sprecher 1: Verstanden.

63

64 Sprecher 2: Wenn der Akku betroffen ist, macht sich das durch Rauchentwicklung und
65 Hitze bemerkbar.

66

67 Sprecher 1: Richtig.

68

69 Sprecher 2: Und wenn nicht, reagiert er auch nicht.

70

71 Sprecher 1: Also, deine Meinung ist, wenn der Akku nicht betroffen ist, kann man das
72 Fahrzeug normal abtransportieren?

73

74 Sprecher 2: Genau, wenn der Akku nicht betroffen ist, ist das Fahrzeug wie ein
75 herkömmliches anzusehen.

76
77 Sprecher 1: Okay.
78
79 Sprecher 1: Ja.
80
81 Sprecher 2: Und das ist auch die Erfahrung der Hersteller. Elektrofahrzeuge sind oft gut
82 geschützt, sodass die Akkus selten beschädigt werden.
83
84 Sprecher 1: Genau, er hat in dem Dokument auch erwähnt, dass es oft falsch ist, das
85 Fahrzeug einfach in Wasser zu tauchen, obwohl es nicht notwendig ist. Das fand ich
86 interessant und möchte es in meiner Arbeit betonen.
87
88 Sprecher 2: Ja, nur ein sehr geringer Anteil der Unfälle führt zu einer Beschädigung des
89 Akkus. Oftmals handelt es sich lediglich um einen herkömmlichen Fahrzeugbrand. Es ist
90 die Aufgabe der Einsatzkräfte, dies zu überprüfen, und wir haben genügend Mittel wie
91 Wärmebildkameras und Rauchlesen, um festzustellen, ob der Akku betroffen ist.
92
93 Sprecher 1: Das war bereits in euren Präsentationen gut dargestellt. Ich war mir jedoch
94 unsicher bezüglich der präventiven Maßnahmen.
95
96 Sprecher 2: Klar, verstanden.
97
98 Sprecher 1: Gut. Also, wenn wir einen beschädigten Akku haben, empfehlst du das
99 Piercen wie in euren Dokumenten beschrieben, um die Temperatur zu senken und den
100 Terminal Runaway zu verhindern.
101
102 Sprecher 2: Genau, um die Temperaturanomalien zu stoppen. Den beschädigten Akku
103 sofort piercen.
104
105 Sprecher 1: Verstanden. Dann kommen wir zur nächsten Frage: Wenn wir einen Einsatz
106 des invasiven Löschsystems haben und der Akku beschädigt ist und gepierct wurde,
107 müssen wir das Fahrzeug speziell behandeln. Ich habe gelesen, dass jedes
108 Elektrofahrzeug, das gebrannt hat, als Gefahrguttransport betrachtet wird. Stimmt das
109 deiner Meinung nach? Hast du andere Ansichten, Anregungen oder Erfahrungen, wie die
110 Fahrzeuge abtransportiert werden, nachdem sie gepierct wurden?
111
112 Sprecher 2: Nein, das ist bisher nicht oft vorgekommen. Die Fahrzeuge werden
113 normalerweise von einem Abschleppunternehmen abtransportiert und auf einem
114 Quarantäneplatz abgestellt.
115
116 Sprecher 1: Ja, okay, weil ich gelesen habe, dass viele immer noch das Fahrzeug
117 während des Transports mit einer Löschdecke abdecken oder sogar in Wasserbehältern
118 transportieren. Das wollen wir vermeiden. Also würdest du sagen, dass ein Fahrzeug

119 nach einem Einsatz mit invasivem Löschsystem ganz normal transportiert werden kann
120 und einfach auf einen Quarantäneplatz muss?

121
122 Sprecher 2: Aus meiner Sicht ist das so: Wenn ich den Akku mit einem invasiven
123 Löschsystem gepierct habe und die Temperatur im Gehäuse gesenkt habe, besteht
124 zunächst keine Gefahr mehr. Aber um sicherzugehen, sollte das Fahrzeug beim
125 Abschlepper auf einem Quarantäneplatz stehen und von einer Fachfirma entsorgt
126 werden.

127
128 Sprecher 1: Ja, verstanden.

