

# Gestiegene **Pkw-Brandlasten** in geschlossenen Großgaragen

## Auswirkungen und Schutzmaßnahmen

Nach einer Mitteilung<sup>[1]</sup> des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) und der Arbeitsgemeinschaft der Berufsfeuerwehren (AGBF Bund) vom 22.02.2021 waren in den letzten Jahren „besonders schwierige Brandereignisse in Garagen zu beobachten, die sich auf die tragende Konstruktion von Garagen ausgewirkt haben und bei denen eine hohe Zahl von Fahrzeugen in Brand geraten ist“<sup>[1]</sup>. Sofern durch einen Garagenbrand die Statik eines Gebäudes beeinträchtigt wird, kann dies erhebliche Auswirkungen haben und neben einer Personengefährdung auch einen besonderen Sachschaden verursachen.

Warum kommt es immer häufiger zu einer Brandausbreitung auf Nachbarfahrzeuge und was sind die Gründe für diese besondere Wärmefreisetzung im Brandfall? Kann dies nur auf das besondere Brandverhalten von Elektrofahrzeugen zurückgeführt werden oder sind hierfür auch Entwicklungen bei Fahrzeugen unabhängig von der Antriebstechnik verantwortlich? Dieser Fragestellung soll im ersten Teil dieses Beitrags nachgegangen werden.

Im zweiten Teil (die Veröffentlichung erfolgt im Heft 3/2022, Anmerkung der Redaktion) werden mögliche Brandschutzmaßnahmen aufgezeigt, die Auswirkungen von Fahrzeugbränden in geschlossenen Großgaragen reduzieren können. Hierbei werden neben Schutzmaßnahmen auch baurechtliche Vorgaben der Muster-Garagenverordnung betrachtet und aktuelle Entwicklungen zur Überarbeitung dieser Muster-Verordnung berücksichtigt.





## ASPEKTE ZUR BEURTEILUNG DES BRANDRISIKOS VON ELEKTROFAHRZEUGEN

### Schadeneintrittswahrscheinlichkeit

Objektiv muss festgestellt werden, dass derzeit noch keine ausreichenden statistischen Daten zur Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Elektrofahrzeugbränden vorliegen. Nach bisherigen Erkenntnissen liegen keine Hinweise dafür vor, dass Elektrofahrzeuge häufiger brennen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.



### Brandgefahren

Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren entstehen Brände häufig durch einen technischen Defekt, elektrischen Fehler (z. B. Kurzschluss) oder auch durch auslaufende Betriebsflüssigkeiten (z. B. Benzin, Öl), die sich an heißen Oberflächen entzünden.

Bei Elektrofahrzeugen sind im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb andere (Brand-)Gefahren zu betrachten. Diese ergeben sich insbesondere durch die Batterie sowie die Ladeinfrastruktur einschließlich des Ladeprozesses.

Daher werden sowohl an die Ladeinfrastruktur als auch an die Antriebsbatterie von Elektrofahrzeugen besondere sicherheitstechnische Anforderungen gestellt. Die Stromkreise, die für die Versorgung von Elektrofahrzeugen für Ladezwecke vorgesehen sind, müssen der DIN VDE 0100-722 entsprechen. Die Batterien von Elektrofahrzeugen müssen für eine Straßenverkehrszulassung die Prüfungen nach der UNECE-Regelung Nr. 100<sup>[2]</sup> bestehen. Demnach wird das Batteriesystem unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, z. B. hohe Temperaturen, Vibrationen, mechanischen Beanspruchungen, Überladungsschutz, Kurzschluss. Dabei



© Adobe Stock/Matze

dürfen diese nicht in Brand geraten. Die Batterien sind mit einem Batteriemangement ausgestattet. Hierüber erfolgt eine elektrische Steuerung der einzelnen Batterien und gleichzeitig werden hierüber auch Sicherheitsfunktionen wie z. B. Temperatursteuerung oder Abschaltung des Hoch-Volt-Systems bei schwerer Kollision gesteuert. Damit die Batterien nicht überhitzen, sind die Batteriesysteme mit sogenannten Venting-Öffnungen ausgestattet, die im Brandfall auch der Druckentlastung dienen.

