

Investigation of Fires with Electric Vehicles in Underground Traffic Areas

Untersuchung von Bränden mit Elektrofahrzeugen in unterirdischen Verkehrsbereichen

The electrification of passenger car is progressing nationally and internationally. Some of the growth rates exceed the forecasts, and major car manufacturers have already announced fixed dates for the complete phase-out of passenger cars with combustion engines. At the same time, initial experience has been gained with accidents and fires involving electric vehicles. However, a sufficient database from actual accidents on the fire behaviour of passenger cars with lithium-ion batteries is not yet available. This situation gave rise to the SUVEREN research project in 2017 with the aim of scientifically investigating the effects of vehicles with new energy carriers (NEC) on safety in underground traffic areas.

Die Elektrifizierung der PKW-Flotte schreitet national und international voran. Die Zuwachsraten übertreffen teilweise die Prognosen, große Automobilhersteller haben bereits feste Termine für den kompletten Ausstieg aus der Produktion von PKW mit Verbrennungsmotoren bekanntgegeben. Gleichzeitig konnten erste Erfahrungen mit Unfällen und Bränden in Verbindung mit Elektrofahrzeugen gesammelt werden. Eine ausreichende Datenbasis aus tatsächlichen Havarien zum Brandverhalten von PKW mit Lithium-Ionen-Batterien liegt jedoch noch nicht vor. Aus dieser Situation heraus entstand im Jahr 2017 das Forschungsprojekt SUVEREN mit dem Ziel, die Auswirkungen von Fahrzeugen mit neuen Energieträgern (NET) auf die Sicherheit in unterirdischen Verkehrsbereichen wissenschaftlich zu untersuchen.

Dipl.-Ing. STEPHAN KLÜH, CFD Engineer (R&D)/CFD-Ingenieur (F&E), FOGTEC Brandschutz GmbH, Cologne/Köln, Germany/Deutschland

In the few cases of fire that have already occurred, intense fires were sometimes observed that were difficult for emergency services to extinguish completely. Initial experiences with such fires (and statements by the Tesla company, for example, that at least 11 000 litres of extinguishing water would be required for a fire in their cars) have led to questions and uncertainty. A well-founded assessment of the consequences for fire protection requirements in underground transport facilities has so far hardly been possible, if at all.

Initial Findings and Recommendations from the SUVEREN Research Project

The SUVEREN project (Safety of Urban Underground Structures due to the Use of New Energy Carriers) also dealt with fires involving hydrogen and gas-powered vehicles, but the focus was on cars with lithium-ion batteries due to the urgency of the open questions. A consortium consisting of the German Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), STUVA and the company Fogtec carried out the investigations. The German Federal Ministry of Education and Research provided significant funding for the project.

The development of practical recommendations for dealing with NECs in underground transportation facilities was one of the most important goals of SUVEREN.

Bei den erst vereinzelt aufgetretenen Brandfällen wurden teilweise intensiv ablaufende Brände beobachtet, die sich von Einsatzkräften nur schwer komplett ablöschen ließen. Erste Erfahrungen mit solchen Bränden (und Aussagen von z. B. der Firma Tesla, dass bei einem Brand ihrer Autos mindestens 11 000 Liter Löschwasser notwendig seien) haben zu Fragen und Verunsicherungen geführt. Eine fundierte Abschätzung der Folgen für Anforderungen an den Brandschutz in unterirdischen Verkehrsanlagen war bisher kaum oder gar nicht möglich.

Erste Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Forschungsprojekt SUVEREN

Das Projekt SUVEREN (Sicherheit in unterirdischen städtischen Verkehrsbereichen bei Einsatz neuer Energieträger) befasste sich zwar auch mit Bränden von Fahrzeugen mit Wasserstoff- und Gasantrieben, der Fokus lag jedoch aufgrund der Dringlichkeit der offenen Fragen auf PKW mit Lithium-Ionen-Batterien. Ein Konsortium bestehend aus der deutschen Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), der STUVA und der Firma Fogtec führte die Untersuchungen durch. Das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützte das Projekt maßgeblich durch eine Förderung.

Die Erarbeitung von konkreten und umsetzbaren Empfehlungen zum Umgang mit NET in unterirdischen Verkehrsanlagen



Credit/Quelle: Fogtec

1 Extinguishing agent tests in the SUVEREN calorimeter for battery fire tests
Löschmittelversuche im SUVEREN-Kalorimeter für Batteriebrandversuche

In the following, the work content processed by Fogtec and relevant results are reported.

