



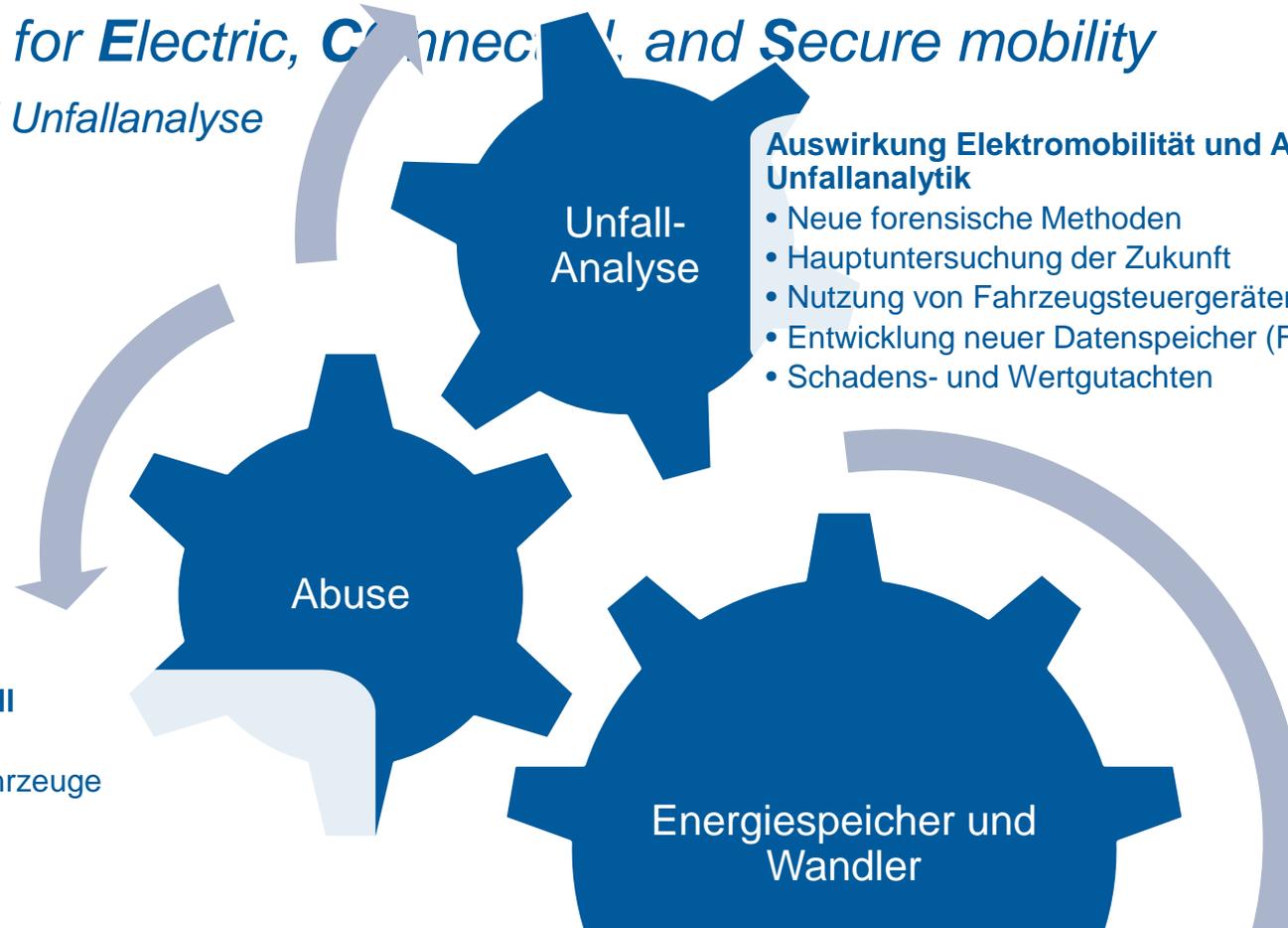
CARISSMA

Institute of Electric, Connected
and Secure Mobility

Batteriesysteme und Brandsicherheit von E-Fahrzeugen

*online-Fachforum „Brandschutz für E-
Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur“*

Prof. Dr. Hans-Georg Schweiger 26.09.2022



Auswirkung Elektromobilität und Automatisiertes Fahren auf Unfallanalytik

- Neue forensische Methoden
- Hauptuntersuchung der Zukunft
- Nutzung von Fahrzeugsteuergeräten als Speicher für digitale Spuren
- Entwicklung neuer Datenspeicher (Forensic Event Data Recorder – FEDR)
- Schadens- und Wertgutachten

