



# Realversuche zur Wirkung von Brandbegrenzungsdecken in Kombination mit Wassersprühflutsystemen bei der Bekämpfung von Li-Ionen-Batterie-Bränden

## Inhalt

Vorbemerkungen.....	2
Teilnehmer .....	2
Hintergrund .....	2
Fragestellungen .....	2
Versuchsaufbau / verwendete Materialien .....	3
Versuchsdurchführung .....	9
Ergebnisse .....	10
Versuch 1: offener Brand, ohne Sprinkler und ohne Brandbegrenzungsdecke.....	10
Versuch 2: nur mit Sprinkler.....	12
Versuch 3: nur mit Brandbegrenzungsdecke (Typ A).....	14
Versuch 4: erst Sprinkler an, Decke (Typ A) folgend .....	17
Versuch 5: erst Abdeckung mit Decke (Typ A) und Sprinkler folgend.....	19
Versuch 6: nur mit Brandbegrenzungsdecke (Typ B) .....	21
Versuch 7: erst Sprinkler an, Decke (Typ B) folgend .....	23
Zusammenfassung.....	25
Danksagung .....	26

## Vorbemerkungen

Die Versuche wurden innerhalb des Forschungsprojektes „Transport alternativ betriebener Fahrzeuge auf RoRo-Fährschiffen“ (ALBERO, FKZ: 13N14682) durchgeführt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Die Versuche wurden im März 2021 mit Unterstützung des Instituts für angewandte Brandschutzforschung (IFAB) auf dem Versuchsgelände des DLR in Trauen durchgeführt.

## Teilnehmer

### Projektpartner:

- Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart
- GTE Industrieelektronik GmbH
- Lloyds Register
- Institut für Sicherheitstechnik/Schiffssicherheit e.V
- Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

### Unterauftragnehmer:

Institut für angewandte Brandschutzforschung (IFAB)

## Hintergrund

Das Projekt ALBERO beschäftigt sich u.a. mit dem sicheren Transport von Elektroautos auf RORO-Fährschiffen. Es sollen Konzepte zur Eindämmung eines Brandes eines solchen Fahrzeuges entwickelt werden. Der Einsatz von Löschdecken könnte eine Möglichkeit zu sein, um die Ausbreitung eines Feuers, das von einem Elektroauto ausgeht, einzudämmen. Für den Spezialfall „Einsatz auf einem Schiff“ müssen dabei verschiedene Besonderheiten beachtet werden.

1. Das havarierte Fahrzeug befindet sich möglicherweise in einem sehr eng geparkten Bereich. Während der Überfahrt kann an dieser Situation nichts geändert werden.
2. Bei einem Feueralarm wird in der Regel die Sprinkleranlage aktiviert.
3. Das havarierte Fahrzeug steht auf einem Stahldeck. Wärmeleitungsprozesse laufen ggf. anders ab als an Land.

## Fragestellungen

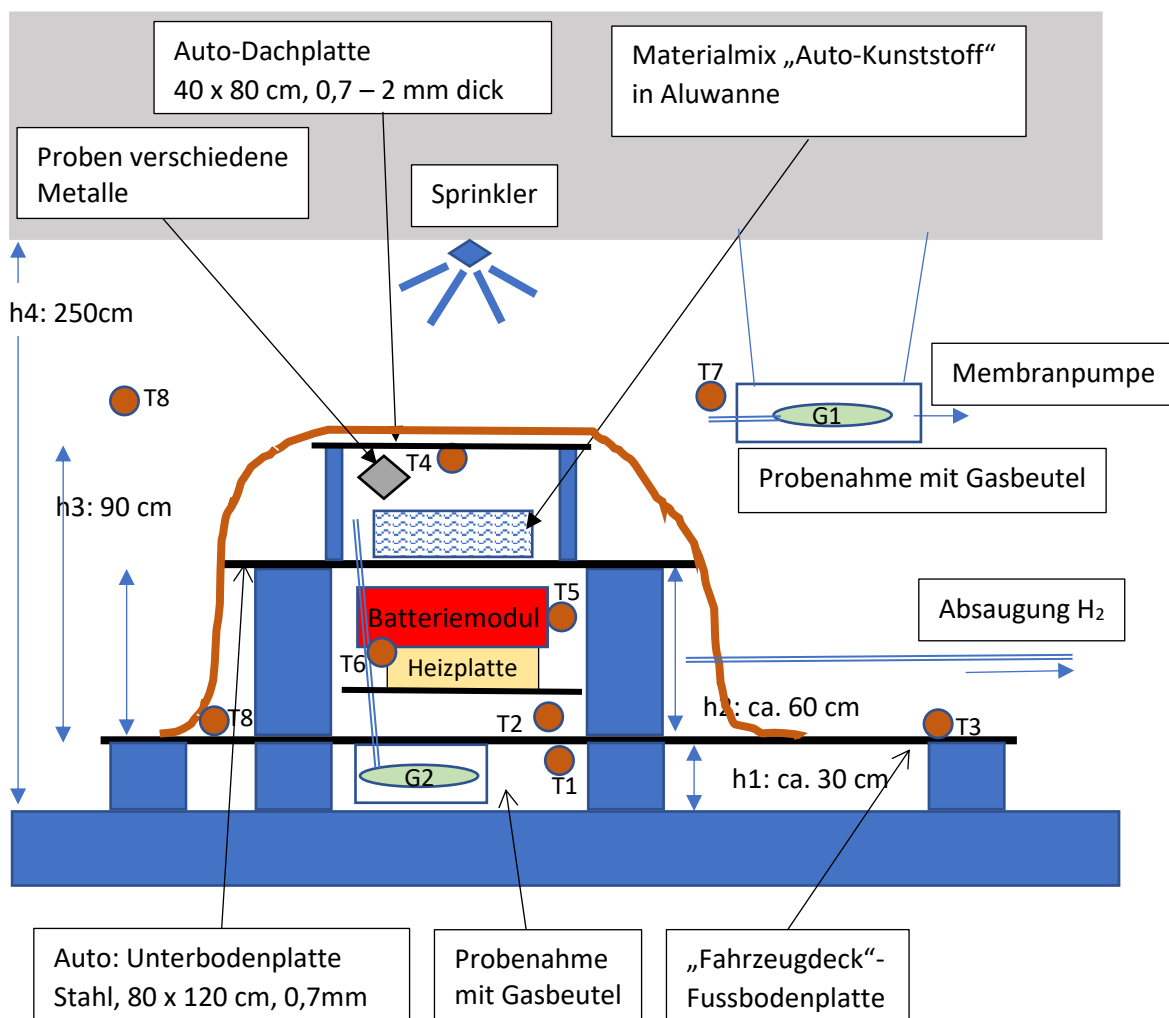
Für die Bewertung der Einsatzbarkeit von Brandbegrenzungsdecken für Brände von Elektrofahrzeugen in der speziellen Umgebung „Fahrzeugdeck“ ergaben sich folgende Fragestellungen:

1. Ist die Brandbegrenzungsdecke grundsätzlich in der Lage, den Brand eines Elektrofahrzeuges einzudämmen? Wird also die Schädigung auf benachbarte Fahrzeuge verringert?
2. Wie verhält sich die Brandbegrenzungsdecke in Kombination mit einer Wassersprühflutanlage?
3. Welche Temperaturen entstehen unter der Brandbegrenzungsdecke, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz auf einem Stahldeck?
4. Beeinflusst die Brandbegrenzungsdecke die Gefahr einer lokalen Explosion oder Durchzündung durch verstärkte Ansammlung unverbrannter Gase (unter der Decke)?

5. Beeinflusst die Brandbegrenzungsdecke die toxischen Gefahren für Personen und Einsatzkräfte durch Beförderung der Bildung von (unverbrannten) toxischen Gasen und Aerosolen?
6. (Wie lange) hält die Brandbegrenzungsdecke dicht?
7. Wie lange muss die Decke auf dem havarierten Fahrzeug bleiben, um eine Rückzündung mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen?
8. Welche besonderen Gefahren entstehen ggf. für Einsatzkräfte bei der Anwendung einer Brandbegrenzungsdecke?

Zudem sollten die Versuche genutzt werden, um Messungen von Wasserstoff während eines beginnenden thermal runaway durchzuführen. Die Fragestellung dazu ist, ob Wasserstofffreisetzung für eine möglichst frühzeitige Gefahrendetektion geeignet ist

## Versuchsaufbau / verwendete Materialien



**Bild 1: schematischer Versuchsaufbau, T - Temperaturmessstellen, G - Gasprobenentnahmestellen**

Es wurde ein Messaufbau verwendet, der in verkleinertem Maßstab ein parkendes Elektrofahrzeug auf einem Fahrzeugdeck nachstellt. Als Brandlast wurde ein einzelnes **Batteriemodul** verwendet, bestehend aus 12 prismatischen Li-Ionen Zellen (Bild 2).



**Bild 2: verwendetes Batteriemodul, bestehend aus 12 prismatischen Li-Ionen-Zellen**

Die Einzelzellen bestehen aus einer Graphit-Anode, einer Lithium-Nickel-Cobalt-Manganoxid-Kathode, organischen Elektrolytlösungsmitteln und  $\text{LiPF}_6$  als Leitsalz. Jedes Modul war zu Versuchsbeginn mit ca. 25 V zu 100 % geladen. In einem Opel e-Corsa sind 18 solcher Module verbaut.

Da eine wichtige Fragestellung war, inwieweit unverbrannte oder toxische Gase unter der Decke entstehen, wurde über der Autobatterie, abgetrennt durch ein Stahlblech, das den Fahrzeugboden darstellen soll, eine Aluminiumwanne platziert, die einen für den Autobau typischen Kunststoff-**Materialmix** enthielt (Bild 3).



**Bild 3: Aluminiumwanne mit Kunststoff-Materialmix**



Für die Versuche wurden **Brandbegrenzungsdecken** zweier verschiedener Hersteller verwendet:

Typ A – Brandbegrenzungsdecke (Bild 4)

Typ B - Brandbegrenzungsdecke (Bild 5)



**Bild 4: Typ A- Brandbegrenzungsdecke, vor dem Zerschneiden**



**Bild 5: Typ B- Brandbegrenzungsdecke**

Die Brandbegrenzungsdecken haben im Originalzustand eine Größe von 6 x 8 m. Für die Versuche wurde eine Decke in jeweils 4 Teile zerschnitten, a 3 x 4 m. Pro Versuch wurde ein solches Teilstück eingesetzt.

