

BEKÄMPFUNG VON BATTERIEBRÄNDEN IN ELEKTROFAHRZEUGEN



Als Einsatztaktik wurde der Zangenangriff gewählt, der sich bei Bränden von Elektrofahrzeugen als effektiv erwiesen hat

Brandbekämpfung bei Elektrofahrzeugen im **PRAXISNAHEM TEST** – Erkenntnisse aus zwei Versuchen mit Wasser und Druckluftschaum

Im folgenden Praxisbericht werden Batteriebrände von zwei Elektrofahrzeugen beschrieben, die im Rahmen eines öffentlich geförderten Forschungsprojekts untersucht wurden. Die Brände wurden durch eine gezielte mechanische Beschädigung einer Batteriezelle ausgelöst, was zu einem thermischen Durchgehen (Thermal Runaway) und zur thermischen Propagation innerhalb des Hochvoltspeichers führte. Ziel der Versuche war es, Erkenntnisse zur Brandbekämpfung unter realitätsnahen Bedingungen zu gewinnen.

Die Brandbekämpfung wurde jeweils erst eingeleitet, nachdem im Fahrzeuginnenraum ein für potenzielle Insassen kritischer Zustand erreicht war. Beim ersten Test kam Druckluftschaum (CAFS), beim zweiten Test kam Wasser als Löschmittel zum Einsatz. Obwohl die Versuchsbedingungen nahezu identisch waren, zeigten sich deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Brandentwicklung, weshalb die Auswertung getrennt erfolgte.

HINTERGRUND

Die Versuche wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr geförderten Projekts BALSAM („Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batteriesystemen und Brand-Schutz“) durch-

geführt. Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf dem Insassenschutz sowie auf der Bewertung von Risiken für Einsatzkräfte bei Bränden von Elektrofahrzeugen. Projektpartner sind unter anderem die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), die Technische Hochschule Ingolstadt (THI) sowie BMW.

Die Brandtests fanden an zwei BMW i4 BEV-Fahrzeugen an einem Außenstandort statt. Zur Vermeidung einer Umweltkontamination wurde das Löschwasser vollständig aufgefangen. Die Berufsfeuerwehr Ingolstadt übernahm die Durchführung der Brandbekämpfung einschließlich der Auswahl der Löschmittel und der taktischen Vorgehensweise.

INITIIERUNG DES BATTERIEBRANDES

Zur Auslösung des Batteriebrandes wurde an einer vollständig geladenen Batterie eine Nagelpenetration an einer definierten Zelle durchgeführt. Diese führte zu einem internen Kurzschluss und einem Temperaturanstieg, der ein thermisches Durchgehen der Zelle auslöste. In der Folge kam es zur thermischen Ausbreitung auf benachbarte Zellen. Diesen sich selbst beschleunigenden Vorgang bezeichnet man als thermisches Durch-

gehen (Thermal Runaway) [1]. Die Nagelpenetration erwies sich als zuverlässige Methode zur Initiierung des Batteriebrandes.

Der Beginn der Brandbekämpfung wurde an das Erreichen eines kritischen Zustands im Fahrzeuginnenraum gekoppelt. Die Einsatzmaßnahmen unterschieden sich in ihrem zeitlichen Verlauf deutlich, weshalb die beiden Tests separat bewertet wurden.

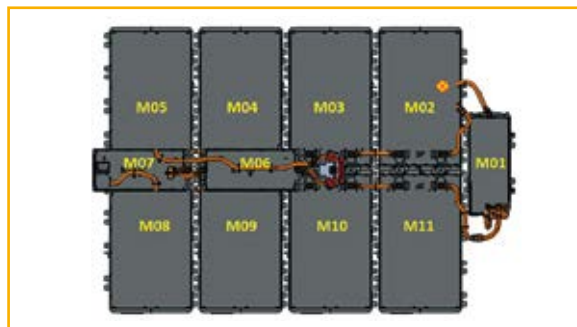
TECHNISCHE AUSSTATTUNG UND TAKTIK

Für beide Versuche stand ein Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeug (HLF 20) der Berufsfeuerwehr Ingolstadt zur Verfügung, ausgestattet mit einer Feuerlöschkreiselpumpe, CAFS-Anlage, zwei Hohlstrahlrohren sowie Wärmebildkameras. Die Löschwasserversorgung erfolgte über den Fahrzeugtank und das öffentliche Wasserleitungsnetz. Als Einsatztaktik wurde der Zangenangriff gewählt, der sich bei Bränden von Elektrofahrzeugen als effektiv erwiesen hat.

