



# Brand- und Löschversuche mit Elektro-PKW

## Bekämpfung von Bränden bei Elektrostraßenfahrzeugen

Dr. Daniel Butscher, Dr. Michael Neske,  
Dr. Julia Kaufmann, M.Sc. Christoph Vogel

# Projektziele

- Brand- und Löschversuche mit 12 vollelektrischen Fahrzeugen (BMW, Opel, Volkswagen)
- Bewertung der Wirksamkeit unterschiedlicher Brandbekämpfungsstrategien anhand von Messwerten (Löschwasservolumen, Einsatzzeit, Temperatur, Wärmestrahlung)
  - Zunächst bei Vollbrandszenarien
  - Batteriebrand ist Ausgangspunkt der Brandentwicklung
- Untersuchte Brandbekämpfungsstrategien entnommen aus:
  - FW-spezifische MB, Fachliteratur, Expertenbefragungen und den eigenen langjährigen Erfahrungen
  - Datenlage der seinerzeit verfügbaren MB sehr dünn und äußerst konservativ

# Projektziele

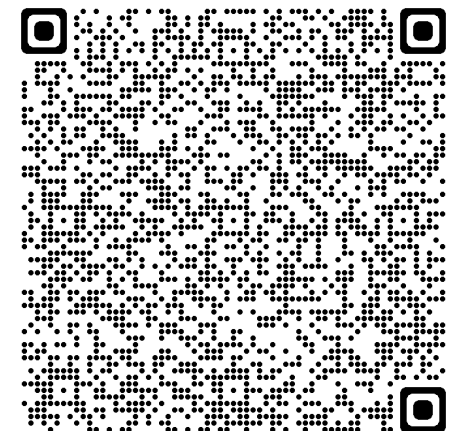
**Wichtig – insbesondere für die Feuerwehren – war:**

- Versachlichung der Diskussion durch Experimentaldaten
- Schaffung einer soliden Datenbasis, um
  - in der Praxis angewendete Techniken und Taktiken zu verifizieren,
  - brennende Fragen zu beantworten,
  - mögliche „Mythen“ zu widerlegen.
- **Vorschläge** zur Einsatztaktik (nicht rechtlich bindend!)

Abschlussbericht



Heyrothsberger Manuskript



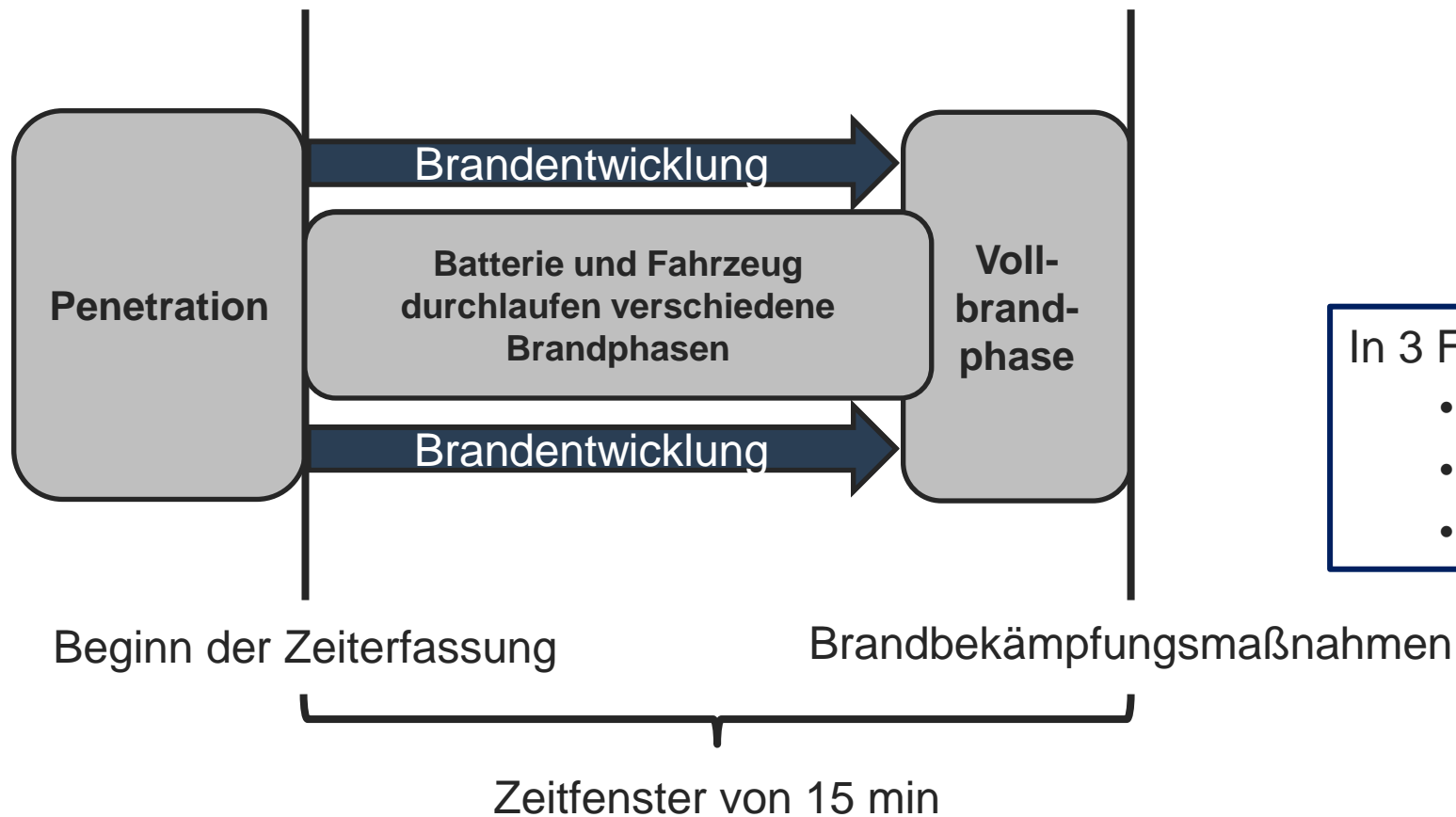
# Versuchsdurchführung

- Untersuchte Löschtechniken und –taktiken

Brandbekämpfungsstrategien	12 Versuche
Brandbekämpfung mittels Hohlstrahlrohren (Storz C-Kupplung)	4
Löschmitteleinbringung in Batteriesysteme mittels spezieller Löschtechnik (Murer E-Löschlanze und Rosenbauer Löschesystem)	3
Externe Kühlung mittels unter dem Fahrzeug positionierter Kühlarmatur	1
Brandbegrenzungsdecke [BBK]	2
Referenzversuche (keine Brandbekämpfungsmaßnahmen)	2

# Versuchsdurchführung

- Fokus lag auf die Brandbekämpfung von Vollbränden
- Initiierung des Batteriebrandes durch Penetration mittels Metaldorn (Worst Case)
- Allgemeiner Versuchsablauf:



**interner Kurzschluss  
mit sofortiger  
Wärmefreisetzung  
und Thermal  
Runaway**

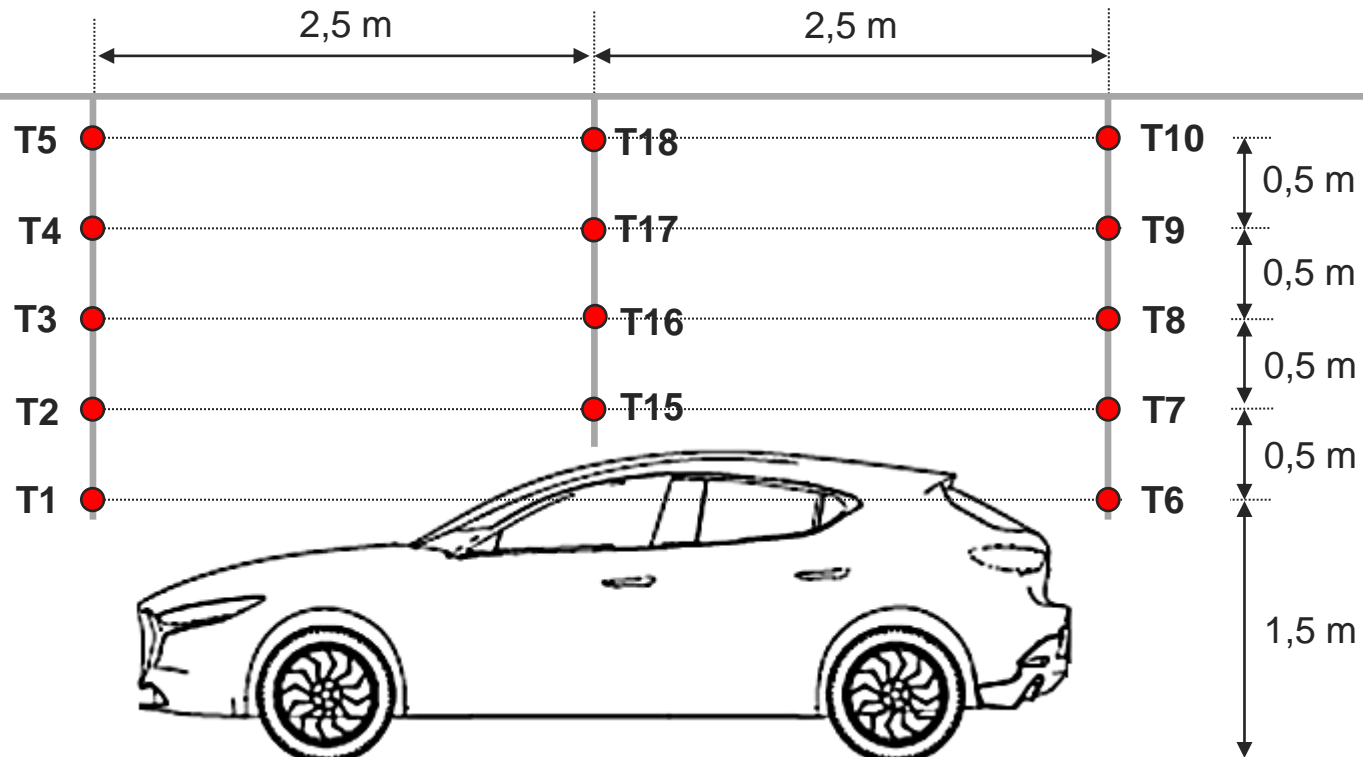
In 3 Fällen wurde davon abgewichen:

- 1 x bei 11 min (Vollbrand)
- 1 x bei 20 min (Entstehungsbrand)
- 1 x bei 25 min (Vollbrand)

# Messtechnik - Temperatur

- 18 Temperaturmessstellen (Thermoelemente Typ K)

mittlere Temperaturachse  
wurde ergänzt

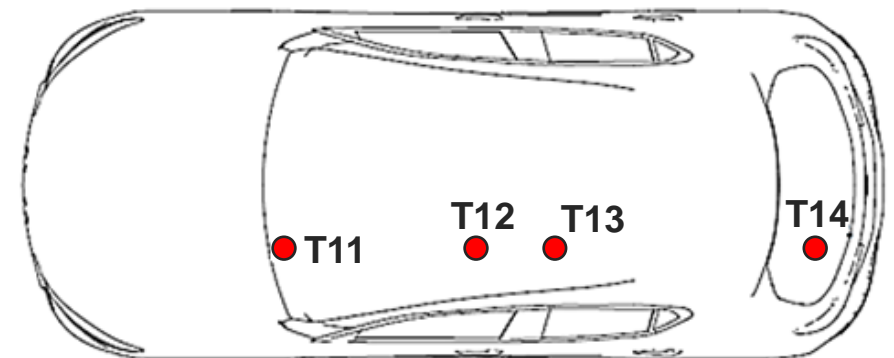
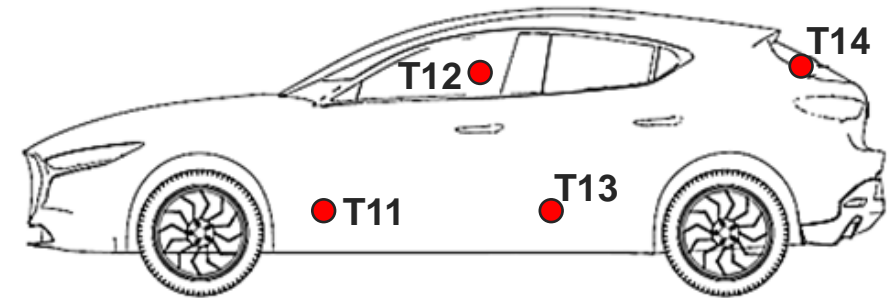


T11 - Fußbereich des Fahrers

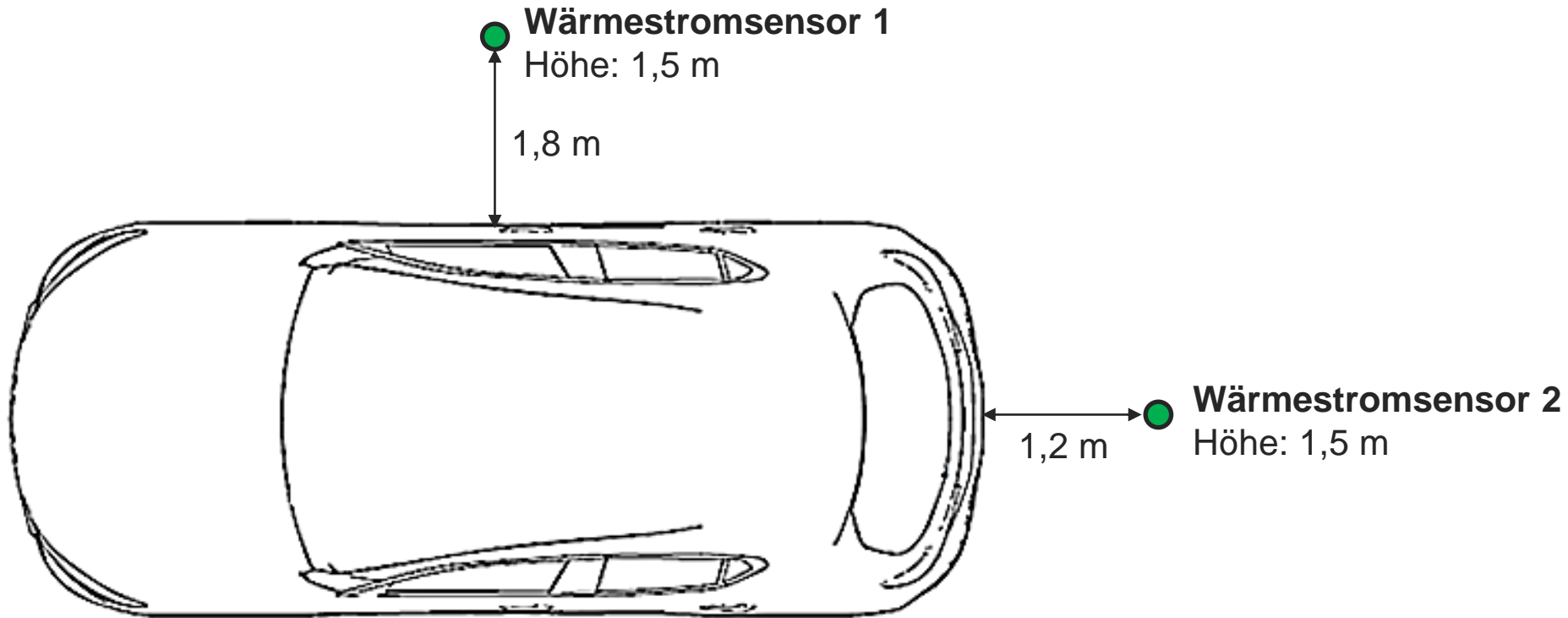
T12 - Kopfbereich des Fahrers

T13 - Boden hinter dem Fahrer

T14 - Hutablage



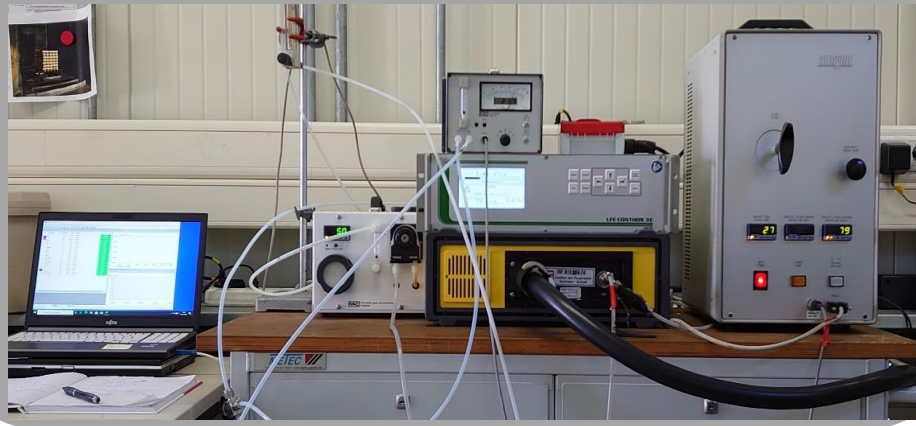
- 2 Wärmeflussaufnehmer (Beifahrerseite, Heck)



# Messtechnik – Gas- und Wasseranalyse

## Gasmessungen

CO; CO<sub>2</sub>; niedrige KW, NO<sub>x</sub>;  
NH<sub>3</sub>; SO<sub>2</sub>; HCl; HCN; HF; COF<sub>2</sub>; POF<sub>3</sub>;  
Organische Carbonate; O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>



## Analyse Lösch-, Kühl- & Tauchwasser

pH; elektrische Leitfähigkeit;  
AOX; CSB;  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; F<sup>-</sup>; Cl<sup>-</sup>; CN<sup>-</sup>; PO<sub>3</sub><sup>4-</sup>

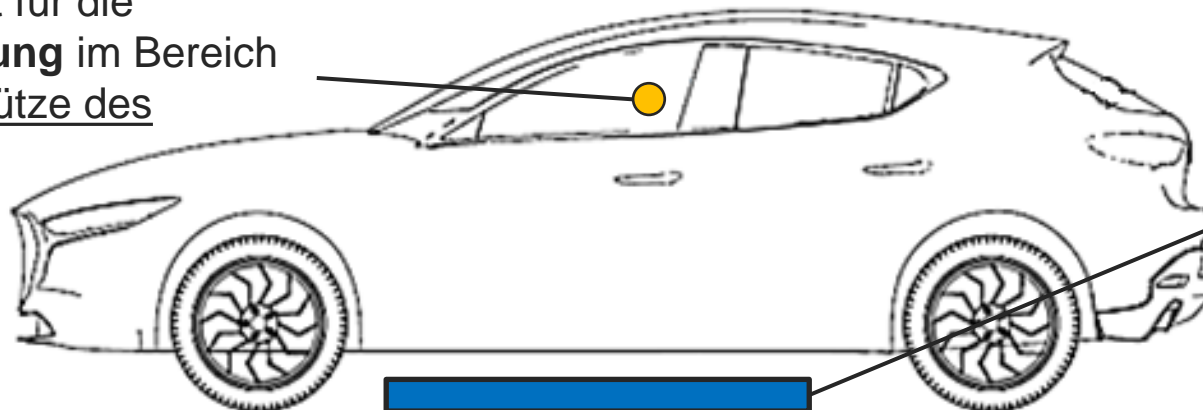
### Metalle:

Cu; Mn; Fe; Co; Ni;  
Pb; Zn; Cr; V; Li; Mg; Al

PAK



Messpunkt für die  
**Gasmessung** im Bereich  
der Kopfstütze des  
Fahrers



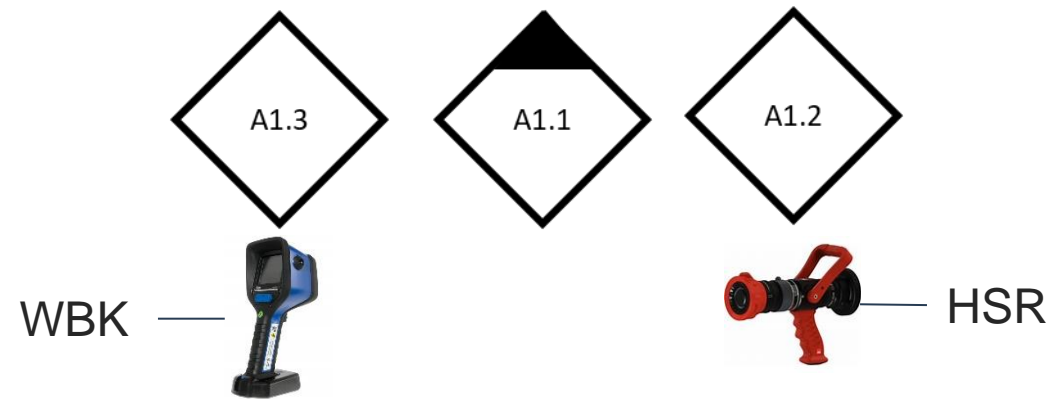
Platzierung der Auffangwanne  
für die **Analyse** des  
**Löschwassers** unter dem  
Fahrzeug



