

MARKUS EGELHAAF | DAVID KRESS | DIETER WOLPERT | HARTUNG WILSTERMANN | RAINER JUSTEN

Löschversuche an Lithium-Ionen-Traktionsbatterien

Lösch Erfolg mit allen drei getesteten Löschmitteln

Bis 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf den deutschen Straßen anzutreffen sein. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Feuerwehren mit einem Brand eines Elektro- oder Hybridfahrzeuges konfrontiert werden. Zusammen mit Herstellern hat DEKRA den Brand einer Lithium-Ionen-Traktionsbatterie in einem Brandversuch mit drei verschiedenen Löschmitteln bzw. -additiven (Wasser, F-500 und Firsorb) untersucht. Grundsätzlich sind alle drei Löschmittel zur Brandbekämpfung geeignet. Der Beitrag stellt die Testergebnisse vor.

Veränderte gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen, ökologische und wirtschaftliche Aspekte sowie der technologische Fortschritt haben in den vergangenen Jahren zu Veränderungen bei den Mobilitätskonzepten und im Mobilitätsverhalten geführt. Insbesondere Pkw sind von dieser Entwicklung betroffen. Neben dem Einsatz alternativer Kraftstoffe – allen voran Flüssiggas (LPG) und Erdgas (CNG) – stehen optimierte Motorenkonzepte (Stichwort: Downsizing) und alternative Antriebskonzepte im Fokus der Entwickler. Immer häufiger kommen dabei Elektromotoren zum Antrieb des Fahrzeugs oder zur Ergänzung konventioneller Verbrennungsmotoren zum Einsatz. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs ist bei allen namhaften Automobilherstellern ein hoch aufgehängtes Zukunftsthema.

Dabei erfolgt sukzessive eine Abkehr vom Standardantrieb für alle Anwendungsfälle hin zum nutzungsoptimierten Antriebskonzept. So sind rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge und Hybridfahrzeuge für den Stadtverkehr mit vielen

Beschleunigungen und Abbremsungen oder Brennstoffzellenfahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Range-Extendern und verbrauchsoptimierte Dieselfahrzeuge für die Langstrecke nur einige Beispiele. Für die Feuerwehren bedeutet dieser Trend die Notwendigkeit zur Entwicklung von auf die Antriebskonzepte und die verwendeten Kraftstoffe hin ausgelegten Einsatzstandards.

Zahlenmäßig spielen aktuell weder die alternativen Kraftstoffe noch alternative Antriebssysteme eine relevante Rolle. Weniger als 1,5 Prozent aller 43 Millionen in Deutschland zugelassenen Pkw fallen in diese Gruppen (siehe Tabelle). Die im »Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität« der Bundesregierung formulierten Ziele lassen aber einen weiteren Anstieg dieser Zahlen erwarten. So heißt es darin: Bis 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf dem deutschen Markt sein und Deutschland zum Leitmarkt der Elektromobilität entwickelt werden.

Die erste Hürde im Feuerwehreinsatz stellt die Identifizierung des Kraftstoffs und

Antriebssystems dar. Aussagen der Fahrer sind dabei nicht immer verfügbar. Mit der Zunahme von Car-Sharing-Konzepten wird sich die Quote belastbarer Angaben weiter verschlechtern. Eine sehr gute Lösung stellt hier die so genannte Kennzeichenabfrage dar. Mit Änderung des Paragraph 35 Absatz 1a Straßenverkehrsgesetz (StVG) ist es nun rechtlich möglich, dass gespeicherte Daten zur Beschaffenheit und Ausrüstung sowie Identifizierungsmerkmale verunglückter Fahrzeuge an Leitstellen für Brandschutz, Katastrophenschutz und Rettungsdienst übermittelt werden.