Die Initiierung eines thermal runaways wurde durch lokale Überhitzung des Batteriemoduls realisiert. Dafür wurde das Modul auf eine Heizplatte (1500W, 145 mm Durchmesser) gestellt. Die **Heizplatte** war mit einem Bimetall-Temperaturbegrenzer ausgerüstet (max. 450°C).

Die Temperaturmessungen wurden mit **Thermoelementen** Typ K an folgenden acht Messtellen durchgeführt:

- T1 – unter „Fahrzeugdeck“-Fussbodenplatte,
- T2 – über „Fahrzeugdeck“-Fussbodenplatte, unter Löschdecke
- T3 – über „Fahrzeugdeck“-Fussbodenplatte, außerhalb Löschdecke
- T4 – unter „Autodachplatte“
- T5 – außen an Batteriemodul
- T6 – an Heizplatte
- T7 – an Gasentnahmestelle im Raum
- T8 – Raumtemperatur in ca. 3 m Entfernung zum Versuchsaufbau (Versuche 1 – 4), über „Fahrzeugdeck“-Fussbodenplatte, unter Brandbegrenzungsdecke (Versuche 5 – 7)

Die **Probennahme für Gase, Aerosole und Partikel** erfolgte etwa auf Höhe der Aluwanne mit dem Fahrzeug-Materialmix. Bei Versuchen, bei denen die Löschdecke zum Einsatz kam, war diese Probenentnahmestelle unter der Brandbegrenzungsdecke. Eine weitere Probenahmestelle befand sich etwa 2 Meter entfernt vom Versuchsaufbau. Diese Probenahmestelle war bei Einsatz der Brandbegrenzungsdecke außerhalb der Abdeckung.

Für die Gasentnahme wurden Gasprobenbeutel a 2,5l (Bild 6) mit einem Ansaugschlauch nach außen in ein Elektronik-Kleingehäuse aus Kunststoff platziert. Zum gewünschten Zeitpunkt der Probennahme wurde dieses Gehäuse mit Hilfe einer Mini-Membranpumpe unter Unterdruck gesetzt, wodurch sich der Beutel auseinanderzog und dabei Gase und Aerosole aus der Umgebung einsog (Bild 7).

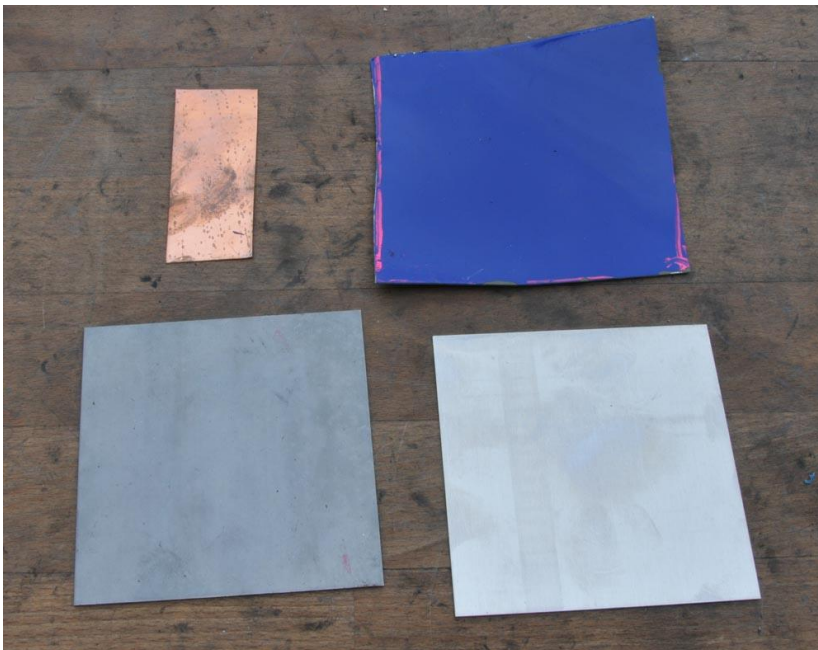


**Bild 6:** Rechts- verwendete Gasprobenbeutel mit Sauganschluss, nach Befüllen kann der Beutel durch Umknicken des oberen „Zipfels“ dicht verschlossen werden, links- verwendete Heizplatten



**Bild 7: Gasprobenbeutel im Kunststoffgehäuse, Bildmitte: Mini-Membranpumpe**

Zur Bewertung der Auswirkung von korrosiven Gasen auf verschiedene Metalle bzw. zum Auffangen von Kondensaten und Ruß, wurden verschiedene **Metallproben** (ca. 10 x 10 cm) von Kupfer, Aluminium, Stahl und lackiertem Stahlblech an der oberen Stahlplatte des Versuchsaufbaus angebracht. Bei Versuchen, bei denen eine Löschdecke zum Einsatz kam, waren diese Proben unterhalb der Löschdecke.



**Bild 8: Metallproben vor den Versuchen**





**Bild 9: Versuchsaufbau Vorderansicht, Metallproben an oberer Stahlplatte angehängt, weißer Schlauch mittig: Ansaugstelle für Wasserstoffmessung**

Der Einsatz einer **Sprinkleranlage** wurde durch eine Sprinklerdüse simuliert, die genau mittig über dem Versuchsaufbau angebracht war. Die Durchflussmenge betrug ca. 140 l / min.