Batterien reagieren sehr empfindlich auf mechanische Belastungen. Hierdurch kann es zu einem inneren Kurzschluss und einem Brand kommen. Daher werden die Batterien beispielsweise durch einen Unterbodenschutz vor Beschädigungen geschützt. Aber auch trotz dieser hohen sicherheitstechnischen Anforderungen



© Adobe Stock/Bildwerk

dürfen Batterien nicht gestresst werden. Besondere mechanische, thermische oder elektrische Belastungen (z. B. durch einen Unfall, Wärme, Überladen oder Kurzschluss der Pole) können zu einem Brand führen. Auch Produktionsfehler können einen Brand verursachen. So waren in den letzten Jahren mehrere Rückrufe von Herstellern wegen möglicher Brandgefahr zu beobachten. Zudem liegen noch zu wenige Erkenntnisse über die Brandgefahr von alternativen Batterien vor.

### Besonderheiten bei Bränden von Elektrofahrzeugen

Sofern es zu einem Batteriebrand kommt, wird die gespeicherte elektrische Energie schlagartig in chemische Energie umgewandelt und es kann zu einem „Thermal Runaway“ kommen. Hierbei können giftige, brennbare oder explosionsfähige Stoffe ausgeschleudert werden. In Abhängigkeit vom Batterietyp können die besonders toxische Flusssäure und auch giftige Schwermetallstäube freigesetzt werden. Ein einmal begonnener „Thermal Runaway“ kann in der Regel nicht mehr bzw. nur mit erheblichem Aufwand gestoppt werden. Durch eine ausreichende Kühlung der Nachbarzellen kann aber verhindert werden, dass diese ebenfalls in Brand geraten. ▶



*Insofern bleibt festzuhalten, dass aufgrund des Brandverhaltens von Elektrofahrzeugen zwar einige Besonderheiten zu beachten sind, entsprechende Brände aber durch Feuerwehren gelöscht bzw. kontrolliert werden können. Eventuell gestaltet sich die Brandbekämpfung etwas schwieriger und komplexer als bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen, da diese beispielsweise über einen längeren Zeitraum gekühlt werden müssen. Außerdem können Gefahrstoffe freigesetzt werden und sich im Löschwasser auch Schwermetalle befinden.*

Nach Untersuchungen des Karlsruher Instituts für Technologie – Forschungsstelle für Brandschutztechnik<sup>[3]</sup> – kann im Brandfall eine seitliche Stichflamme mit einer Länge von ein bis zwei Metern austreten. Dies kann vermutlich auf Venting-Öffnungen im Batteriegehäuse zurückgeführt werden, die in der Regel im Unterbodenbereich verbaut sind.

Das Brandverhalten ist auch vom Ladezustand (State of Charge) abhängig. Je höher der Ladezustand ist, desto mehr Energie kann im Brandfall freigesetzt werden. Dies bedeutet, dass am Ende des Ladeprozesses Brände mit der höchsten Energiefreisetzung zu erwarten sind. Bei Fahrzeugen mit geringem Ladezustand ist hingegen nur eine begrenzte Energiefreisetzung zu erwarten.

### Löschen von Elektrofahrzeugbränden

Nach einer Mitteilung<sup>[1]</sup> des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) und der Arbeitsgemeinschaft der Berufsfeuerwehren (AGBF Bund) vom 22.02.2021 können Brände von Elektrofahrzeugen durch Feuerwehren gelöscht bzw.

kontrolliert werden. Es müssen aber einige Besonderheiten beachtet werden, die den Einsatz etwas schwieriger gestalten können. Da es sich um eine stark exotherme Reaktion handelt, wird zur Kühlung sehr viel Wasser benötigt. Beim Löschen von Batteriebränden wirkt sich der notwendige mechanische Schutz der Batterien eher hinderlich aus, da das Löschwasser die Brandquelle nur schwer erreichen kann.