Fire Simulations under Realistic Conditions

In the initial phase, the consortium focused on the very insufficient data available on the fire behaviour of lithium-ion batteries. In order to obtain reliable and detailed knowledge, fire tests were carried out under the most realistic conditions possible and on a 1:1 scale. IFAB GmbH, Berlin, was responsible for planning, preparing and conducting the fire tests.

In the course of the project, several test series were carried out with different objectives. The battery packs and modules that were used were each fully charged and came from series-production vehicles of a German manufacturer. In the first series of tests, the aim was to gain basic knowledge about the fire behaviour of lithium-ion batteries, from ignition to the cooling process. To determine the temperature distribution and heat release, a new test stand was designed and constructed (**Fig. 1**). Various gas sensors, a large number of thermocouples, devices for measuring the radiant heat and the mass loss rate as well as thermal imaging cameras were positioned in it. The flue gas composition was also investigated with a highly sensitive Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), which analyses the flue gases down to the low

war eines der wichtigsten Ziele von SUVEREN. Im Folgenden wird über von Fogtec bearbeitete Arbeitsinhalte und relevante Ergebnissen berichtet.

Brandversuche unter realistischen Bedingungen

In der Anfangsphase widmete sich das Konsortium der sehr unzureichenden Datenlage zum Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien. Für die Gewinnung belastbarer und detaillierter Kenntnisse wurden Brandversuche unter möglichst realistischen Bedingungen und im 1:1 Maßstab durchgeführt. Die Planung, Vorbereitung und Durchführung der Brandversuche oblag der IFAB GmbH, Berlin.

Im Verlauf des Projekts wurden mehrere Versuchsreihen mit unterschiedlichen Zielen durchgeführt. Die dabei verwendeten Batteriepacks und -module waren jeweils vollständig geladen und stammten aus Serienfahrzeugen eines deutschen Herstellers. In einer ersten Versuchsreihe ging es darum, grundlegende Erkenntnisse zum Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien, von der Zündung bis zum Abkühlvorgang, zu gewinnen. Zur Bestimmung der Temperaturverteilung sowie der Wärmefreisetzung wurde hierfür ein neuer Versuchsstand entworfen und errichtet (**Bild 1**). In diesem waren diverse Gassensoren, eine Vielzahl von Thermoelementen, Geräte zur Messung der Strahlungswärme und der Masseverluste sowie Wärmebildkameras positioniert. Die Rauchgaszusammensetzung wurde

single-digit ppm range. In addition, the response behaviour of all major types of commercially available fire and smoke detectors was investigated.

Effectiveness of Different Firefighting Technologies

In a second series of tests, different firefighting technologies, such as sprinklers, water mist, foam, F 500, aerosol, nitrogen, carbon dioxide and Novec 1230, were tested for their extinguishing effect. This was the first time that different firefighting systems were compared scientifically under identical and reproducible conditions.

The batteries used were ignited by mechanical impact or overcharging and in some cases showed very fast and strong reactions with explosions, up to 1.5 m long flames and intense heat release. Temperatures of up to 1000 °C were measured on the surfaces of the batteries. The analysis of the fumes did not reveal the expected considerable amounts of hydrofluoric acid (HF), but up to ten other highly toxic and corrosive substances appeared in critical quantities. It was observed that battery fires can differ significantly depending on cell composition and cell type. The type of ignition also plays a major role here.

The tests on fire detection and extinguishing showed that, despite the special fire behaviour of lithium-ion batteries, successful intervention is possible in principle both manually and by means of stationary fire-fighting systems. A summary of the results is planned to be published together with a guide for fire protection in underground transportation facilities in the first half of 2021.

