

# Absicherung von E-Bus-Depots: Neue Erkenntnisse durch Realbrandversuche mit Hochdruckwassernebel

Marleen Kötter-Hönnighausen, Tim Usner, Köln

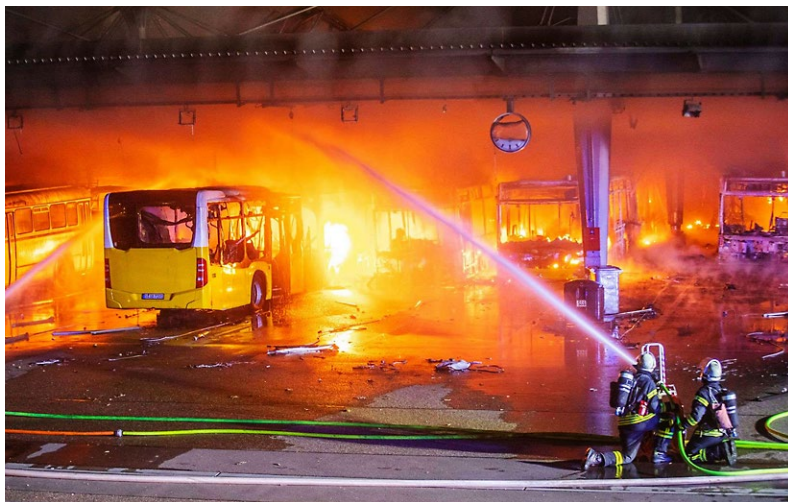


Abb. 1:  
Brand  
Stuttgar-  
ter Depot.  
Abbildungen:  
Fogtec

scher Verkehrsunternehmen (VDV) [2]. Ein solcher Brandüberschlag, aus dem sich in kürzester Zeit ein schwer kontrollierbarer Vollbrand entwickeln kann, ist jedoch auch bei größeren Distanzen möglich [3].

## Brandereignisse in Bus-Depots

Welche verheerenden Ausmaße Brände in Bus-Depots annehmen können, zeigt der Schadensfall in Stuttgart. Dort brannten im September 2021 ganze 25 Busse, darunter auch zwei E-Busse vollständig aus. Als mögliche Brandursache wurde ein E-Bus identifiziert, der zum Zeitpunkt des Brandausbruchs geladen wurde [4]. Auch in Vellert zerstörte Ende 2022 ein Großbrand das gesamte Bus-Depot.

Im Rahmen der voranschreitenden Verkehrswende ist Elektromobilität nicht mehr wegzudenken. Auch der öffentliche Nahverkehr setzt auf Nachhaltigkeit und verstärkt Jahr um Jahr seine (E-)Bus-Flotten. Allein für 2023 wurden in den öffentlichen Nahverkehrsbetrieben in Deutschland rund 1100 neue Batteriebusse eingeplant [1]. Bis 2030, so das Ziel der Bundesregierung, soll jeder zweite Stadtbus elektrisch betrieben werden. Diesen „grünen Fahrplan“ treibt auch die Europäische Union mit der „Clean Vehicles Directive“ (CVD) kräftig voran, indem sie die Mindestziele für die Neubeschaffungen emissionsarmer/CO<sub>2</sub>-freier Busse erstmals verbindlich fest schreibt. Doch der stetig wachsende E-Bus-Markt, die Verdichtung der Depots und das noch wenig erforschte Brandverhalten batteriebetriebener Busse stellt die Depot-Betreiber vor neue Herausforderungen. Zeit für eine eingehende Brandschutzbetrachtung.