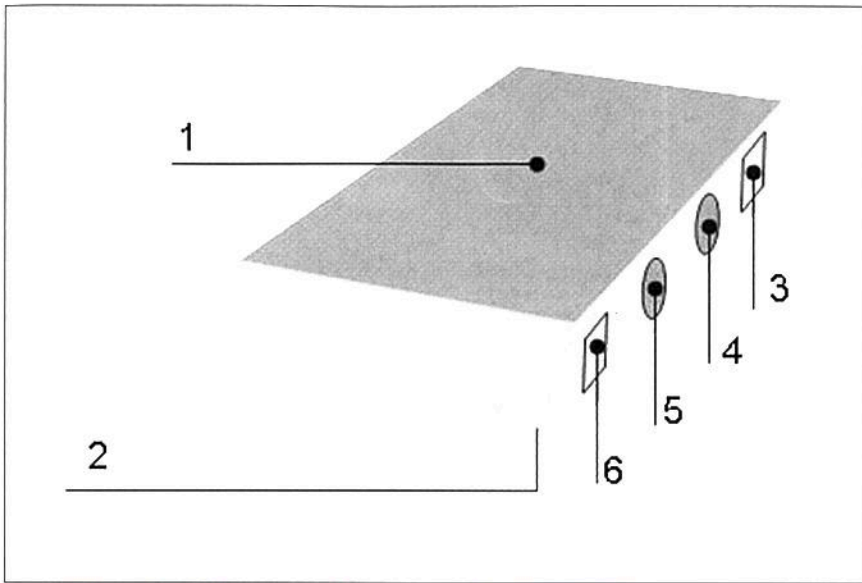
Um nach der Identifikation von Kraftstoff und Antrieb geeignete Rettungs-, Lösch- oder Bergemaßnahmen einleiten zu können, muss auf zum Teil neu zu entwickelnde Standards zurückgegriffen werden können. Zur Schaffung solcher Standards sind Erfahrungen mit den jeweiligen Systemen erforderlich, die aktuell nur in sehr begrenztem Maße verfügbar sind. Zur Erweiterung dieser Basis hat die DEKRA Unfallforschung gemeinsam mit der Daimler AG und der Deutschen ACCU-motive Löschversuche an Lithium-Ionen-Antriebsbatterien (LIB) durchgeführt. Dabei ging es nicht um die unterschiedlichen Brandentstehungsszenarien oder darum, Aussagen zur Brandsicherheit der verwendeten Batterien zu treffen. Vielmehr sollte geprüft werden, ob die verwendeten Akkus mit Wasser gelöscht werden können, ob Löschmittelzusätze den Wasserbedarf reduzieren und wie sich die Akkus während und nach den Löscharbeiten verhalten.

Bestandszahlen der Kraftfahrzeuge in Deutschland am 1. Januar 2012 (Quelle: KBA)

Pkw-Art	Bestandszahl	Anteil
Zugelassene Pkw	42 927 647	
Pkw mit Flüssiggasantrieb	456 252	1,06 %
Pkw mit Erdgasantrieb	74 853	0,17 %
Pkw mit Hybridantrieb	47 642	0,11 %
Pkw mit Elektroantrieb	4 541	0,01 %

Versuchsaufbau

Für die Versuche waren drei baugleiche Akkus entsprechend ihrer Einbaulage im Fahrzeug in speziell gefertigten Gestellen gelagert. Die Gestelle wurden in Wannen positioniert. Für die Beflammung wurden die Wannen mit je 45 Litern n-Heptan befüllt (Brandverhalten und Brennwert ver-



oben: Messstellenplan auf den Lithium-Ionen-Akkus

unten: Die Zahl der Elektrofahrzeuge soll bis zum Jahr 2020 auf eine Million Fahrzeuge steigen.

gleichbar mit Benzin). Die Brenndauer des n-Heptans betrug jeweils zirka elf Minuten. Um mehr über das Eigenbrandverhalten

der Akkus zu erfahren, wurde mit dem Löschschießen in der 20. Minute nach Entzündung des n-Heptans begonnen.



links: Hohlstrahlrohr mit F-500-Behälter beim Test 2

rechts: Zumischung des Firesorb-Gels am Z2R-Zumischer beim Test 3

Alle Akkus waren mit Temperatursensoren bestückt, die verwendete Löschwassermenge wurde erfasst und zur späteren Analyse des abfließenden Löschwassers wurden Probennahmegefäße bereit gehalten. Nach Abschluss der Löscharbeiten wurden die Akkus im jeweiligen Löschmittel-Wasser-Gemisch gelagert.

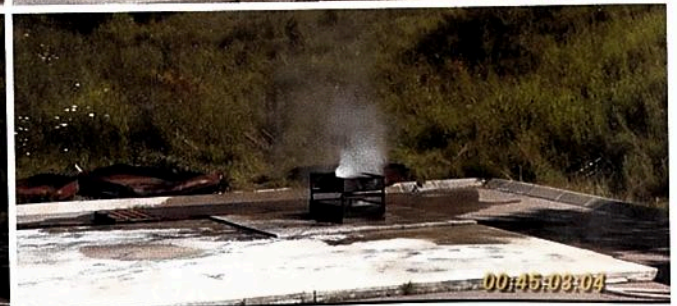
Für die Versuche wurden drei baugleiche Lithium-Ionen-Antriebsbatterien der Deutschen ACCUotive verwendet. Dieser Typ wird in einem aktuell auf dem Markt befindlichen Elektrofahrzeug eingesetzt. Verwendet werden Pouch-Zellen. Die Akkukapazität beträgt 17,6 Kilowattstunden, die Akkumasse liegt bei 175 Kilogramm. Das Gehäuse der Akkus ist aus dicht abschließendem Karosserieblech gefertigt. Für die Versuche waren die Akkus geladen (State of Charge SOC = 95 %).

Für die Temperaturmessung wurden Thermoelemente vom Typ K (NiCr-Ni entsprechend DIN 60584) verwendet. Pro Akku wurden sechs Sensoren montiert. Der Temperaturverlauf wurde während der gesamten Versuchsdauer mit einer Frequenz von einem Hertz aufgezeichnet. Für die Akkus 2 und 3 erfolgte zusätzlich eine anschließende Aufzeichnung über Nacht.