Ferner ist auch bei gelöschten Batteriebränden von einer Rückzündungsgefahr auszugehen. Die Batterien können sich auch nach einem längeren Zeitraum erneut entzünden und sind daher besonders zu kontrollieren. Daher ist aufgrund der notwendigen Kühlung der Batterie ein etwas längerer Feuerwehreinsatz als bei konventionellen Fahrzeugen zu erwarten.

Untersuchungen von Tunnelbränden in der Schweiz haben auch gezeigt, dass das Löschwasser in Abhängigkeit vom Batterietyp Schwermetalle (z. B. Kobalt, Nickel oder Mangan) enthalten kann.<sup>[4]</sup> Entsprechende Schadstoffemissionen sind bei Bränden von konventionellen Fahrzeugen nicht zu erwarten.

Da bei den beschriebenen Brandereignissen in Garagen besonders hohe Temperaturen zu verzeichnen waren, müssen erhebliche Brandlasten vorgelegen und zu einer starken Wärmefreisetzung geführt haben. Entsprechende Auswirkungen können nicht nur durch das beschriebene Brandverhalten von Elektrofahrzeugen begründet werden. Daher wird die Entwicklung von Pkw-Brandlasten und Wärmefreisetzungsraten von Fahrzeugbränden in den letzten Jahren betrachtet, die sich sowohl auf Fahrzeuge mit konventionellem als auch mit elektrischem Antrieb bezieht.

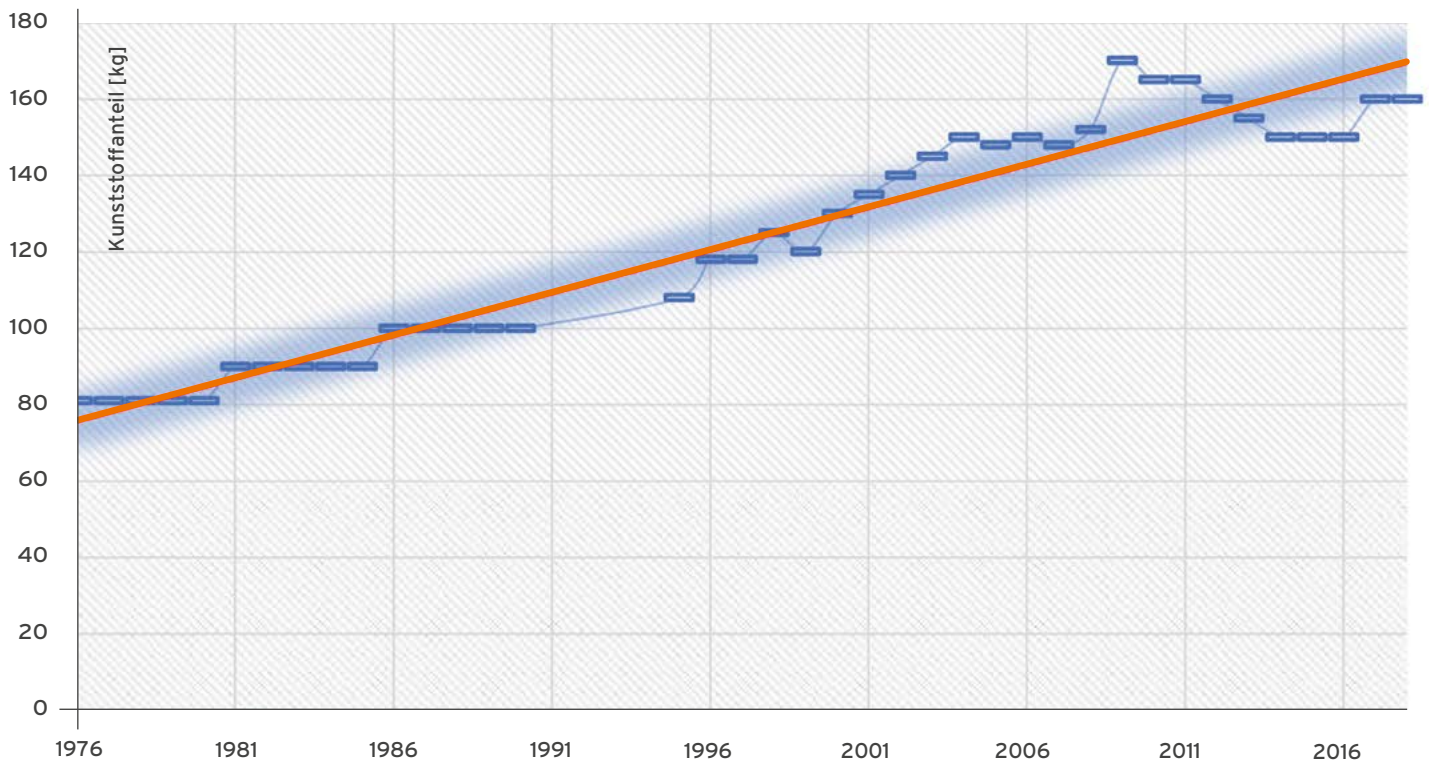
## ..... VERÄNDERUNG DER PKW-BRANDLASTEN UND WÄRMEFREISETZUNGSRATEN .....