## Depot-Gefahr: Platzmangel

Der starke Nachfragezuwachs hat die Zahl der (E-)Busse in den letzten Jahren rasant steigen lassen, jedoch fehlt es deutschlandweit innerhalb der Busbetriebshöfe

häufig an ausreichend Stellplätzen sowie Fläche zur Wartung und Ladung. Vor allem in Ballungsgebieten. Viele Bus-Depots sind bis an ihre Kapazitätsgrenzen ausgelastet, was bedeutet, dass die Fahrzeuge oft sehr eng beieinanderstehen. Im Falle eines Brandereignisses steigern die dicht an dicht geparkten Busse das Risiko eines Brandüberschlags bis hin zur Ausbreitung des Brandes auf die gesamte Abstellanlage immens. „Wenn Fahrzeuge mit einem Abstand von weniger als einem Meter zueinander stehen, dann ist die Gefahr groß, dass andere Fahrzeuge mit anfangen zu brennen.“, so auch Martin Schmitz – Geschäftsführer Technik vom Verband Deut-

## Depot-Gefahr: Große Brandabschnitte und fehlende Brandbekämpfungsanlagen

(E-)Busse sind eine teure Investition, die es unbedingt zu schützen gilt. Brennt eine Bus-Flotte, kann das für den Depot-Betreiber einen wirtschaftlichen Totalschaden bedeuten. Zu den Sachschäden an Fahrzeugen und Halle (Versagen der Tragwerksstruktur), die bei solchen Großbränden aufgrund extrem hoher Temperaturen entstehen können, kommen oft lange Betriebsunterbrechungen hinzu, was enorme Auswirkungen auf den ÖPNV haben kann. Eine große gesellschaftliche Verantwortung für



Abb. 2:  
Versuchsaufbau mit Lithium-Ionen-Batterien im Dachbereich.

die Depot-Betreiber. Denn als Rückgrat der Mobilitätswende kommt dem ÖPNV eine besondere Schlüsselrolle zu, die weit über die verkehrliche Grundsicherung für Menschen ohne Privat-Pkw hinausgeht [5]. Es geht um die Sicherstellung von Mobilität und Infrastruktur für ein funktionierendes Gemeinwesen. Je schützenswerter das Gut, desto höher die Anforderungen an den Schutz, so die Annahme. Tatsache ist jedoch, dass in den bisherigen Brandschutzkonzepten zur Absicherung von Bus-Depots oftmals lediglich Brandmeldeanlagen (BMAs) zur Detektion Berücksichtigung finden, nicht aber Brandbekämpfungsanlagen (BBA). Dabei gilt eine rasche Eindämmung des Feuers besonders in Situationen mit drohendem Brandüberschlag als elementar, um den Brand bis zum Eintreffen der Feuerwehr „unter Kontrolle“ zu halten. Zudem kann die Installation einer automatischen BBA aufwendige und kostenintensive bauliche Maßnahmen zur Brandeindämmung – wie das Bilden kleiner Bauabschnitte – ersetzen.

### Depot-Gefahr: Neue Rahmenbedingungen moderner Busse

Mit den Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für den (anlagentechnischen) Brandschutz in Bus-Depots stark gewandelt. Dies liegt vor allem an den darin abgestellten Fahrzeugen. Zum einen sind in modernen Bussen – unabhängig vom Antrieb – vielmehr Kunststoff und Elektronik verbaut, was die Brandlast erhöht, wobei sich aber die Gesamtbrandlast eines E-Busses nicht signifikant von der herkömmlicher Busse unterscheidet. So kann konservativ eine maximale Brandleistung von circa 30 MW für Verbrenner und für E-Busse eine maximale Brandleistung von rund 35 MW angenommen werden [6]. Zum anderen stellt die zugehörige Ladeinfrastruktur bei E-Bussen eine weitere Brandgefahr dar. Ebenfalls neu zu bewerten ist die Brandgefährdung, die von E-Bussen mit Lithium-Ionen-Batterien (LIB) ausgeht, denn Stromer zeigen ein anderes Brandverhalten als Verbrenner.

