Foto: Fogtec

Brandschutz bei E-Autos in Tiefgaragen

Lukas Fast, Stephan Klüh, Alexandra Langstrof

Die Angst vor erhöhter Brandgefahr durch Elektroautos und Hybride führte in einigen Städten Deutschlands dieses Jahr zu Einfahrverboten in Parkhäusern. Berichte über brennende E-Autos verunsichern nicht nur die Besitzer, sondern auch die Betreiber und Planer von Tiefgaragen. Welche Brandgefahr geht von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben aus? Wie ist das Brandverhalten von Batterien und worauf ist beim Laden zu achten? Das Forschungsprojekt SUVEREN beschäftigte sich mit diesen und anderen Fragestellungen. Die Ergebnisse liefern wertvolle Handlungsempfehlungen.

Nach Angaben des Kraftfahrbundesamts haben sich die Neuzulassungen für PlugIn-Hybride (PHEV) und vollelektrische Fahrzeuge (BEV) im letzten Jahr fast verdoppelt. Dieser Trend zeichnet sich auch international ab. Die Elektromobilität erlebt dank zahlreicher politischer Initiativen und Förderungen einen Höhenflug und nach den Plänen der Bundesregierung sollen in Deutschland bis 2030 sieben bis zehn Millionen Elektrofahrzeuge zugelassen sein und eine Million Ladepunkte zur Verfügung stehen [1]. Am 1. Mai 2021 wurden der Bundesnetzagentur 36 894 Normalladepunkte und 6 099 Schnellla-

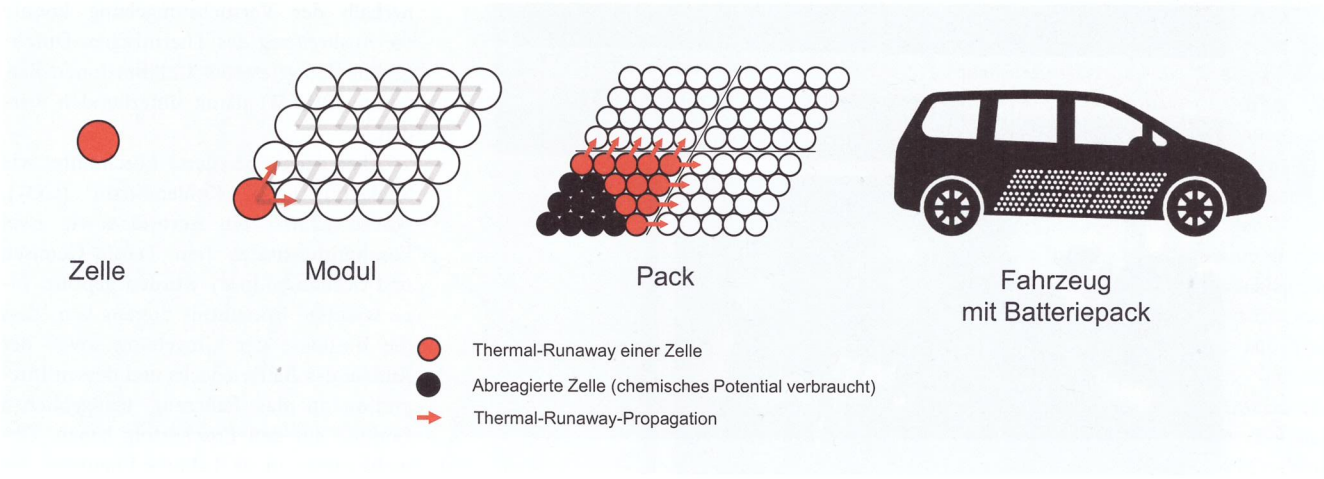

Bild 1 Brandausbreitung des Thermischen Durchgehens von der Zelle bis zum Fahrzeug. *Grafik: Fogtec*

depunkte gemeldet, die in Betrieb waren. Und die Nachfrage nach Ladepunkten steigt.

Gesetzlicher Anspruch auf Lademöglichkeit

Dies spiegelt sich auch in den Gesetzesreformen zu Wohnungseigentum und Elektromobilität wider. Jeder Wohnungseigentümer hat ab dem 1. Dezember 2021 den Anspruch auf eine Lademöglichkeit eines Elektrofahrzeuges, sofern die Kosten selbst getragen werden. Da vier von fünf Unternehmen, die in einer 2019 durchgeführten Studie des ADAC befragt wurden, in keinem einzigen Gebäude eine Lademöglichkeit für Elektroautos bieten, ist es vor allem in städtischen Gebieten naheliegend, auch auf Tiefgaragen auszuweichen.