BRANDBEKÄMPFUNG – FAHRZEUGBRANDTEST 1 (CAFS)

Die Brandbekämpfung begann unter Einhaltung eines Sicherheitsabstands von 5 Metern gemäß der in der DIN VDE 0132 festgelegten Abstandsregelung [2]. Die Brandbekämpfung begann 24 Minuten nach der Initiierung, als das Fahrzeug bereits in Vollbrand stand. Angriffstrupp und Wassertrupp näherten sich dem Fahrzeug vom Heck aus und lokalisierten mithilfe der Wärmebildkamera die Hauptbrandbereiche, insbesondere im Bereich der Radkästen.

Unter Einsatz von CAFS im Vollstrahl-Modus wurde rasch eine deutliche Temperaturreduzierung erreicht. Nach kurzer Zeit konnten die Flammen an der Fahrzeugaußenseite unter Kon-



Schematischer Aufbau der Traktionsbatterie

trolle gebracht werden. Anschließend erfolgte der Übergang in den Sprühstrahlbetrieb zur gezielten Brandbekämpfung einzelner Brandherde. Nach etwa 15 Minuten waren keine offenen Flammen mehr sichtbar.

Die anschließenden Nachlöscharbeiten dienten dem gezielten Aufspüren verbliebener Glutnester und dauerten weitere 15 Minuten. Insgesamt war der Brand nach 34 Minuten vollständig gelöscht. Eine anschließende Überwachung über 24 Stunden ergab keine erneute Entzündung.

LESSONS LEARNED – TEST 1

Die Untersuchung der Batterie zeigte, dass drei von elf Modulen vom Thermal Runaway betroffen waren. Die Ausbreitung auf weitere Module konnte durch den Löscheinsatz verhindert werden. Mit insgesamt rund 2000 Liter Wasser in Form von Druckluftschäum wurde ein vollständiger Löscherfolg erzielt. Die insgesamt verbrauchte Löschwassermenge entspricht somit ungefähr den Angaben der aktuellen Literatur [3]. Einige Veröffentlichungen sprechen für das Löschen von E-Fahrzeugen teilweise von einem wesentlich höheren Wasserverbrauch [4]. Die Wirksamkeit von CAFS bestätigte sich insbesondere durch die hohe Wärmebindung und die Möglichkeit, den Brand aus größerer Entfernung effektiv zu bekämpfen [5-7].



Aufbau der Versuchsfahrzeuge über dem Container zur Löschmittelaufnahme

TROTZ IDENTISCHER VERSUCHSBEDINGUNGEN TRATEN **ERHEBLICHE UNTERSCHIEDE** IM BRANDVERLAUF AUF



BRANDBEKÄMPFUNG – FAHRZEUGBRANDTEST 2 (WASSER)

Die Initiierung des thermischen Ereignisses erfolgte identisch zum ersten Test. Zwar war die thermische Propagation akustisch und optisch erkennbar, die eigentliche Brandentwicklung verzögerte sich jedoch erheblich. Erst nach rund 50 Minuten wurde ein kritischer Zustand im Fahrzeuginnenraum erreicht, sodass die Brandbekämpfung beginnen konnte.

Die ersten Löschmaßnahmen verliefen ähnlich wie im ersten Test. Mit Wasser konnten offene Flammen zunächst schnell eingedämmt werden. Nach kurzer Zeit bestand für die Umgebung keine Gefahr mehr. Im weiteren Verlauf kam es jedoch wiederholt zu erneuter Flammenbildung. Trotz eines Löschwassereinsatzes von etwa 3000 Liter konnte kein nachhaltiger Kühleffekt in der Batterie erzielt werden.