### Brandverhalten von Lithium-Ionen-Batterien

Der Brandverlauf bei Batterien unterscheidet sich signifikant von anderen Brandlasten. Solche Brände sind anders zu bekämpfen und zu kontrollieren. Zudem laufen die Brandereignisse deutlich schneller ab und werden von komplexen Randerschei-



#### Zur Autorin

**Marleen Kötter-Hönnighausen** ist Head of Marketing der Fogtec Brandschutz GmbH. Neben der Unternehmenskommunikation (intern/extern) betreut die studierte Juristin und ausgebildete Marketingkauffrau die Bereiche PR, Social Media sowie Publikationen. Zuvor war sie als freie Texterin und Redakteurin tätig.



#### Zum Autor

**Tim Usner** ist Vertriebsingenieur der Fogtec Brandschutz GmbH. Vor seinem Studium mit dem Abschluss des Brandschutzingenieurs arbeitete er für die Kölner Messegesellschaft und war im Messebau als Projektleiter tätig. Seit über fünf Jahren kümmert er sich bei Fogtec um den technischen Vertrieb von Brandbekämpfungsanlagen in Tunneln, war Projektleiter für den Hugh L. Carey Tunnel in New York City und ist nun verantwortlich für den Produktbereich „Busdepots“ bei Fogtec.

nungen begleitet. Dem Brand einer LIB geht in der Regel ein thermisches Durchgehen (engl. Thermal Runaway, TR) voraus. Dabei führen selbst beschleunigende

exotherme Kettenreaktionen und interne Kurzschlüsse innerhalb der Batteriezelle zu einem starken Temperaturanstieg. Ohne ein rasches Herunterkühlen zum sofortigen

ANZEIGE



**Convention Hall II  
Stand Nr. 30**

**15. VDV-Elektrobuskonferenz & Fachmesse ElekBu**  
05. - 07. März 2024 im Estrel Hotel Berlin

Photo: © INIT | Ulrike Kachel



## Elektromobilität ganzheitlich gedacht!

Die Einführung von Elektrobussen stellt Sie vor viele Herausforderungen. **e MOBILE** – die integrierte Elektromobilitäts-Suite von INIT – bietet Ihnen die notwendige Unterstützung und deckt alle spezifischen Anforderungen von Elektrobussen ab.

- **e Simulation & e Planung**
- **e Betriebssteuerung & e Reichweitenprognose**
- **e Betriebshof- & e Lademanagement**
- **e Analyse & e Reporting**

Sprechen Sie mit uns!

sales@initse.com | www.initse.com










The Future of Mobility





Abb. 3: Aktivierter Wassernebel nach Vollbrand.

Entzug von Energie kann sich der TR auf benachbarte Zellen und schließlich auf die gesamte Batterie ausbreiten. Das hitzebedingte Platzen der Zellen wird zudem vom Ausströmen brennbarer „Venting“-Gase begleitet, die sowohl hochgradig toxisch als auch korrosiv sind. Diese Faktoren machen die Kontrolle und den Eingriff in Brandereignisse mit Batterien letztlich so schwierig. Bei E-Bussen wird das Erreichen von brennenden LIB mit Löschmittel zusätzlich durch das Batteriegehäuse erschwert, besonders, wenn diese im Unterboden des Busses verbaut sind.

## Brandursachen bei E-Bussen

Stromer brennen nicht häufiger als Verbrenner, jedoch unterscheiden sie sich neben ihrem Brandverhalten auch bezüglich ihrer Brandursachen. Während bei konventionell betriebenen Bussen die Brandursache primär aus dem Dieselantrieb resultiert, sind die Hauptursachen für einen E-Bus-Brand in den LIB und der Ladeinfrastruktur zu finden.

- **Brandursachen LIB:** Fehler im Batteriemanagementsystem, Fertigungsfehler in der Batterie, Kurzschluss, Kontaktierung, Überladung, erhöhte Temperaturen oder mechanische Einwirkungen.
- **Brandursachen Ladeinfrastruktur:** elektrische Störungen, Überspannungen und Kurzschlüsse, Defekte beim Ladevorgang, Alterung der Ladestation, Sachbeschädigung der Ladestationen durch besondere Umgebungsbedingungen (zum Beispiel Feuchtigkeit, extreme Temperaturen, Blitzeinschläge).

