



Dokumentation

Verhalten von Elektroautos im Brandfall

Verhalten von Elektroautos im Brandfall

Aktenzeichen:

WD 8 - 3000 - 002/22

Abschluss der Arbeit:

22. Februar 2022

Fachbereich:

WD 8: Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Relevanz der Brandsicherheit von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen	4
2.	Brandhäufigkeit	4
3.	Brandverhalten	5
4.	Empfehlungen zur Löschung	5
5.	Brände in Tunneln und Garagen	7
6.	Weiterentwicklung des Brandschutzes von Garagen	8
7.	Quellen- und Literaturverzeichnis	9

1. Relevanz der Brandsicherheit von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen

Unabhängig von der Antriebsart und vom Fahrzeugtyp haben Kraftfahrzeuge eine hohe Brandlast, das heißt, sofern sie in Brand geraten, setzen sie eine erhebliche Menge Wärme frei. Mit der zunehmenden Zahl an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen (Hybrid- oder Elektrofahrzeuge) stellt sich aus Sicht der Feuerwehren, von Abschleppunternehmen, Entsorgern und Gebäudebetreibern und schließlich auch der Versicherungen die Frage nach dem Verhalten im Brandfall. In der politischen Debatte wird diese Frage gelegentlich mit einem generellen Hinterfragen der Sicherheit von Elektroautos verbunden.

Vor diesem Hintergrund sind im Folgenden die einschlägige Fachliteratur sowie Experten-Statements zusammengestellt, die Antworten zu dem Brandverhalten von Elektrofahrzeugen wie auch zu der Löschung von Bränden und zu Brandfolgen liefern. Brandversuche, Löschnethoden und Untersuchungen zu Auswirkungen auf Löschwasser und Infrastrukturen wie Tunnel und Garagen sind Gegenstand zurückliegender wie auch aktueller Forschungen sowie von Übungen und Fortbildungen bei den Feuerwehren.

2. Brandhäufigkeit

Jedes Jahr ereignen sich laut Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft 15.000 Fahrzeugbrände in Deutschland. Elektrofahrzeuge würden nicht häufiger brennen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (Verband der deutschen Versicherungswirtschaft 2021).

Hinsichtlich der Brandwahrscheinlichkeit gibt es auch in der Fachliteratur bisher keine Anhaltpunkte dafür, dass elektrisch angetriebene Fahrzeuge häufiger betroffen wären. Ein kommerzieller Anbieter von Schulungen für Feuerwehren zum Umgang mit Elektrofahrzeugbränden teilt die Einschätzung, dass diese gar seltener in Brand geraten als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (Thorns 2019: 970).

Einig sind sich Experten darin, dass die Mehrzahl der bisher dokumentierten Brände von Elektrofahrzeugen auf Mängel in der Produktion der Hochleistungsbatterien zurückgeht. In der Folge kam es zur Spontanzündung in der Batterie (Sun¹ 2020: 8). Auch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren sind Spontanzündungen möglich und treten mit zunehmendem Alter der Kraftfahrzeuge häufiger auf (Sun 2020: 14). Die Brandhäufigkeit beziffert das Forschungszentrum Jülich bei konventionellen Wagen auf 90 je eine Milliarde gefahrene Kilometer. Bezüglich der Brandhäufigkeit von Elektrofahrzeugen ist aufgrund der vergleichsweise kurzen Erfahrungsdauer noch keine vergleichbare Aussage möglich.

Um Bränden vorzubeugen, treffen die Fahrzeugbauer verschiedene Vorkehrungen. Ein der wichtigsten Maßnahmen ist, dass bei einem Unfall wie auch in Crashtests die Hochvoltspeicher automatisch vom Netz getrennt werden (Thorns 2019: 967).

1 Bei der Veröffentlichung von Sun handelt es sich um eine aktuelle Zusammenschau aller bis 2020 veröffentlichten Studien, ein sogenannter Review. Die Arbeit ist deshalb im Gutachten besonders berücksichtigt worden.