LÖSCHMITTEL UND STRAHLROHRE

In Versuch 1 wurde als Löschmittel Wasser verwendet. Die Speisung erfolgte direkt über einen Hydranten des Versuchsgeländes. Für die Wasserabgabe wurde ein CM-Strahlrohr (DIN 14365) mit aufgeschraubtem Mundstück verwendet. Die maximale Wasserabgabe bei Vollstrahl betrug 100 l/min.

In Versuch 2 wurde dem Wasser das Löschmittel F-500 zugemischt. Dieses setzt die Oberflächenspannung des Wassers herab und weist eine gute Kühlwirkung auf.



Test 1, Löschmittel Wasser: Nach 8:48 Minuten zeigt die Dokumentation einen Kurzschluss der Zellen mit einer Brandausbreitung. Der Lithium-Ionen-Akku brennt ab Minute 12 konstant mit nur kleinen Abweichungen in der Intensität. In Minute 21 beginnt die Brandbekämpfung mit der Folge der starken weißen Rauchentwicklung. Rückzündung in Minute 23. In Minute 45 ist nur noch eine leichte Rauchentwicklung festzustellen.

In unterschiedlichen im Internet veröffentlichten Versuchsreihen hat das Löschmittel sowohl bei der Bekämpfung von Fahrzeugbränden als auch bei Lithium-Ionen-Gerä-

tebatterien gute Löschwirkungen erzielt. Die Wasserversorgung erfolgte über den gleichen Hydranten. Für die Wasserabgabe wurde das speziell für F-500 entwi-

ckelte Hohlstrahlrohr »AWG TurboSpritze 2000 Venturi 75 – C 2L« verwendet. Das Strahlrohr hat einen direkt befestigten Zwei-Liter-Behälter für das Additiv. Die

Zumischrate betrug ein Prozent, die maximale Wasserabgabe 75 l/min.

In Versuch 3 wurde das Additiv Firesorb verwendet. Dieses hat bei Brandversuchen mit Lithium-Ionen-Akkus durch die Robert Bosch GmbH sehr gute Ergebnisse erzielt. Dem Löschwasser zugemischt, bildet es ein Gel mit guter Kühlwirkung. Das Gel bleibt am Brandgut haften und fließt nicht ab. Für die Zumischung wurde ein C-Zumischer Z2R entsprechend DIN 14384 verwendet. Die Zumischrate betrug 1,8 Prozent. Um den für die Zumischung erforderlichen Wasserfluss zu gewährleisten, wurde das Mundstück des CM-Strahlrohrs entfernt. Bedingt durch die Gelbildung lag die maximale Wasserabgabe bei etwa 90 l/min.

Test 1 – Wasser

Nach Zündung des n-Heptans dauerte es rund acht Minuten bis erste Reaktionen des Akkus sichtbar wurden. Durch einen Kurzschluss kam es zu einem Durchbrennen des Akkugehäuses und der Bildung eines kleinen Lochs. Ausströmendes Gas brannte mit einer Flamme ab. Nachfolgend kam es zu mehreren kurzen Öffnungen der Überdruckventile. Das ausströmende Gas brannte mit bis zu zwei Meter langen Flammen ab. In dieser Zeit brannte das Stützfeuer noch. Kurzschlüsse innerhalb des Akkus führten zu weißen Flammen, die mit den beim Schweißen auftretenden Flammen vergleichbar sind. Das Akkugehäuse wies wenige kleinere Löcher (Durchmesser kleiner als einem Zentimeter) auf. Ein paar Gramm flüssigen Aluminiums wurden innerhalb eines Radius von etwa zwei Metern aus dem Gehäuse geschleudert.

Nach Abbrand des n-Heptans in der elften Minute brannte der Akku eigenständig weiter. Die Brandintensität war aber deutlich geringer als während der Beflammungsphase. Flammen mit einer Länge von etwa 40 Zentimetern brannten permanent um den elektrischen Anschluss des Akkus, an den Löchern im Gehäuse und an der Gehäuseunterseite am Kühlmittelanschluss. Die Rauchentwicklung ging deutlich zurück, relativ heller Rauch wurde emittiert.

Mit Zündung des n-Heptans stiegen alle Temperaturen schnell an. An der Gehäuseunterseite betrug die Maximaltemperatur

750 °C. Durch den Windeinfluss kam es zu leichten Schwankungen der Temperaturen. Nach Erlöschen des n-Heptans kam es zu einem Rückgang aller Temperaturen.

Beim Löschen wurde das Ziel verfolgt, so wenig Wasser wie möglich zu verwenden. Nach Löschbeginn in Sekunde 1 260 dauerte es 40 Sekunden, bis die Flammen erloschen waren. Hierfür wurden 70 Liter Wasser benötigt. Es zeigte sich schlagartig eine sehr starke Bildung hellen Rauchs. Mit mehreren kurzen Wasserstößen erfolgte eine Kühlung des Akkugehäuses. Dennoch kam es nach 144 Sekunden zu einer Rückzündung. Die Flammen konnten schnell gelöscht werden, die Kühlung wurde mit reduziertem Durchfluss fortgesetzt. Eine Reduktion der Rauchbildung konnte anschließend festgestellt werden. In den ersten vier Minuten kamen 200 Liter Wasser zum Einsatz. Anschließend kam es erneut zu einem Anstieg der Temperaturen und einer vermehrten Rauchbildung. Weitere 200 Liter Wasser waren erforderlich, um eine statische Lage mit geringer Rauchbildung zu erzielen. Insgesamt dauerten die Löscharbeiten 17 Minuten und 30 Sekunden, 400 Liter Wasser wurden benötigt.