Bei E-Bussen besteht das höchste Brandrisiko während des (meist unbeaufsichtigten) Ladevorgangs, da sich die LIB dabei in einem elektrochemisch aktivierten Zustand befinden (Energiezufuhr) [7]. Ein gravierender Unterschied zu Bussen mit konventionellem Antrieb. Denn diese befinden sich nach dem Abstellen im Betriebshof in einem inaktiven Zustand (kein Energietransfer), sodass von ihnen auch keine (Brand-)Gefahr ausgeht.

## Realbrandversuche im Rahmen von SUVEREN\_4\_Depots

Bisher gab es kaum geeignete Maßnahmen oder Anlagentechnik, um solche Brandereignisse rechtzeitig einzudämmen. Im Rahmen des Forschungsprojekts SUVEREN\_4\_Depots wurden nun erstmals Brandversuche durchgeführt, um Systeme zur Bekämpfung von (E-)Bus-Bränden

zu entwickeln. In den vergangenen Jahren (2017–2020) wurden die Risiken neuer Energieträger, insbesondere LIB, in unterirdischen urbanen Verkehrsbereichen im Rahmen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt SUVEREN [8] bereits intensiv untersucht. Auch das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Folgeprojekt SUVEREN2Use2 (Projektstart Ende 2022) beschäftigt sich mit dem sicheren Einsatz der Schlüsseltechnologie „Batterie“ und legt dabei besonderen Fokus auf die LIB-Lagerung. Basierend auf umfassenden Erkenntnissen aus vorausgegangenen Forschungsarbeiten (SUVEREN/BMBF, Risk-Batt/BMWi, LISA 2-Projekt) werden aktuell Brandschutzkonzepte, Löschsysteme und Havarie-Konzepte für den Umgang mit Batteriebränden über den gesamten Produktlebenszyklus bis hin zur Entsorgung entwickelt.

Das oben erwähnte Forschungsprojekt SUVEREN\_4\_Depots widmet sich nun explizit dem Schutz von (E-)Bus-Depots. An der Erforschung sind unter anderem die Fogtec Brandschutz GmbH, das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, die Bergische Universität Wuppertal, die Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V. (Stuva) und der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) beteiligt. Im Juli 2023 wurden in einer speziellen Versuchsanlage in Bilbao (Nordspanien), von dem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [9] akkreditierten Prüflabor IFAB – Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, erstmalig großangelegte Realbrandversuche für (E-)Bus-Depots durchgeführt. Ziel der Brandversuche war der Nachweis der Wirksamkeit einer BBA. Die Versuche wurden durch die TÜV SÜD Industrie Service

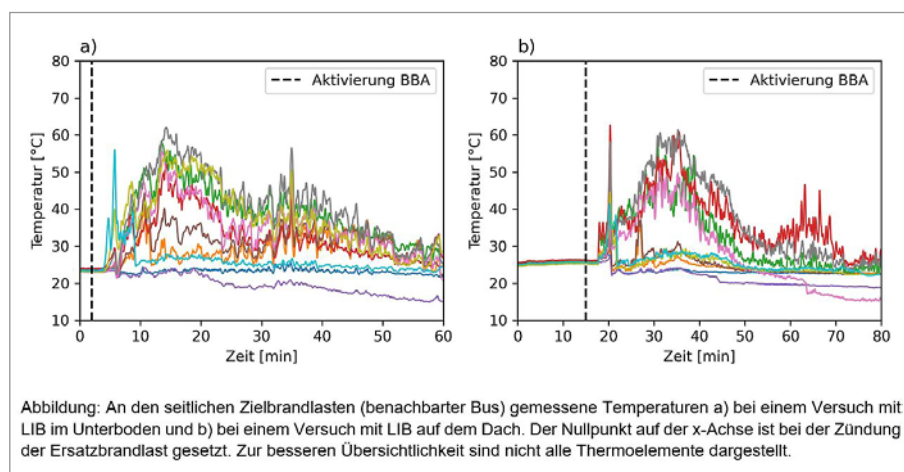


Abb. 4: Temperaturen seitliche Zielbrandlast.