3. Brandverhalten

Die Brandlast von Pkw mit elektrischen Antrieben ist mehreren Studien und damit der bisherigen Forschung zufolge ähnlich wie bei Pkw mit Verbrennungsmotoren (Sun 2020). Diese Einschätzung wird in einer neueren Studie abermals bestätigt (Sturm 2020). Auch sind eine Reihe von empirischen Brand- und Löscheinsuchen außerhalb der Forschung etwa von der Dekra Unfallforschung und Batterieherstellern dokumentiert, die auf die vergleichbare Brandlast hinweisen (Thorns 2019). Die Brandleistung liegt bei Pkw unabhängig vom Antrieb in der Größenordnung von fünf Megawatt (Mellert 2020: 55).

Generell hat die Brandlast von Fahrzeugen mit dem Trend zu SUV² und damit zu größeren Wagen zugenommen. Eine weitere Ursache dafür ist, dass zunehmend mehr Kunststoffe im Fahrzeug verbaut werden, um den Energieverbrauch zu senken. Sun beziffert den Anteil auf 100 bis 200 Kilogramm je Fahrzeug (Sun 2020: 9). Kunststoffe verbrennen unter ähnlicher Wärmefreisetzung wie konventionelle Kraftstoffe, wenn sie keine chemischen Flammenschutzmittel enthalten. Der Plastikanteil in den Pkws bedingt damit eine tendenziell höhere Brandlast (Sun 2020: 9) mit mehr Wärme- und Rauchgasfreisetzung (Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes - AGBF 2021a:3) beim Brand von neuen Fahrzeugen.

Diskutiert wird auch, welche Temperaturen in und im Umfeld brennender Fahrzeuge auftreten können: Gewöhnliche Wärmebildkameras erfassen Temperaturen in der Größenordnung von 300 Grad Celsius (Finegan et al. 2015). Höhere Temperaturen im Inneren einer zuvor geschlossenen, weil intakten Lithiumionenbatterie lassen sich experimentell nur mit Spezialgeräten bestimmen. Dem entsprechend rar sind reale Messdaten zur Frage der auftretenden Temperaturen. Außer Frage steht, dass beim Batteriebrand von Lithiumionenakkus aufgrund der ablaufenden chemischen Reaktionen hohe Temperaturen auftreten können. Diese können kurzzeitig auch in der Größenordnung von 1000 Grad Celsius liegen. Die Temperaturen fallen aufgrund des Verlustes durch Wärmestrahlung mit zunehmendem Abstand zum Brandherd ab. Bei realen Brandversuchen mit Elektrofahrzeugen detektierte Sturm in 16 Metern Entfernung zum Brandherd über den Messzeitraum von 1000 Sekunden Temperaturen bis zu 125 Grad Celsius, regelhaft jedoch in der Größenordnung von weniger als 75 Grad Celsius (Sturm 2020). Mellert konnte bei gezielten Sprengversuchen von isolierten Lithiumionenenergiespeichern innerhalb der Module Temperaturen von bis zu 660 Grad Celsius erfassen. Die höchste gemessene Temperatur trat neben einem Modul in einem Feuerkegel auf und lag für einige Sekunden bei rund 850 Grad Celsius (Mellert 2020: 47).

4. Empfehlungen zur Löschung

Brände von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen werden mit dem Löschenmittel Wasser ggf. zusätzlich mit einem Netzmittel gelöscht, genauso wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (AGBF 2021a). Der Verband der Automobilindustrie empfiehlt in einer Handreichung für Experten der

polizeilichen und nicht polizeilichen Gefahrenabwehr ein Löschvolumen von mindestens 200 Liter pro Minute (VDA 2020: 22).