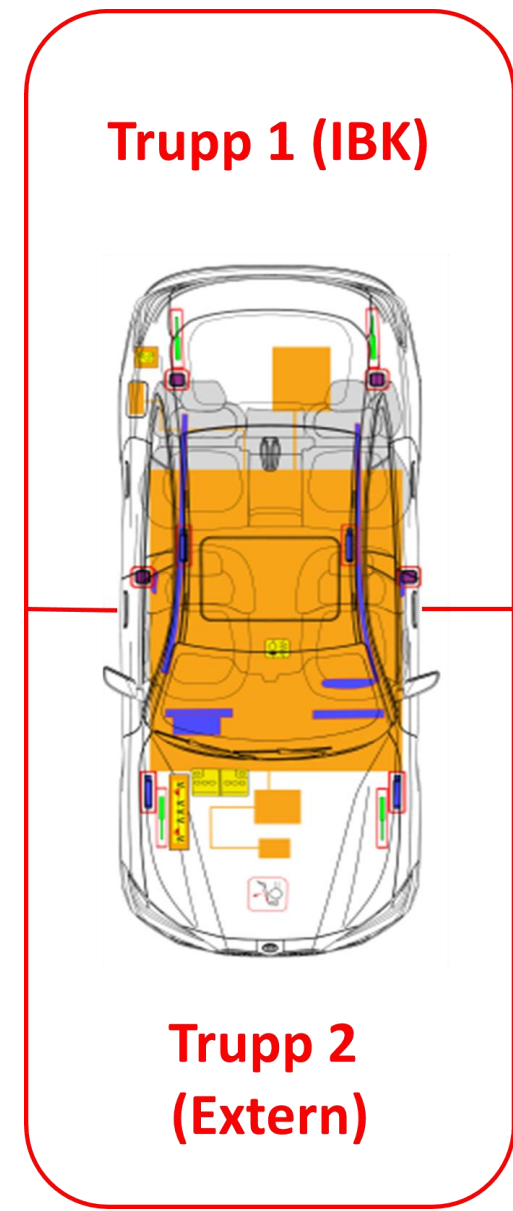
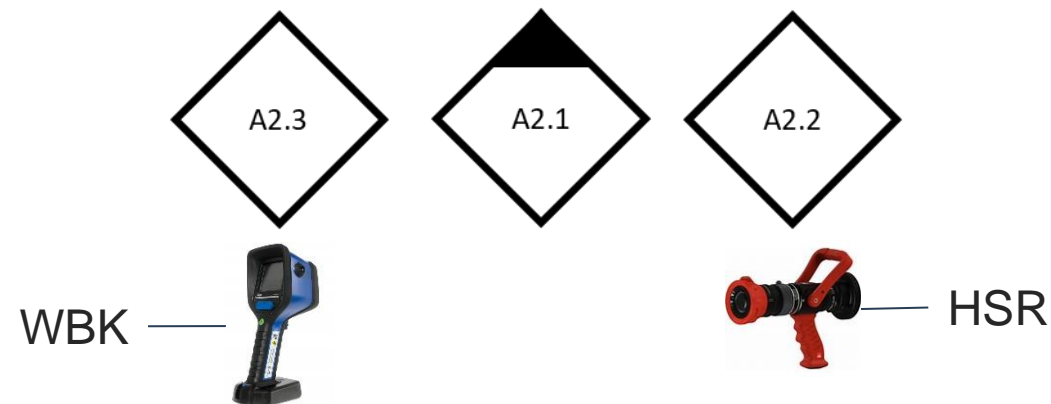
# Brandbekämpfung allgemein

- Unabhängig von den untersuchten Brandbekämpfungstechniken  
→ 2 Trupps á 3 Einsatzkräften (unter Atemschutz)

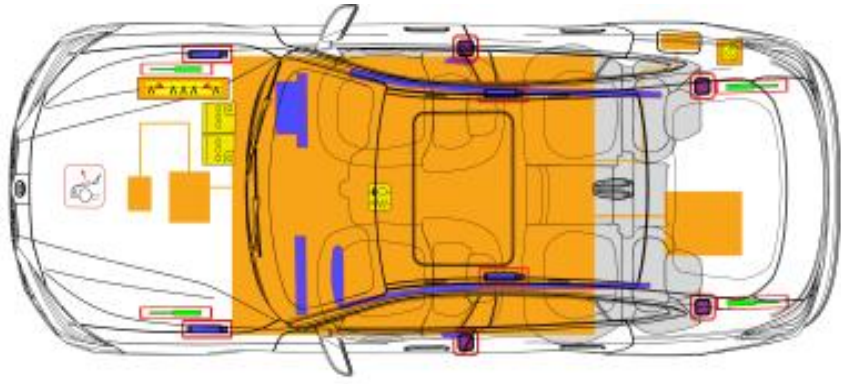
- Trupp 1 (IBK)



- Trupp 2 (BF ST, Lehrkörper IBK und WF OEM)

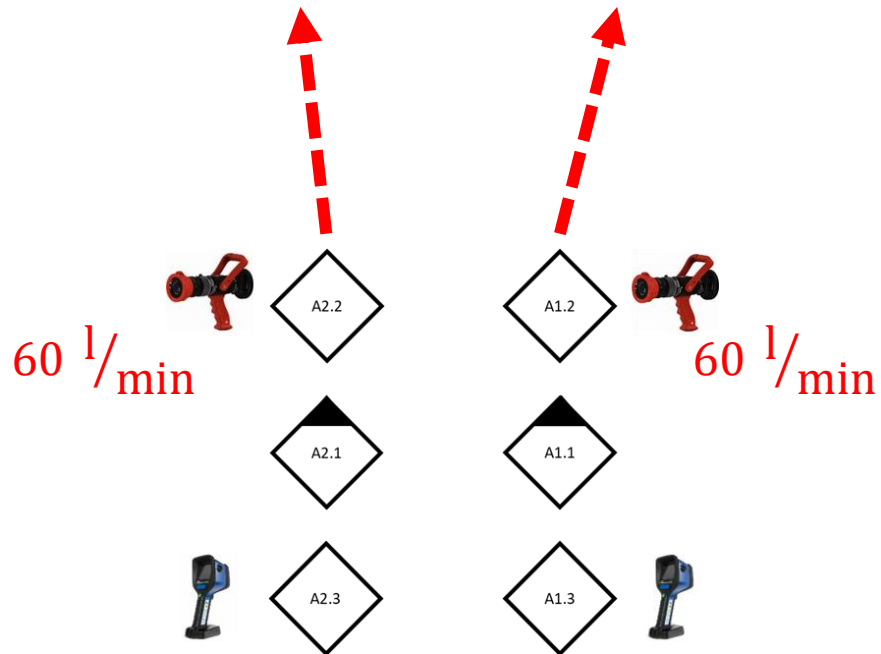


# Brandbekämpfung allgemein

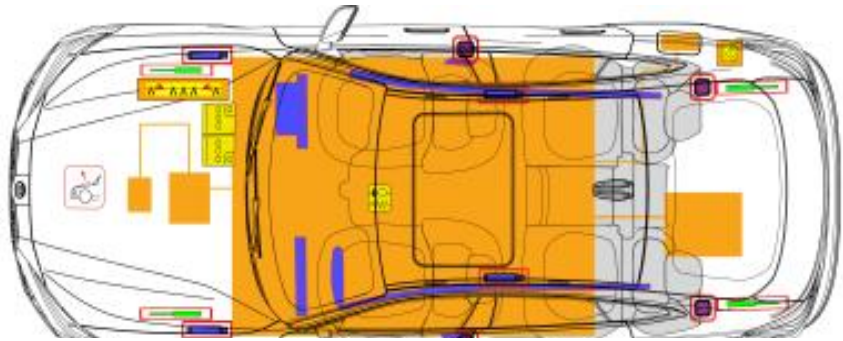


## Aufgaben (im Brandraum des IBK)

- Truppweise Vorgehen zum Brandobjekt unter Ausnutzung der Wurfweite der Strahlrohre (vorzugsweise Vollstrahl)
- Sicherheitsabstände beachten (Vollstrahl: 5 m) !