Ein erneuter Temperaturanstieg auf etwa 150 °C an zwei Messfühlern wurde festgestellt. Da es aber zu keiner Verstärkung der Rauchentwicklung kam, erfolgten keine weiteren Löschmaßnahmen. Zirka 30 Minuten nach Beginn der Löscharbeiten war nur noch eine minimale Rauchbildung sichtbar.

3,5 Stunden nach Versuchsende wurde der Akku in ein 180 Liter fassendes Wasserbad verbracht, sodass der Akku komplett von Wasser umgeben war. Dies führte zur Bildung von Gasblasen. Die Gasbildung hielt mehrere Stunden an.

Sowohl das Löschwasser als auch das Einlagerungswasser wurden labortechnisch untersucht. Eine Zuführung zu einer Kläranlage über das Kanalnetz wäre möglich gewesen (ermittelt auf Basis der Grenzwerte der Direkteinleitungsverordnung Baden-Württemberg). Die elektrische Leitfähigkeit lag mit 1 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 1 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in für Wasser üblichen Bereichen.

Test 2 – F-500

Das Brandverhalten des Akkus war sehr ähnlich wie das des Akkus aus Versuch 1. Dies betraf ebenfalls die Temperaturcha-

rakteristik während der Beflammungsphase. Während des eigenständigen Brennens kam es zu etwas heftigeren Reaktionen in der neunten Minute. Hier kam es zu mehreren Kurzschlüssen und mehrfachem Öffnen der Überdruckventile. Im Flammenbereich wurde kurzfristig eine Maximaltemperatur von 1 300 °C gemessen.

Die Brandbekämpfung erfolgte mit F-500. Bereits beim ersten Kontakt des Löschmittels mit dem Akku kam es zu einem sofortigen Erlöschen der Flammen. Nach 14 Sekunden und einem Wassereinsatz von 15 Litern wurden die Löscharbeiten unterbrochen. Der Temperaturabfall war mit dem aus Versuch 1 vergleichbar, allerdings zeigte sich anschließend nahezu kein Wiederanstieg. Wie in Test 1, kam es zu einer sehr starken Bildung hellen Rauchs. Zur Reduzierung des Rauchs wurden mehrere Löschimpulse abgegeben. Insgesamt wurden 80 Liter Wasser benötigt.

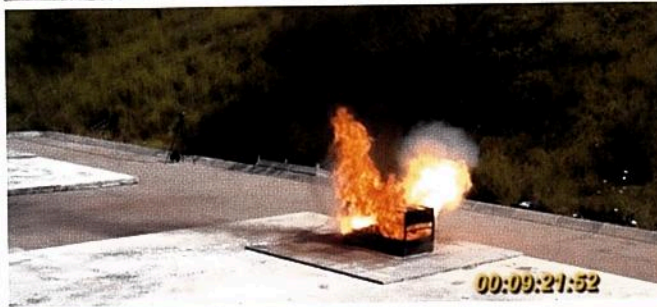
Auch dieser Akku wurde über Nacht in einer F-500-Wasser-Mischung gelagert. Es kam zur Bildung derselben Gasblasen wie in Test 1.

Durch den geringen Wassereinsatz stand nicht genügend abfließendes Wasser für eine chemische Analyse zur Verfügung. Die Werte des Einlagerungswassers lagen über denen des Wassers aus Test 1, allerdings wäre auch hier die Einleitung in die Kläranlage möglich gewesen. Die elektrische Leitfähigkeit zeigte mit 1 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ keine Auffälligkeiten.

Test 3 – Firesorb

Der Akku zeigte ein intensiveres Brennen als die Akkus der Tests 1 und 2. Die Überdruckventile öffneten bereits nach 525 Sekunden. Mehrere Kurzschlüsse führten zu kleineren Löchern im Gehäuse. Durch Löcher im Gehäusedeckel ausströmendes Gas bildete Flammen mit einer Höhe von bis zu 1,5 Metern. Die auf den Boden gerichtete Flamme aus dem Kühlmittelanschluss brannte konstant ab einem frühen Zeitpunkt des eigenständigen Brennens bis zum Beginn der Löscharbeiten.

Die Brandintensität spiegelt sich auch im Temperaturverlauf wieder. Bis auf den auf der Gehäuseoberseite montierten Temperatursensor bleiben nach Verlöschen des n-Heptans alle Sensoren auf einem hohen Niveau.