Die Absaugung für die **Wasserstoffmessung** erfolgte über ein Wagner Rauchansaugsystem. Die Verrohrung bestand im inneren der Brandhalle aus Edelstahlrohr und außerhalb aus PVC-Rohr. Sie war ca. 10 m lang. Der Luftstrom wurde über einen Sensorknoten geleitet. Das war zum einen ein Metalloxid Halbleiter Gassensor und zum anderen eine elektrochemische Zelle. Alle Komponenten waren in den für die On-board Installation vorgesehenen Alugehäusen verbaut.



**Bild 10: Absaugung für die Wasserstoffmessung, Messaufbau**



## Versuchsdurchführung

Der prinzipielle Ablauf der Versuche wurde nach folgendem Schema durchgeführt:

- Nach Fertigstellung des Aufbaus wurde die Brandhalle verschlossen. Alle weiteren Beobachtungen des Brandversuches erfolgten von außerhalb mit Hilfe verschiedener Videotechnik (Videokamera, Wärmebildkamera).
- Die Heizplatte wurde von außerhalb an- und ausgeschaltet.
- Beim ersten Durchzünden ausgetretener Gase wurde die Heizplatte ausgeschaltet.
- Nach dem erkennbaren Aufplatzen / Explodieren zweier weiterer Zellen wurden die jeweiligen Aktionen durchgeführt (Einschalten Sprinkleranlage und / oder Auflegen Löschdecke)
- Bei Versuchen mit Einsatz der Brandbegrenzungsdecke wurde die Decke an einer Seite des Versuchsaufbaus mit Schraubzwingen befestigt, um ein sicheres und reproduzierbares Auflegen zu ermöglichen. Die Decke wurde aufgefaltet auf einer Seite des Aufbaus zurechtgelegt (Bild 11 und 12).
- Zu sinnvoll erscheinenden Zeitpunkten wurden die Gasproben gezogen.
- Nach anscheinend vollständigem Abreagieren des Batteriemoduls wurde die Brandhalle unter Atemschutz betreten und das Modul mit einem Wasserstrahl abgelöscht und später in ein Wasserbad gelegt.
- Die Brandhalle wurde gründlich ventiliert.



**Bild 11:**  
**Befestigung der Brandbegrenzungsdecke**



**Bild 12:**  
Vorbereitung der Brandbegrenzungsdecke

## Ergebnisse

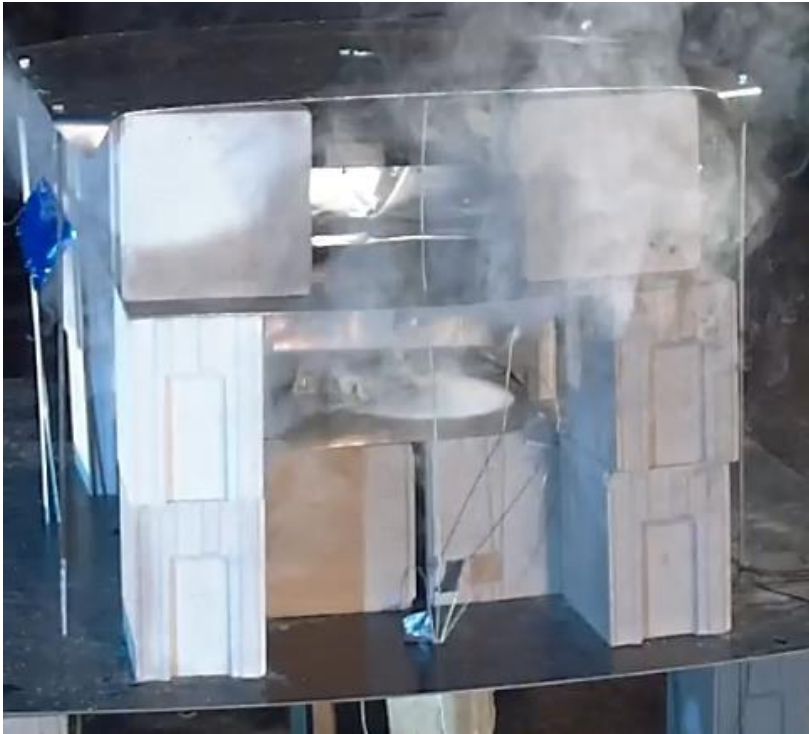
### Versuch 1: offener Brand, ohne Sprinkler und ohne Brandbegrenzungsdecke

Versuchsstart: 23.03.2021 – 17:07 Uhr

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	17:07
7 min.	Heizplatte reduziert (600W)	17:14
25 min.	Erste Zelle platzt auf, Rauchgasentwicklung	17:32
26 min.	Gasprobennahme	17:33
27min.	Gase zünden durch, Heizplatte aus	17:34
27...29 min.	6...7 Zellen zünden durch	17:34 - 17:36
29 min.	Materialmix-Auto brennt Alu-Block des Batteriemoduls bricht	17:36
40 min.	2 weitere Zellen zünden durch	17:47
43min.	Abbruch, Löscharbeiten durch IFAB	17:50 – 18:00

#### Beobachtungen:

- bei Aufplatzen der ersten Zelle Bildung einer „Dampflache“ auf der Stahlplatte unter dem Batteriemodul (Bild 13)
- starkes Wegsprühen von kleinen / größeren Teilchen während der Zellexplosionen (Bild 14)
- maximale Temperatur am „Autodach“: 855°C
- nach Ablöschen am Ende min. 2 Zellen scheinbar noch intakt/geschlossen
- Batterie-Modul in zwei Hälften zerfallen (Bild 15) → in Folgeversuchen mit Draht umwickelt
- Materialmix-Auto fast vollständig verbrannt (Bild 16)