Grundsätzlich stellen Ladestationen in Tiefgaragen und das Aufladen von Elektroautos und Hybriden keine Nutzungsänderung der Anlage dar. Sie sind Bestandteil der technischen Gebäudeausrüstung. Doch Richtlinien, die sich mit der Nachrüstung von elektrischer Ladeinfrastruktur in Tiefgaragen befassen, (zum Beispiel „VdS 3885:2020-12 Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft“ [2]) weisen auch heute noch auf das weitgehend unerforschte Brandverhalten von Elektrofahrzeugen hin.

Sicherheit in unterirdischen Verkehrsbereichen

Daher beschäftigte sich das Forschungsprojekt SUVEREN von 2017 bis Ende 2020 mit der „Sicherheit in unterirdischen städtischen Verkehrsbereichen beim Einsatz neuer Energieträger“. Ein Konsortium bestehend aus der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), der Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen (STUVA) und der Firma FOGTEC führte die Untersuchungen durch. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützte das Projekt maßgeblich durch eine Förderung. Eines der wichtigsten Ziele war die Erarbeitung von konkreten und umsetzbaren Empfehlungen zum Umgang mit neuen Energieträgern (NET) in Tiefgaragen.

Insgesamt wurden drei Versuchsreihen mit unterschiedlichen Zielen, Brandlasten und Aufbauten im Brandlabor des Instituts für angewandte Brandschutzforschung (IFAB) durchgeführt. Ziel der ersten Versuchsreihe war es, das Zünd- und Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien zu untersuchen und die dabei ablaufenden Vorgänge und Reaktionen im Grundsatz zu verstehen. In der zweiten Versuchsreihe lag der Fokus auf den Brandbekämpfungs- und Erkennungstechnologien und die Dritte betrachtete das Szenario „Elektrofahrzeuge in Tiefgaragen“. Wie verhält sich eine Brandbekämpfungsanlage in einer simulierten „echten“ Situation?

Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien

Um das Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien zu erforschen, wurde ein eigener Versuchsstand, das SUVEREN-Kalorimeter, entwickelt, der die Messung und Bestimmung zahlreicher Brandparameter ermöglichte. Der Versuchsstand hatte vier raumabschließende Seitenwände mit einem Luftspalt oberhalb des Bodens und eine Grundfläche von vier mal vier Metern. So konnte der Innenraum während des Brandes mit ausreichend Luft versorgt werden. Auf die Seitenwände wurde in einer Höhe von zwei Metern eine Abzugshaube angebracht, durch die alle beim Brand entstehenden Gase gesammelt, analysiert und verschiedene Methoden zur Bestimmung der Wärmefreisetzung (Heat Release Rate – HRR) angewendet werden konnten.

Die Batterien, die im SUVEREN-Kalorimeter durch mechanische Einwirkung oder ein Überladen entzündet wurden, zeigten zum Teil sehr schnell und heftig ablaufende Reaktionen mit Explosionen und bis zu eineinhalb Meter hohen Stichflammen. Ein Modul mit knapp 300 Rundzellen und einer elektrischen Kapazität von 2,5 kWh reagierte zum Beispiel in zwei bis drei Minuten vollständig durch. Bei einem anderen Modul mit 3,75 kWh war die letzte Reaktion erst nach ungefähr 30 Minuten abgeschlossen. Die Versuche zeigten, dass sich Batteriebrände je nach Zellzusammensetzung und Zelltyp deutlich voneinander unterscheiden können.

Die Entstehung eines Brandes, der durch die Batterie selbst ausgelöst wird, findet in der Regel in einer einzelnen Zelle des Batteriepacks statt. Produktionsbedingte qualitative Mängel (zum Beispiel Rückrufaktionen [3]), Alterungsprozesse, elektrische Fehler wie Kurzschlüsse, thermische Überbelastung oder mechanische Einwirkungen, die zum Beispiel durch einen Unfall verursacht werden, können

Bild 2 Entfernung eines Batteriemoduls aus dem Versuchsstand nach einem Brandversuch. *Foto: Fogtec*

der Auslöser sein. Beim Thermischen Durchgehen (Thermal Runaway) der Lithium-Ionen-Batterie wird eine unaufhaltbare Kettenreaktion in Gang gesetzt. Die in einer einzelnen Zelle begonnene Reaktion breitet sich durch Erwärmung der Nachbarzellen in kurzer Zeit auf die gesamte Batterie aus (**Bild 1**). Entstehen dabei hohe Temperaturen und große Stichflammen, kann dies unmittelbar zum Vollbrand des gesamten Fahrzeuges führen.

