



ANALYSE VON LÖSCHMITTELN UND  
LÖSCHSYSTEMEN ZUR  
BEKÄMPFUNG VON BRÄNDEN VON  
LI-IONEN (FAHRZEUG)-BATTERIEN  
Arbeitspaket 4.5

Projekt ALBERO

## Zu AP 4.5. Anpassung von Brandschutztechnik - Analyse von Löschmitteln und Löschmodellen für die Bekämpfung von Bränden von Li-Ionen-(Fahrzeug)-Batterien

*Institut für Sicherheitstechnik / Schiffssicherheit e.V.*

Es wurde eine umfassende Recherche zu derzeitigen Empfehlungen und Entwicklungen für die Bekämpfung von Li-Ionen-Batterie-Bränden durchgeführt. Die Analyse bezog sich dabei einerseits auf Löschmittel und andererseits auf Löschmodellen, also technische Anlagen, die für den Einsatz von Löschmitteln zum Einsatz kommen können.

### Allgemeine Löschmittel

Unter allgemeinen Löschmitteln werden Löschmittel verstanden, die für die verschiedensten Brandlasten zum Einsatz kommen können, also nicht nur für Li-Ionen Brände. In Verbindung mit ihrem jeweiligen Löscheffekt kann man dabei unterscheiden:

Löschmittel	Löscheffekt
Wasser (in verschiedenen Sprühstufen, d.h. als Vollstrahl, Sprühstrahl)	Kühlung
Hochdruckwassernebel	Kühlung, Inertisierung
Wasser mit Zusätzen (z.B. F500)	Kühlung, Trennung durch Einkapseln
Schaum (Schwerschaum, Leichtschaum)	Trennung durch Abdecken
Inerte Löschgase (Kohlendioxid, Stickstoff, ARGONIT, ...)	Inertisierung
Fluorierte Löschgase (NOVEC 1230, FM 200)	Chemische Unterbrechung der Verbrennungsreaktion
Aerosol (Kaliumhydrogencarbonat)	Chemische Unterbrechung der Verbrennungsreaktion
Sand	Trennung durch Abdecken

Inzwischen wurden all diese Löschmittel hinsichtlich Ihrer Eignung für die Löschung von Li-Ionen-Batterien getestet [1], [2], [3], [4]. Im Allgemeinen gilt der Konsens, dass einmal in den thermal runaway gegangene Zellen nicht mehr aufzuhalten sind. Es kann jedoch verhindert werden, dass die Reaktion auf weitere Zellen übergreift, indem man die offenen Flammen der Ausgangszellen löscht. Dazu scheint Wasser mit dem Kühleffekt gut geeignet. Zudem ist es relativ einfach und in großen Mengen beschaffbar. Daher gilt es bis jetzt als „Mittel der Wahl“. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass auch die anderen Löschmittel einen Li-Ionen-Batterie-Brand gut eindämmen können, immer mit Vor- und Nachteilen für die jeweilige Umgebungssituation [5]. Das Löschen mit Wasser wird z.B. in geschlossenen Räumen teilweise als ausdrücklich kritisch angesehen, weil sich bei der Reaktion von Batteriebestandteilen mit Wasser Wasserstoff bilden kann und dadurch eine Explosionsgefahr besteht [6]. Löschen mit Wasser birgt zudem das Problem des Auffangens und der Entsorgung des kontaminierten Löschwassers [7].

- [1] J. Kunkelmann: *Studie zur Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Batterien (Akkus) und Lithium-Metall-Batterien*, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Forschungsbericht Nr. 192, Karlsruhe, 2017
- [2] H. Döring, M. Wörz, O.Rohozneanu, K. Spachmann, J. Klee Barillas: *Results of Fire-Extinguishing Tests on Li-Batteries*, Battery Experts Forum N.13, Aschaffenburg, 2017
- [3] Petra Andersson, Magnus Arvidson, Franz Evegren, Mourhaf Jandali, Fredrik Larsson, Max Rosengren: *Lion Fire: Extinguishment and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea*, RISE Report 2018:77
- [4] M Ghiji; V. Novozhilov; K. Moinuddin; P. Joseph; I. Burch, B. Suendermann G.Gamble: *A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression*, *Energies* 2020, 13(19), 5117
- [5] R. Rothe: *Löschmittel im Test – Anwendungsbeispiele am Beispiel der Automobilbranche*, Digitale Fachkonferenz Lithiumbatterien – Logistik. Lagerung. Entsorgung, 2021
- [6] L. Derek Mellert, U. Welte, M. Hermann, M. Kompatscher, X. Ponticq, M Tesson, J. Beckbissinger: *Elektromobilität und Tunnelsicherheit –Gefährdungen durch Elektrofahrzeugbrände*, Forschungsprojekt VSS 2016/221 auf Antrag des Schweizerischen Verbands d. Straßen-und Verkehrsfachleute (VSS), 2018
- [7] Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden , Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2020; <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3907>