129
130 Sprecher 1: Ja, ja, genau. Das heißt, eigentlich machen wir mit dem Piercing das Gleiche,
131 was wir vorher mit Wasser von außen versucht haben. Aber jetzt machen wir es von
132 innen und mit weniger Wasser.

133
134 Sprecher 2: Genau, und das minimiert auch die Menge an kontaminiertem Löschwasser.

135
136 Sprecher 1: Ja, ja, okay, also grob gesagt haben wir jetzt weniger Wasser und das Gleiche
137 in kleinerem Maßstab. Der einzige Unterschied ist, dass wir mit der Cobra einen nicht
138 beschädigten Akku nicht piercen können. Also müssen wir einen unbeschädigten Akku
139 auch nicht extra behandeln. Das wäre die Zusammenfassung.

140
141 Sprecher 2: Genau, genau. Was nicht kaputt ist, muss ich nicht kaputt machen. Das ist
142 die Sache.

143
144 Sprecher 1: Das bedeutet, theoretisch kann dieser Fehler, der früher gemacht wurde,
145 mit einem invasiven System behoben werden. Früher hat man einfach gesagt: "Deck das
146 Ding ein, pack es ins Löschwasser", aber mit dem invasiven Löschsystem können wir
147 einfach sagen: "Wenn der Akku nicht beschädigt ist, transportieren wir ihn einfach so."

148
149 Sprecher 2: Genau, genau. Es ist nicht automatisch ein Gefahrgutunfall, nur weil es ein
150 Elektrofahrzeugbrand gibt.

151
152 Sprecher 1: Genau, das ist ein gutes Beispiel.

153
154 Sprecher 2: Und so ist es auch mit Elektrofahrzeugen. Nur weil es einen Brand gibt,
155 bedeutet das nicht automatisch, dass es ein Elektrobrand ist.

156
157 Sprecher 1: Ja, ja, genau. Das möchte ich auch in meiner Arbeit betonen, dass man weg
158 von komplett eindecken sollte, auch von diesem präventiven Eindecken, weil viele
159 denken, wir legen den Akku rein, schütten Wasser drauf und fertig.

160
161 Sprecher 1: Damit verursachen wir schädliches Löschwasser, richtig?

162
163 Sprecher 2: Genau, genau.
164
165 Sprecher 1: Und das wollen wir eigentlich vermeiden.
166
167 Sprecher 2: Und das muss ja auch kostenpflichtig entsorgt werden. Eine Fachfirma muss
168 es wieder entsorgen.
169
170 Sprecher 1: Hm.
171
172 Sprecher 1: Wobei ich gerade meine dritte Frage sehe. Es ging darum, dass ich gelesen
173 habe, dass sich der Akku entladen kann, wenn man ihn in einen Container packt. Was
174 hältst du davon, die Energie aus dem Akku zu entladen, um keine Gefahr mehr an der
175 Einsatzstelle zu haben? Mit der Cobra ist das ja nicht möglich, wenn ich das richtig
176 verstanden habe.
177
178 Sprecher 2: Nein, genau. Auch mit der Cobra bleibt in den anderen Modulen noch eine
179 Restspannung vorhanden.
180
181 Sprecher 1: Weil wir nur ein Modul piercen.
182
183 Sprecher 2: Ja, also wir bestreben praktisch das ganze Gehäuse. Die Akkus sind ja
184 untereinander verbunden, und das Löschwasser kann auch in sie eindringen und
185 Kurzschlüsse verursachen. Aber der Kurzschluss ist durch das Brandereignis oder die
186 mechanische Einwirkung auf den Akku bereits gegeben. Man muss also berücksichtigen,
187 dass wenn ein Fahrzeug brennt, nicht alle Akkus komplett brennen, sondern nur
188 einzelne Zellen oder Module.
189
190 Sprecher 1: Verstanden.
191
192 Sprecher 2: Und deshalb haben wir bei Tests in Schweden festgestellt, dass auch nach
193 zwei Tagen nach dem Eingriff mit der Cobra noch Restspannung in den anderen Akkus
194 vorhanden ist.
195
196 Sprecher 1: Ah, okay.
197
198 Sprecher 2: Aber es gab keinen weiteren Temperaturanstieg oder Ähnliches.
199
200 Sprecher 1: Ja, ja, okay, also dann können wir den Punkt streichen, dass sich die Akkus
201 komplett entladen. Es bleibt also immer eine Restspannung vorhanden. Möchtest du
202 zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen treffen, um sicherzustellen, dass...
203
204 Sprecher 2: Genau.