Technologien zur Brandbekämpfung im Vergleich

Um diese Form der Brandentwicklung zu unterbrechen, muss die bei den Reaktionen entstehende Wärme abgeführt und die Batterie gekühlt werden. Eine Kühlung direkt an der Oberfläche des Batteriepacks, wo Temperaturen bis 1 000 °C gemessen wurden, ist dabei sehr effektiv. Die Rauchgase, die bei den Tests entstanden und mittels Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (FTIR) analysiert wurden, zeigten neben Fluorwasserstoff (HF) bis zu zehn weitere hochtoxische und korrosive Substanzen in kritischen Mengen auf. Die Freisetzung toxischer Gase folgt dabei prinzipiell dem zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzung und hat in realen Brandereignissen, etwa in einer Tiefgarage, negativen Einfluss auf die Sicherheit von Personen und stellt ein erhöhtes Gesundheitsrisiko dar. Dies gilt sowohl für klassische Verbrennungsprodukte wie Kohlenmonoxid (CO) als auch für die batteriespezifischeren HF und weitere Zerfallsprodukte.

In der zweiten Versuchsreihe wurden verschiedene Brandbekämpfungsmethoden und -mittel unter identischen, reproduzierbaren und ingenieur-wissenschaftlichen Bedingungen getestet und miteinander verglichen, wie zum Beispiel die wasserbasierte Sprinklertechnik oder Hochdruck-Wassernebel. Dazu wurden spezielle Hochdruck-Düsen installiert, über die durch Hochdruckrohre Wassernebel mit bis zu 100 bar versprüht wurde. Durch diese Technologie wird bis zu zehnmal weniger Wasser als beispielsweise mit konventioneller Sprinklertechnik verbraucht. Die unzähligen Tröpfchen kühlten den Brand schnell herunter und innerhalb der Versuchsumgebung konnte die Ausbreitung des Thermischen Durchgehens der getesteten Lithium-Ionen-Batterien (**Bild 2**) damit unterbunden werden.

Aber auch gasbasierte Löschmittel wie Stickstoff (N_2), Kohlendioxid (CO_2), Novec 1230®, ein Aerosol sowie zwei Löschmittelzusätze (ein Tensid-Gemisch und Schaumbildner) wurden geprüft. Eine wichtige Erkenntnis hieraus war, dass die Einflüsse der Umgebung sowie der Aufbau des Batteriepacks und dessen Integration in das Fahrzeug maßgeblichen Einfluss auf den Löscherfolg haben. Obwohl dieser unter Laborbedingungen bei allen positiv war, sollten je nach Brandumgebung und Batteriekomposition entsprechend geeignete Löschmedien und die Anlagentechnik ausgewählt, entwickelt und großmaßstäblich geprüft werden. Die hohen Temperaturen können sich auf die thermische Stabilität auswirken und dazu führen, dass sich die Löschmittel in weitere gesundheitsgefährdende und hochkorrosive Stoffe zersetzen. Informationen hierzu liefern in der Regel die Datenblätter der Hersteller. Deshalb sollte beachtet werden, ob in der Löschumgebung anwesende Personen, unter Umständen durch das Löschmedium selbst, geschädigt werden könnten.

Beim Vergleich der verschiedenen Brandbekämpfungssysteme stellte sich heraus, dass Wasser zur Bekämpfung von Batteriebränden durch seine Wärmekapazität und die Energie, welche beim Verdampfen aufgenommen wird, sehr geeignet ist. Diese Zwischenergebnisse bildeten für die weiterführenden Brandversuche zum Löschverhalten von Elektrofahrzeugen eine wichtige Grundlage.