### Löschmittel speziell für Li-Ionen-Brände

Aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Li-Metall- und Li-Ionen-Batterien und des speziellen Brandverlaufes solcher Batterien wurde in den letzten Jahren versucht, möglichst spezifisch auf diese Brandlast ausgerichtete Löschmittel zu entwickeln. Im Folgenden werden einige derzeit beworbene Beispiele aufgeführt.

#### Blähglasgranulat

Einige Hersteller bieten ein Löschmittel an, das aus kleinen Glasschaumkügelchen besteht. Sie werden z.B. unter dem Namen Pyrobubbles oder Extover vertrieben [8], [9]. Die Löschwirkung beruht auf einem Trenneffekt, der sich ergibt, wenn die Glaskügelchen auf die brennende Batterie auftreffen und dann dort aufschmelzen und so eine Isolationsschicht bilden. Hauptnachteil an diesem System ist die schwierige Anwendung in einem Löschesystem. Für die Absicherung größerer Bereiche müsste eine große Menge (Volumen, Gewicht!) entsprechend vorgehalten werden. Weiterer Nachteil ist, dass ein nicht unerheblicher Teil des Granulates bei Aufbringen in nicht eingegrenzten Bereichen einfach wegrollt und daher nicht am Brandherd wirken kann. Ein Vorteil ist, dass kaum Schäden durch das Löschmittel entstehen. Gute Ergebnisse erzielt man mit diesen Stoffen jedoch im baulichen Brandschutz – Wände können gleich mit diesem Stoff ausgefüllt werden- und für Transportsysteme von Li-Ionen-Batterien. Im Falle eines Brandes von Li-Ionen-batterien bietet eine solche Verpackung einen guten Schutz vor Brandausbreitung.



**Abbildung: „Lithium-Brandschutzkissen“ gefüllt mit Blähglaskügelchen**

Quelle: <https://brandschutzcenter.expert/shop/product/lithium-brandschutzkissen-2-kg/>

- [8] <https://www.lion-care.com/loeschmittel/pyrobubbles>  
[9] <https://www.poraver.com/extover/>

### **AVD - Dispergiertes Vermiculit**

Diese Löschmittel werden unter dem Namen Aqua Vermiculit Disperion (AVD) zusammengefasst. Vermiculit ist ein in der Natur vorkommendes Schichtsilikat. Durch den hohen Anteil an Siliziumoxiden ist es chemisch gesehen relativ ähnlich wie Glas. Das Mineral wird in feinste Teilchen zerteilt und in möglichst geringen Mengen in Wasser dispergiert. So kann es als Fluid mit Hilfe eines Feuerlöschers auf die brennende Li-Ionen-Batterie aufgebracht werden. Dort verdampft das Wasser und die verbleibende Vermiculit-Kruste sorgt für einen Trenneffekt zwischen der beschädigten Batterie und der Umgebung [10]. Die Vor- und Nachteile sowie die Einsatzbereiche ähneln denen von Glasgranulat. Ein hinzukommender Nachteil ist das relativ seltene Vorkommen von Vermiculit [11].