Verhalten der Systeme im Extremfall

- Sicherheitskonzepte
- Zerstörende Tests: Zellen, Pack, Fahrzeuge
- Testmethoden
- Brandbekämpfung
- Handlungsempfehlungen
- Umgang mit verunfallten Systemen
- Deaktivierung



Energiespeicher und Wandler

Sichere, nachhaltige und wirtschaftliche Energiesysteme

- Batterien, Brennstoffzellen
- Performance, Lebensdauer und Robustheit
- Zustandserkennung und Bewertung
- Thermische Auslegung
- Modellierung und Simulation
- Testverfahren
- Wiederverwertung und Recycling
- Zell, Modul und Systemtests





Arten und Ursachen von Batteriebränden

Fahrzeugbrände

Erzeuge Wärmeleistung
und freigesetzte Wärme

Auswirkung von
zukünftigen Entwicklungen



Brandbekämpfung von
Lithium-Ionen-Batterien mit Wasser

Bildung von Flusssäure und Schadstoffen
bei Fahrzeugbränden

Elektrischer Schlag beim Löschen?

Alternative Löschmittel

Schwierigkeiten beim Löschen mit Wasser

Fahrzeugbrände

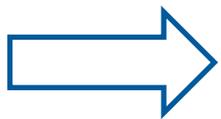
- **Deutschland, 2012: 15.500 komplett abgebrannte Fahrzeuge
= 42 komplett abgebrannte Fahrzeuge pro Tag [4]**



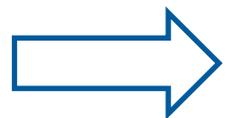
[1]

- **Brände nach Antriebskonzept**

- klassischer Verbrennungsmotor: 90 Fahrzeugbrände pro Milliarde gefahrener Kilometer akzeptabel [2]
- sechs abgebrannte Teslas mit 3 Milliarden zurückgelegten Kilometern
= 2 Fahrzeugbrände pro Milliarde km [2]
- 300,000 Teslas... have been driven a total of 7.5 billion miles, and about 40 fires have been reported
≈ 3 Fahrzeugbrände pro Milliarde gefahrener Kilometer [3]



Deutlich geringere Wahrscheinlichkeit für Brand eines Elektrofahrzeugs
ggf. noch Änderung der Zahlen (Alter der Fahrzeuge, Statistik)