©Adobe Stock/Andy Ilmberger



### Pkw-Brandlasten

In den Jahren 1998 und 1999 wurden von der MFPA Leipzig zur Ermittlung des Abbrand- und Feuerübersprungverhaltens von Personenkraftwagen unter Leitung von Frau Dr.-Ing. C. Steinert Brandversuche durchgeführt.<sup>[5]</sup> Hierbei wurden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor der Kleinwagen- und Mittelklasse mit Stahlkarosserie, Stahlkarosserie mit Kunststoffanteilen und einer Karosserie mit etwas Stahl- und überwiegend einem hohen Kunststoffanteil in Brand gesetzt. Die Brandversuche haben auch gezeigt, dass der Kunststoffanteil sowohl für die Wärmefreisetzungsraten als auch für die



**Grafik 1 / Darstellung des Kunststoffanteils in durchschnittlichen US-Fahrzeugen in Gewicht [kg] für den Zeitraum von 1976 bis 2018 gemäß den Angaben in der Publikation „Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers“ der Fire Protection Research Foundation. Zur Visualisierung wurde eine Trendlinie (orange Linie) hinzugefügt.**

Temperatur von besonderer Bedeutung ist. Bei Fahrzeugen mit Kunststoffkarosserie ist von einer schnelleren Brandausbreitung auf ein Nachbarfahrzeug als bei Fahrzeugen mit Stahlkarosserie auszugehen. Außerdem ist bei Fahrzeugen mit hohem Kunststoffanteil neben einer besonderen Wärmefreisetzung auch eine starke Rauchentwicklung zu erwarten.

In den letzten Jahren hat sich der Anteil der verbauten Kunststoffe in Fahrzeugen kontinuierlich gesteigert. Dies kann auch mit der Möglichkeit zur Gewichtsersparnis begründet werden. Im Vergleich zu Metallen sind Kunststoffe wesentlich leichter, und damit wird das Fahrzeug sprit- bzw. energiesparender. Diese Entwicklung gilt sowohl für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor als auch für Elektrofahrzeuge, und es wird von keinen signifikanten Unterschieden hinsichtlich der Pkw-Brandlast ausgegangen.