# Brandbekämpfung allgemein

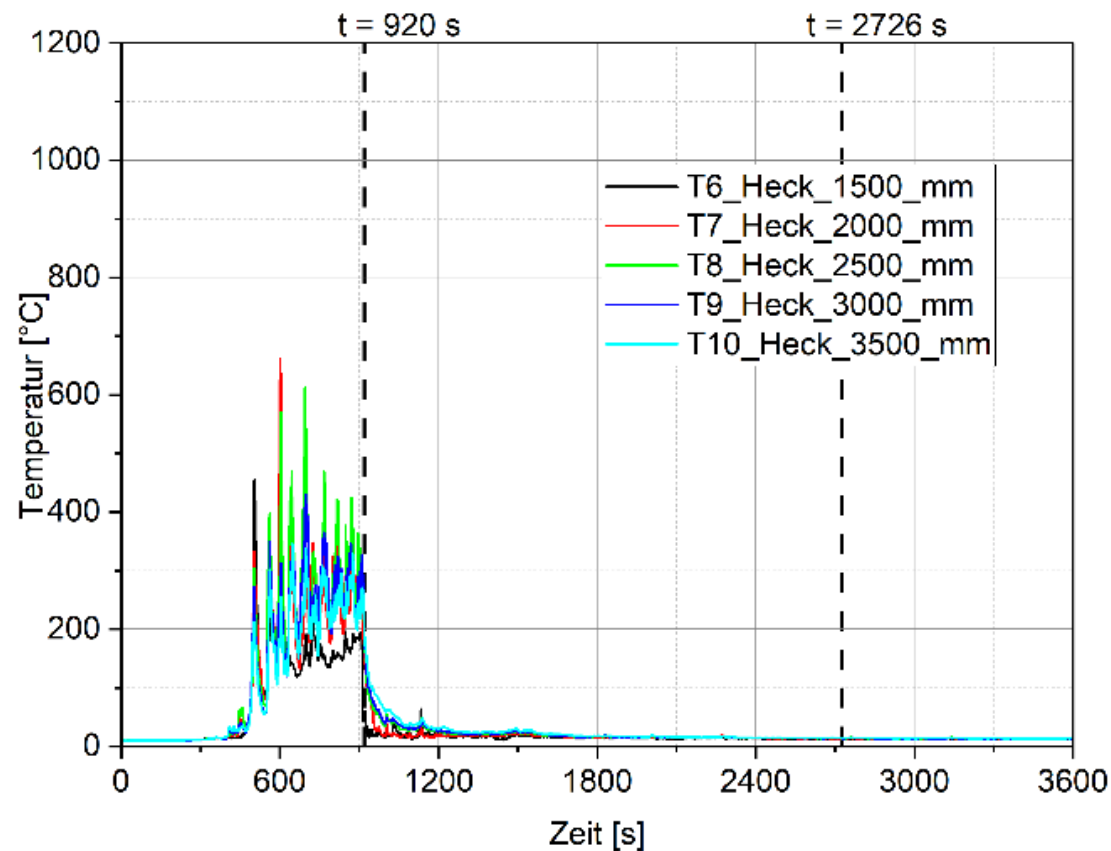


## Aufgaben (im Brandraum des IBK)

- Truppweise Vorgehen zum Brandobjekt unter Ausnutzung der Wurfweite der Strahlrohre (vorzugsweise Vollstrahl)
- Sicherheitsabstände beachten (Vollstrahl: 5 m) !

Erstes Ablöschen brennender Fahrzeugteile bei Annäherung (Radkästen, Stoßstangen, Innenraum)

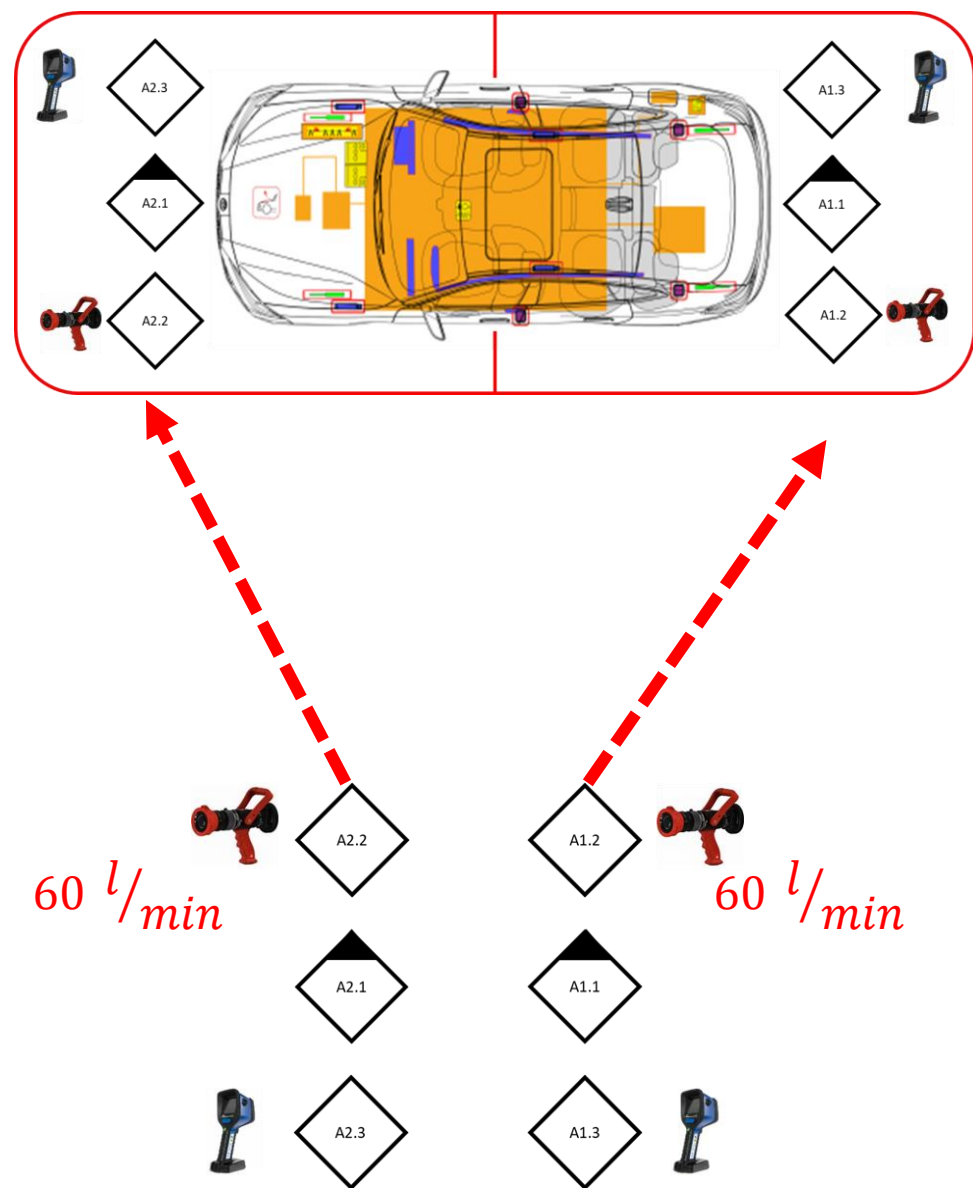
- Deutliche Reduzierung der Brandintensität
- **Vollständiges Ablöschen in dieser Phase nicht möglich, wenn Batteriesystem am Brand beteiligt ist !**



# Brandbekämpfung allgemein

## Aufgaben (im Brandraum des IBK)

- Truppweise Vorgehen zum Brandobjekt unter Ausnutzung der Wurfweite der Strahlrohre (vorzugsweise Vollstrahl)
  - Sicherheitsabstände beachten (Vollstrahl: 5 m) !
  - Erstes Ablöschen brennender Fahrzeugteile bei Annäherung (Radkästen, Stoßstangen, Innenraum)
    - Deutliche Reduzierung der Brandintensität
    - Vollständiges Ablöschen in dieser Phase nicht möglich, wenn Batteriesystem am Brand beteiligt ist !
  - Im Nahbereich, Wechsel auf Sprühstrahl
  - Sicherheitsabstände beachten (Sprühstrahl: 1 m)
- **Aufteilen auf die Fahrzeugseiten**
- **Brandbekämpfung mit unterschiedlichen Einsatzmitteln**

