

Untersuchung zur Tragsicherheit offener Parkgaragen in Stahl- und Verbundbauweise unter Brandeinwirkungen von E-Fahrzeugen und kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen

Investigation of the structural fire safety of open car parks in steel and composite construction under car fire of electrical and fuel-powered vehicles.

Zehfuß, Jochen; Sander, Lisa; Schaumann, Peter; Patrick Meyer

Abstract

A goal of the project was to evaluate the fire risk of electric vehicles compared to internal combustion engine vehicles in open car parks. The current building regulations according to *Muster-Garagenverordnung* are based on the fire behavior of internal combustion engine vehicles and are intended to cover the fire risk of vehicle fires in car parks. If these regulations cover the fire risk even with an increasing number of electric vehicles is the subject of the project. In order to analyze the possible effects of electric vehicles on the building structures of open car parks, a methodology was developed to evaluate the fire risk.

1. Einführung

Ein wesentliches Ziel des Projektes war ein Vergleich des Brandrisikos von Elektrofahrzeugen (E-Fahrzeugen) und kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen bzgl. der Tragsicherheit von offenen, oberirdischen Parkgaragen. Die geltenden bauaufsichtlichen Regelungen der Muster-Garagenverordnung basieren auf der Kenntnis des Brandverhaltens von kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen und sollen das Brandrisiko von Fahrzeugbränden in Garagen abdecken. Inwieweit diese Regelungen das Brandrisiko auch bei einer steigenden Anzahl von E-Fahrzeugen abdecken, war Gegenstand des Projektes. Um mögliche Auswirkungen von E-Fahrzeugen auf die baulichen Strukturen von offenen, oberirdischen Parkgaragen zu analysieren, wurde eine Methodik entwickelt, mit der eine Bewertung des Risikos aus brandschutztechnischer Sicht erfolgen kann.

Bisher existierten nur wenig öffentliche verfügbare Daten zu Brandversuchen an E-Fahrzeugen. Eine systematische Datenanalyse wurde durchgeführt, um das Brandverhalten von E-Fahrzeugen im Vergleich zu kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen zu charakterisieren. Aufgrund einer unzureichenden Datenlage wurde auf der Basis vorliegender Brandversuche für verschiedene Fahrzeugsegmente nach Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) und Antriebstechnologien ein Ansatz für approximierete Wärmefreisetzungsraten als Bemessungsbrand entwickelt. Ferner wurden die Fahrzeugabmessungen und -massen verschiedener

Fahrzeugsegmente statistisch aufbereitet, aus denen geometrische Modellierungsansätze abgeleitet wurden. Auf Grundlage der Modellierungsansätze und approximierete Wärmefreisetzungsraten wurden Brandeinwirkungen und Bauteiltemperaturen berechnet. Mit probabilistischen Analysen wurde die Versagenswahrscheinlichkeit von Einzelbauteilen in offenen, oberirdischen Parkgaragen unter Brandeinwirkungen von E-Fahrzeugen bewertet. Abschließend wurde eine Zuverlässigkeitsbetrachtung und Risikobewertung vorgenommen.

2. Entzündungsgefahr und Wärmefreisetzung

Die Entzündungsgefahr von E-Fahrzeugen wurde primär anhand von Lithium-Ionen Akkumulatoren untersucht, wobei sich durch den elektrischen Antrieb keine höhere Entzündungsgefahr ergibt. Verschiedene Sicherheitsmaßnahmen und Schutzmechanismen wie das Batteriemanagementsystem (BMS) der Lithium-Ionen Akkumulatoren können die Entzündungsgefahr reduzieren. Die Wärmefreisetzungsrate von E-Fahrzeugen zeigt einen etwas schnelleren Anstieg und einen charakteristischen Doppelpeak, der auf die Verbrennung der Fahrzeugkomponenten der Karosserie sowie des Interieurs (1. Peak) und auf die Entzündung des Fahrzeugakkumulators (2. Peak) zurückzuführen ist. Die Wärmefreisetzungsrate korreliert mit den Fahrzeugmassen, sodass sie bei größeren Fahrzeugsegmenten steigt. Die Wärmefreisetzungsraten sind vergleichbar zu kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen (Bild 1).

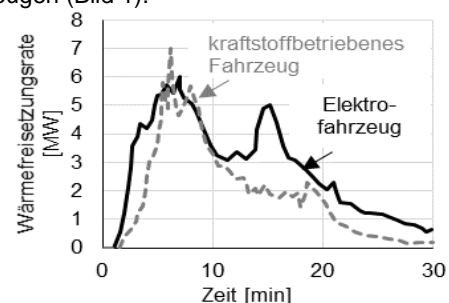


Bild 1 Wärmefreisetzungsrate einer Kompaktklasse verschiedener Antriebstechnologien nach Lam et al. 2016

Weitere Ergebnisse der Datenanalyse sind in /1/ und /2/ veröffentlicht.