Größere Brandlast in modernen Fahrzeugen

In der Regel sind die Batterien von Elektroautos in einem geschlossenen, unter dem Fahrzeugboden montierten Gehäuse untergebracht, so dass eine direkte Kühlung nicht stattfinden kann, was eine Brandausbreitung auf das gesamte Fahrzeug und die Umgebung begünstigt. Zudem erschwert das Fahrzeug selbst den Zugang des Löschmittels zum Brandherd, da dieses in den meisten Fällen über ein deckenmontiertes Löschsystem eingebracht wird. Durch die großen Brandlasten und hohen Temperaturen lassen sich diese Art von Bränden aus anlagentechnischer Be-

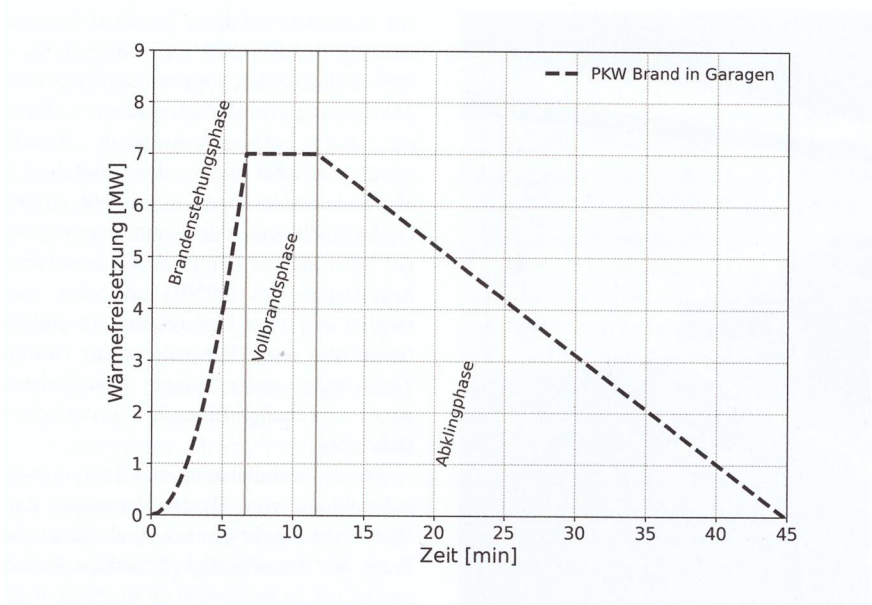

Bild 3 Antriebsunabhängige Brandverlaufskurve für moderne PKW. *Grafik: Fogtec*

trachtung nur mit sehr großem Aufwand löschen. Das Ziel der Brandbekämpfung ist demnach die Brandeindämmung und die Verhinderung des Brandüberschlages auf benachbarte Fahrzeuge. Um dieses Vorgehen auch anlagentechnisch umsetzen und prüfen zu können, musste zunächst erarbeitet werden, welche Brandlast typischerweise von modernen PKW ausgeht.

Dabei wurde festgestellt, dass sich die Veränderung der Fahrzeugtypen, des Designs und die Ausstattung, unabhängig von der Motorisierung, auf das Brandverhalten auswirkt. Dies ist in erster Linie auf den zunehmenden Einsatz von brennbaren Materialien, insbesondere aus der Gruppe der Kunststoffe zurückzuführen. Diese sind in vielen Bauteilen, aber auch in der Karosserie verbaut. Ihr Einsatz trägt im Brandfall zur Freisetzung von giftigem Rauchgas und der Erzeugung von Wärme bei und macht einen Großteil der Brandlast aus. Je größer und schwerer die Fahrzeuge sind, umso intensiver das Brandereignis. Wog ein VW Golf aus dem Jahr 1991 beispielsweise ungefähr 1 380 kg, so wiegt ein VW Golf aus dem Jahr 2019 rund 1 620 kg. Dieser Trend zu größeren, schwereren Fahrzeugen spiegelt sich auch in den Zulassungszahlen beim Kraftfahrt-Bundesamt wider.