205
206 Sprecher 1: Gut, wir haben ja bereits den zusätzlichen Abstand mit der Cobra und der
207 Extralanze. Aber sollten wir noch darauf achten, dass bestimmte Teile nicht berührt
208 werden sollen?
209
210 Sprecher 2: Ja, wir stellen sicher, dass während des Löschversuchs keine direkte
211 Berührung zwischen der Lanze, der Karosserie und dem Bediener besteht, um mögliche
212 Spannungen zu vermeiden.
213
214 Sprecher 1: Verstanden.
215
216 Sprecher 2: Und danach ist an der Karosserie keine Gefahr mehr zu erwarten.
217
218 Sprecher 1: Okay, ja, das habe ich bisher nicht ausführlich gelesen, deshalb war deine
219 Expertise so wichtig. Ich hatte noch eine Frage...
220
221 Sprecher 1: Ja, vielen Dank. Das hat mir wirklich weitergeholfen, da ich mir bei den
222 Unterlagen nicht sicher war. Deine Fachkenntnisse haben mir geholfen, alles klarer zu
223 verstehen und aufzuschreiben.
224
225 Sprecher 2: Alles gut. Wenn der Akku nicht beschädigt ist und wir präventiv mit dem
226 invasiven Löschsystem eingreifen, kann es natürlich passieren, dass...
227
228 Sprecher 1: Verstanden.
229
230 Sprecher 2: ...dass der Akku dann erst recht reagiert. Und wir wissen auch nicht, ob er
231 bereits ausgast und ähnliches.
232
233 Sprecher 2: Explosionsgefahr, ja.
234
235 Sprecher 1: Ah, okay, das ist gut zu wissen.
236
237 Sprecher 2: Von daher ist es wichtig, dass man ein Elektrofahrzeugbrand zunächst
238 konventionell löscht, mit ganz normalen Hohlstrahlrohren, und dann prüft, ob der Akku
239 betroffen ist oder nicht. In den meisten Fällen ist er ja gar nicht betroffen, wie wir bereits
240 gesagt haben.
241
242 Sprecher 1: Und es war oft der Fehler, dass die Leute vor Ort einfach das Fahrzeug in
243 Container geworfen haben.
244
245 Sprecher 2: Ja, gut, ich meine, das ist auch alles noch sehr neu, und wir wissen es auch
246 noch nicht besser, also so eine hundertprozentige Lösung gibt es ja eigentlich noch
247 nicht.

248
249 Sprecher 1: Mhm.
250
251 Sprecher 2: Mhm. Und da sieht man auch, dass die Feuerwehren noch sehr wenig
252 Erfahrung haben im Umgang mit Lithium-Ionen-Akkus, oder?
253
254 Sprecher 1: Mhm, ja ja. Was ich während der Recherche auch sehr interessant fand, war,
255 dass Nickel-Hydrid-Akkus, wie sie in Hybridfahrzeugen verwendet werden, kein großes
256 Gefahrenpotenzial haben, weil sie keine Elektrolyte enthalten. Das war mir vorher nicht
257 bewusst.
258
259 Sprecher 2: Nee.
260
261 Sprecher 1: Aber das ist definitiv wichtig zu wissen.
262
263 Sprecher 2: Ja, auf jeden Fall. Und noch etwas am Rande: Alle namhaften
264 Automobilhersteller in Deutschland zeigen Interesse an invasiven Löschsystemen.
265
266 Sprecher 1: Ah, ja.
267
268 Sprecher 2: Jan Helsten, der auch in Hamburg dabei war, macht jetzt überall
269 Präsentationen und stellt das Gerät vor.
270
271 Sprecher 1: Ah, okay, das ist gut zu wissen. Interessant, also das ist schon ein Fortschritt,
272 dass das auch in der Branche bekannt gemacht wird.
273
274 Sprecher 2: Ja, genau, und sie sehen es als wirksames Mittel an. Das ist schon gut.
275
276 Sprecher 1: Ja, könntest du das in einem Datensicherheitsblatt erwähnen?
277
278 Sprecher 1: Dass man...
279
280 Sprecher 2: Es wurde bereits in einem Datensicherheitsblatt erwähnt, bei
281
282 Sprecher 1: Mhm, mhm.
283
284 Sprecher 2: Ich weiß nicht, ob du das hast, dieses Datensicherheitsbedarf.
285
286 Sprecher 1: Nein, das habe ich noch nicht. Wenn du das hast, kannst du mir das gerne
287 nochmal schicken.
288
289 Sprecher 2: Aber dann kann ich dir das mal schicken, da steht richtig drin, was nur
290 verwendet werden soll.