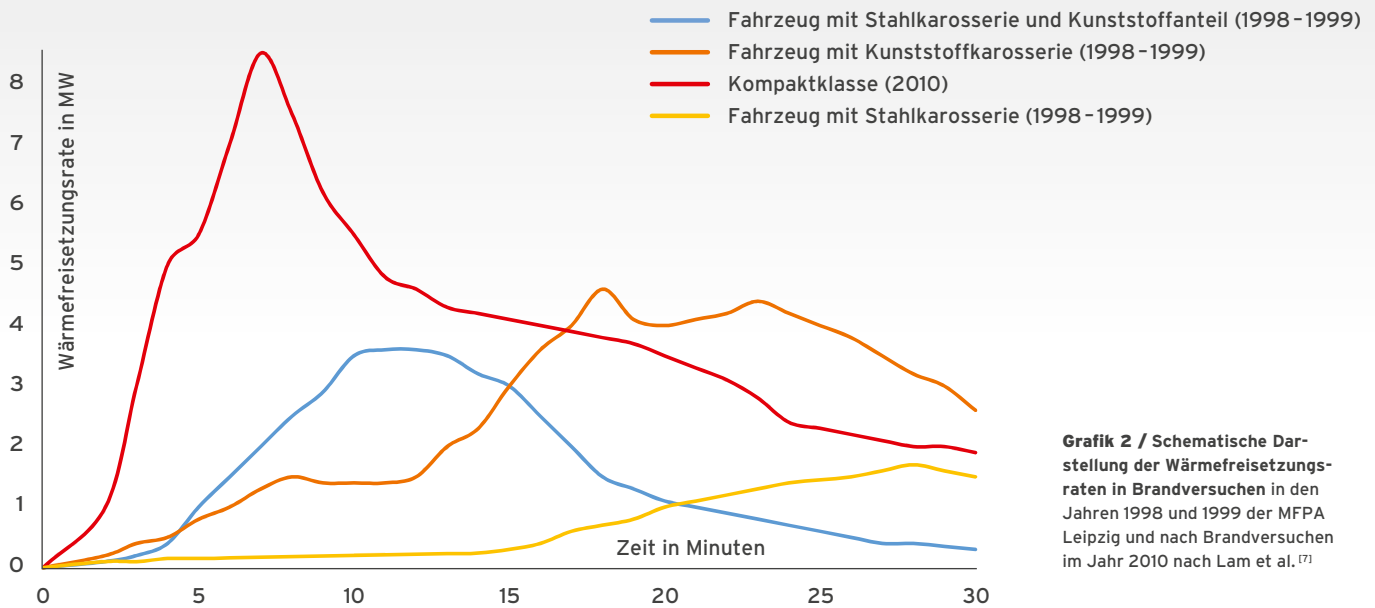
Die amerikanische Fire Protection Research Foundation hat in der Publikation „Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers“ das Gewicht von Kunststoffen in den durchschnittlichen US/NAFTA-Fahrzeugen dargestellt.<sup>[6]</sup> Demnach betrug der Anteil von Kunststoffen in US/NAFTA-Fahrzeugen im Jahr 1976 etwa 80 kg. Im Jahr 2016 stieg der Kunststoffanteil bereits auf 160 kg und hat sich damit verdoppelt (**Grafik 1**). Gleichzeitig sank nach der oben genannten Publikation der Stahlgehalt pro Fahrzeug von 1970 bis 2004 um 32 %.

### Wärmefreisetzungsraten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor

Bei den Brandversuchen der MFPA Leipzig in den Jahren 1998 und 1999 wurden auch Pkw-Wärmefreisetzungsraten gemessen. Demnach wurden bei Fahrzeugen der Klein- und Mittelklasse Wärmefreisetzungsraten von 1,7 MW bis

maximal 4,6 MW bei einem Pkw-Brand und von etwa 9 MW bei zwei Pkw-Bränden ermittelt. Die höchste Wärmefreisetzungsraten wurde bei Bränden von Fahrzeugen mit einem hohen Kunststoffanteil festgestellt. Außerdem war der schnellste Feuerüberschlag bei Fahrzeugen mit Kunststoffkarosserie zu verzeichnen.