Aufgrund der Rahmenbedingungen wurde das Fahrzeug schließlich in einem mit Wasser gefüllten Container abgesenkt, um die Batterie zu kühlen. Diese Maßnahme stellt eine Ausnahme dar und wird nicht zur generellen Anwendung empfohlen [8].

LESSONS LEARNED – TEST 2

Anhand der ausgebauten Batterie wurde ersichtlich, dass am zweiten Testtag neun von elf Batteriemodulen vom Brand betroffen waren, was der

wesentlich längeren Brandentstehungsphase geschuldet sein dürfte. Als Fazit kann zusammengefasst werden, dass mit normalem Wasser der Fahrzeugbrand zeitnah unter Kontrolle gebracht wurde. Leider konnte mit dem eingesetzten Wasser der nötige Kühleffekt in der Batterie offenbar nicht erzeugt werden.

FAZIT & DANKSAGUNG

Die Versuche verdeutlichten, dass trotz identischer Versuchsbedingungen erhebliche Unterschiede im Brandverlauf von Hochvoltbatterien auftreten können. Der Zeitpunkt der Brandentstehung sowie die Ausbreitung innerhalb des Speichers waren nicht zuverlässig vorhersehbar. Je nach Brandphase unterscheiden sich Dauer und Intensität der Brandbekämpfung deutlich. Für die Feuerwehr bleibt der Schutz von Insassen und Umgebung oberste Priorität, während der Brand kontrolliert und eingegrenzt wird.

Das Projekt BALSAM wird vom Bundesministerium für Verkehr (BMV) gefördert. Die Finanzierung dieser Maßnahme erfolgt auch im Rahmen des deutschen Aufbau- und Resilienzplans (DARP) durch die Europäische Aufbau- und Resilienzfazilität (ARF) im Programm NextGenerationEU. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und vom Projektmanagement Jülich (PtJ) umgesetzt. □

AUTOREN:

CHRISTIAN GEIB, Brandamtmann/Fachbereichsleiter; Stadt Ingolstadt, Amt für Brand- und Katastrophenschutz

DR. SUSANNE LOTT, TH Ingolstadt, CARISSMA Institute of Electric, COnnected, and Secure Mobility (C-ECOS)

DIPL.-ING. JOSEF HUBER, Leitender Branddirektor, Stadt Ingolstadt, Amt für Brand- und Katastrophenschutz

PROF. DR. HANS-GEORG SCHWEIGER, TH Ingolstadt, Leiter des CARISSMA Institute of Electric, COnnected, and Secure Mobility (C-ECOS)

QUELLENANGABEN:

- [1] M. Fleischhammer und H. Döring in: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien (Hrsg.: R. Kort-hauer), Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013, 285–298.
- [2] Deutsches Institut für Normung. (2025). Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen (DIN VDE 0132). VDE Verlag.
- [3] M. Neske, J. Kaufmann, D. Butscher und C. Vogel, Evaluierung von technischen Verfahren zur Löschmitteleinbringung in Hochvoltspeicher, www.ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/imk_ber/IMK_210.pdf, 2022.
- [4] K. Elisabeth, Wie gefährlich sind Brände bei E-Autos wirklich?, www.br.de/nachrichten/wissen/wie-gefaehrlich-sind-braende-bei-e-autos-wirklich, RoPFuv7, 2020.
- [5] T. Rappsilber und S. Krüger, Fire Safety Journal 2018, 98, 3–14, DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.004.
- [6] T. Rappsilber, P. Below und S. Krüger, Fire Safety Journal 2019, 106, 136–145, DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.04.014.
- [7] L. Orlik, F. Kircher, S. Kaczmarek, W.-J. Kühl, T. Vollbrecht und Gräfling Wilfried, Schlussbericht zum Teilvorhaben - Erprobung des Druckluftschäumverfahrens und Erstellung von Handlungskonzepten, www.berliner-feuerwehr.de/fileadmin/bfw/dokumente/Forschung/aerius/LBD_Pro_AERIUS_Schlussbericht_BFw.pdf, 2019.
- [8] DGUV (2023) Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien bei Fahrzeugbränden