**Bild 13: „Dampfplatte“ nach Aufplatzen der ersten Zellen**



**Bild 14: Wegsprühen von Teilchen während der Zellexplosionen**





**Bild 15: Versuch 1 – zerfallenes Batteriemodul**



**Bild 16:**

**Versuch 1- Materialmix vollständig verbrannt, Aluwanne geschmolzen**

## Versuch 2: nur mit Sprinkler

Versuchsstart: 24.03.2021 – 10:23 Uhr

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.		
2 min.	Heizplatte an (1440W)	10:25
9 min.	Heizplatte reduziert (600W)	10:32
28 min.	Gasfreisetzung mit sofortiger Durchzündung der ersten Zelle(n), Heizplatte aus	10:53
28...29 min.	2. und 3. Zelle zünden durch	10:54
29 min.	Sprinkler an	10:54
29:30 min	erste Gasprobennahme	10:54
31 min.	4. Zelle zündet durch	10:56
32 min.	5. Zelle zündet durch	10:57

33 min.	6. Zelle zündet durch	10:58
33:30 min	zweite Gasprobennahme	10:58
37 min.	Abbruch Löscharbeiten durch IFAB	11:02
37 min.	7. Zelle zündet durch	11:02

**Beobachtungen:**

- Maximale Temperatur am „Autodach“: 311°C
- 3...4 Zellen scheinbar noch intakt/geschlossen
- Materialmix-Auto vollständig verbrannt / geschmolzen, Aluwanne aber noch relativ intakt (Bild 17)
- Batterie-Modul / Alurahmen durch Draht verstärkt → in einem Stück geblieben (Bild 18)



**Bild 17: Materialmix geschmolzen**



**Bild 18: Rest Batteriemodul nach Versuch 2**

## Versuch 3: nur mit Brandbegrenzungsdecke (Typ A)

Versuchsstart: 24.03.2021 – 13:26

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	13:26
7 min.	Heizplatte reduziert (600W)	13:33
22 min.	Erste Zelle(n) platzt auf, Gasfreisetzung	13:48
22...27 min.	H <sub>2</sub> Detektierung	13:48...13:53
27 min.	Gase zünden durch, starke Explosion, Heizplatte aus	13:53
27...28 min.	3. Zelle zündet durch	13:53...13:54
28 min.	Decke über kompletten Versuchsaufbau, Sicherung durch Auflegen von Schienen (Bild 19) 4. Zelle zündet durch	13:54
30 min.	5. Zelle zündet durch	13:56
30:30 min	erste Gasprobennahme	
31 min.	Durchzündung von Gasen	13:57
34 min.	6. Zelle zündet durch	14:00
35 min.	7. Zelle zündet durch	14:01
35:30 min	zweite Gasprobennahme	
37 min.	8. Zelle zündet durch	14:03
38 min.	9. Zelle zündet durch	14:04
43 min.	10. Zelle zündet durch	14:09
44 min.	11. Zelle zündet durch	14:10
47 min.	Decke entfernen	14:13
49 min.	Abbruch Löscharbeiten durch IFAB	14:15

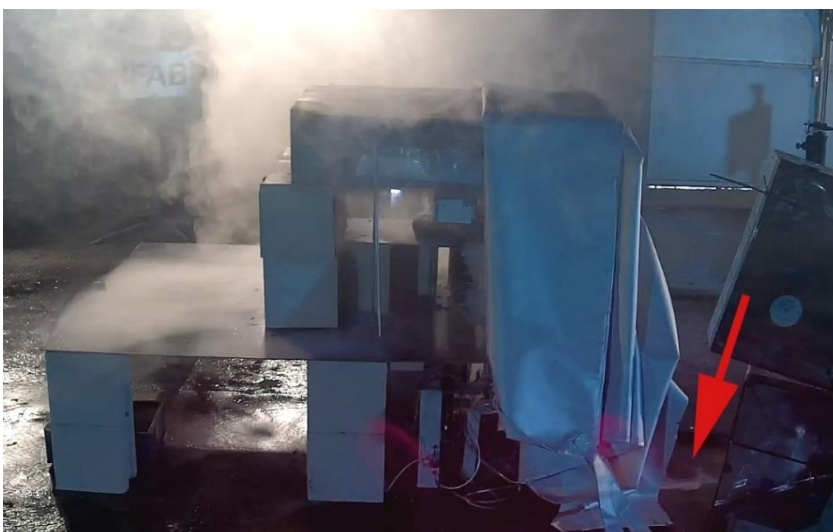




**Bild 19: Sicherung der Decke durch beidseitiges Auflegen von Schienen**

**Beobachtungen:**

- Nach Aufplatzen der ersten Zellen wieder „Gaslachenbildung“, auch direkt am Hallenboden (Bild 20)
- 5 Minuten zwischen Beginn Gasfreisetzung und Durchzündung → starke Explosion
- immer wieder Explosionen unter der Decke → Halteschienen werden weggeschleudert (Bild 21)
- Gelegentlich brechen Rauchwolken unter Decke hervor, zünden dabei meistens durch (Bild 22)
- Maximale Temperatur am „Autodach“: 217°C
- scheinbar alle Zellen durchgezündet
- kein Feuer mehr zu sehen nach Entfernen der Decke, keine Rückzündung
- Materialmix-Auto nur etwas angeschmolzen (Bild 23)
- Batterie-Modul / Alurahmen durch Draht verstärkt → in einem Stück geblieben (Bild 24)
- Decke nach Versuch scheinbar unversehrt (Bild 25), Probe zur Analyse herausgeschnitten