- [10] [www.lithex.de](http://www.lithex.de)  
[11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Vermiculit>

### **Löschgel**

Auf die Bildung einer möglichst dicht schließenden luftundurchlässigen Trennschicht auf der brennenden Li-Ionen-Batterie setzen auch Löschgele, die von verschiedenen Herstellern angeboten werden. Sie haben gegenüber dem Granulat den Vorteil, dass ein schnelles Anhaften des Löschmittels auf dem Brandherd besser gegeben ist. Löschgele gibt es entweder fertig zubereitet in Feuerlöschern [12] oder als Zumischung für den Wasserstrahl, ähnlich einem Schaummittel [13]. Die Nutzung in Löschsystemen zur Absicherung von größeren Räumen scheint derzeit noch nicht umgesetzt worden zu sein. Insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz auf Schiffen muss jedoch angemerkt werden, dass die Gelbildung bei Einsatz der Zumischung unter Verwendung von salzhaltigem Meerwasser ggf. eingeschränkt ist [14].

- [12] [https://www.jockel.de/images/dateien/Produktdatenblatt\\_Gel-Feuerloescher\\_web.pdf](https://www.jockel.de/images/dateien/Produktdatenblatt_Gel-Feuerloescher_web.pdf)  
[13] <https://www.creasorb.com/product/creasorb/de/produkte/firesorb/>  
[14] [http://www.flameguard.ch/docs/fireex\\_gel\\_pruefbericht.pdf](http://www.flameguard.ch/docs/fireex_gel_pruefbericht.pdf)

### **Löschsysteme, (Angriff von außen)**

Mit Löschsystemen sind technische Anlagen oder Vorrichtungen gemeint, die genutzt werden, um das Löschmittel anzuwenden. Innerhalb des Projektes ALBERO werden im Folgenden nur solche betrachtet, die speziell für das Löschen von Elektrofahrzeugen entwickelt wurden.

### **Unterbodenkühlung**

Wassersprühsysteme z.B. auf Fahrzeugdecks oder auch in Parkhäusern, bringen das Wasser nur von oben auf ein brennendes Fahrzeug. Bei Elektrofahrzeugen mit den im Unterboden verbauten Batterien, wäre eine Kühlung von unten jedoch vermutlich effektiver. Zu diesem Zweck wurden in der letzten Zeit verschiedenste Hilfsmittel entwickelt, um Wasser möglichst von unten an das Fahrzeug heranzubringen. Auch im Projekt ALBERO wurde durch den Partner FKFS ein solches „Boundary Cooling Device“ als Prototyp umgesetzt und in ersten Versuchen getestet [15].

- [15] [https://alberoprojekt.de/index\\_htm\\_files/Bericht%20Test%20Boundary%20Cooling%20Device.pdf](https://alberoprojekt.de/index_htm_files/Bericht%20Test%20Boundary%20Cooling%20Device.pdf)

## Löschcontainer

Eine besondere Gefahr bei Bränden von Elektrofahrzeugen ist die Rückzündung, oft noch nach Stunden nach der scheinbaren Löschung des Brandes. Ein sicheres Mittel für eine umfassende Kühlung und die Verhinderung des Rückzündens ist die Aufnahme des gesamten Fahrzeuges in einem abgeschlossenen Container und dessen anschließende Flutung mit Wasser. Auch außerhalb von Deutschland hat sich dieses Verfahren bereits etabliert [16], [17]. Die Firma Ellermann hat eigens zu diesem Zweck einen speziellen Abrollcontainer, die so genannte Red Boxx [18], entwickelt. Mit Hilfe einer Winde wird das havarierte Fahrzeug in den Container gezogen, dann verschlossen und geflutet.



**Abbildung: Red-Boxx**

Quelle: [https://www.empl.at/fileadmin/user\\_upload/Website/PDF\\_Downloads/FW/Werkfeuerwehren/Abrollbehälter-Red-Boxx.pdf](https://www.empl.at/fileadmin/user_upload/Website/PDF_Downloads/FW/Werkfeuerwehren/Abrollbehälter-Red-Boxx.pdf)

[16] <https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/131419/4395403>

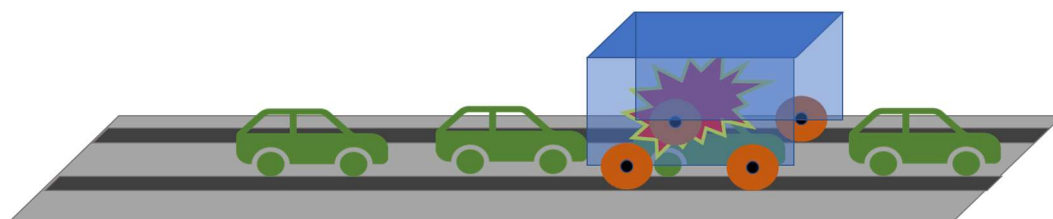
[17] <https://electrek.co/2019/06/01/tesla-fire-supercharger/>