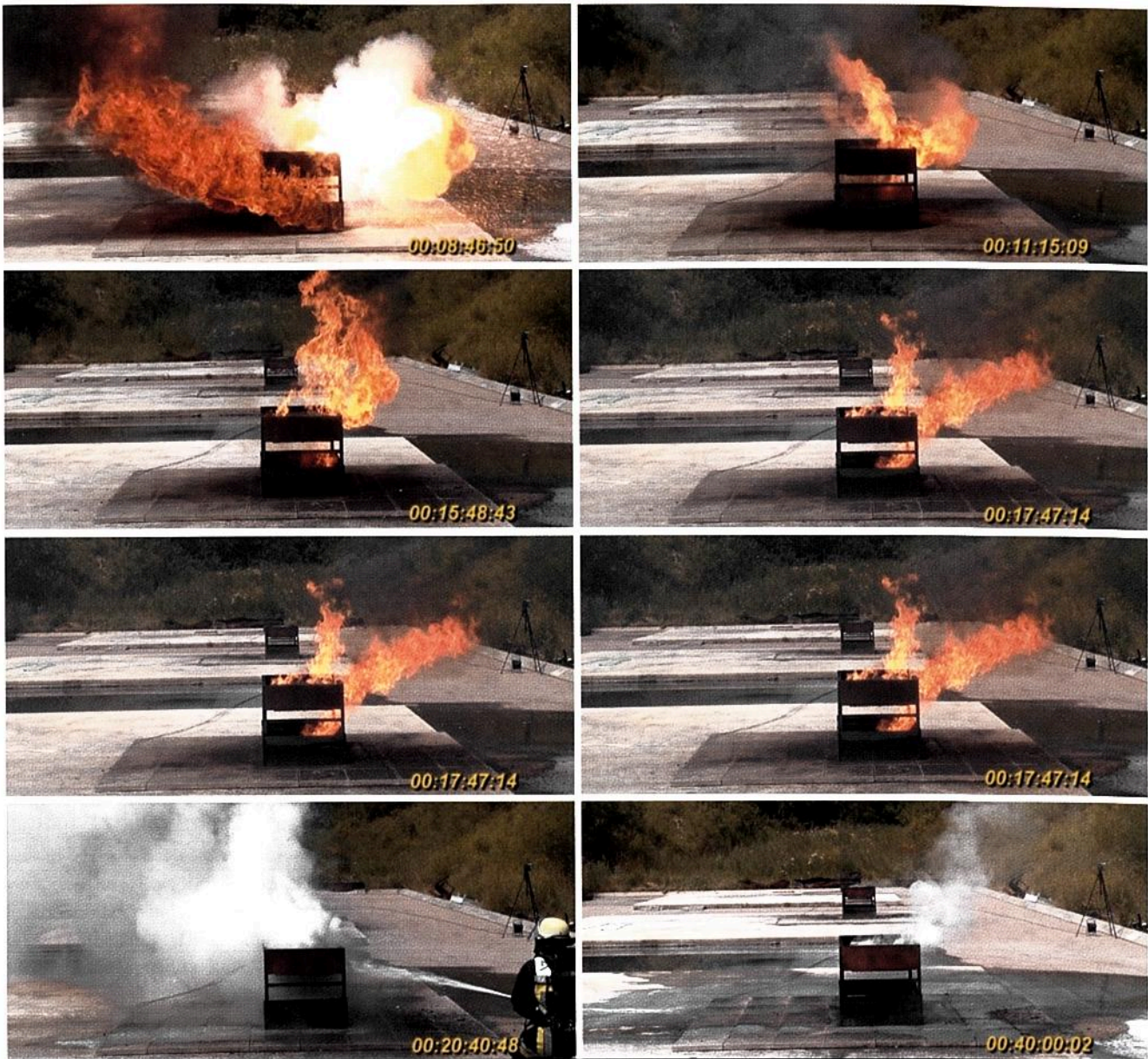


Test 2, Löschmittel F-500: Nach 8:58 Minuten zeigt die Dokumentation einen Kurzschluss der Zellen mit einer Brandausbreitung. Der Lithium-Ionen-Akku brennt konstant mit kleineren Kurzschlüssen in Minute 11. In Minute 20 beginnt die Brandbekämpfung mit der Folge der Rauchentwicklung. In Minute 41 ist nur noch eine leichte Rauchentwicklung festzustellen.

Der Brand wurde mit Firesorb gelöscht. Auch hier kam es zu einem sehr schnellen Erlöschen der Flammen. Nach fünf Sekunden waren keine Flammen mehr sichtbar.

Nach zwölf Sekunden und dem Einsatz von 40 Litern Wasser wurde die Brandbekämpfung unterbrochen. Wie in Versuch 2 blieben die Temperaturen auf einem

niedrigen Niveau. Auch hier zeigte sich die starke Bildung von weißem Rauch. Insgesamt wurden im dritten Versuch 120 Liter Wasser eingesetzt.