**Bild 20:**  
Gasfreisetzung nach Aufplatzen  
der ersten Zellen,  
Gaslachenbildung auch am  
Boden (Pfeil)



**Bild 21: Durchzündung unter der Decke, Wegschleudern der Halteschienen**



**Bild 22:  
Entweichen von Rauchgasen mit  
Durchzündung**



**Bild 23: Materialmix nach Versuch 3**



**Bild 24: Batteriemodul im Wasserbad nach Versuch 3**



**Bild 25: Typ-A-Decke nach Versuch 3**

### Versuch 4: erst Sprinkler an, Decke (Typ A) folgend

Versuchsstart: 24. 03. 2021 – 15:27 Uhr

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	15:27
6 min.	Heizplatte reduziert (600W)	15:33
26 min.	Gasfreisetzung	15:53
26...27 min.	3 Zellen zünden durch, Heizplatte aus	15:53...15:54
27 min.	Sprinkler an	15:54
28 min.	4. Zelle zündet durch	15:55
28 min.	Decke über kompletten Versuchsaufbau	15:55
29 min.	5. Zelle zündet durch	15:56
30 min.	6. Zelle zündet durch	15:57
32...33 min.	7. – 9. Zelle zündet durch	15:59...16:00
34 min.	10. Zelle zündet durch	16:01
36 min.	Abbruch Sprinkler aus Decke entfernen	16:03
39 min.	Löscharbeiten durch IFAB	16:06

#### Beobachtungen:

- nach Abdeckung immer wieder Ausbrechen von Gaswolken an ungesicherten Stellen, jedoch ohne Durchzündung, Halteschienen bleiben bis zum Schluss liegen
- sehr starke Verrauchung des gesamten Raumes, starke Sichtbehinderung



- Maximale Temperatur am „Autodach“: 315°C
- nach Abnahme der Decke noch kleines Feuer im Batteriemodul erkennbar (Bild 26), aber keine stärkere Neuentzündung
- scheinbar 10 Zellen durchgezündet
- Materialmix-Auto nur etwas angeschmolzen (Bild 27)
- Batterie-Modul / Alurahmen durch Draht verstärkt → in einem Stück geblieben (Bild 28)
- Brandbegrenzungsdecke nach Versuch augenscheinlich unversehrt



**Bild 26: kleine Flammen im Batteriemodul nach Abnehmen der Decke**



**Bild 27: Materialmix nach Versuch 4**



**Bild 28: Batteriemodul im Wasserbad nach Versuch 4**

## Versuch 5: erst Abdeckung mit Decke (Typ A) und Sprinkler folgend

Versuchsstart: 25.03.2021 – 09:21

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	09:21
7 min.	Heizplatte reduziert (600W)	09:28
24 min.	Gasfreisetzung	09:45
25 min.	1. Zelle zündet durch, Heizplatte aus	09:46
25...26 min.	2. und 3. Zelle zünden durch	09:46...09:47
26 min.	Decke über Versuchsaufbau, Sicherung durch aufgelegte Schienen	09:47
27 min.	Sprinkler an	09:48
27 min.	4. Zelle zündet durch	09:48
28 min.	5. Zelle zündet durch	09:49
28:30 min	erste Gasprobennahme	09:49
29 min.	Gasfreisetzung	09:50
30 min.	Gasfreisetzung	09:51
31 min.	8. Zelle zündet durch	09:52
31:30 min	zweite Gasprobennahme	09:52
33 min.	Abbruch, Sprinkler aus	09:54
34 min.	Decke entfernen	09:55
34 min.	9. Zelle zündet durch	09:55
35 min.	10. Zelle zündet durch	09:56
35 min.	Löscharbeiten durch IFAB	09:56

### Beobachtungen:

- vor Auflegen der Decke bei ersten Zellexplosionen Wegfliegen von Teilchen gut zu beobachten (Bild 29)
- nach Auflegen Explosion unter der Decke → eine Halteschiene wird weggeschleudert, (ganz kurz VOR Einschalten des Sprinklers)
- auch noch mehrere Minuten nach Einschalten des Sprinklers entweichen von Gasen unter der Decke mit Durchzündung (Bild 30)
- sehr starke Verrauchung des gesamten Raumes, starke Sichtbehinderung
- maximale Temperatur am „Autodach“: 237°C
- starke Flammenbildung und Durchgehen weiterer Zellen nach Entfernen der Decke
- scheinbar alle Zellen durchgezündet
- Materialmix-Auto nur etwas angeschmolzen (Bild 31)
- Batterie-Modul / Alurahmen durch Draht verstärkt → in einem Stück geblieben
- Brandbegrenzungsdecke nach Versuch augenscheinlich unversehrt