**Unterschiedliche Typen von Batteriebränden
Unterschiedliche Auswirkungen**

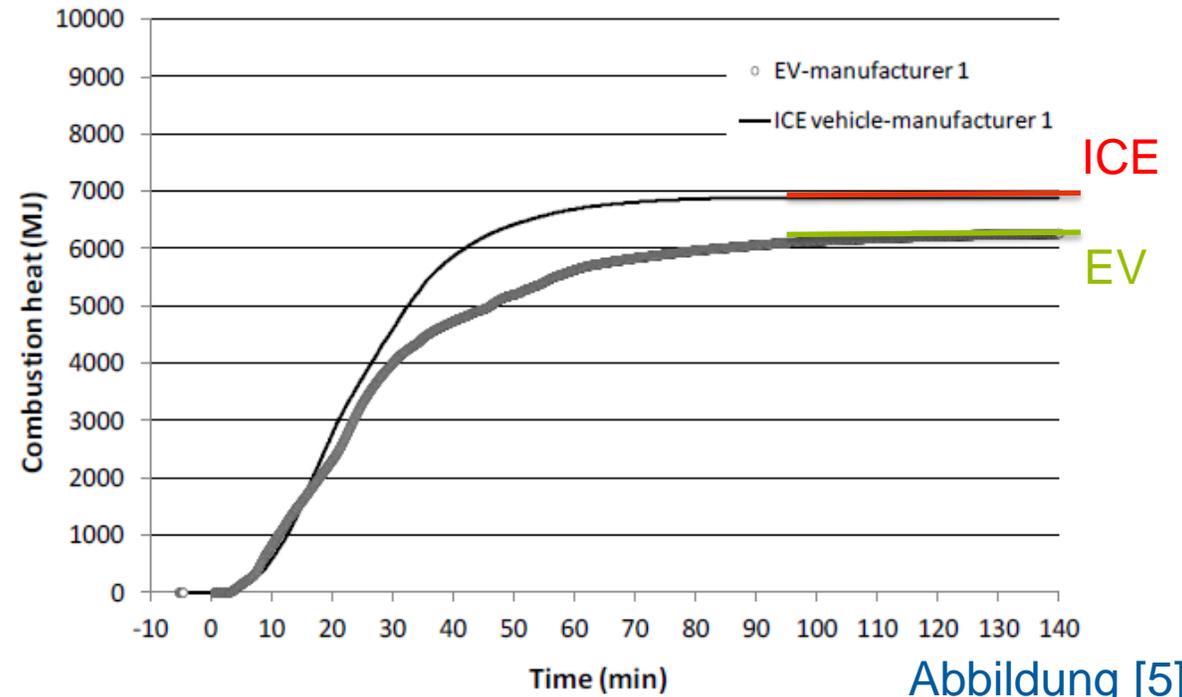
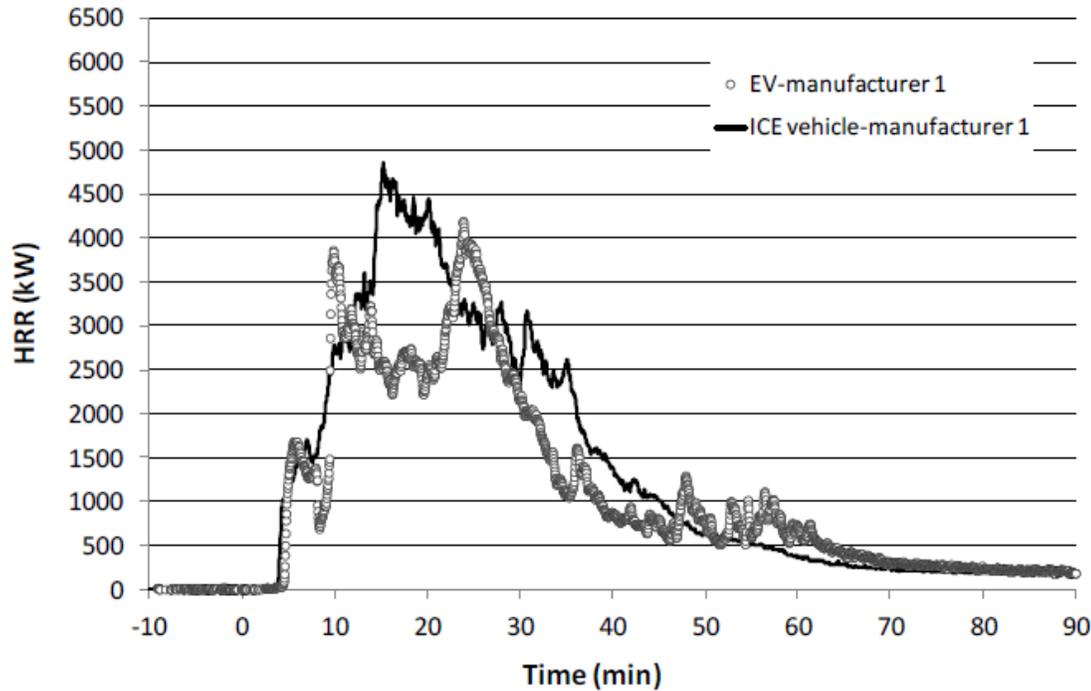
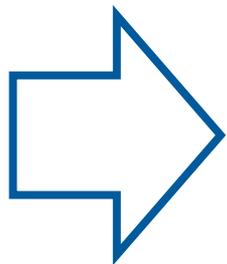


Abbildung [5]



Geringe Wärmefreisetzung beim Elektrofahrzeug da geringere gespeicherte Energie

Löschen → Entzug mindestens einer der drei Voraussetzungen für einen Brand

■ Entzug von Sauerstoff

- Wasser reagiert mit Aktivmaterialien
- Wasserdampf schirmt Luft ab



■ Entzug von Wärme

- Wasser kühlt durch Verdampfen
- Wasser kühlt durch Wärmekapazität

■ Entzug brennbarer Stoffe

- Wasser vermischt sich mit Elektrolytlösung
- Wasser reagiert mit Aktivmaterialien
- Entladen der Batterie