291
292 Sprecher 2: Aber der Automobilhersteller hat das ziemlich schnell wieder
293 rausgenommen.
294
295 Sprecher 1: Dieselbe wieder rausgenommen. OK.
296
297 Sprecher 2: Weil sie sich da nicht festlegen wollten, nur an einer Firma so.
298
299 Sprecher 1: Gut, aber hätten sie das nicht dann umbenennen können auf invasive
300 Löschsyste~~m~~e?
301
302 Sprecher 2: Das hätten sie, aber das war 2019 war das.
303
304 Sprecher 1: Ah, okay.
305
306 Sprecher 2: Und von daher ist das alles so, ja.
307
308 Sprecher 1: Da war das mit der DGUV noch ein Problem.
309
310 Sprecher 2: Genau. Genau.
311
312 Sprecher 1: Ja.
313
314 Sprecher 1: Weil...
315
316 Sprecher 2: Also irgendwo steht es drin. Da habe ich aber auch leider noch nicht
317 gefunden, dass man, ich sage mal, penetrieren, also rein reinschlagen und so was, soll
318 man nicht.
319
320 Sprecher 1: Soll man nicht. Ja, OK.
321
322 Sprecher 2: Nein, also das, aber mit dem invasiven System machen wir es ja nicht, wir
323 penetrieren ja nichts rein, quasi. Also wir schlagen nichts rein.
324
325 Sprecher 1: Ja, sehr gut. Dann habe ich da noch mal gute Infos von dir bekommen, hilft
326 mir sehr weiter.
327
328 Sprecher 2: Ja, auch. Also ich weiß, dass sie in Schweden ein paar Versuche mit dem
329 invasiven System gemacht haben, also sie haben einen Akku, der in Brand geraten ist,
330 gehabt.
331
332 Sprecher 1: Ja.
333

334 Sprecher 2: Ja, genau. Und dann, nachdem sie Löschmaßnahmen ergriffen hatten,
335 hoben sie den Akku oder das ganze Fahrzeug mit einem Gabelstapler an, ließen es aus
336 größerer Höhe abstürzen und setzten es auf eine Rüttelplatte, um zu sehen, ob der Akku
337 wieder reagiert oder Temperatur entwickelt.
338
339 Sprecher 1: Und das war nicht der Fall.
340
341 Sprecher 2: Nein, es war nicht der Fall.
342
343 Sprecher 1: Ja, das ist schon mal eine gute Erkenntnis. Dann kann man wohl sagen, dass
344 so etwas wie eine "Löschdecke", fast nicht mehr nötig ist. Es sei denn, man hat keinen
345 Quarantäneplatz.
346
347 Sprecher 1: Genau, das hast du bereits erwähnt. Das ist wirklich ein überzeugendes
348 Argument dafür.
349
350 Sprecher 2: Ja, genau.
351
352 Sprecher 2: Auf jeden Fall, das ist eine weitere Bestätigung.
353
354 Sprecher 2: Als Einsatzleiter würde ich sagen, dass man bei einem Akku-Brand das
355 invasive Löschsystem verwenden sollte, und wenn der Akku beschädigt wurde, sollte
356 man das Fahrzeug abschleppen lassen und damit wäre die Angelegenheit erledigt.
357
358 Sprecher 1: Ja, das ist gut.
359 Sprecher 2: Ja.