Ein Bericht aus den USA beschäftigte sich mit der Sicherheit von Parkbauten und dokumentierte vergangene Brandversuche mit Elektrofahrzeugen mit dem Ergebnis, dass sich diese bei einer Betrachtung der maximalen Brandleistung wenig von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren unterscheiden [4]. Im Laufe des Forschungsprojektes wurden vergleichbare und öffentlich zugängliche Daten zu PKW-Bränden aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Quellen analysiert. Ziel war es, die beschriebenen Veränderungen zu quantifizieren, um so das Brandereignis, hier den Brand eines PKW, reproduzierbar und nachvollziehbar zu beschreiben und daraus einen sogenannten Bemessungsbrand zu definieren. Bemessungsbrände werden im Brandschutz oftmals zur Nachweisführung der Wirksamkeit von Brandschutzmaßnahmen verwendet. Ein entsprechender Vorschlag für den Brand eines modernen PKWs in einer Garage wurde unter anderem auf dem „International Symposium on Tunnel Safety and Security" [5] dem internationalen Fachpublikum vorgestellt. Bei der Ausarbeitung wurde darauf geachtet, dass der vorgeschlagene Bemessungsbrand den Brandverlauf sowohl von elektrisch als auch konventionell betriebenen PKW abdeckt. Insbesondere die Entstehungsphase der erarbeiteten Brandverlaufskurve berücksichtigt das potenziell schnellere und heftigere Brandverhalten von Elektrofahrzeugen. Unabhängig von der Antriebsart muss mit einer maximalen Brandleistung des Fahrzeugs von 7 MW gerechnet werden (**Bild 3**).

Brandbekämpfung in Tiefgaragen

Im Rahmen einer dritten Versuchsreihe wurde im zweiten Halbjahr 2020 simuliert, wie sich Elektrofahrzeugbrände in Tiefgaragen auswirken. Dafür wurde die Raumgeometrie eines Teils einer Tiefgarage auf dem Gelände der DLR nachgestellt. Die Brandleistung wurde auf der Grundlage des im Forschungsprojekt entwickelten Bemessungsbrandes ausgelegt und in einer PKW-Attrappe angeordnet, so dass der Einfluss des Fahrzeugs auf den Brand und die von außen einwirkende Brandbekämpfung nachgebildet werden konnte (**Bild 4**). Im Fokus standen die

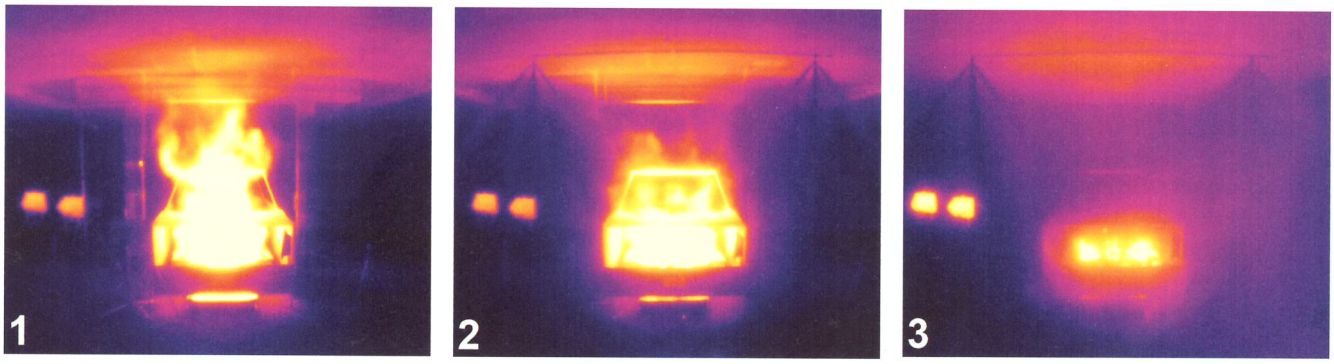

Bild 4.1-4.3 Brandversuch zum Nachweis der Wirksamkeit einer Hochdruck-Wassernebelanlage bei Brandbekämpfung des Brandes eines modernen Fahrzeuges. 4.1: Vollbrand des Fahrzeuges, 4.2: Auslösung der Brandbekämpfungsanlage, 4.3: Brandkontrolle durch extreme Kühlung des Brandgeschehens, Verhinderung der Brandausbreitung auf benachbarte Fahrzeuge. *Foto Wärmebildkamera: Fogtec*