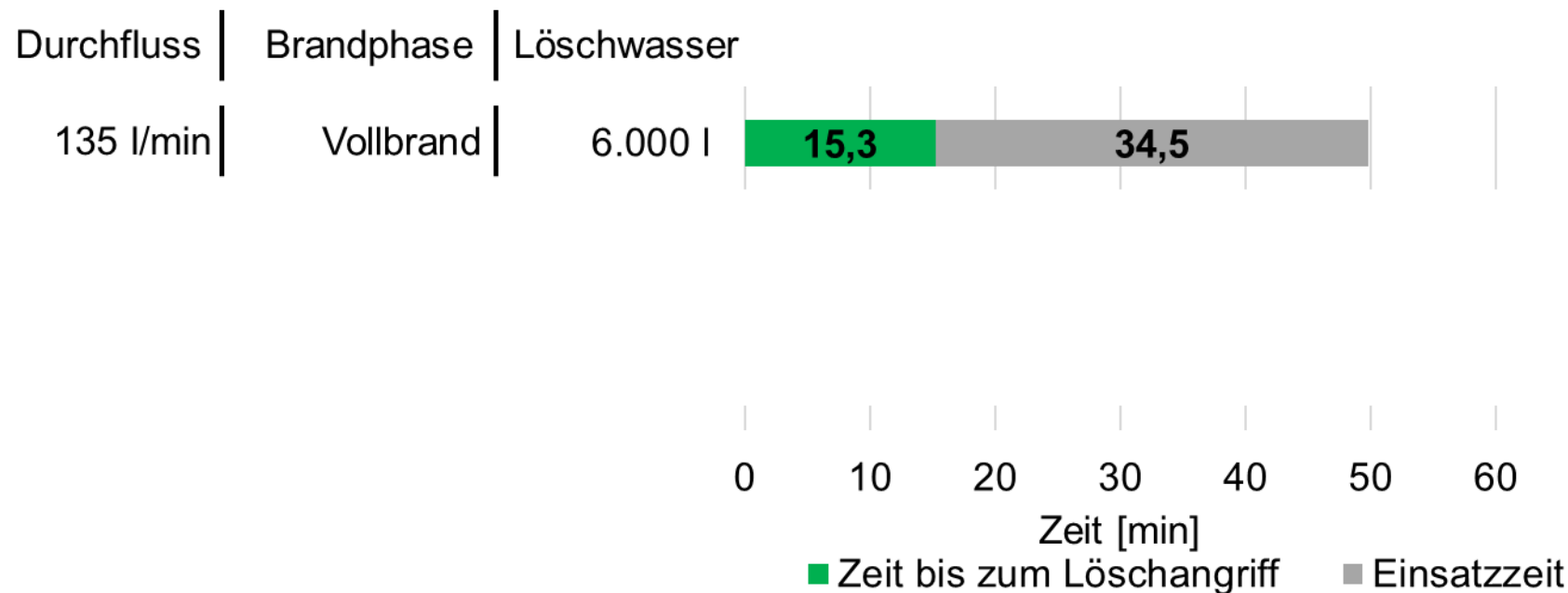


# Brandbekämpfung bei Vollbränden - Hohlstrahlrohre

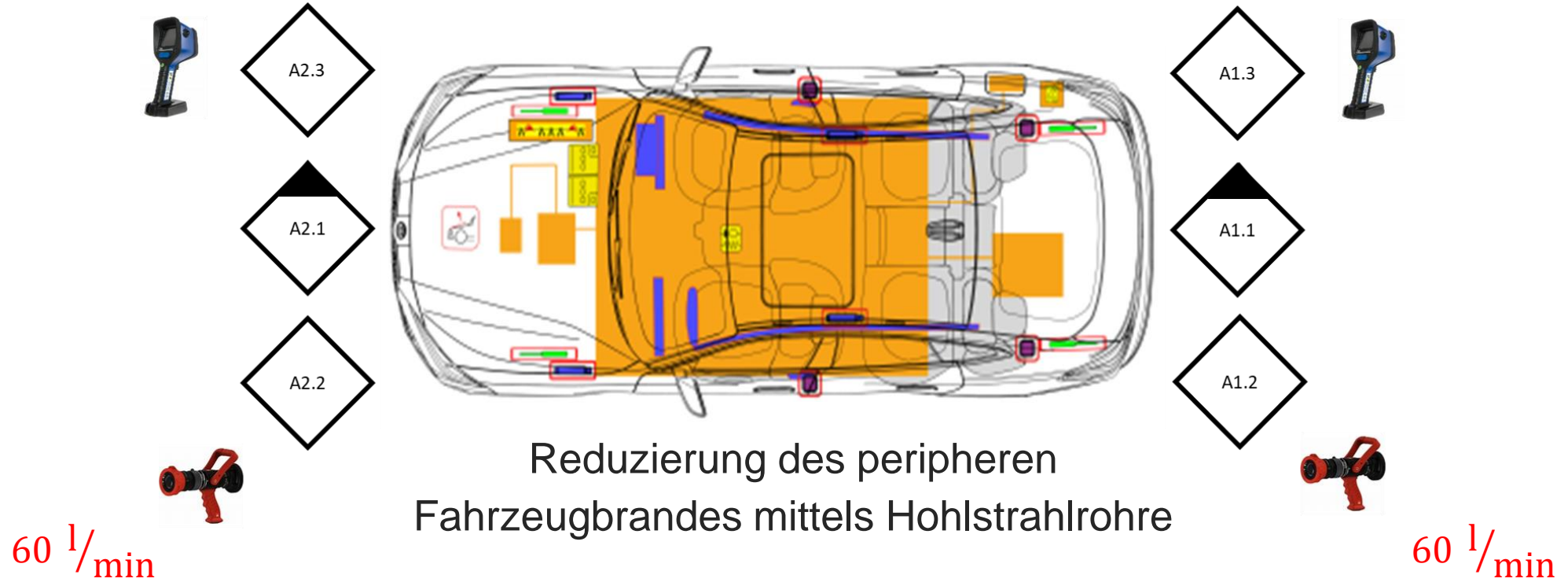
- Vorgehen im 1. Brandversuch mit **135 l/min** je Hohlstrahlrohr (HSR)
  - Großteil des Wassers fließt ungenutzt oberflächlich ab und wird nicht lösch- und kühlwirksam
- Es wurde gezeigt, dass reduzierte Volumenströme (IBK arbeitete mit **60 l/min** je Strahlrohr) zur Beherrschung der Brände ausreichen
  - Anlassbezogen kann der Volumenstrom erhöht oder reduziert werden
    - bei IBK-Versuchen war dies nicht nötig
- Bekämpfung des Batteriebrandes ist nur dann möglich, wenn über Löcher und sonstige Öffnungen Wasser in das Batteriesystem eingebracht werden kann
  - dies war in einigen Fällen möglich (Öffnungen waren meist kaum detektierbar)
  - Mehrwert gegenüber Ausbrennen lassen

# Brandbekämpfung bei Vollbränden - Hohlstrahlrohre

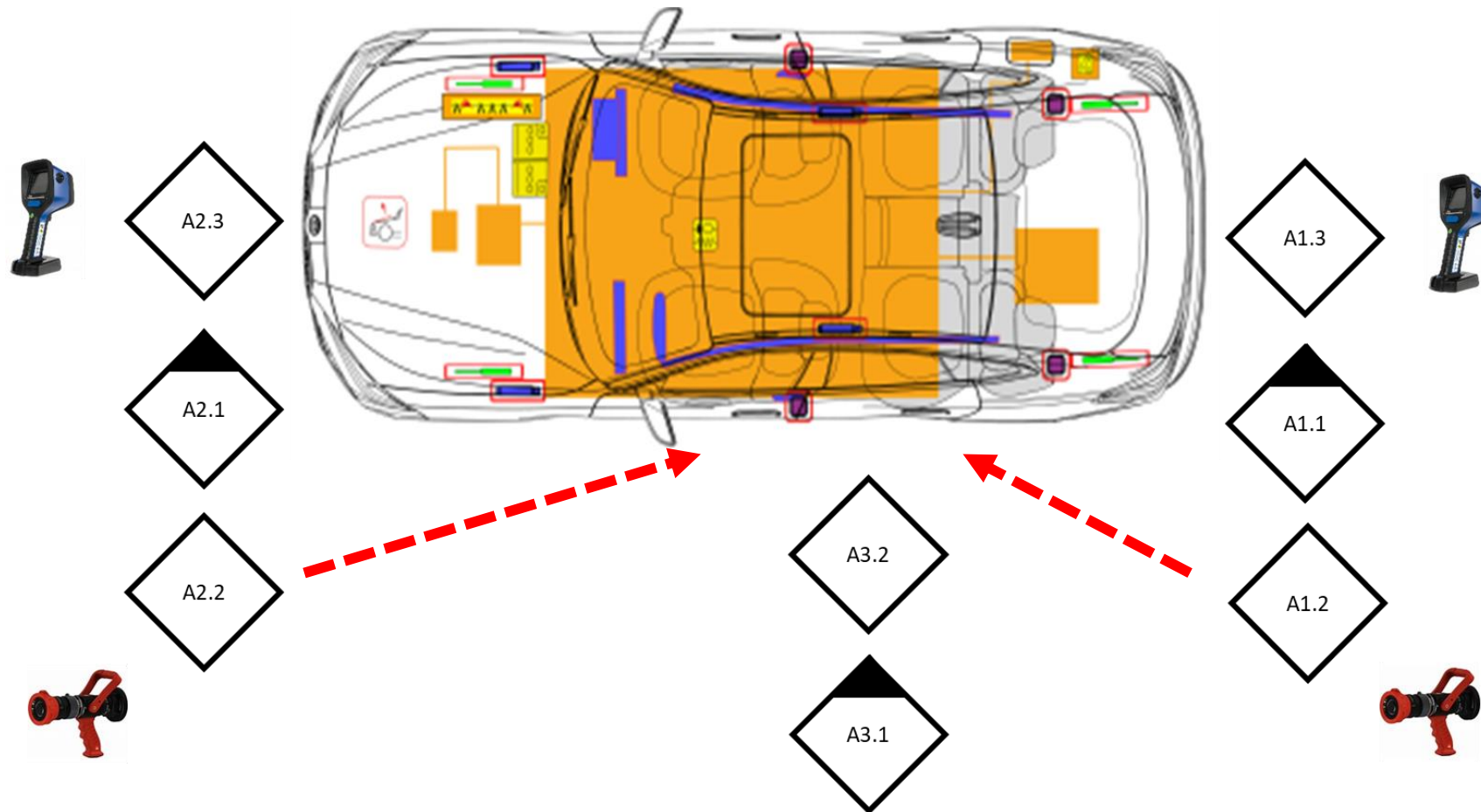
- Andernfalls muss die Einsatzaufgabe darin bestehen, die Brandausbreitung auf die Umgebung des Fahrzeugs zu verhindern
  - kontrolliertes Ausreagieren der Batterie durch reduzierten Einsatz von Wasser
- Maximalwerte für Einsatzzeit und Lösch-/Kühlwasser: 30 min, 1.550 l (bei reduziertem Durchfluss)