Die Brandbekämpfung kann verglichen mit Verbrennerfahrzeugen mehr Zeit in Anspruch nehmen, geht mit einem erhöhten Wasserverbrauch einher und ist aufwändiger (AGBF 2021a: 3), da ein Brand in der Batterie durch Kühlung unterbunden werden muss. Zum Löschwasserverbrauch liegen kaum wissenschaftlich belastbare Daten vor. Laut Sun liegt der Bedarf jedoch in der Größenordnung von einigen tausend Litern (statt mehreren hundert Litern bei Verbrennerfahrzeugen) und hängt stark vom konkreten Einzelfall ab (Sun 2020: 25). Nach der ersten Löschung des äußerlich sichtbaren Feuers muss die Temperatur des Energiespeichers mit einer Wärmebildkamera gemessen werden. Liegt diese über 80 Grad Celsius, muss das Batteriegehäuse weiter mit Wasser gekühlt werden. Da die in Lithiumionenakkumulatoren ablaufende Reaktion im Brandfall sehr viel weitere Wärme freisetzen kann, kann die Kühlung längere Zeit in Anspruch nehmen (VdS 2020: 6). Die Temperatur der Batterie wird laufend über das Wärmebild kontrolliert (Thorns 2019). Erst wenn die Temperatur dauerhaft unter 80 Grad Celsius liegt, kann das Fahrzeug gemäß der aktuellen Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes an ein Abschleppdienst übergeben werden (AGBF 2021a: 3).

Mittlerweile existieren erste Spezialgeräte um Brände von Hochvoltspeichern zu bekämpfen: Ist die Batterie selbst in Brand geraten, kann das Batteriegehäuse von geschulten Fachkräften mit einem Fognail oder einer Löschanze durchdrungen und direkt mit Wasser gekühlt und der Brand so in kürzerer Zeit unterbunden werden (Thorns 2019). Auch Sturm et al. sehen das direkte Einbringen von Wasser in die Batterie als aussichtsreiches Löschverfahren an (Sturm 2020: 657). Darüber hinaus kann das Fahrzeug nachträglich in eine wassergefüllte Mulde oder ein entsprechendes mobiles Bergungssystem den sogenannten Rescue Bag (vgl. hessenschau 2021) gestellt werden.

Die Einsatzkräfte benötigen einen umluftunabhängigen Atemschutz, da beim Brand toxische Gase (Flusssäure und phosphorhaltige Gase, vgl. Sturm 2020) entweichen können, wie auch beim Brand eines konventionellen Pkw toxische Gase entstehen (VDA 2020). Die Schutzkleidung muss die Anforderungen der Europäischen Norm EN 469 erfüllen. Da bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ein geringes Risiko einer Rückzündung besteht, wird das Abschleppunternehmen entsprechend informiert. Die Abschlepprichtlinie Bayern fordert eigens eine Fachkraft für Hochvoltssysteme bei den zuständigen Dienstleistern. Sie sollten nach den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes das abgebrannte Fahrzeug in einem abgesperrten Bereich im Freien lagern und mindestens einen Abstand von fünf Metern zu anderen brennbaren Materialien einhalten (AGBF 2021a: 5).

Beim Brand von Lithiumionenakkus können giftige Gase, vor allem: Flusssäure und Phosphorwasserstoff, entstehen (Thorns 2019: 965). Aus bisherigen Branderfahrungen wird abgeleitet, dass diese größtenteils durch umgebende Substanzen etwa Calcium aus den Bodenbelägen neutralisiert würden. Löschwasser kann mit Lithium, wie auch den Schwermetallen Kobalt, Nickel und Mangan³ belastet sein. Basierend auf Analysen des Löschwassers schlägt Mellert einen Rückhalt

3 Je nach Zusammensetzung der Lithiumionenbatterie

des Löschwassers vor, das vorbehandelt werden sollte, ehe es in die Kanalisation fließt (Mellert 2020).