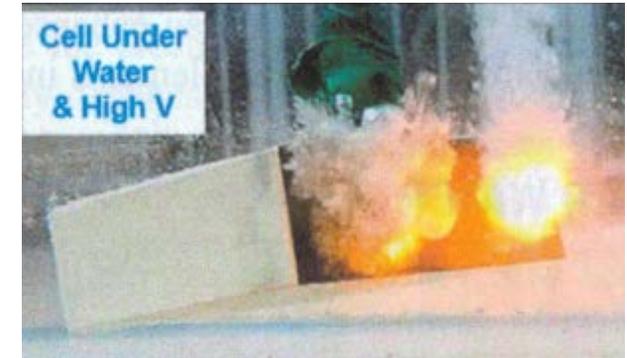
Große Mengen Wasser → Löschmittel der Wahl

Schwierigkeiten beim Löschen mit Wasser

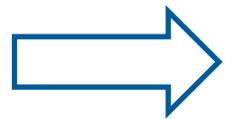
- **Eindringen von Wasser in die Batterie**
 - Batteriegehäuse meist aus Metall und dicht
 - Batterie tief im Fahrzeug verbaut
 - Löschwasser dringt nicht zu Zellen vor
- **Brand der Batterie unter Wasser**
 - Umsetzung von Aktivmaterialien unter Wasser möglich
 - Wasser wird durch hohe Spannung zersetzt
- **Wasserstoff und Sauerstoff Entwicklung**
 - H_2 und O_2 Entwicklung durch hohe Spannung
 - H_2 Entwicklung aus Aktivmaterialien



[11]



[9]



Sichere und nachhaltige Deaktivierung durch fluten bzw. einlegen in Wasser
Wasser dringt ein und schirmt ab!



[10]

Bildung von Flusssäure bei Fahrzeugbränden

Freigesetzte Schadstoffe

■ Bildung von Flusssäure beim Kontakt mit Wasser

- Bei Kontakt vom Elektrolyt mit Wasser bildet sich Flusssäure



■ Aber

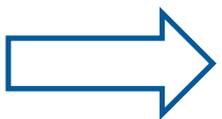
- Reaktion wird nur bei Wasserspuren in großen Mengen Elektrolyt beobachtet
- Bei großen Mengen Wasser mit Batterieelektrolyt entstehen nur Spuren an HF 40-100 ppm

■ Warum?



- Bildung von schwerlöslichen Salzen
- Leitungswasser / Löschwasser enthält Ca^{2+} und Mg^{2+} Ionen

■ Ggf. Zusatz von Kalziumchlorid zum Löschwasser von Batterien



Aber Korrosionsschäden lange nach dem Brand an Infrastruktur möglich!

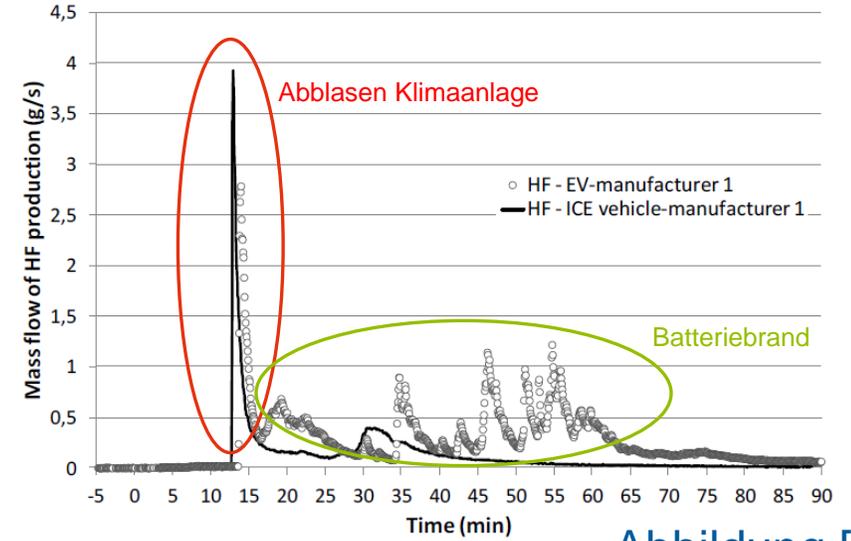
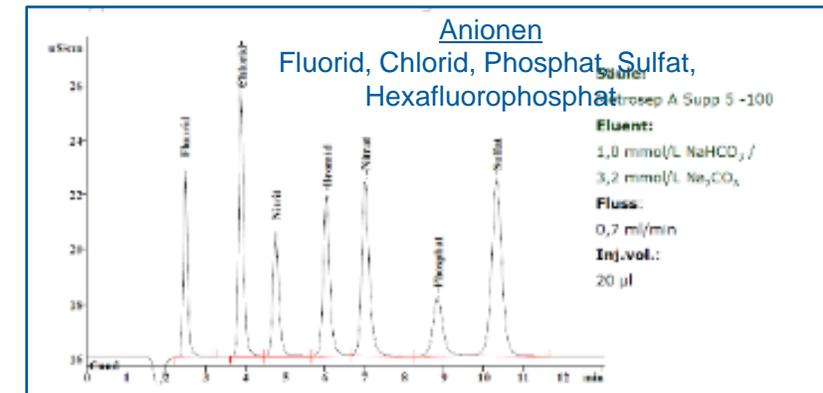