Electric Vehicle Fires in Underground Garages

As part of a third series of tests, experiments were conducted in the second half of 2020 to investigate electric vehicle fires in underground car parks. For this purpose, the spatial geometry of a part of an underground car park was simulated. A representative model of a passenger car was positioned in the garage. The primary objective of the study was to investigate the effects of an electric car fire on the structure of the building and the escape conditions. At the same time, the tests were used to develop and test a system for the earliest detection of battery fires and their suppression. The fire tests were accompanied by the technical inspection agencies TÜV Süd and DEKRA. The dummy car used corresponded to a fire power of approx. 7 MW, based on the design fire for a car, which was derived and calculated during the course of the project from the analysis of documented car fires (Fig. 2). Thus, according to current knowledge, a higher fire power can be assumed than according to previous assumptions and guidelines. However, this applies not only to electric cars but also to cars with combustion engines. The significantly

zusätzlich mit einem, hoch empfindlichen Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer (FTIR) untersucht, welches bis in den unteren einstelligen ppm-Bereich die Rauchgase analysiert. Zusätzlich wurde das Ansprechverhalten aller wesentlicher Typen von handelsüblichen Brand- und Rauchmeldern untersucht.

Löschwirkung verschiedener Brandbekämpfungstechnologien

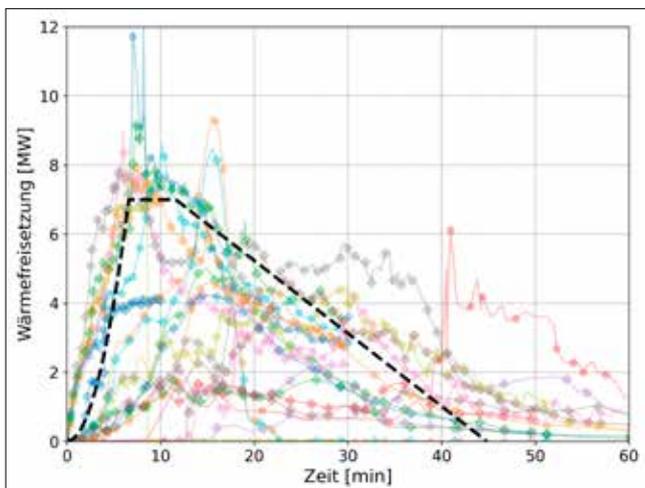
In einer zweiten Versuchsreihe wurden verschiedene Brandbekämpfungstechnologien, wie Sprinkler, Wassernebel, Schaum, F 500, Aerosol, Stickstoff, Kohlendioxid und Novec 1230, auf ihre Löschwirkung hin untersucht. Erstmals wurden damit verschiedene Brandbekämpfungssysteme unter identischen, reproduzierbaren und ingenieur-wissenschaftlichen Bedingungen verglichen.

Die verwendeten Batterien wurden über mechanische Einwirkungen oder ein Überladen zur Entzündung gebracht und zeigten zum Teil sehr schnell und heftig ablaufende Reaktionen mit Explosionen, bis zu 1,5 m langen Stichflammen und sehr hoher Wärmefreisetzung. An den Oberflächen der Batterien wurden Temperaturen bis zu 1000 °C gemessen. Die Analyse der Rauchgase ergab zwar nicht die erwarteten erheblichen Mengen an Fluorwasserstoffsäure (HF), jedoch traten bis zu zehn weitere hochtoxische und korrosive Substanzen in kritischen Mengen auf. Es konnte beobachtet werden, dass sich Batteriebrände je nach Zellzusammensetzung und Zelltyp deutlich voneinander unterscheiden können. Auch die Art der Zündung spielt hierbei eine große Rolle.

Die Versuche zur Branddetektion und -bekämpfung zeigten, dass eine erfolgreiche Intervention trotz des besonderen Brandverhaltens von Lithium-Ionen-Batterien prinzipiell sowohl manuell wie auch mittels ortsfester Brandbekämpfungsanlagen möglich ist. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist gemeinsam mit einer Veröffentlichung eines Leitfadens für den Brandschutz in unterirdischen Verkehrsanlagen in der ersten Jahreshälfte 2021 geplant.

Elektrofahrzeugbrände in Tiefgaragen

Im Rahmen einer dritten Versuchsreihe wurden im zweiten Halbjahr 2020 Versuche zur Untersuchung von Elektrofahrzeugbränden in Tiefgaragen durchgeführt. Dafür wurde die Raumgeometrie eines Teils einer Tiefgarage nachgestellt. In dieser wurde eine repräsentative PKW-Attrappe positioniert. Primäres Untersuchungsziel war, die Auswirkungen eines Elektro-PKW-Brandes auf die Struktur des Bauwerkes und die Fluchtbedingungen zu untersuchen. Gleichzeitig wurden die Versuche genutzt, um ein System zur frühesten Detektion von Batterie-Bränden und deren Bekämpfung zu entwickeln und zu prüfen. Die Brandversuche wurden vom TÜV Süd und der DEKRA begleitet.