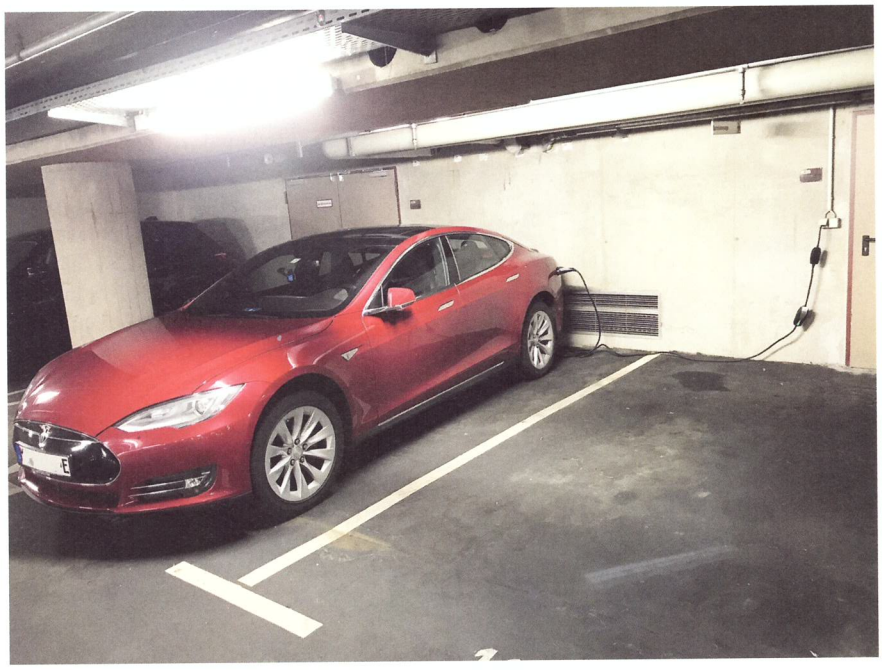

Bild 5 „Wildes Laden" eines Elektrofahrzeuges in einer Tiefgarage führt zu erhöhtem Brandrisiko.
Foto: Lutz Erbe

Auswirkungen einer Brandbekämpfungsanlage und die dabei entstehende Temperaturentwicklung.

Starke Hitze kann sich auf die tragende Konstruktion auswirken und die Standsicherheit der Garage bedrohen. Brände in Parkhäusern und Garagen wie der Parkhausbrand am Flughafen Münster-Osnabrück im Oktober 2019, wo mehr als 70 Autos schwer beschädigt oder zerstört wurden, zeigen, dass sich der Brand bei fehlenden Brandbekämpfungsanlagen auf benachbarte Fahrzeuge ausbreitet und zu einer weiteren Wärmequelle beiträgt, wodurch die herbeigerufene Feuerwehr an ihre Grenzen kommt. Bekannt ist auch der Brand im King's Dock Parkhaus 2018 in Liverpool [6], wo rund 1 400 Autos ausbrannten, die nicht durch die Feuerwehr gelöscht werden konnten.

Um das zu verhindern, wurden die Versuche genutzt, um ein System zu entwickeln, das Fahrzeugbrände so früh wie möglich erkennt und bekämpfen kann. Derzeit werden Elektrofahrzeugbrände durch die Feuerwehren oftmals durch das Versenken der beschädigten Fahrzeuge in mit Wasser gefüllte Großcontainer kontrolliert. Dieses Vorgehen ist aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse in Park- und Tiefgaragen nicht möglich. So entstand ein Konzept, mit dem die Wirksamkeit von Brandbekämpfungsanlagen für Anwendungen in Parkgaragen nach den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen geprüft werden kann. Die Ergebnisse zeigten, dass durch den Einsatz von entsprechend geprüften Anlagen die Brandausbreitung effektiv auf ein oder wenige Fahrzeuge begrenzt wird, sofern diese bereits in den frühen Phasen der Brandentstehung aktiv dem Brandgeschehen entgegenwirken.

Regelungen zum Brandschutz, wie die Pflicht zur Installation von Brandbekämpfung und Branderkennung, werden bundesweit durch die Verabschiedung einer Muster-Garagenverordnung abgestimmt und finden so Eingang in die Gesetzgebung der Länder. Die derzeit gültige Version stammt aus dem Jahr 2008 und enthält keine konkreten Regelungen für den Umgang mit Elektrofahrzeugen. Eine Neufassung als „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen" [7] befindet sich derzeit in Bearbeitung. Dort sind zum Beispiel Änderungen in den Anforderungen an die Brandabschnitte aufgrund gestiegener Brandlasten geplant, allerdings sind aktuell keine expliziten Regelungen zu Elektrofahrzeugen oder zu zunehmend geplanten und installierten Ladepunkten zu finden.