5. Brände in Tunneln und Garagen

Generell ist die Brandbekämpfung in geschlossenen Garagen oder Tunneln unabhängig von der Antriebsart aufgrund der hohen Temperaturen und Rauchgasentwicklung schwierig (VdS deutsche Versicherer 2020: 5). Beim Brand eines Fahrzeugs in einer geschlossenen Garage kann sich der Brand losgelöst von der Antriebsart auf mehrere Fahrzeuge ausdehnen (VdS 2020: 10).

Bisherige Brandereignisse und Brandexperimente mit Elektrofahrzeugen in überbauten Infrastrukturen etwa Tunneln oder Garagen lassen laut AGBF „nicht erkennen, dass sich das Risiko im Vergleich zu den ohnehin vorhandenen Gefahren erheblich erhöht“ (AGBF 21b: 1). Bei einer baurechtskonform errichteten Garage stünden das Abstellen sowie das Aufladen von Elektrofahrzeugen mit einer zertifizierten Ladeeinrichtung nicht im Widerspruch zum geltenden Bauordnungsrecht (AGBFb 2021: 1).

Im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Strassen untersuchte ein Forschungsprojekt das Brandverhalten von Lithiumionenenergiespeichern in einem unterirdischen Stollen. Daran beteiligt waren das Beratungsunternehmen Amstein + Walthert Progress AG, die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), die Versuchsstollen Hagerbach AG und das französische Centre d'Études des Tunnels (CETU). Im Ergebnis stellten die Forschungsauftragnehmer fest, dass eine „technische Beeinträchtigung von typischen Infrastrukturkomponenten in Tiefgaragen und Tunneln praktisch ausgeschlossen werden kann“ (Mellert 2020).

Auch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft bewilligte ein Forschungsvorhaben „BRAFA – Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen“. Daran beteiligten sich die Technische Universität Graz, die Montanuniversität Leoben, der Bundesfeuerwehrverband und das Beratungsunternehmen ILF Consulting Engineers Austria. Geldgeber waren die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft ASFINAG und das österreichische Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Die Forschenden führten eine Reihe von realen Brandversuchen in einer Tunnelanlage in Österreich durch, wobei sie das Brand- und Löschverhalten von konventionellen Fahrzeugen mit Elektroautos verglichen. Sie empfehlen eine effiziente Kühlung der Energiespeicher, um die thermische Fortpflanzung des Brandes innerhalb der Batterie (auch als thermisches Durchgehen, im Englischen: „thermal runaway“, bezeichnet) zu unterbinden. „Die bisher durchgeföhrten Versuche zeigten, dass hier die unmittelbare Einbringung von Wasser in den Batterieberreich ein Weg sein könnte, auch Batteriebrände in ihrer Entwicklung zu hemmen“ (Sturm 2020: 657; siehe auch Kapitel 4).

6. Weiterentwicklung des Brandschutzes von Garagen

Neben dem Ausbau der Elektromobilität werden zunehmend stationäre Stromspeicher in oder im Umfeld von Gebäuden errichtet. Der Brandschutz wird in diesem Zusammenhang konzeptionell mit- und weiterentwickelt und ist in vielen Gesichtspunkten auf Elektrofahrzeuge übertragbar.

In einer aktuellen Empfehlung „Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen“ für Gebäudeeigentümer legen die Deutschen Versicherer nahe, dass Garagen mit einer automatischen Löschvorrichtung, einer sogenannten Sprinkleranlage, versehen werden sollten. Dies wird vor dem Hintergrund der gestiegenen Brandlast von Fahrzeugen infolge des höheren Kunststoffanteils und unabhängig von der Antriebsart empfohlen. Sprinkleranlagen lösen infolge der Wärmefreisetzung automatisch aus und verhindern, dass Brände auf benachbarte Fahrzeuge übergehen. Die thermische Belastung auf das Gebäudetragwerk wird maßgeblich reduziert und damit Schäden in der Gebäudestatik vermieden (VdS 2020: 11).