## Taktikschemata



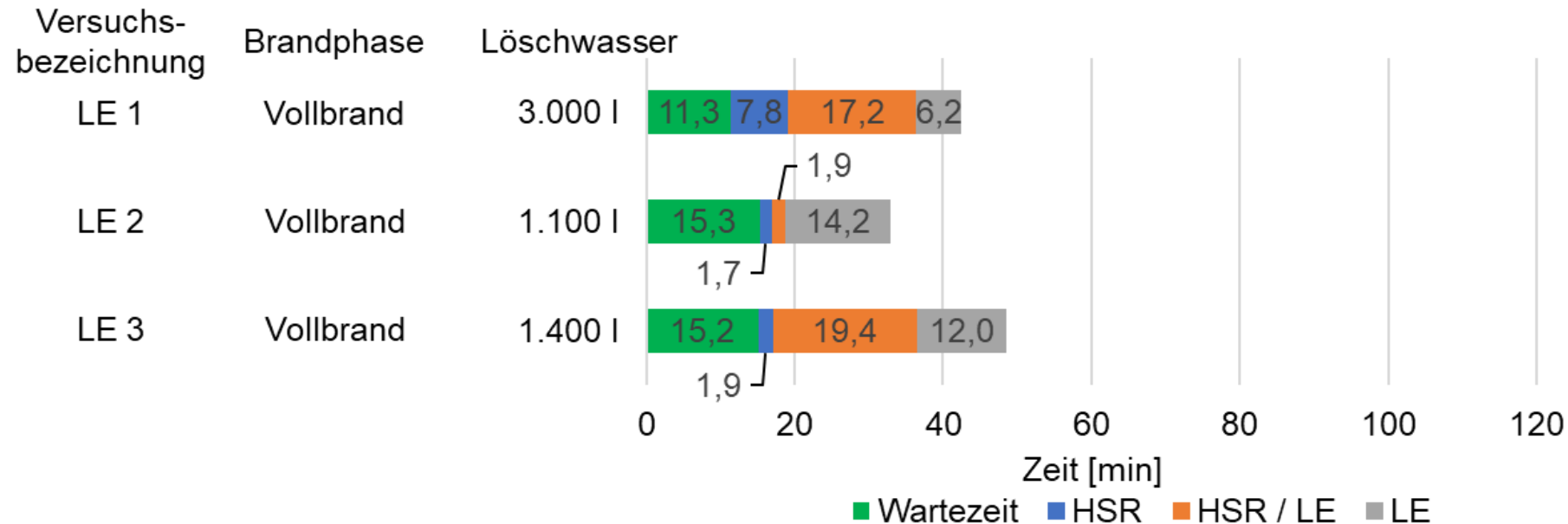
## Taktikschema





# Brandbekämpfung bei Vollbränden – Systeme zur Löschmitteleinbringung

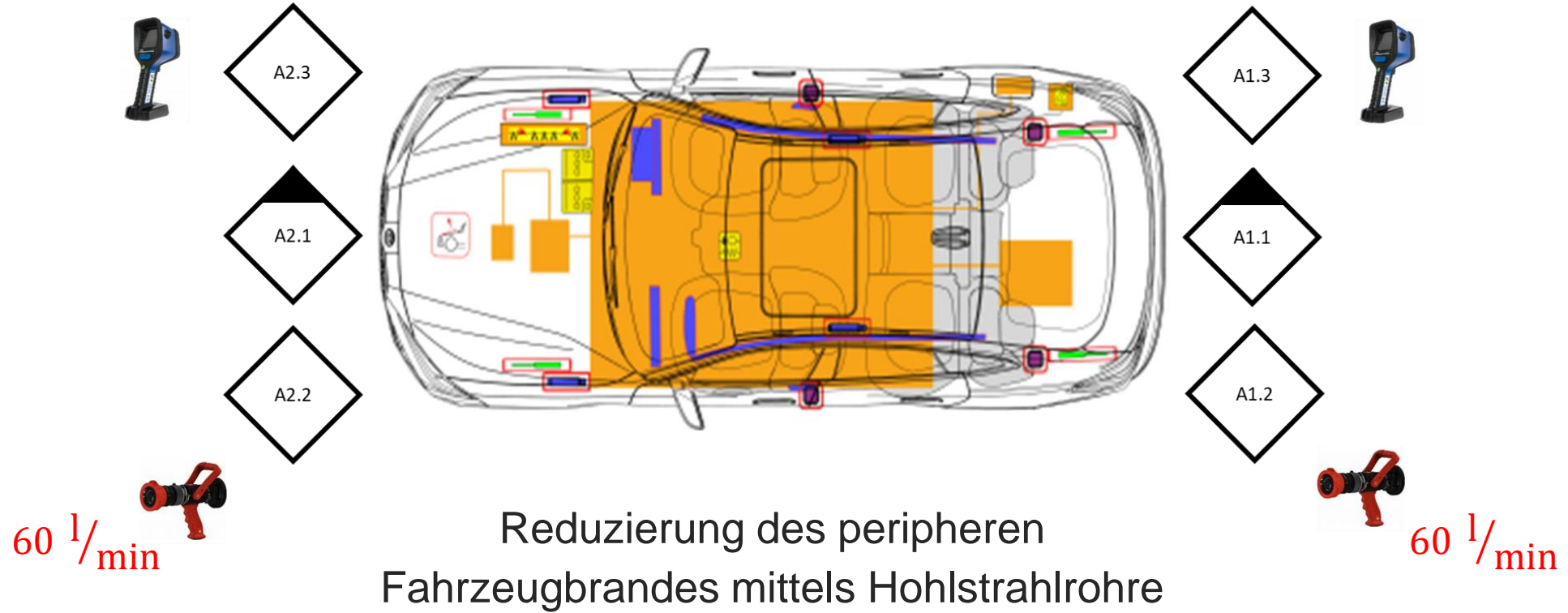
- Einsatz der Systeme nachdem peripherer Fahrzeugbrand durch Angriffstrupps reduziert wurde (Volumenstrom der Hohlstrahlrohre: 60 l/min)
- Brandintensität ging nach Anwendung der Systeme erwartbar deutlich zurück
- Maximalwerte für Einsatzzeit und Lösch-/Kühlwasser lagen bei Systemen zur Löschmitteleinbringung im Vergleich zu Hohlstrahlrohren in der gleichen Größenordnung



# Brandbekämpfung bei Vollbränden – Systeme zur Löschmitteleinbringung

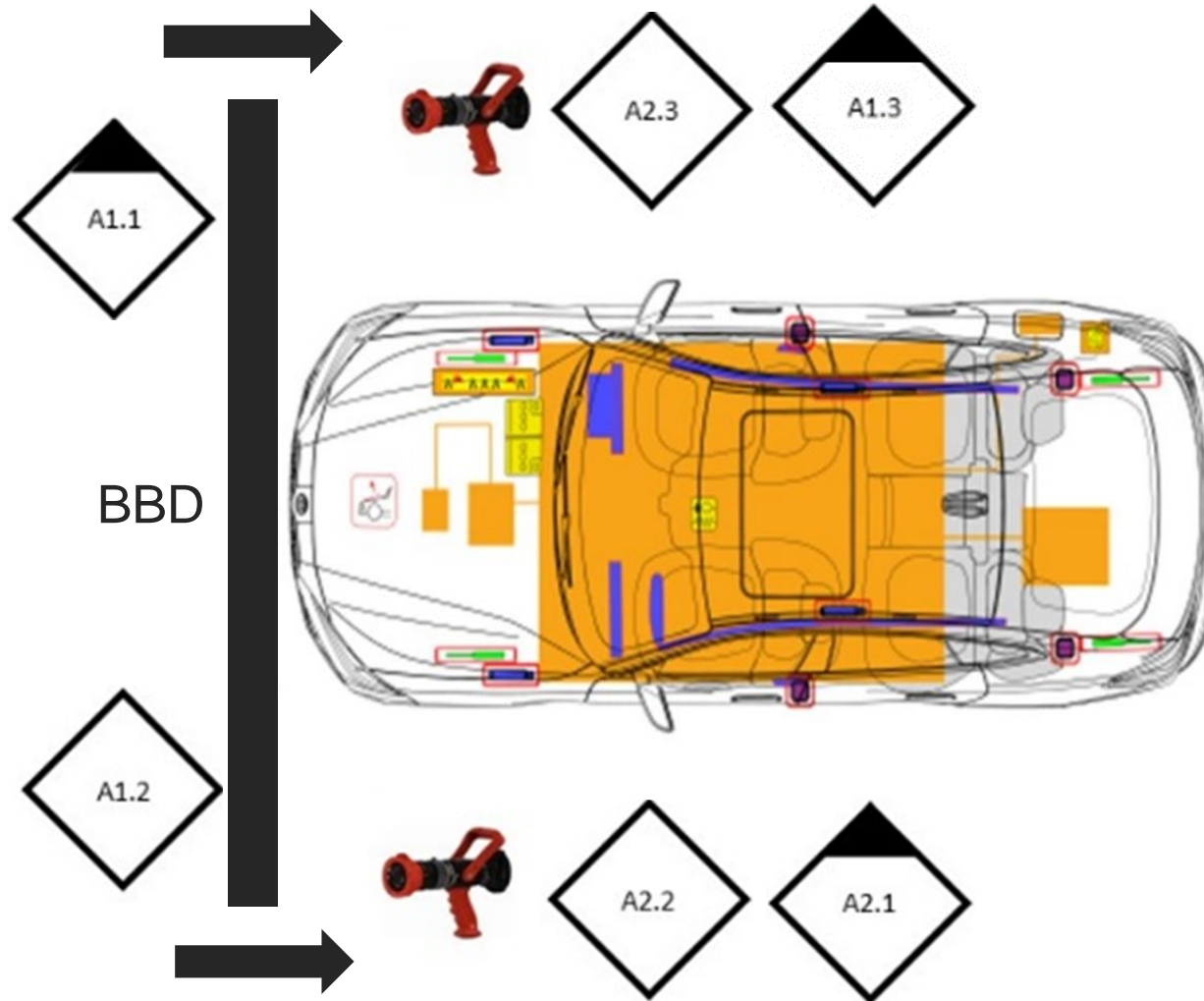
- Einsatz der Systeme nachdem peripherer Fahrzeugbrand durch Angriffstrupps reduziert wurde (Volumenstrom der Hohlstrahlrohre: 60 l/min)
- Brandintensität ging nach Anwendung der Systeme erwartbar deutlich zurück
- Maximalwerte für Einsatzzeit und Lösch-/Kühlwasser lagen bei Systemen zur Löschmitteleinbringung im Vergleich zu Hohlstrahlrohren in der gleichen Größenordnung
  - **ABER:** Während beim ausschließlichen Einsatz von HSR die Einsatzkräfte bis zum Einsatzende volle Leistung geben müssen, kann ab dem Einsatz der Systeme, die Intensität der manuellen Brandbekämpfung reduziert werden, während die Systeme weiterlaufen.
    - Dadurch kommt es zum Aufwuchs der Wassermenge auf das Niveau der HSR
    - Es führt aber auch zur Erhöhung der Sicherheit vor Wiederentzündung durch gezielte Kühlwassereinbringung

## Taktikschema



# Brandbekämpfung bei Vollbränden – Brandbegrenzungsdecke

## Taktikschema



# Brandbekämpfung bei Vollbränden – Brandbegrenzungsdecke

- Flammen wurden wirksam unterdrückt → keine Brandausbreitung auf benachbarte Objekte
- Reaktionen im Batteriesystem können mangels Kühlmedium aber nicht beendet werden  
→ Bis zu 50 min nach Einsatz der Decken traten Ventinggase aus  
→ Bildung explosionsfähiger Atmosphären in geschlossenen Räumen möglich!

↑ Erhöhung der Einsatzzeit ↑

↓ Reduzierung an notwendigem Lösch-/Kühlwasser ↓



# Zusammenfassung

## Brände verlaufen

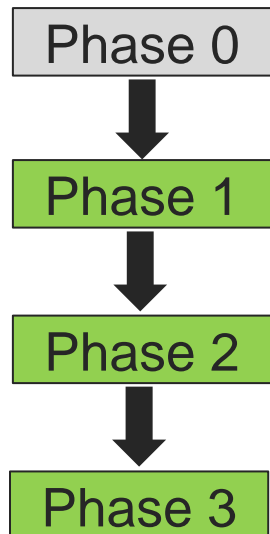
trotz gleicher Vorbereitungsprozeduren auch bei baugleichen Fahrzeugen unterschiedlich

Bei gleichbleibender „Vorbrennzeit“ liegen zum Zeitpunkt des Löschangriffs unterschiedliche (Brand)zustände vor



stabile Flammenbildung kann zwischen 90 s bis zu 16 min nach Penetration vorliegen

**An der Einsatzstelle eintreffende Einsatzkräfte müssen sich auf verschiedene Brandphasen einstellen!**



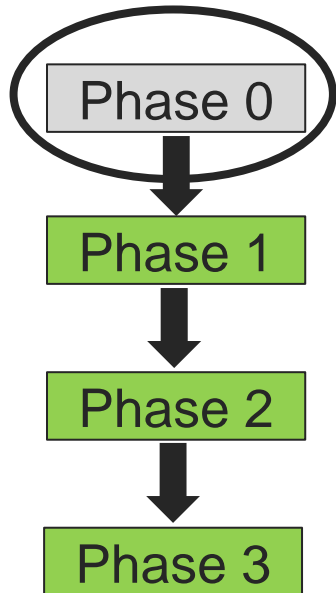
Phase 0 Fahrzeug nur beschädigt! Kein Gas-, Rauch-, Flammen- oder Funkenaustritt feststellbar