Abbildung [5]





Freigesetzte Schadstoffe

■ Feststoffe

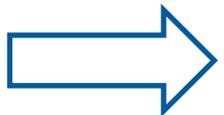
- Kathodenmaterialien → Kobalt-, Mangan-, und Nickeloxide
- Anodenmaterialien → Kohlenstoffmodifikationen, Ruß, Titanoxide
- Weitere Feststoffe → Kupfer-, Aluminium-, Eisenverbindungen

Freigesetzte Art und Menge?
Zum Teil lungengängige Partikel
Belastung der Feuerwehrleute?
Dekontamination nach dem Brand?

■ Gase

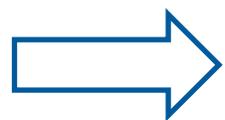
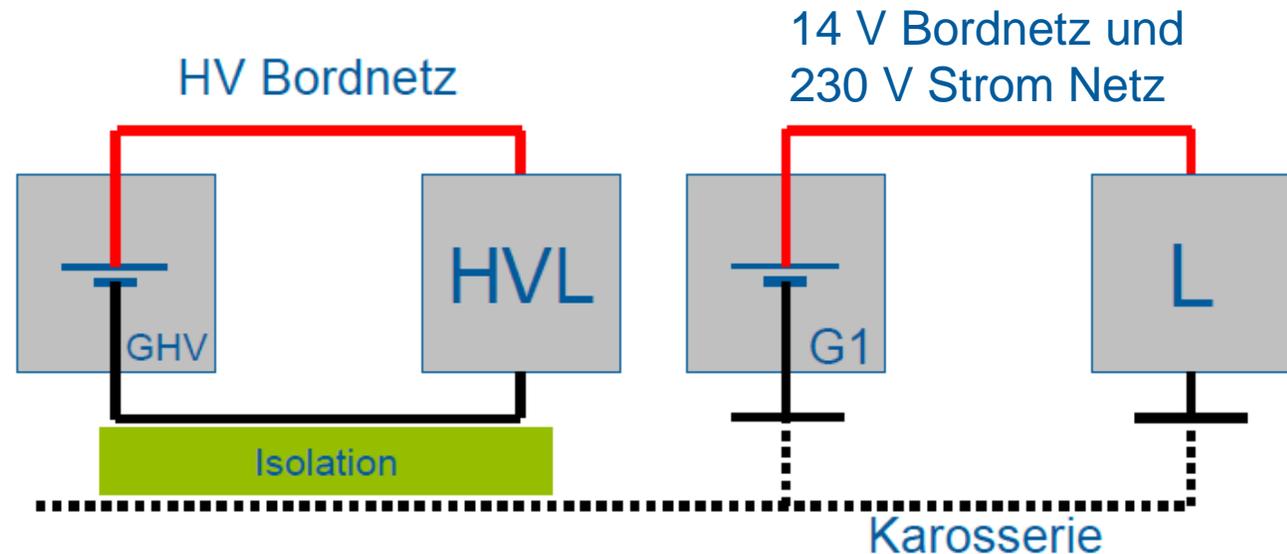
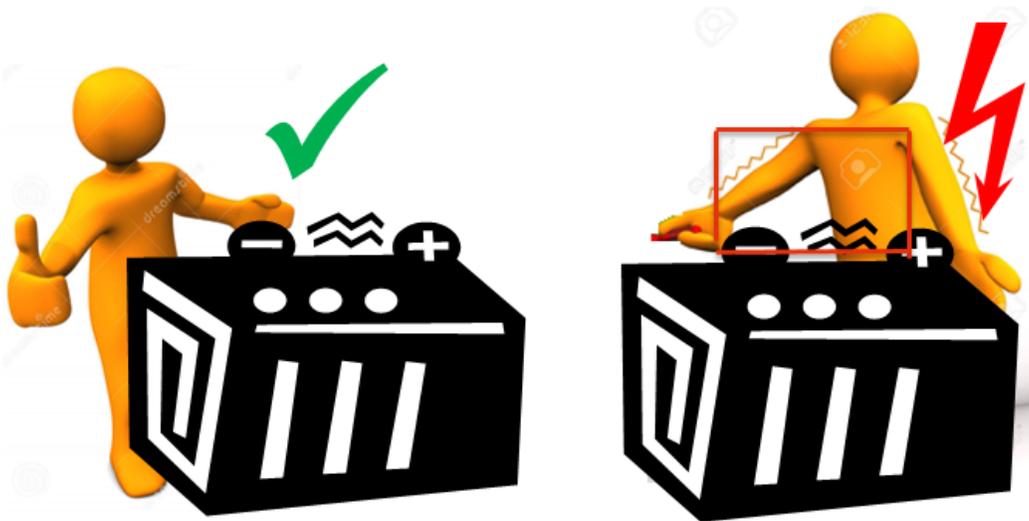
- CO₂, CO
- Phosphan
- Brennbare Gase H₂, Alkane etc.
- Alle anderen Schadstoff bei einem komplexen Kunststoffbrand