Mittels der im Forschungsprojekt favorisierten schutzzielorientierten Nachweisführung kann die Auslegung einer Brandbekämpfungsanlage gemäß den örtlichen Gegebenheiten, der tatsächlichen Brandlasten und Risiken aber auch anderen Kriterien erfolgen. Letztere können sich aus lokal veränderten Brandrisiken oder Schutzzielen ergeben, welche eine Absicherung erforderlich machen. Gründe für einen anlagentechnischen Brandschutz, welcher über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgeht, könnten beispielsweise der Schutz von wichtiger Infrastruktur (Tunnel, Brücken, Fahrzeug-Depots des ÖPNV) oder das Vermeiden von Brandausbreitung auf andere Bauwerke sein. Beispiele dafür wären Tiefgaragen unter einem Krankenhaus oder denkmalgeschützten historischen Gebäuden.

Da die Brandleistung und Temperaturentwicklung von Elektrofahrzeugen und Verbrennern sehr ähnlich sind, bleibt die Frage der Brandhäufigkeit, welche derzeit nicht final zu beantworten ist. Zwar stellt die Firma Tesla, als einer der bedeutendsten Hersteller von Elektrofahrzeugen, eigene Untersuchungen und Statistiken aus Untersuchungen vor [8], allerdings lässt sich daraus nicht ableiten, ob das Fahrzeugalter einen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Bei konventionellen Fahrzeugen steigt das Brandrisiko mit fortschreitendem Alter des Fahrzeuges. Es ist davon auszugehen, dass dies auch für Elektrofahrzeuge gilt.

Worauf beim Laden zu achten ist

Förderprogramme unterstützen Lademöglichkeiten für Elektroautos in Parkhäusern und Tiefgaragen, die sich in das allgemeine Stromnetz integrieren lassen. Der Bedarf an Ladepunkten steigt. Daher muss beim Brandschutz in Parkgaragen berücksichtigt werden, dass innerhalb dieser Bauwerke zunehmend Ladestationen installiert werden, wo die Fahrzeuge, in der Regel unbeaufsichtigt, geladen werden können. Bei Elektroautos ergeben sich laut Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) beispielsweise Risiken durch die Ladeinfrastruktur, den Ladeprozess oder durch defekte beziehungsweise beschädigte Batterien. Wie bereits beschrieben, können diese zu einem schnell verlaufenden Fahrzeugbrand führen.

Obwohl für alle Bauteile von Elektrofahrzeugen sowie der Ladeinfrastruktur durch nationale und internationale Normen höchste Qualitätsansprüche gestellt werden, wurde im Forschungsprojekt untersucht, welche Ursachen beim Laden zu

einem Brandereignis führen. Während des Ladevorgangs von Elektrofahrzeugen ist die Traktionsbatterie, elektrochemisch betrachtet, im Betrieb. Ist die Ladung zu langsam, kann das daran liegen, dass die Fahrzeugbatterie zu heiß oder zu kalt ist, um mit voller Leistung geladen werden zu können. Das Fahrzeug begrenzt dann zum Beispiel automatisch die Ladeleistung [9]. Manchmal verfügt der Ladepunkt auch aufgrund technischer Beschränkungen (noch) nicht über die angegebene Ladeleistung. Bei Schnellladevorgängen, dem sogenannten „Supercharging", wird die Ladeinfrastruktur durch die teilweise sehr hohen Ströme stark belastet. Um Störungen zu vermeiden sind daher sind die regelmäßige Prüfintervalle dieser Ladeinfrastruktur unbedingt einzuhalten. Die Ladeinfrastruktur für Elektromobilität gehört zu den Energieanlagen und elektrischen Anlagen, die sowohl während des Baus als auch im Betrieb technisch sicher sein müssen.