[18] <https://www.container-ellermann.com/redboxx/>

Das System ist nur für Unfälle im offenen Gelände geeignet, da ein Umgang mit dem großen Rollcontainer auf dem Fahrzeugdeck oder in einem Parkhaus nicht praktikabel ist. Ein großer Nachteil ist auch die Notwendigkeit des nahen Herantretens an das havarierte Fahrzeug, um die Seilwinde oder einen Kranhaken zu befestigen, um das Auto in den Container zu ziehen oder zu heben. Aus diesem Grund wurde im Projekt ALBERO die Idee entwickelt, nicht das Auto in den Container zu bringen, sondern den Container über das Fahrzeug zu fahren:

Beweglicher Kasten ohne Boden und Stirnseiten (können ggf. aber klappbar dran sein) aus feuerfestem Material, aber möglichst leicht, kann z.B. auf eingelassenen Rollspuren bewegt werden

Bei Rauchentwicklung oder Brand wird Kasten über havariertes Fahrzeug gefahren, ist außen mit Anschluss für Schlauch versehen, innen drin rundum mit Sprühdüsen ausgerüstet, nach Wasseranschluss intensives Besprühen von oben und den Seiten möglich, idealerweise nun auch Möglichkeit des Schließens der Stirnseiten



**Abbildung: ALBERO-Idee: fahrbarer Rollcontainer zur Abtrennung und Kühlung von brennenden Elektrofahrzeugen**

## E-Löschlanze

Fahrzeugbatterien sind aus mehreren Modulen aufgebaut, die wiederum in ein stabiles Gehäuse integriert sind, damit die Batterie nicht beschädigt werden kann. Kühl- oder Löschmittel können daher nicht direkt an den Batteriezellen angreifen, was den Kühl- bzw. Löscheffekt verringert. Wissenschaftliche Experimente haben gezeigt, dass ein Wasserangriff direkt in der Batterieumhausung zu deutlich schnelleren Erfolgen führt [19]. Es ist daher grundsätzlich ein guter Ansatz, mit Hilfe eines Löschsystems das Kühlwasser direkt in das Innere einer Fahrzeugbatterie einzubringen. Zu diesem Zweck wurden spezielle Löschlanzen entwickelt [20]. Die Düsen Spitze soll mit Hilfe eines Schlagwerkzeuges in die Batterie eingeschlagen werden, um dort direkt Wasser einzutragen.



**Abbildung: E-Löschlanze**

Quelle: <https://www.murer-feuerschutz.de/e-loeschlanze/>

Bei einigen Handlingsversuchen wurde jedoch festgestellt, dass durch dieses Einschlagen die Batterie erst recht beschädigt werden kann und so erst eine Zündung provoziert wird [21]. Von der Nutzung dieser Systeme wird daher ausdrücklich abgeraten [7]:



### Achtung!

Auf dem Markt sind handgeführte Löschgeräte verfügbar, die in das Batteriegehäuse eindringen, um dort Löschwasser ins Innere der Batterie einzubringen. Dabei befindet sich die Bedienmannschaft in unmittelbarer Nähe zur Batterie. Da dieses Vorgehen nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht in Einklang mit der DGUV Vorschrift 49, § 26 „Gefährdung durch elektrischen Strom“ zu bringen ist, kann für diese Methode aktuell keine Empfehlung ausgesprochen werden. Ihr Einsatz ist unter anderem mit dem Risiko von zum Teil erheblicher Stichflammenbildung und einer nicht auszuschließenden Gefährdung der Bedienmannschaft durch Elektrizität (z. B. Lichtbogen, gefährliche Körperdurchströmung) verbunden. Auch die Fahrzeughersteller untersagen in ihren Einsatzhinweisen das Öffnen oder Beschädigen von Hochvoltbatterien.