Vergleichbar zu einem Bränden
konventioneller Fahrzeuge
Hier brennt nicht nur der Kraftstoff
Sondern Kunststoff, Gummi etc.



Gegenstand aktueller Forschung → Projekt BALSAM ab 2023

- Besteht E-Fahrzeugen eine große Gefahr eines elektrischen Schlages?
 - HV-System eines E-Fahrzeugs komplett von der Karosserie isoliert, nur Schlag bei Berührung beider Pole
 - Umfassendes Sicherheitssystem überwacht stetig relevante Größen für die Sicherheit
 - Um an Pole zu gelangen, muss Batterie zerstört werden



Elektrischer Schlag unwahrscheinlich
Trotzdem 1 m Abstand beim Löschen!

Alternative Löschmittel

Erstickende Wirkung

- **N₂ / CO₂**
 - Kühlt und erstickt
 - Reduziert Sekundärbrand
 - Keine sichere Deaktivierung
- **Sand**
 - Erstickt
 - Verhindert Sekundärbrand
 - Keine sichere Deaktivierung
- **Feuerlöschdecke**
 - Erstickt und verpackt
 - Verhindert Sekundärbrand
 - Keine sichere Deaktivierung

Gut um Brand einzudämmen
Aber komplette Deaktivierung mit Wasser nötig

Schwierige praktische Umsetzung bei Fahrzeugen
Entsorgung nach dem Brand ungelöst
Komplette Deaktivierung nötig

Gut um Brand einzudämmen
Leicht, kompakt und kostengünstig
Ggf. vorsorgliche Anwendung
Wiederverwertbar
Aber komplette Deaktivierung nötig



Alternative Löschmittel

■ Schaum

- Kühlt und erstickt
- Benetzt Oberfläche sehr gut
- Sichere Deaktivierung



Gut um Brand in der Batterie zu bekämpfen
Geringere Wasserschäden
Komplette Deaktivierung