3. Modellierungsansätze CFD-Modelle und Bauteiltemperaturen

Zur Ermittlung der Bauteiltemperaturen von Einzelbauteilen in offenen, oberirdischen Parkgaragen wurden die Brandeinwirkungen mit dem CFD-Modell FDS (Version 6.7.1) berechnet. Die Fahrzeuge wurden als Quader mit vier brennbaren Außenflächen modelliert. Die geometrischen Abmessungen wurden aus der statistischen Auswertung der Fahrzeugabmessungen (90% Quantil) entnommen. Ferner sind die Wärmefreisetzungsraten der Literatur für verschiedene Fahrzeugsegmente extrapoliert worden. Als Brandüberschlag zwischen den Fahrzeugen wurden 7 Minuten angesetzt, die aus eigenen Parameterstudien abgeleitet wurden /2/. Die Modellierungsansätze erfolgen unabhängig von der Antriebsart. Die Fahrzeuge wurden neben den betrachteten Stahlstützen (HEA 240) und zwischen den Trägern (IPE 450) angeordnet, wobei Brandszenarien mit 1 bis 4 Fahrzeugen untersucht wurden. Weiterhin wurde ein Brandszenario mit 14 Fahrzeugen modelliert. Dabei zeigte sich, dass die lokalen Bauteiltemperaturen maßgeblich durch das Fahrzeugsegment des Initialfahrzeuges beeinflusst werden. Bild 2 zeigt exemplarisch die Bauteiltemperaturen an vier Trägern (IPE 450, Systemlänge 16 m).

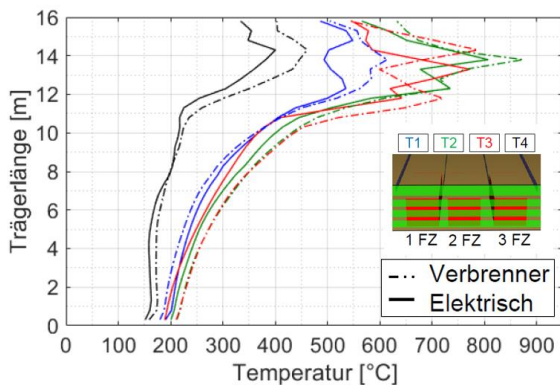


Bild 2 Berechnete Bauteiltemperaturen an vier Trägern (IPE 450) beim Brandszenario mit drei Kompaktklassen verschiedener Antriebstechnologien

4. FORM und Risikobewertung

Zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit der Einzelbauteile wurde die First Order Reliability Method (FORM) angewendet. Als Grenzzustand wurde $M_{fi,Ed} - M_{pl,fi,Rd} \leq 0$ mit Modellunsicherheiten $\Theta_{R,M}$ und $\Theta_{E,M}$ angesetzt. Unter Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Fahrzeugbränden, der Kombination verschiedener Fahrzeugsegmente und der Ausfallwahrscheinlichkeit wirksamer Löscharbeiten wurde die

Versagenswahrscheinlichkeit p_f respektive der Sicherheitsindex β im Brandfall berechnet. Zur Bewertung wurde die Zielversagenswahrscheinlichkeit konservativ mit Sicherheitsindex $\beta = 4,2$ nach DIN EN 1991 1 2/NA gewählt.

Bei gleichem Schadensausmaß kann das Brandrisiko für die betrachteten Einzelbauteile unter Brandeinwirkung von E-Fahrzeugen bewertet werden. In Bild 3 sind für verschiedene Fahrzeugkombinationen (KW: Kleinwagen, KK: Kompaktklasse, MK: Mittelklasse und SUV: Sport Utility Vehicles) der Sicherheitsindex β für einen Träger (IPE 450) unter Brandeinwirkung von zwei Fahrzeugen dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Sicherheitsindex und somit auch das Brandrisiko von E-Fahrzeugen vergleichbar zu dem von kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen ist.

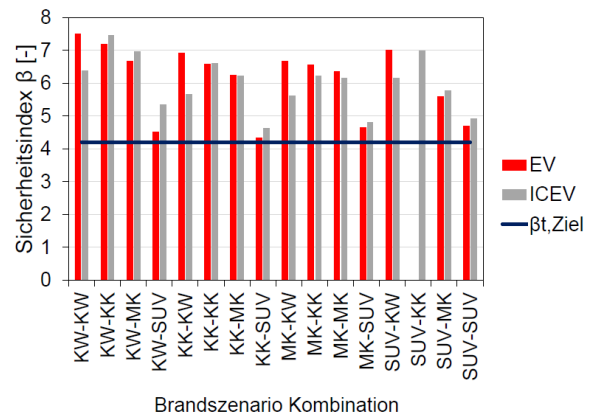


Bild 3 Sicherheitsindizes für verschiedene Fahrzeugkombinationen mit verschiedenen Antriebstechnologien (EV: E-Fahrzeug; ICEV: Verbrenner)

5. Erkenntnisse und Ausblick

Die Forschungsergebnisse haben ergeben, dass E-Fahrzeuge bezogen auf die Tragsicherheit von Garagen kein größeres Brandrisiko als herkömmlich betriebene Fahrzeuge aufweisen. Ferner wird die Notwendigkeit von statischen Daten für die Brandauftrittswahrscheinlichkeit sowie experimenteller Daten von Wärmefreisetzungsraten für Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien aufgezeigt.

6. Literatur

- /1/ Zehfuß, J.; Sander, L. (2020) Brandverhalten von E-Fahrzeugen. In: Zehfuß, J. (Hrsg.), Tagungsband Braunschweiger Brandschutz-Tage 16.-17.09.2020, iBMB, TU Braunschweig: Schriftenreihe; Braunschweiger Brandschutz-Tage, S. 199-226, Braunschweig.