Test 3, Löschmittel Firesorb: Nach 8:46 Minuten zeigt die Dokumentation einen Kurzschluss der Zellen mit einer Brandausbreitung. Der Lithium-Ionen-Akku brennt konstant mit nur kleinen Abweichungen in der Intensität. In Minute 20 beginnt die Brandbekämpfung mit der Folge der starken Rauchentwicklung. In Minute 40 ist nur noch eine leichte Rauchentwicklung festzustellen.

Die Bildung von Gasblasen beim Einsetzen des Akkus in einen mit Firesorb-Wassergemisch gefüllten Behälter war identisch wie in den ersten beiden Versuchen.

Auch hier reichte das eingesetzte Löschmittel nicht aus, um eine Probe nehmen zu können. Die Analyse des Einlagerungswassers zeigte bei vielen Stoffen Konzentrationen unterhalb denen der beiden ersten Versuche. Allerdings konnten durch die Eigenschaften des Firesorbs nicht alle Stoffe analysiert werden. Auch hier wäre eine Entsorgung über eine Kläranlage möglich gewesen. Die elektrische Leitfähigkeit

zeigte mit $1\,970\ \mu\text{S}/\text{cm}$ den höchsten Wert. Allerdings liegt auch dieser unter dem deutschen Grenzwert für Trinkwasser ($2\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$).

Ergebnisse

Alle drei Akkus brannten erst nach mehreren Minuten intensiver Beflammung. Nach etwa acht bis neun Minuten kam es zu einem ersten Öffnen der Überdruckventile. Zeitgleich führten Kurzschlüsse zu kleineren Löchern im Akkugehäuse. Nach Erlöschen der Zünd- und Stützfeuer brannten die Akkus mit verminderter

Intensität eigenständig weiter. Trotz der Bildung stichflammenähnlicher Flammen an den Überdruckventilen und dem Herausschleudern kleinerer Mengen flüssiger Metalle blieb das Brandgeschehen auf einen relativ kleinen Radius von etwa zwei Metern begrenzt. Es kam zu keinen Explosionen. Verglichen mit dem Abbrand von Benzin/Diesel oder auch einem Fahrzeugbrand war die Rauchbildung während des selbstständigen Brennens sehr gering. Das Gleiche gilt für die Wärmestrahlung. Die Temperaturen lagen tendenziell unterhalb der brennender Kraftstoffe.

Temperaturen von 800 °C und darüber können bei Fahrzeugbränden entstehen, wie verschiedene Versuche gezeigt haben. Von daher ist die Entzündung eines Lithium-Ionen-Akkus bei einem Fahrzeugbrand prinzipiell möglich. Im Brandfall tragen sie zum Brand bei. Hier ist insbesondere die lange Brandzeit zu beachten. Positiv ist dagegen der kleine Bereich, der durch den Brand beaufschlagt wird. Eine Brandausbreitung durch brennend wegfließende Betriebsstoffe ist hier nicht zu erwarten.