GmbH (TÜV Süd) begleitet und beurteilt. Mit aussagekräftigen Ergebnissen für den anlagentechnischen Brandschutz.

## Versuchsaufbau

Beim Versuchsaufbau wurde ein beliebiger Abschnitt eines Busdepots mit abgestellten (E-)Bussen nachgebildet. Unterschiedliche Brandszenarien wurden unter Einsatz einer BBA in verschiedenen Systemkonfigurationen mit konservativem Prüfansatz getestet. Um verschiedene Schadensszenarien sowie E-Bus-Typen (zum Beispiel Batterie unter dem Fahrzeug oder auf dem Dach) abzubilden, wurde eine wirklichkeitsnahe Bus-Attrappe erstellt. Diese entsprach hinsichtlich ihrer Geometrie und insbesondere dem Brandverhalten einem realen E-Bus. Die Aktivierung der BBA wurde konservativ sehr spät gewählt, um eine bereits sehr starke Brandausbreitung zu gewährleisten, wie sie sich nach einem Vollbrand im Innenraum und einem Bersten der Scheiben ergeben würde.

Folgende zu erfüllende **Schutzziele** wurden festgelegt:

- Verhinderung der Brandausbreitung von einem brennenden E-Bus auf benachbarte Busse,
- Minimierung der Auswirkungen des Brandes auf die Dachkonstruktion des Depots (Erhaltung der Integrität des Gebäudes),
- Ermöglichung eines wirksamen Löschangriffs durch die Feuerwehr,
- Schutz von vorgelagerten Bussen mit geringem Abstand,
- Brandkontrolle des brennenden Busses.

## Brandbekämpfung mit Hochdruckwassernebel

Die Wahl des Brandbekämpfungssystems stützt sich auf die aus dem Vorgängerprojekt (SUVEREN) gewonnenen Erkenntnisse. Im Rahmen umfangreicher Versuche mit LIB und Elektrofahrzeugen unter anderem in Garagen hat sich Wasser auf-

grund seiner Kühlwirkung im Vergleich verschiedener Löschmittel (gas- und wasserbasiert) als effizientestes Mittel zur Brandbekämpfung bei Batteriebränden erwiesen [9]. Beim Einsatz von Hochdruckwassernebel (HDWN)-Systemen werden diese Kühleigenschaften besonders effektiv genutzt. Dies erklärt sich durch die physikalischen Effekte beim Energietransfer, die durch das feinst vernebelte Wasser (unter hohem Druck von 50–120 bar) über die in Relation zur ausgebrachten Wassermenge sehr große Reaktionsoberfläche der kleinsten Tröpfchen besonders effektiv genutzt werden. Dadurch wird eine deutlich bessere Kühlwirkung gegenüber konventioneller Sprinklertechnik erzielt. Auf diese Weise muss deutlich weniger Wasser eingesetzt werden, wodurch die Wasserbevorratung und eine gegebenenfalls erforderliche Löschwasserrückhaltung deutlich kleiner ausfallen können. Mittels der kleinen Tropfen können zudem Teile der korrosiven und toxischen Rauchgase gebunden beziehungsweise ausgewaschen

ANZEIGE



**Digitalisieren Sie mit uns  
Ihren E-Bus-Betriebshof !**

**Automatische E-Bus Einsatzplanung  
für einen sicheren Betrieb**

**eBMS und Lademanagement  
VABdepot & VABcharge**

Profitieren Sie von unserer langjährigen Erfahrung  
und informieren Sie sich jetzt unter:

[www.vaberlin.de](http://www.vaberlin.de)  
Kontakt: [vertrieb@vaberlin.de](mailto:vertrieb@vaberlin.de)



werden. Der Wassernebel selber ist für Menschen absolut ungefährlich und kann ohne Bedenken jederzeit auch bei Anwesenheit von Personal oder Einsatzkräften ausgelöst werden. Ein Vorteil gegenüber Niederdruck-BBA besteht darin, dass die Tröpfchen durch den hohen Druck an den Düsen ausreichend beschleunigt werden, um Thermik und Windeffekten entgegenwirken zu können. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber Niederdruck-BBA, deren Tropfen stark von möglichen Luftströmungen beeinflusst werden können [10]. Innerhalb der Realbrandversuche zum Schutz von (E-)Bus-Depots fiel die Wahl der BBA folglich auf die bei E-Fahrzeugen in Garagen bereits erprobten HDWN-Systeme.

## Versuchsergebnisse

Während der Brandversuche ließ sich eine sehr schnelle Brandentwicklung und -ausbreitung innerhalb des Busses beobachten. Fast die gesamte Brandlast (inklusive der LIB) wurde durch den Brand verzehrt. An den Zielbrandlasten, die andere geparkte Busse simulierten, waren hingegen keine Schäden festzustellen. Die BBA war in der Lage, sowohl einen Brandüberschlag als auch Schäden durch Hitzestrahlung zu vermeiden. Die unter der Decke des Versuchsraums gemessenen Temperaturen zeigten zudem, dass auch der Gebäudeschutz/Gebäudeerhalt gewährleistet werden konnte. Alle zuvor definierten Schutzziele wurden erreicht. IFAB und der TÜV Süd bestätigten die Wirksamkeit des getesteten HDWN-Systems für die Anwendung in Bus-Depots.

## Kompensationspotenziale

Eine Hochdruckwassernebel-Anlage bietet neben dem primären Ziel der Verhinderung eines Großbrandes weitere Vor-

teile und Kompensationsmöglichkeiten: So sind mit der Installation einer BBA sowohl Kosten- als auch Platzeinsparungen möglich. Mit demselben Pumpenraum können auch diverse andere Bereiche eines Depots wie zum Beispiel Werkstätten, Bürogebäude, Kabelkanäle, Energiespeicher, Transformatoren und Schaltanlagen abgesichert werden. Zudem ist aufgrund kleinster Verrohrung und leichter Komponenten auch bei Bestands-Depots und leichter Deckenstruktur eine Nachrüstung in der Regel einfach und unkompliziert möglich.

Weitere **Kompensationsmöglichkeiten** auf einen Blick:

- Auf kostenintensive bauliche Maßnahmen (Brandschutzwände zur Unterteilung) kann oft verzichtet werden.
- Durch die Begrenzung des Brandes auf ein Fahrzeug ist keine offene Bauweise nötig. Depots können in geschlossener Bauweise errichtet und damit klimatisiert werden.
- Ressourceneinsparung durch geringen Wasserverbrauch.
- Vereinfachte und kostengünstige Löschwasserrückhaltung sowie Löschwasserentsorgung.
- Keine langen Wiederbeschaffungszeiten teurer (E-)Busse.
- Erhöhung der Verfügbarkeit der Flotte.
- Verringerung der Versicherungsprämien.

Welche dieser Möglichkeiten für ein konkretes Projekt infrage kommen, ist jeweils im Einzelfall zu prüfen.

## Fazit

Der Einsatz von Brandbekämpfungsanlagen in Bus-Depots ist aus verschiedenen Gründen sinnvoll und trägt wesentlich

zum Schutz von Personen, Sachgütern sowie der Infrastruktur bei. In Vollbrandversuchen wurde erstmalig die Wirksamkeit von Hochdruckwassernebel-Anlagen für Bus-Depots nachgewiesen und dokumentiert. Daraus lassen sich Empfehlungen für die anlagentechnische Absicherung ableiten. E-Busse sind eine teure Investition und im Rahmen eines funktionierenden ÖPNVs ein im Interesse des Gemeinwohls stehendes Schutzgut. Getestete BBAs können ein wegweisendes Werkzeug für Betreiber und Planer sein, um die Verfügbarkeit dieser Infrastrukturen zu erhöhen und zu gewährleisten.