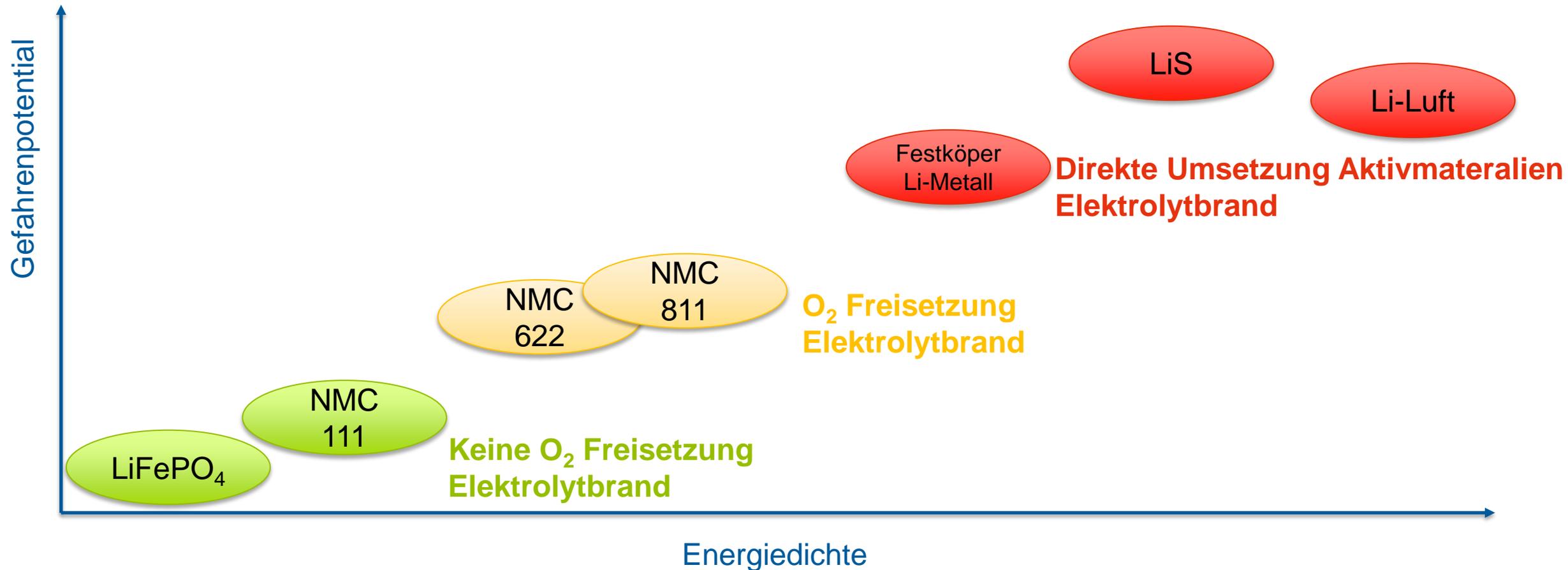
■ Hochdrucknebel

- Kühlt und erstickt
- Dringt gut in die Batterie ein
- Sichere Deaktivierung



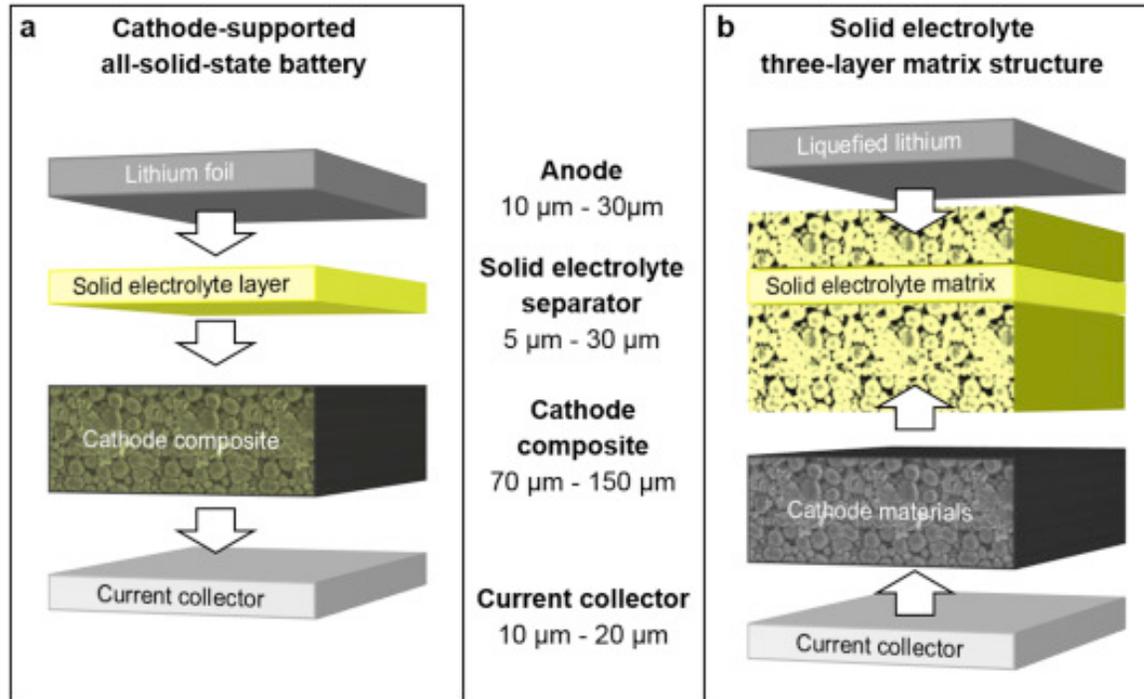
Gut um Brand in der Batterie zu bekämpfen
Geringere Wasserschäden
Komplette Deaktivierung