**Abbildung: Warnhinweis der DGUV [7]**

- [19] O. Willstrand: Fire Suppression Tests for Vehicle Battery Pack, Swedish Energy Agency Report Project No. 45629-1,  
[20] <https://www.murer-feuerschutz.de/e-loeschlanze/>  
[21] <http://www.feuerwehr-eggenfelden.com/images//Beitraege/Download/Elektrofahrzeuge.pdf>

### **Löschdecke, Löschdeckenvorrichtung**

Löschdecken haben den Vorteil, sehr flexibel und mobil einsetzbar zu sein. Zudem ist der niedrige Preis im Vergleich zu fest installierten Löschanlagen für viele Anwender sehr attraktiv. Bisher gibt es jedoch nur wenige Tests zur Effektivität von Löschdecken bei der Bekämpfung von Elektrofahrzeugbränden. Erste Versuche zeigen, dass der Brand anscheinend gut eingegrenzt werden kann, bei Entfernung der Decke aber sofort eine Rückzündung eintritt [22], [23]. Löschdecken haben den Nachteil, dass Einsatzkräfte relativ nah an das havarierte Fahrzeug herantreten müssen, um die Abdeckung vorzunehmen. Es gibt daher erste Ansätze, das Auto von vornherein in einer Art „Zelt“ zu parken und dieses Zelt im Havariefall zu schließen [24].



**Abbildung: „Löschzelt“ für Elektroautos [24]**

- [22] <https://www.youtube.com/watch?v=yO8cVWOqZcg>  
[23] <https://www.kfv-segeberg.org/infothek/loeschdecke-e-auto/>  
[24] <https://www.stoebich-technology.de/en/produkte/e-mobilityprotector-1>

Es gibt auch Entwicklungen von Spezial-Löschdecken, die bei Erhitzung inertisierende Gase freisetzen und so noch schneller einen Löscheffekt erzielen sollen. Das Problem ist hierbei jedoch, dass die Gase nur wirken können, wenn das Auto möglichst komplett und dicht eingepackt ist. Auch hier müssten Personen nah zur Abdeckung herantreten. Dieses System [25] wird daher vor allem zur Verhinderung von Rückzündungen empfohlen, also nach der Löschung des Erstbrandes.



**Abbildung: Einhüllung für havarierte Elektrofahrzeuge**

Quelle: <https://www.gelkoh.de/2020/06/16/libarescue-das-innovative-bergesystem-fuer-e-fahrzeuge/>

[25] <https://protect.ibena.de/de/news/ibena-entwickelt-brandschutzdecke-f%C3%BCr-elektroautos.html>

Für den Spezialfall „Fahrzeugdeck auf einer RORO-Fähre“ sind weitere Besonderheiten beim Einsatz einer Löschdecke zu beachten: In der Regel ist die Parksituation auf dem Fährschiff sehr eng. Es muss untersucht werden, ob ein schnelles Aufbringen der Löschdecke auch unter diesen Bedingungen möglich ist und ob sie auch dann eine Brandausbreitung verhindern kann. Zudem stellt sich die Frage, ob auf einem Boden aus Stahl unter einer Löschdecke ggf. so hohe Temperaturen entstehen, dass die Festigkeit des Metalls beeinträchtigt wird bzw. ob der Effekt der Wärmeleitung durch das Metall in andere Bereiche an Bord durch die Decke verstärkt wird.

### **Löschsysteme, (Angriff von innen)**

Wie weiter oben bereits aufgeführt, ist die Wirkung eines Kühl- bzw. Löschmittels dann besonders effektiv, wenn es direkt an den Batteriezellen angreifen kann. Vor diesem Hintergrund gibt es inzwischen Entwicklungen, im Batteriegehäuse Kapseln mit Löschmittel (Gas, Pulver) zu installieren und diese im Falle einer Überhitzung im Batteriegehäuse auszulösen [26].

[26] <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.5b01167>

Ein anderer Ansatz ist ein von vornherein konstruktiv eingebauter „Einfüllstutzen“ für Wasser direkt in die Batterie [27] - ein Konzept, das jedoch von Autoherstellern bisher nicht ausreichend aufgegriffen wird.

[27] <https://patents.google.com/patent/JP5849692B2/en>