In der bereits oben aufgeführten Publikation der Fire Protection Research Foundation<sup>[6]</sup> wurden auch Wärmefreisetzungsraten dargestellt, die durch Brandversuche im Zeitraum von 1970 bis 2010 ermittelt wurden. Demnach sind die niedrigsten Wärmefreisetzungsraten bei Fahrzeugen aus den 1970er-Jahren und die höchsten bei den Brandversuchen aus den 2010er-Jahren zu finden. Diese Brandversuche wurden von Lam et al.<sup>[7]</sup> durchgeführt und es wurde eine maximale Wärmefreisetzung von 8 bis 9 MW für ein Fahrzeug der Kompaktklasse gemessen. ▶



**Grafik 2 /** Schematische Darstellung der Wärmefreisetzungs-raten in Brandversuchen in den Jahren 1998 und 1999 der MFPA Leipzig und nach Brandversuchen im Jahr 2010 nach Lam et al.<sup>[7]</sup>

In **Grafik 2** wurden die Wärmefreisetzungs-raten von Pkw-Bränden, die im Zeitraum 1998 bis 1999 von der MFPA Leipzig ermittelt wurden, der Wärmefreisetzungsrate aus den Brandversuchen im Jahr 2010 gegenübergestellt. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass bei den Brandversuchen von Lam et al.<sup>[7]</sup> eine größere Zündquelle (Gasbrenner unter dem Fahrzeug) im Vergleich zu den Brandversuchen der MFPA Leipzig (mit Isopropanol beträufelte Vordersitze) verwendet wurde. Dies könnte den besonders schnellen Anstieg der Wärmefreisetzungen erklären. Die Ergebnisse können daher nur bedingt miteinander verglichen werden. Trotzdem ist aber im Vergleich zu den Brandversuchen an älteren Fahrzeugen eine wesentlich höhere Wärmefreisetzung bei dem Brandversuch an neueren Fahrzeugen zu erwarten.

Die in den letzten Jahren gestiegene Wärmefreisetzungsrate bei Fahrzeugbränden ist nicht nur durch die gestiegene Brandlast durch die verbauten Kunststoffe zu erklären, auch das Fahrzeugsegment (Kleinwagen, Kompakt-, Mittelklasse, SUV) ist von Bedeutung. In den letzten Jahren ist eine Verlagerung von kleineren und mittleren Fahrzeugen hin zu schwereren und größeren Personenkraftwagen (z. B. SUV) zu erkennen. Hierdurch ist ebenfalls eine erheblich gestiegene

Brandlast und damit eine hohe Wärmefreisetzung im Brandfall zu verzeichnen. Allerdings fehlen experimentelle Untersuchungen zur Wärmefreisetzungsrate der SUV-Fahrzeugklasse. In den Brandversuchen von Lam et al.<sup>[7]</sup> wurde die Wärmefreisetzung einer Kompaktklasse ermittelt. Von Schumann und Zehfuß et al.<sup>[8]</sup> wurde in den „Systematischen Untersuchungen der Brandrisikoklasse von offenen oberirdischen Parkgaragen im Zuge der E-Mobilität“ für den Brand einer Kompaktklasse mit Verbrennungsmotor eine maximale Wärmefreisetzung von 7 MW und bei dem Brand eines SUV-Fahrzeugs eine maximale Wärmefreisetzung von 10 MW unterstellt.

### Wärmefreisetzungs-raten von Fahrzeugen mit Elektromotoren

Bei Elektrofahrzeugen wird im Vergleich zu Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor von einer etwas höheren Wärmefreisetzung ausgegangen. Neben der Pkw-Brandlast ist bei Elektrofahrzeugen die Wärmefreisetzung insbesondere vom Abbrandverhalten der Batterien und dem Batterieladezustand abhängig. Sofern es zu einem „Thermal Runaway“ kommt, ist ein sehr schneller Anstieg der Wärmefreisetzung zu erwarten. Auch bei einer vollständig aufgeladenen Batterie ist eine etwas höhere Wärmefreisetzung anzunehmen.