Credit/Quelle: Fogtec

2 Fire progression of a “design car in garages” (dashed line) and measured heat release of car fires (= basis for derivation). X-axis = time in minutes; y-axis = heat release in MW

Brandverlauf eines „Bemessungs-PKW in Garagen“ (gestrichelt) und gemessene Wärmefreisetzung von PKW-Bränden (= Grundlage für die Herleitung)

increased potential fire performance compared to the past is in fact due to the increasing size of modern passenger cars and the increased use of plastics in the bodywork as well. It is therefore to be expected that various recommendations from the past will require updating.

In the SUVEREN project, a fire protection concept for car fires was therefore developed especially for multi-storey and underground car parks. The findings also confirm the assumption that a tunnel built according to the current state of technology (e.g. RABT, etc.) will withstand a fire of one or more passenger cars (regardless of whether they are conventionally or battery driven) sufficiently and well and that the measures for ventilation and escape are sufficient.

Large Vehicles with NECs

Other considerations may become necessary with regard to large vehicles such as trucks and buses that are powered by batteries or also hydrogen. Whether and to what extent the effects due to the composition of flue gases from fires with lithium-ion batteries necessitate revisions to the previous fire protection requirements is part of the analysis of the data obtained in the trials that is currently underway. In any case, the increasing equipment of buses and trucks with new energy sources should be closely observed. Further investigations with additional and larger fire tests are necessary in this area in order to reliably answer questions from fire brigades and operators in this regard.

Further information on the research project can be found on the SUVEREN website.

Die verwendete PKW-Attrappe entsprach einer Brandleistung von ca. 7 MW, basierend auf dem Bemessungsbrand für einen PKW der im Projektverlauf aus Analyse von dokumentierten PKW-Bränden abgeleitet und rechnerisch hergeleitet wurde (**Bild 2**). Damit ist nach aktuellem Erkenntnisstand von einer höheren Brandleistung als bei bisherigen Annahmen und Richtlinien auszugehen. Dies gilt allerdings nicht nur für Elektro-PKW sondern auch für PKW mit Verbrennungsmotoren. Die im Vergleich zu früher deutlich erhöhte potenzielle Brandleistung ergibt sich nämlich vielmehr aus der zunehmenden Größe moderner PKW und dem vermehrten Einsatz von Kunststoffen auch in der Karosserie. Es ist daher zu erwarten, dass verschiedene Empfehlungen aus der Vergangenheit einer Aktualisierung bedürfen.

Im Projekt SUVEREN wurde daher ein Brandschutzkonzept für PKW-Brände speziell in Parkhäusern und Tiefgaragen entwickelt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen lässt sich zudem die Vermutung bestätigen, dass ein nach dem heutigen Stand der Technik (z. B. RABT etc.) errichteter Tunnel einem Brand eines oder mehrerer PKW (egal ob mit konventionellem oder Batterie-Antrieb) ausreichend und gut standhalten wird und dass die Maßnahmen zur Ventilation und Entfluchtung ausreichen.

Großfahrzeuge mit NET

Andere Überlegungen können in Bezug auf Großfahrzeuge wie LKW und Busse notwendig werden, die mit Batterien oder auch Wasserstoff betrieben werden. Ob und wie stark die Auswirkungen durch die Zusammensetzung der Rauchgase von Bränden mit Lithium-Ionen-Batterien Überarbeitungen der bisherigen Anforderungen an den Brandschutz notwendig machen, ist Bestandteil der derzeit laufenden Analyse der in den Versuchen gewonnenen Daten. Die zunehmende Ausrüstung von Bussen und LKW mit neuen Energieträgern sollte jedenfalls genau beobachtet werden. Für die sichere Beantwortung diesbezüglicher Fragestellungen von Feuerwehr und Betreibern sind in diesem Bereich weitere Untersuchungen mit zusätzlichen und größeren Brandversuchen notwendig.

Weitere Informationen zum Forschungsprojekt finden sich auf der SUVEREN-Website.

www.suveren-nec.info