Mellert regt mit Blick auf weiteren Forschungsbedarf die Prüfung von Hochdruckwasservernebelungsanlagen als automatisierte Löschvorrichtung an. Diese hätten sich beim Transport von Elektrofahrzeugen auf Hochseefähren zur Vermeidung von Fahrzeugbränden bewährt. Mutmaßlich würden die feinsten Tröpfchen auch die schwer zugängliche Batterie erreichen und wirksam kühlen (Mellert 2020: 69).

2021 hat die Bauministerkonferenz eine neue „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Garagen und Stellplätzen“ vorgelegt, in der auch die Vorgaben an den Brandschutz weiter entwickelt sind. Hintergrund ist die gestiegene Brandlast von Fahrzeugen im Allgemeinen durch die vermehrte Verwendung von Kunststoffen.

7. Quellen- und Literaturverzeichnis

AGBF - Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes (2021)a. Brandbekämpfung von Kraftfahrzeugen mit elektrischen Antrieben. München. Online abrufbar unter: <https://docplayer.org/222031472-Brandbekaempfung-von-kraftfahrzeugen-mit-elektrischen-antrieben.html> (Stand: 16.02.2022)

AGBF - Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes (2021)b. Keine erhöhte Brandgefahr durch in Tiefgaragen abgestellte Elektrofahrzeuge. 22.02.2021, München, online abrufbar unter: <https://www.feuerwehrverband.de/keine-erhoehte-brandgefahr-durch-in-tiefgaragen-abgestellte-elektrofahrzeuge/> (Stand: 17.02.2022)

Finegan, Donal et al. (2015). In-operando high-speed tomography of lithium-ion batteries during thermal runaway. In: Nature Communications, 6, 6924, online abrufbar unter: <https://www.nature.com/articles/ncomms7924> (Stand: 17.02.2022)

Hessenschau (2021). Feuerwehr packt E-Autos nach Brand ein. 26.10.21, online abrufbar unter: <https://www.hessenschau.de/panorama/neues-loeschkonzept-feuerwehr-packt-e-autos-nach-brand-ein,elektroauto-braende-hochtaunus-100.html> (Stand: 17.02.2022)

Mellert, Lars Derek et al. (2020). Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen. Schlussbericht, August 2020, online abrufbar unter: https://plus.empa.ch/images/2020-08-17_Brandversuch-Elektroauto/AGT_2018_006_EMob_Risk-Min_Unterird_Infrastr_Schlussbericht_V1.0.pdf (Stand: 17.02.2022)

Sun, Peiyi et al. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. In: Fire Technology, 56, online abrufbar unter: https://www.researchgate.net/publication/338542510_A_Review_of_Battery_Fires_in_Electric_Vehicles (Stand: 17.02.2022).

Sturm, Peter et al. (2020). Brandversuch mit E-Fahrzeugen in Tunnelanlagen. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 165, 12: 651–657, online abrufbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-020-01054-2> (Stand: 17.02.2022).

Thorns, Jochen (2019). Einsatz der Feuerwehr und des Rettungsdienstes an Elektrofahrzeugen. In: Deutsche Feuerwehrzeitung Brandschutz, 12/2019, online abrufbar unter: <https://shop.kohlhammer.de/einsatz-der-feuerwehr-und-des-rettungsdienstes-an-elektrofahrzeugen-978-3-00-424237-9.html> (Stand: 17.02.2022)

VDA – Verband der Automobilindustrie (2020). Unfallhilfe und Bergen bei Fahrzeugen mit Hochvolt- und 48-Volt-Systemen, Berlin, August 2020, online abrufbar unter: <https://en.vda.de/de/themen/sicherheit-und-standards/retten-und-bergen/unfallhilfe-und-bergen-bei-fahrzeugen-mit-48V-und-Hochvoltsystemen.html> (Stand: 17.02.2022)

VdS – Deutsche Versicherer (2020). Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft. VdS 3885, 12, 01, online abrufbar unter: <https://shop.vds.de/publikation/vds-3885> (Stand: 17.02.2022)