Im Projekt „BRAFA - Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen“<sup>[9]</sup> des Österreichischen Bundesministeriums für Klimaschutz wird bei Batterien mit einem State of Charge von 100 % von einer etwa 1 MW höheren Wärmefreisetzung als bei konventionellen Fahrzeugen ausgegangen. In diesem Projekt wurden auch Brandversuche an Elektrofahrzeugen durchgeführt.

Nach einer Auswertung von Bränden an zwei verschiedenen Elektrofahrzeugen der Kompaktklasse wurde eine maximale Wärmefreisetzung von 7 MW ermittelt.

Bei dem BRAFA-Projekt wurde auch ein SUV-Elektroauto in Brand gesetzt. Hierbei wurden etwas höhere Wärmefreisetzungs-raten von etwa 8 MW und nach einem „Thermal Runaway“ ein kurzzeitiger maximaler Wert von 10,7 MW gemessen. Bei der Betrachtung des Maximalwerts ist aber zu berücksichtigen, dass das Batteriegehäuse mit Salzlösung geflutet wurde. Hierdurch wurden die Batteriezellen gleichzeitig gezündet und führte zu diesem kurzzeitig erreichten hohen Maximalwert. Die in den beschriebenen Brandversuchen ermittelten maximalen Wärmefreisetzungs-raten von Fahrzeugbränden werden zusammenfassend in der **Tabelle 1** dargestellt.

Zeitraum	Fahrzeugsegment	Fahrzeugtyp	Maximale Wärmefreisetzung	Quelle
1998 - 1999	Kleinwagen- bis Kompaktklasse	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor	etwa 3,7 - 4,6 MW (in Abhängigkeit der Ausführung der Karosserie und des Kunststoffanteils)	Steinert, MFPA Leipzig <sup>[5]</sup>
2010	Kompaktklasse	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor	etwa 8 - 9 MW	Lam et. al. <sup>[7]</sup>
2020	Kompaktklasse	Elektrofahrzeug	etwa 6 - 7 MW	„BRAFA-Projekt“ <sup>[9]</sup>
2020	SUV	Elektrofahrzeug	etwa 8 - 10,7 MW	„BRAFA-Projekt“ <sup>[9]</sup>

## AUSWIRKUNGEN DER ENTWICKLUNG

Durch die gestiegene Pkw-Brandlast in den letzten Jahren und die wesentlich höhere Wärmefreisetzungsrates bei Fahrzeugbränden kann es zu einer starken Rauchentwicklung und einer besonderen thermischen Belastung des Tragwerks kommen. Diese Entwicklung war auch bei aktuellen Garagenbränden zu beobachten und ist unabhängig von der Antriebsart eines Fahrzeugs. Bei Elektrofahrzeugen wird aber der Zeitpunkt der maximalen Wärmefreisetzung durch das Brandverhalten der Batterien bestimmt. Sofern es unter ungünstigen Umständen sehr frühzeitig zu einem „Thermal Runway“ kommt, kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Brandgeschehens sehr viel Wärme freigesetzt werden.

Zudem ist aufgrund der hohen Wärmefreisetzung auch ein schnellerer Feuerüberschlag auf benachbarte Fahrzeuge zu erwarten als bei älteren Fahrzeugen mit deutlich geringerer Brandlast. Von einer größeren Brandausbreitungsgefahr wird auch bei Fahrzeugen aus dem größeren Fahrzeugsegment ausgegangen, bei denen aufgrund der Fahrzeugabmessungen teilweise nur geringe Abstände zum Nachbarfahrzeug bestehen. Dies ist insbesondere bei älteren Garagen zu beobachten, bei denen Einstellplätze noch geringere Abmessungen besitzen als neuere Garagen. Bei einem Feuerüberschlag auf ein Nachbarfahrzeug sind noch größere Wärmefreisetzung zu erwarten.