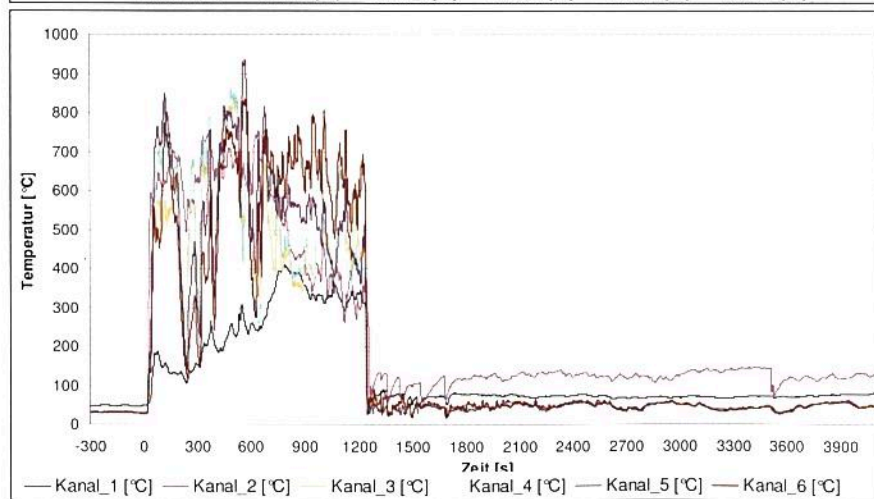
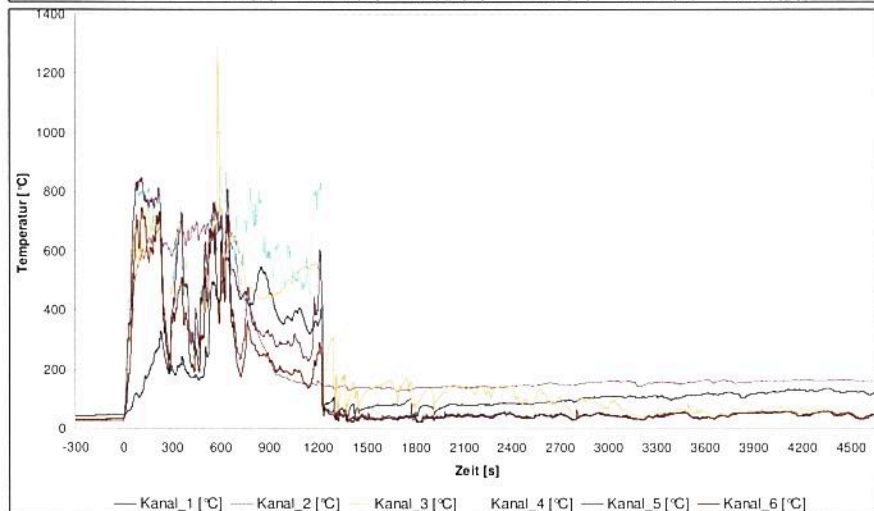
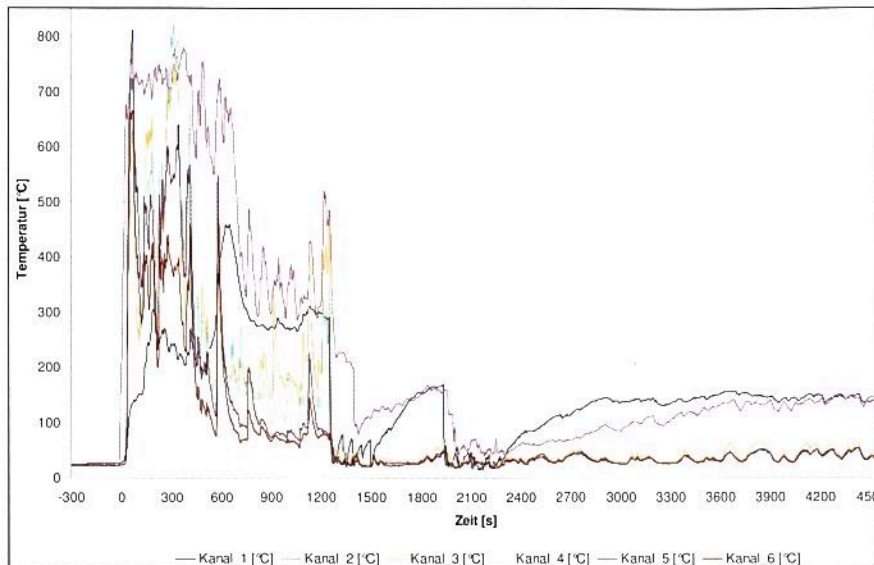
Im Brandfall ist der Einsatz von Wasser zur Brandbekämpfung möglich. Allerdings ist mit einem deutlich größeren Löschwasserbedarf als zur Bekämpfung brennender konventionell angetriebener Fahrzeuge zu rechnen, wie die Versuche gezeigt haben. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die im Versuchsaufbau erfolgte direkte Kühlung der Akkus beim Einbau in einem Fahrzeug nicht möglich ist. Dies führt zu einer weiteren Erhöhung des Wasserbedarfs. Der Einsatz geeigneter Additive kann hier helfen, den Wasserbedarf zu reduzieren und den Löscherfolg zu beschleunigen. Beide getesteten Additive haben in den Versuchen eine gute Wirkung gezeigt.

Um das Löschmittel schnell an die Oberfläche des eingebauten Akkus zu bringen, können Löschmittelzusätze mit einer Netzmittelwirkung Vorteile haben. Dies trifft für F-500 zu, aber auch für konventionelle Mehrbereichsschaummittel. Allerdings kann für diese keine Aussage zur Löschwirkung gemacht werden, da ein solches Löschmittel nicht getestet wurde.

Die Ergebnisse sind durch den Einsatz unterschiedlicher Strahlrohrtypen und unterschiedlicher Durchflussraten nur bedingt vergleichbar. Der positive Einfluss der verwendeten Additive auf den Wasserbedarf steht aber außer Frage.

Ein weiterer für die Einsatzpraxis wesentlicher Faktor ist die sehr starke und auch lang anhaltende Rauchbildung ab dem Beginn der Brandbekämpfung. Hier ist in der Praxis mit größeren Absperrbereichen zu rechnen. Dies wird auch durch Rauchgasanalysen unterstützt, wie sie bei vergleichenden Brandversuchen durchgeführt wurden.

Die Einlagerung der Akkus im jeweiligen Löschmittel hatte den positiven Effekt, dass es nicht zum sonst auftretenden starken Brandgeruch kam.



oben: Temperaturverlauf des Tests 1 (Löschmittel: Wasser)
 mitte: Temperaturverlauf des Tests 2 (Löschmittel: F-500)
 unten: Temperaturverlauf des Tests 3 (Löschmittel: Firesorb)

Zusammenfassung

Bislang liegen nur wenige allgemein verfügbare Informationen zum Brandverhal-

ten von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien vor. Brandtests, wie sie 2012 während der FIVE-Konferenz veröffentlicht wurden,



Lagerung der Lithium-Ionen-Batterie im Versuchsgestell. Darunter wurde das Stützfeuer gezündet.

beinhalten wertvolle Informationen zum Brandverhalten und die dabei emittierten Gase. Die hier vorgestellten Tests sollen ergänzende Informationen zur Brandbekämpfung liefern. Die Kombination solcher Ergebnisse trägt dazu bei, ein realistisches Bild von Bränden mit Elektro- oder Hybridfahrzeugen zu zeichnen.