Abschließend wurde betrachtet, welche Rolle der Mensch spielt, wenn beispielsweise die vorgeschriebenen Kontrollen unterbleiben oder es zu einer unsachgemäßen Bedienung kommt. Verwendet die Person falsche Hardware (z. B. Kabel, Adapter) oder eine nicht für den Ladevorgang vorgesehene Steckdose (sogenanntes „wildes Laden"), können dadurch Brände verursacht werden. Die „gefundene" Steckdose wird überlastet, was wiederum zu Fehlern in der Infrastruktur führen kann (**Bild 5**). Planer und Betreiber sollten darauf achten, dass der Zugang zu diesen Steckdosen gar nicht erst ermöglicht wird. Durch regelmäßiges Prüfen können auch sonst unbemerkte Beschädigungen an (Teilen) der Ladeinfrastruktur erkannt werden, die durch Vandalismus und Unfälle beim Einparken entstehen und ein erhöhtes Risiko im Ladebereich darstellen können.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen bestätigen, dass

- die Intensität von Fahrzeugbränden in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat
- die Brandintensität nicht von der Antriebsart abhängt, sondern von den verbauten Materialien
- die Elektroauto-Batterie eine nicht zu unterschätzende Brandursache darstellen kann
- beim Ladevorgang die Brandgefahr von Elektrofahrzeugen höher ist
- es weiteren Forschungs- und Regulierungsbedarf gibt, vor allem für die Sicherheit von Ladebereichen in unterirdischen Verkehrsbereichen
- die Sicherheit in Park- und Tiefgaragen nicht von den dort parkenden oder ladenden Fahrzeugen, sondern von dem Brandschutzkonzept abhängig sein sollte.

„Auch, wenn sich die maximale Brandleistung von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren kaum unterscheidet, kann die Batterie eine zusätzliche Brandursache darstellen und zum Brandbeschleuniger werden. Die Lithium-Ionen-Technologie wird permanent weiterentwickelt, weil im Zuge des Wandels zur E-Mobilität unter anderem die Reichweite eines Fahrzeugs immer bedeutender wird und sollte als Brandgefahr entsprechend weiter beobachtet werden", erklärt Stephan Klüh, Ingenieur und Projektleiter des Projektes SUVEREN bei FOGTEC. Und ergänzt: „Bei allen Fahrzeugbränden gilt, dass eine stationäre Brandbekämpfungsanlage die Brandausbreitung auf andere Fahrzeuge verhindert und die Sicherheit der Einsatzkräfte der Feuerwehr erhöht. In jedem Fall bietet sich besonders in Tiefgaragen der Schutz von Bereichen mit Ladesäulen an, da dort die höchste Wahrscheinlichkeit eines Brandes besteht." ■ TS917

Literatur

[1] Die Bundesregierung, *Mehr Ladestationen für Elektroautos, 2019.*

[2] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV), „VdS 3885 : 2020–12 (01) Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft," VdS Schadenverhütung GmbH, Köln, 2020.

[3] ADAC e.V. , „Rückrufaktionen (Hyundai, KonaElelctro)," 11/2020. [Online]. Available: www.adac.de/infotestrat/reparatur-pflege-und-wartung/rueckrufe/suchergebnis.aspx?Kategorie=Pkw&Hersteller=Hyundai&Modelle=).

[4] *Boehmer, H.; Olenick, S.; Klassen, M.:* „Modern vehicle fire hazards," Fire Protection Research Foundation, Columbia, Maryland, USA, 2020.

[5] *Kutschenreuter, M.; Klüh, S.; Lakkonen, M. Rothe, R.; Leismann, F.:* „Vehicles change the fire safety design in underground structures," in Proceedings from the Ninth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Borås, Sweden, 2020.

[6] *McCormack, N.:* „Kings Dock Car Park Fire," Mereseyside Fire & Rescue Service, Merseyside, 2018.

[7] Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Muster-Garagenverordnung M-GarVO).

[8] *Siddiqui, F. :* „A Tesla Model S erupted 'like a flamethrower.' It renewed old safety concerns about the trailblazing sedans.," *Washington Post,* Bd. 20, p. 12, 2020.

[9] *Wiki, G.:* „10 Probleme beim Laden – und was man dagegen tun kann," [Online]. Available: www.goingelectric.de/wiki/10-problem-beim-laden-und-was-man-dagegen-tun-kann. [Zugriff am 22 08 2021].

[10] *Ahrens, M.: Vehicle Fires,* 2020.

[11] General Motors, „General Motors to Recall Additional Bolt EVs," 20 08 21. [Online]. Available: https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/aug/0820-bolt.html.

Lukas Fast
FOGTEC Brandschutz GmbH, Köln
Foto: Fogtec

Stephan Klüh
FOGTEC Brandschutz GmbH, Berlin
Foto: Fogtec

Alexandra Langstrof
freie Journalistin, Erkrath
Foto: Gabriele Förster

www.fogtec-international.com