**Bild 29: Durchzünden von Zellen, Wegfliegen von Teilchen, vor Auflegen der Brandbegrenzungsdecke**



**Bild 30: Entweichen von Gasen mit Durchzündung**





**Bild 31: Materialmix nach Versuch 5**

## Versuch 6: nur mit Brandbegrenzungsdecke (Typ B)

Versuchsstart: 25.03.2021 – 10:53

Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	10:53
6 min.	Heizplatte reduziert (600W)	10:59
22 min.	Gasfreisetzung	11:15
25 min.	1. Zelle zündet durch, Heizplatte aus	11:18
25...26 min.	2. – 4. Zelle zünden durch	11:18...11:19
26 min.	Decke über Versuchsaufbau, Sicherung durch Auflegen von Halteschienen	11:19
27 min	erste Gasprobennahme	11:20
26...27 min.	5. Zelle zündet durch	11:19...11:20
28...29 min.	2x Gasfreisetzung	11:21...11:22
31 min	zweite Gasprobennahme	11:24
32...33 min.	8. und 9. Zelle zünden durch	11:25...11:26
35 min.	10. Zelle zündet durch	11:28
36...37 min.	11. und 12. Zelle zünden durch	11:29...11:30
38 min.	Decke entfernen	11:31
39 min.	Löscharbeiten durch IFAB	11:32

### Beobachtungen:

- Nach Aufplatzen der ersten Zelle deutliche „Gaslachenbildung“
- Zu diesem Versuch gibt es ein Video mit Tonspur. Man hört deutlich das Aufplatzen der ersten Zelle, bis zur Zündung hört man keine weiteren Knallgeräusche
- 3 Minuten zwischen Beginn Gasfreisetzung und Durchzündung → starke Explosion, vorbereitend hingelegte Brandbegrenzungsdecke fliegt weg
- immer wieder unvermittelt stärkere Explosionen unter der Decke → Halteschienen werden weggeschleudert,
- gelegentlich brechen Rauchwolken unter Decke hervor, zünden dabei durch, deutliches Auffliegen der Decke, auch nach oben (Bild 32)
- maximale Temperatur am „Autodach“: 217°C
- nach Abnehmen der Decke noch ganz kleine Flammen im Batteriemodul, werden nicht größer
- scheinbar alle Zellen durchgezündet
- Materialmix-Auto nur etwas angeschmolzen
- Batterie-Modul / Alurahmen durch Draht verstärkt → in einem Stück geblieben
- Brandbegrenzungsdecke nach Versuch augenscheinlich unversehrt (Bild 33)



Bild 32: Durchzünden entweichender Gase, dabei Auffliegen der Decke



**Bild 33: Brandbegrenzungsdecke nach Versuch – Probe herausgeschnitten**

## Versuch 7: erst Sprinkler an, Decke (Typ B) folgend

Versuchsstart: 25.03.2021 – 12:53

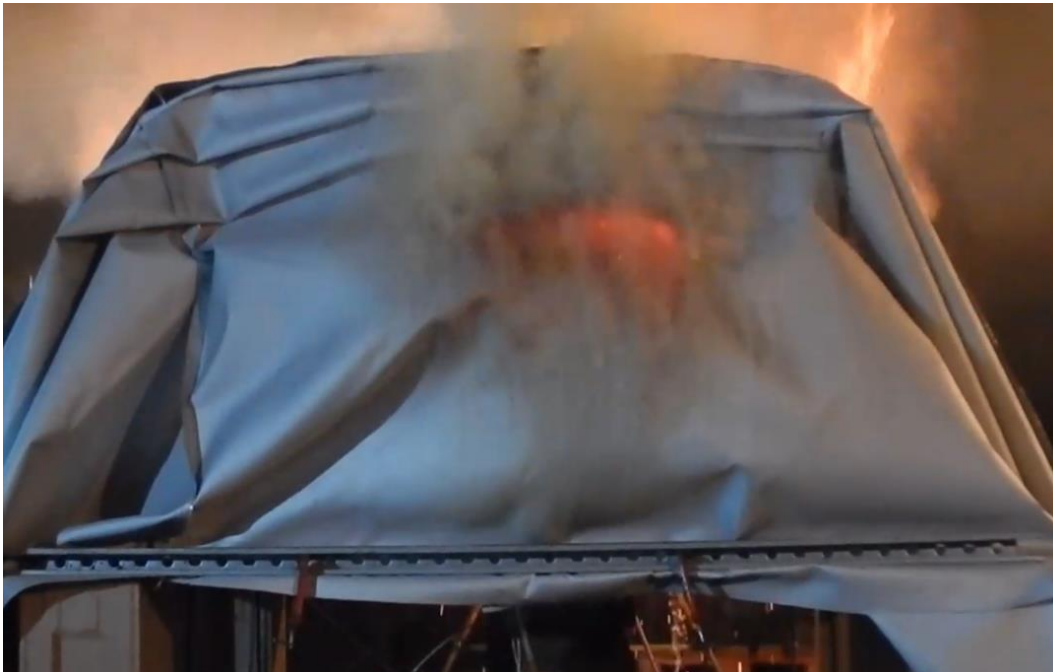
Zeitlicher Verlauf	Aktion	Uhrzeit
0 min.	Heizplatte an (1440W)	12:53
7 min.	Heizplatte reduziert (600W)	13:00
21 min.	Gasfreisetzung	13:14
25 min.	Gasfreisetzung	13:18
26 min.	1...3 Zellen zündet durch, Heizplatte aus	13:19
27 min.	Sprinkler an	13:20
27 min.	4. Zelle zündet durch	13:20
27 min.	Decke über Versuchsaufbau	13:20
27:30 min	erste Gasprobennahme	13:20
28...29 min.	5...7. Zelle zündet durch	13:21...13:22
34 min.	8. Zelle zündet durch	13:27
35 min.	9. Zelle zündet durch	13:28
36 min	Zweite Gasprobennahme	13:29
50 min.	Sprinkler aus	13:43
52 min.	Decke entfernen	13:45
53 min.	Löscharbeiten durch IFAB	13:46