Da bereits durch die gestiegene Pkw-Brandlast eine besondere Rauchentwicklung zu verzeichnen ist, können

bei Bränden von mehreren Fahrzeugen auch Rauchgasmengen entstehen, die von Rauchabzugsanlagen nicht mehr wirksam abgeführt werden können. Entsprechende Szenarien wurden bei der Dimensionierung von Rauchabzugsanlagen in älteren Garagen nicht unterstellt und baurechtlich war bei älteren Garagen nur eine Abluftanlage zur Abfuhr der Verbrennungsgase vorzusehen. Diese Situation kann auch aufgrund der geringen Raumhöhe einer Garage zu einer Verrauchung des Brandorts führen und einen wirksamen Feuerwehreinsatz behindern und erschweren.

### ▲ Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist unabhängig von der Antriebstechnik ein Anstieg der Pkw-Brandlasten zu verzeichnen. Vieles deutet darauf hin, dass dies mit einem hohem Kunststoffanteil beim Fahrzeugbau und der Entwicklung zu größeren Fahrzeugsegmenten begründet werden kann.

Diese Entwicklung kann dazu führen, dass es zu einer schnellen Brandausbreitung auf ein Nachbarfahrzeug kommt, das Tragwerk in Garagen besonders thermisch beansprucht wird und besondere Rauchgasmengen entstehen, die mit Rauchabzugsanlagen oder Öffnungen insbesondere in älteren Garagen nicht mehr wirksam abgeführt werden können. ▲

### LITERATUR

- [1] AGBF-Bund, DFV. Keine erhöhte Brandgefahr durch in Tiefgaragen abgestellte Elektrofahrzeuge. [Online] 22. Februar 2021. <https://www.agbf.de/downloads-fachausschuss-vorbeugender-brand-und-gefahrenschutz/category/15-fa-vbg-oeffentlich-schriften?download=352:2021-2-keine-brandgefahr-in-tiefgaragen-durch-elektrofahrzeuge>.
- [2] UNECE. Regelung Nr. 100 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der besonderen Anforderungen an den Elektroantrieb. [Online] 10. Juni 2014. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2015.087.01.0001.01.DEU](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2015.087.01.0001.01.DEU).
- [3] D. Schelb und T. Jordan. Besonderheiten und Risiken bei alternativ angetriebenen Fahrzeugen. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Forschungsbericht Nr. 159.
- [4] L.D. Mellert, M. Tuchschnid, M. Hermann, M. Tesson, L. Nacheff. Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen. <http://www.mobilityplatform.ch/>: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, August 2020.
- [5] C. Steinert, MFPA Leipzig e. V. Experimentelle Untersuchungen zum Abbrand- und Feuerüberprungsverhalten von Personenkraftwagen. vfdB-Zeitschrift. Seite 163-172, 4/2000.
- [6] Haavard Boehmer, Michael Klassen, Stephen Olenick. Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers. [www.nfpa.org/foundation](http://www.nfpa.org/foundation). [Online] Juli 2020.
- [7] Lam, C., MacNeil, D. Kroeker, R., Lougheed, G., and Lalime, G., "Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles". Baltimore, USA: Fourth International Conference on Fire in Vehicles, 2016, Oktober 5-6.
- [8] P. Meyer, P. Schaumann, L. Fischbeck, L. Sander, J. Zehfuß. Systematische Untersuchungen zur Brandrisikoanalyse von offenen oberirdischen Parkgaragen im Zuge der E-Mobilität. TU Braunschweig: 7th Symposium Structural Fire Engineering, 2021.
- [9] BRAFA - Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen. <https://www.itna.tugraz.at/forschung/bereiche/vuu/projektbeispiele/brafa.html>. [Online] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, TU Graz, Montanuniversität Leoben, Bundesfeuerwehrverband und ILF Consulting Engineers Austria, September 2021.

Dipl.-Ing. Volker Rautenberg  
Provincial Versicherung AG  
Düsseldorf

**Der Teil 2 „Brandschutzmaßnahmen in geschlossenen Großgaragen“ folgt in der Ausgabe schadenprisma 3/2022.**