Phase 1 Austritt von Gasen und Rauch aus dem Batteriesystem

Phase 2 Brandentstehungsphase mit austretenden Flammen aus dem Batteriesystem, Radkästen sowie im Bereich der Schweller, der Front und dem Heck



Phase 3 Vollbrandphase des Fahrzeuges unter Beteiligung des Batteriesystems

Mögliche Einsatzempfehlungen für die Phasen:



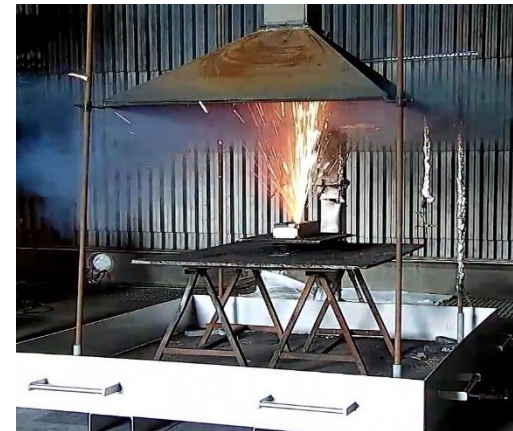
## Standardisiertes Vorgehen bei einem Verkehrsunfall

**Alle Maßnahmen unter Beachtung der AUTO-Regel und der Hinweise im Rettungsdatenblatt des verunfallten Fahrzeuges**

- Abschalten der Hochvoltkomponenten
  - Hochvolttrennstelle 
  - Sicherungsdose 
- Durchtrennen von Hochvoltkabeln ist zu vermeiden
- Überprüfung der Batterie auf Reaktion

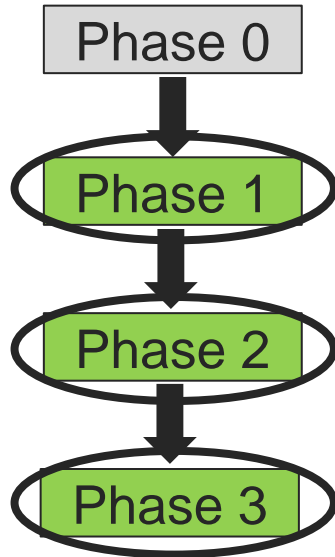
## Erkennen von Beteiligung des Batteriesystems am Brand:

- Auslösen der Überdruckventile einzelner Zellen
- Zyklische Rauchfreisetzung mit Farbwechsel (hell- / dunkelgrau) im Bereich der Hochvoltbatterie
- Untypischer aromatischer Geruch
- Funkenflug und zyklische Stichflammen
- Nachweisbare Temperaturerhöhung der Batterie
  - Detektion mittels Wärmebildkamera





# Zusammenfassung



aktueller Untersuchungsschwerpunkt im **Teilschritt 2** des Projektes:

- z.B. ist der Mehrwert von Systemen zur Löschmitteleinbringung in der frühen Einsatzphase größer als bei Vollbränden?
- oder kommt es möglicherweise eher zur Brandforcierung?

Aus der vorhandene Datengrundlage lassen sich folgende Einsatzempfehlungen für die Vollbrandphase ableiten:

- Vollbrände waren mit zwei zeitgleich agierenden Trupps sicher beherrschbar
- Brandintensität ging mit Ausnahme des Batteriebrandes bereits nach der Brandbekämpfung aus der Ferne beträchtlich zurück!
- Agieren der Trupps im **Nahbereich** notwendig!
- **Die Brandbekämpfung aus der Ferne ist nicht effektiv!**

# Zusammenfassung

## Ergebnisse bzgl. der untersuchten Einsatzmittel:

Art des Einsatzmittels hat Einfluss auf die Einsatzparameter:

Einsatzzeit

Lösch- / Kühlmittelverbrauch

Kurz: Alle Einsatzmittel haben Besonderheiten

Hohlstrahlrohre

Systeme zur Löschmitteleinbringung

Brandbegrenzungsdecken

Es konnten gute Erfolge bei der Brandbekämpfung erzielt werden!

System zur externen Kühlung (unter dem Fahrzeug)

Der erwartete Kühleffekt konnte nicht bestätigt werden!

Löschmittelzusätze kamen nicht zum Einsatz

Mehrwert wurde nicht erkannt!

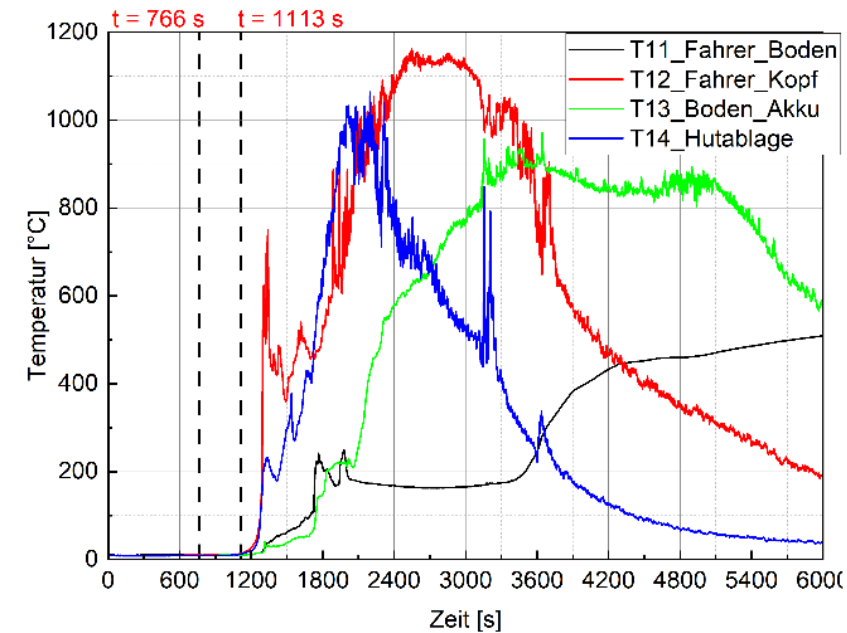
# Zusammenfassung

- Maximalwerte für Temperatur und Wärmestrahlung

$T_{\max} \approx 1150 \text{ °C}$  (Innenraum)

$T_{\max} \approx 1100 \text{ °C}$  (außerhalb)

$\dot{q}_{\max} \approx 50 \text{ kW/m}^2$



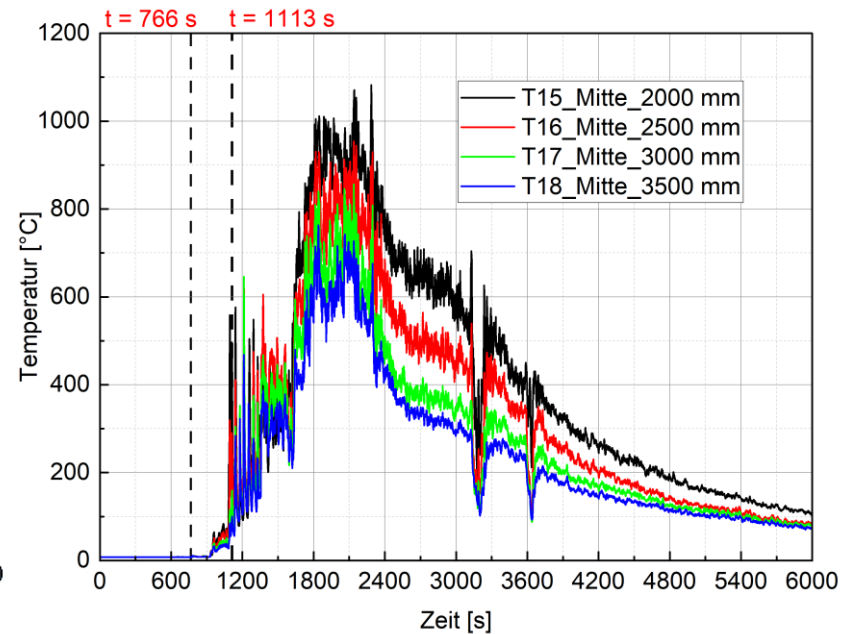
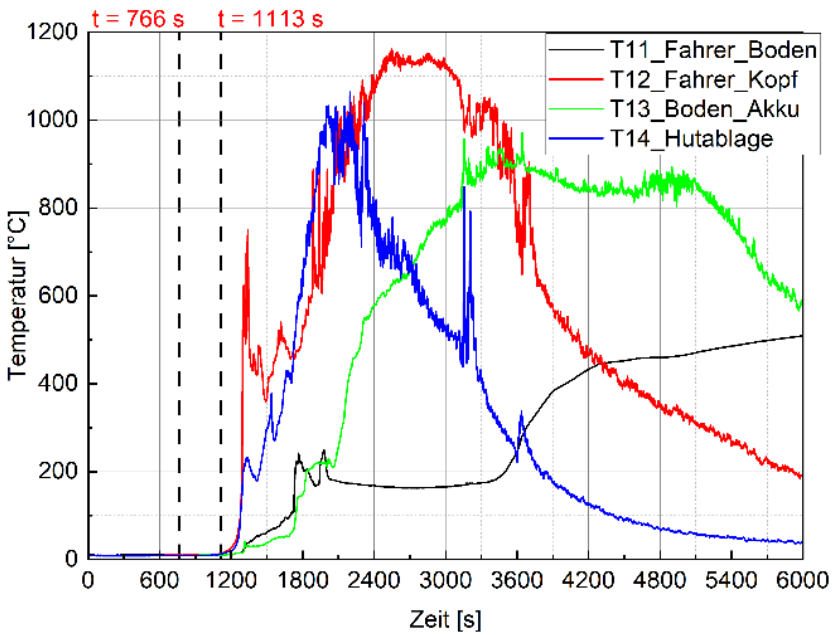
# Zusammenfassung

- Maximalwerte für Temperatur und Wärmestrahlung

$T_{\max} \approx 1150 \text{ °C}$  (Innenraum)

$T_{\max} \approx 1100 \text{ °C}$  (außerhalb)