### Beobachtungen:

- Zu diesem Versuch gibt es ein Video mit Tonspur. Man hört deutlich das Aufplatzen von zwei Zellen innerhalb der ersten Minuten vor der Zündung



- „Durchglüh-Stellen“ beim ersten Durchzünden, VOR Anschalten des Sprinklers und VOR vollständigem Abdecken des Batteriemoduls mit der Decke! (Bild 34),
- auch nach Abdecken und nach Anschalten Sprinkler Entstehung solcher „Durchglüh-Stellen“, bei nachfolgender Explosion unter der Decke dann dort größeres Loch (Bild 35)
- sehr starke Verrauchung des gesamten Raumes, starke Sichtbehinderung
- maximale Temperatur am „Autodach“: 115°C
- kein Feuer mehr nach Entfernen der Decke
- nicht alle Zellen durchgezündet
- Materialmix-Auto nur etwas angeschmolzen (Bild 36)
- Brandbegrenzungsdecke hat größere Löcher (Bild 37)



**Bild 34: Durchglühstellen an der Decke, vor Einschalten des Sprinklers und vor vollständiger Abdeckung**



**Bild 35: Durchglüh-Stellen an der Decke (Nach Einschalten des Sprinklers und nach kompletter Abdeckung), Loch an dieser Stelle nach späterer Explosion**



**Bild 36: Materialmix nach Versuch 7**



**Bild 37: Brandbegrenzungsdecke nach Versuch 7**

## Zusammenfassung

In einer Versuchsreihe wurden Real-Versuche zum Verhalten von Brandbegrenzungsdecken und / oder Sprinkleranlagen bei der Bekämpfung von Li-Ionen-Batteriebränden durchgeführt. Dabei ergaben sich folgende Beobachtungen und Erkenntnisse:

- Die Batteriemodule wurden mit einer Heizplatte überhitzt. Die ersten Reaktionen (Gasfreisetzung bzw. Zündung) der Batteriemodule traten relativ gut reproduzierbar nach 22 – 27 min auf.
- Auch prismatische Zellen zeigen bei der Explosion ein deutliches Wegschleudern von kleinen und größeren Teilchen (Video: Wegfliegen\_Funken).
- Beim Aufplatzen der Zellen tritt ein weißes Fluid aus – vermutlich handelt es sich dabei um schwere Dämpfe des Elektrolyten (Video: Dampfachen).

- Brandbegrenzungsdecken können das Weiterlaufen des thermal runaways im Batteriemodul nicht aufhalten. Sie können aber das Wegfliegen von Teilchen stark begrenzen und somit die Ausbreitung des Feuers verhindern bzw. verlangsamen.
- Brandbegrenzungsdecken können das Übergreifen des Batteriebrandes auf andere Bereiche des Fahrzeuges stark reduzieren. Bei allen Versuchen, bei denen eine Brandbegrenzungsdecke eingesetzt wurde, war der unter der Decke platzierte Materialmix kaum angebrannt. Wurde keine Decke verwendet, war dieses Material komplett verbrannt. Durch Nutzung einer Brandbegrenzungsdecke kann der Brand demnach relativ gut auf den Ort der Batterie begrenzt werden. Dies ist auch an den gemessenen Temperaturen erkennbar.
- Eine Brandbegrenzungsdecke hält nicht dicht. Immer wieder kommt es – ohne Vorwarnung - zu zum Teil heftigen Gasausbrüchen unter der Decker hervor, oft mit Durchzündung dieser Gase. Einsatzkräfte in der Nähe müssen dies wissen – es gibt keinen „ungefährdeter Aufenthalt“ in der Nähe eines abgedeckten Elektrofahrzeuges! (Video: Auffliegen\_Decke)
- Auch mit Einsatz einer Brandbegrenzungsdecke kommt es zu starker Rauchgasansammlung außerhalb der Decke. Dieser Effekt ist noch stärker bei zusätzlichem Einsatz einer Sprinkleranlage – es kommt zu einer nahezu vollständigen Verrauchung.
- Bei einer direkten Beaufschlagung mit einer austretenden Stichflamme aus einem Batteriemodul kann, je nach Art der Löschdecke, Material der Decke durchglühen und es können Löcher entstehen. (Video: Glueffekt\_Loch)
- Nach Entfernen der Brandbegrenzungsdecke kann die Reaktion im Batteriemodul noch weiter gehen. Das hängt vor allem davon ab, ob noch nicht abreagierte Zellen vorhanden sind.

Die Ergebnisse der Gasmessungen bzw. der chemischen Untersuchungen der Ablagerungen auf den Brandbegrenzungsdecken und Metallprobenplättchen sowie detaillierte Temperaturmesswerte werden gesondert publiziert.

## Danksagung

Das ALBERO- Konsortium bedankt sich bei

- dem Institut für angewandte Brandschutzforschung (IFAB) für die Begleitung der Versuche
- der Opel Automobile GmbH und Stellantis für die Bereitstellung der Batteriemodule
- der „Typ A GmbH“ für die Bereitstellung einer Löschdecke
- der „Typ B GmbH“ für die Bereitstellung einer Löschdecke
- dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Projektes