## Literatur/Anmerkungen

- [1] Statista Research Department, 17.07.2023.
- [2] [www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/elektrobusse-depot-brand-101.html](http://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/elektrobusse-depot-brand-101.html), Depotbrände verunsichern Verkehrsbetriebe, Tim Diekmann, SWR, 21.10.2021.
- [3] SUVEREN\_4\_Depots, Whitepaper – Anlagentechnischer Brandschutz für Bus-Depots, IFAB Ingenieure für angewandte Brandschutzforschung GmbH, Max Lakkonen, Rajko Rothe, November 2023, S.7.
- [4] [www.sueddeutsche.de/panorama/stuttgart-brand-busse-depot-1.5429139](http://www.sueddeutsche.de/panorama/stuttgart-brand-busse-depot-1.5429139), Süddeutsche Zeitung, 3. Oktober 2021.
- [5] Working Paper Forschungsförderung, Der Wert des ÖPNV zwischen Gemeinwohl und Kommerz – Wandel der Wertschöpfung durch neue Mobilitätsdienstleistungen, S. 11, September 2022, Ingo Kollasche, Rafael Oehme, Wolfgang Schade, Christian Scherf, Marcel Streif und Dirk Thomas.
- [6] H. Raza und S. Li, „The impact of battery electric bus fire on road tunnel“ in Expanding Underground – Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World, 2023, pp. 3280–3288.
- [7] H. Li, Q. Duan, C. Huang und Q. Wang, „Experimental investigation on the thermal runaway and its propagation in the large format battery module with Li (Ni1/3Co1/3Mn1/3)O2 as cathode,“ Journal of Hazardous Materials, Bd. 375, pp. 241–254, 2019.
- [8] [www.suveren-nec.info/](http://www.suveren-nec.info/)
- [9] M. Kutschenreuter, S. Klüh, L. Fast, F. Leismann, M. Lakkonen und R. Rothe, „Fire Safety of Lithium-Ion Traction Batteries,“ in International Conference on Fires in Vehicles (FIVE), 2020.
- [10] Interne Versuchsdocumentation Windkanal, Fogtec – Eurotunnel, 1999.

## Zusammenfassung/Summary

### Absicherung von E-Bus-Depots: Neue Erkenntnisse durch Realbrandversuche mit Hochdruckwassernebel

Um E-Bus-Depots für den Fall eines plötzlichen Brandereignisses optimal absichern zu können, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts SUVEREN\_4\_Depots erstmals im Großmaßstab angelegte Brandversuche durchgeführt. Das für das Programm verantwortliche Konsortium besteht aus namhaften Experten wie: der Fogtec Brandschutz GmbH aus Köln, dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), dem Fraunhofer-Institut Goslar, dem Ingenieurbüro für Brandschutzforschung in Berlin (IFAB) sowie der Bergischen Universität Wuppertal. Ziel der Realbrandversuche war es, eine geeignete Anlagentechnik für die Bekämpfung von E-Bus-Bränden zu entwickeln und zu testen. Mit aussagekräftigen Ergebnissen für den anlagentechnischen Brandschutz.

### Securing e-bus depots: real fire tests with high-pressure water mist show exciting results

In order to provide optimum protection for e-bus depots in case of a sudden fire event, large-scale fire tests were carried out for the first time as part of the research project SUVEREN\_4\_Depots. The responsible consortium for the program consists of well-known experts such as: Fogtec Brandschutz GmbH, Cologne, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV), Fraunhofer-Institute Goslar, Ingenieurbüro für Brandschutzforschung (IFAB), Berlin as well as the Bergische Universität, Wuppertal. Aim of the real fire tests were to develop and test suitable system technology for fighting e-bus fires.