$\dot{q}_{\max} \approx 50 \text{ kW/m}^2$



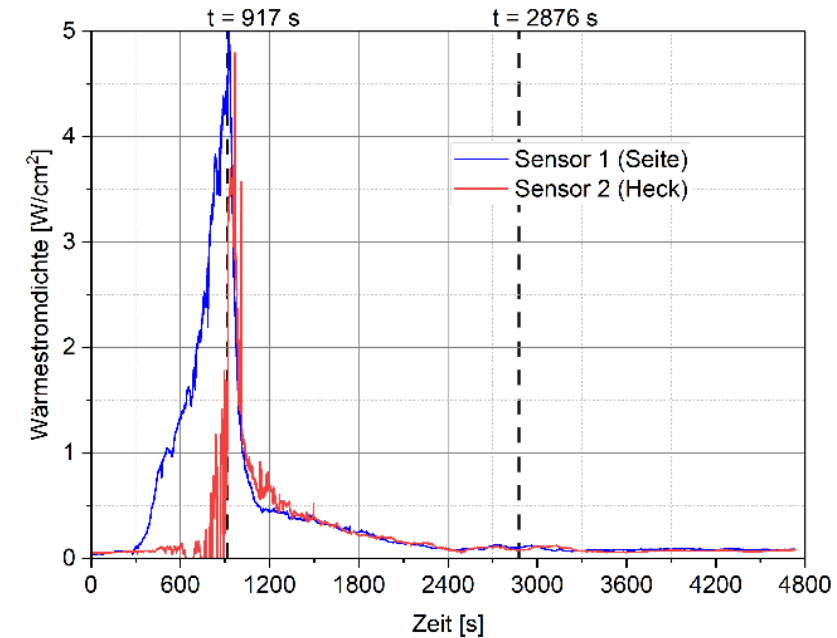
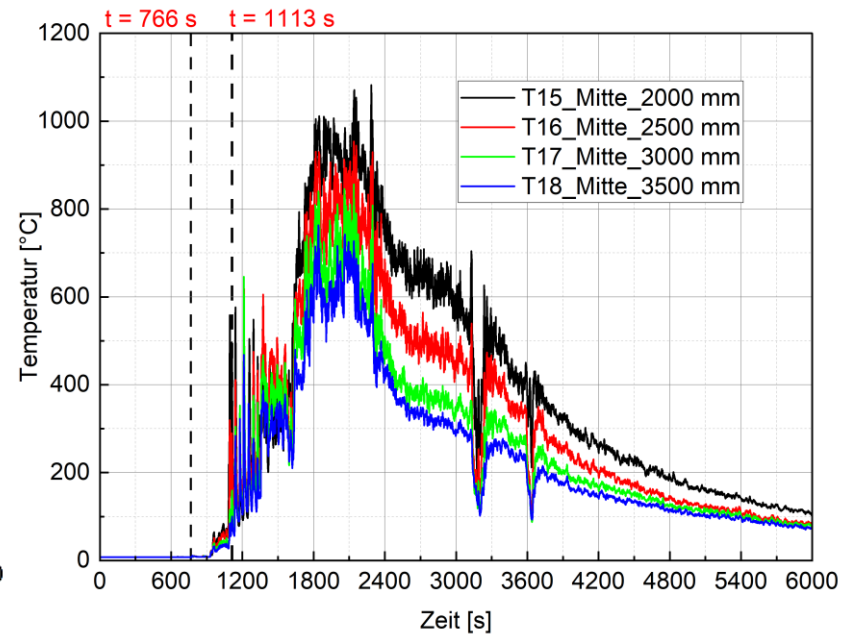
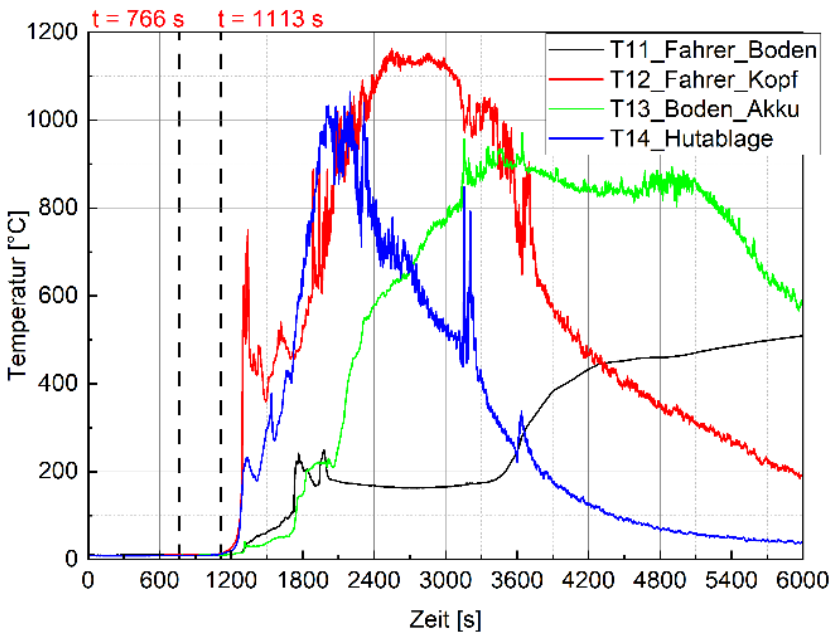
# Zusammenfassung

- Maximalwerte für Temperatur und Wärmestrahlung

$T_{\max} \approx 1150 \text{ °C}$  (Innenraum)

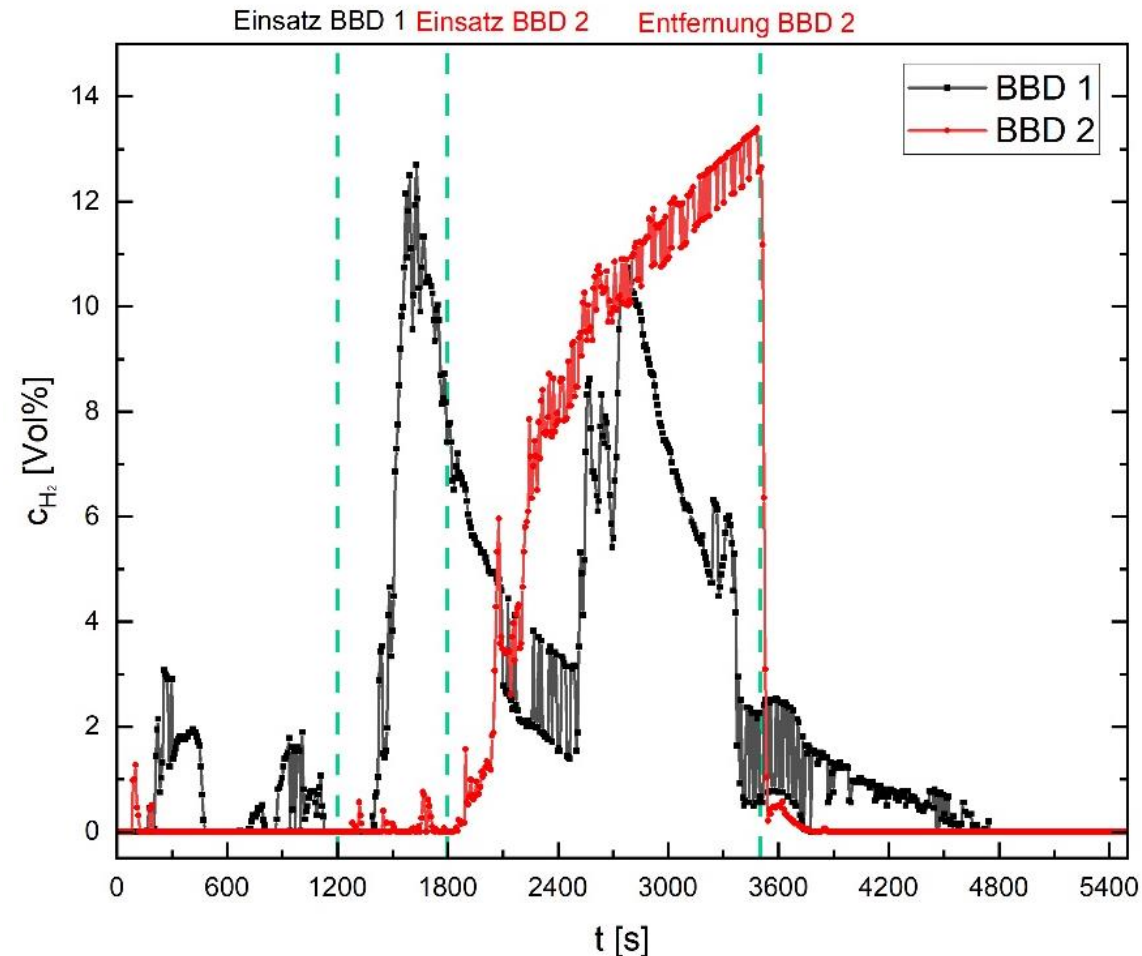
$T_{\max} \approx 1100 \text{ °C}$  (Außenbereich)

$\dot{q}_{\max} \approx 50 \text{ kW/m}^2$



# Zusammenfassung

- Hohe Konzentrationen von Wasserstoff bei Brandbegrenzungsdecken und in Referenzversuchen 12,7 – 13,4 Vol.-% (UEG 4,0 Vol.-%) → Durchzündungen nach Entfernen der BBD
- Also immer dann, wenn auf die Brandbekämpfung verzichtet wurde



## Ab 2.Quartal 2023 folgt Teilschritt 3 des Projektes

- Ziel ist z.B. das Schließen von Erkenntnislücken im Kontext der möglicherweise veränderten Charakteristik von PSA-Kontaminationen (Schwermetalle) durch E-Fahrzeugbrände
- Weiterhin wird das Thema Löschwasser behandelt (Kontaminationen, Löschwasserrückhaltung)

## Teilschritt 4 ist für 2024 in Planung

- Untersuchung von Fahrzeugen der „neuen“ Generation mit höheren Sicherheitsanforderungen

PSA- Kontamination



# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



## Kontakt Daten

Institut für Brand- und Katastrophenschutz  
Heyrothsberge

Dr.-Ing. Daniel Butscher  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Telefon: +49 (0)39292 - 61 635

E-Mail: [daniel.butscher@ibk.sachsen-anhalt.de](mailto:daniel.butscher@ibk.sachsen-anhalt.de)

## Abschlussbericht



## Heyrothsberger Manuskript