Steigerung der Energiedichte  Zunahme des Gefahrenpotentials

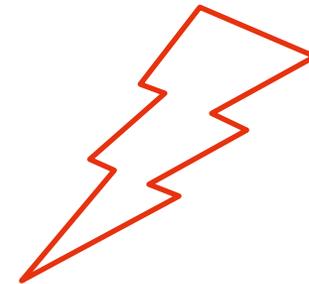
Warum brennen all-solid-state Batterien besonders gut?



[13]

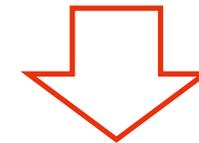
Kein flüssiger Elektrolyt aber warum brennen sie?

- Kathode ist starkes Oxidationsmittel
- Anode ist starkes Reduktionsmittel
- Beide getrennt durch sehr dünnen Separator



Riss des Separators

- Dendriten Wachstum
- Bruch durch Volumenänderung
- Bruch durch Vibration



**Direkte Umsetzung der Aktivmaterialien
Feststoffbrand**

Aufbau all-solid-state / Feststoff Batterie

- Lithium Metall all Anode
- Kathode wie bei Lithium-Ionen-Zelle
- Festkörper-Ionen-Leiter



- **Wasser / Schaum / Hochdrucknebel als bewährte Löschmittel**
- **Elektrische Gefahren vergleichbar wie bei Stromnetz / Photovoltaik**
- **Schadgase vergleichbar wie bei konventionellen Fahrzeugen**
- **Gefahr der Wiederentzündung**
- **Sichere langfristige Deaktivierung nötig**
- **Etablierung und Verbreitung von Erfahrungswissen bei der Feuerwehr**
- **Steigerung des Gefahrenpotentials in der Zukunft durch höhere Energiedichten der Batterie**



Quellen



- [1] 2017 Brand eines Elektrofahrzeuges auf der S16 <https://www.ff-landeck.at/cms/index.php/83-aktuelle-beitraege-blog/einsaetze/532-2017-brand-eines-elektrofahrzeuges-auf-der-s16.html> Retrieved 22:51 June 26, 2019
- [2] M. Winter, Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Institut Münster, Wiener Motorensymposium 2017, Zitiert nach <https://e-move.at/news/brennende-elektroautos/?cn-reloaded=1> Retrieved 22:44 June 26, 2019
- [3] <https://insideevs.com/news/337884/exploring-and-understanding-the-fire-risk-for-electric-cars/> Retrieved 22:56 June 26, 2019
- [4] Autobrände in Berlin – schlimme Statistik <https://www.pankower-allgemeine-zeitung.de/autobraende-in-berlin-schlimme-statistik/>, Retrieved 22:54 June 26, 2019
- [5] Amandine Lecocq, Marie Bertana, Benjamin Truchot, Guy Marlair. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. 2. International Conference on Fires In Vehicles - FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States. SP Technical Research Institute of Sweden. Boras, pp.183-194, 2012. <ineris-00973680>
- [6] Hui Yang a, GuorongV. Zhuangb, andPhilip N. Ross, Jr., Thermal Stability of LiPF6Salt and Li-ion Battery Electrolytes Containing LiPF6, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720
- [7] F. Larsson, P. Andersson, B.-E. Mellander: Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests; Batteries 2016, 2, 9
- [8] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verbrennungsdreieck.svg>
- [9] J. Garche, K. Brandt, Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications, 2018
- [10] RED BOXX – Der Hochvolt Container <https://www.container-ellermann.com/redboxx/> Retrieved 22:46 June 26, 2019
- [11] Heise online, „Elektroautos crashen ähnlich wie Verbrenner“ <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektroautos-crashen-aehnlich-wie-Verbrenner-4584362.html>, Retrieved 14:18 Nov 20, 2020
- [12] Schwender GmbH, VLITEX FEUER, <https://www.schwender-gmbh.com/de/vlitex-fire/> Retrieved 14:48 Nov 20, 2020
- [13] J. Schnell, T. Günther, T. Knoche, C. Vieider, L. Köhler, A. Just, M. Keller, S. Passerini, G. Reinhart, Journal of Power Sources, Volume 382, 2018, Pages 160-175