Trotz der baugleichen Ausführung und des identischen Ladezustands verhielten sich die drei Batterien während des Brandes unterschiedlich. Die Liste der Gründe hierfür ist – wie bei jedem Outdoor-Brandversuch – lang. Eine Hauptrolle spielte auf jeden Fall der Wind. So beeinflusst dieser lokale Aufheizungen und damit das Kurzschlussgeschehen im Akku.

Die Brandbekämpfung an den getesteten Akkus mit Wasser war möglich. Durch Additive konnte der Wasserbedarf deutlich reduziert werden. Während des eigenständigen Brennens wurde vergleichsweise wenig Rauch gebildet. Ab dem Beginn der Brandbekämpfung kam es zu einer sehr starken Bildung hellen Rauchs. Bei allen drei Versuchen gab es keine Explosionen.

Allerdings sind Brand- und Lösversuche mit Komplettfahrzeugen erforderlich, um weitere Erkenntnisse zu erlangen. Ein Fokus sollte hier auf der Effektivität unterschiedlicher Additive liegen. Die beiden getesteten zeigten beim gewählten Testaufbau eine sehr gute Wirkung.

Quellen

- [1] Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, veröffentlicht im Februar 2012: Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2012 gegenüber 1. Januar 2011.

- [2] UK Electric and Hybrid Car Registration Statistics: <http://www.cenex.co.uk/programmes/plugged-in-midlands/electric-car-registration-statistics>, September 2012.
- [3] Campestrini, M., Mock, P.: European Vehicle Market Statistics, International Council on Clean Transportation, Pocketbook, 2011 Edition.
- [4] U.S. Department of Transportation/National Highway Traffic Safety Administration: Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped With High Voltage Batteries (Law Enforcement/Emergency Medical Services/Fire Department), DOT HS 811 575, Januar 2012.
- [5] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: BGI/GUV-I 8686 – Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen, April 2012.
- [6] Joß, B., Döring, H.: Einsatzhinweise für Elektrofahrzeuge, Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg, 2011.
- [7] VDA-Rettungsdatenblätter: http://www.vda.de/en/arbeitsgebiete/rettungsleitfaeden_feuerwehr/index.html.
- [8] Robert Bosch GmbH, Verfahren zur Bekämpfung und/oder Vorbeugung eines Brandes von Lithium-Ionen-Zellen und Lithium-Ionen-Polymer-Zellen, Patentanmeldung, DE102009035908A1, 10. Februar 2011.
- [9] Hideki Matsumura, H., Itoh, S., Matsushima, K., Okada, T.: Temperature Characteristics of a Hybrid Electric Vehicle Fire, SAE Technical Paper 2012-01-0982, SAE World Congress 2012, doi: 10.4271/2012-01-0982.
- [10] Bertana, M., Truchot, B., Marlair, G.: Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle, 2. Intl. FIVE Conference, Chicago, 2012.
- [11] Watanabe, N., Sugawa, O., Suwa, T., Ogawa, Y., Hiramatsu, M., Tomonori, H., Miyamoto, H., Okamoto, K., Honma, M.: Comparison of fire behaviours of an electric-battery powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real scale fire test, 2. Intl. FIVE Conference, Chicago, 2012. III

Anzeige

OPTIMIERT!

Kennzeichnungsweste Führungskräfte



- beidseitige Mikrofonschlaufen
- verlängerte Klettaschen zur besseren Griffbarkeit mit Handschuhen
- Reflexstreifen in Anlehnung an HuPF
- individuelle Größenanpassung durch seitliche Bebanderung
- Flauchstreifen für Brust- und Rückenschild
- innenseitige Klettstreifen zur Fixierung an der Einsatzjacke
- je zwei innenliegende Taschen beidseitig



- Material: Modacryl, schwer entflammbar
- auch als gelbe Weste mit Bestreifung rot-silber-rot

ab € 98,00

KE-04330

lieferbar in verschiedenen Farben



rescuetec

SCHNELL · KOMPETENT · ZUVERLÄSSIG

rescue-tec GmbH & Co. KG
Oberau 4-8
65594 Runkel

Telefon 06482 - 60 89 00
Telefax 06482 - 60 89 20
info@rescue-tec.de
www.rescue-tec.de

Der Ausrüster von über 8000 Hilfsorganisationen

AUTOREN

- Dipl.-Ing. MARKUS EGELHAAF
DEKRA Technology Center, Unfallforschung
- DAVID KRESS
DEKRA Technology Center, Crash Test Center
- DIETER WOLPERT
DEKRA Brandursachenermittlung
Dr. HARTUNG WILSTERMANN
Deutsche ACCUmotive GmbH & Co. KG
- RAINER JUSTEN
Daimler AG

Bilder: DEKRA (35), T. Küppers (2)