



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Einsatztaktik

Menschenrettung aus Elektrofahrzeugen

Prof. Dr. Roland Goertz

Fakultät für Maschinenbau und
Sicherheitstechnik
Lehrstuhl für Chemische Sicherheit
und Abwehrenden Brandschutz
Bergische Universität Wuppertal





SUVEREN **2use**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

(Förderkennzeichen 16BZF302D)



- Analytik
- Methodik



Abb. 1: Ionenchromatographie ICS-200, Dionex

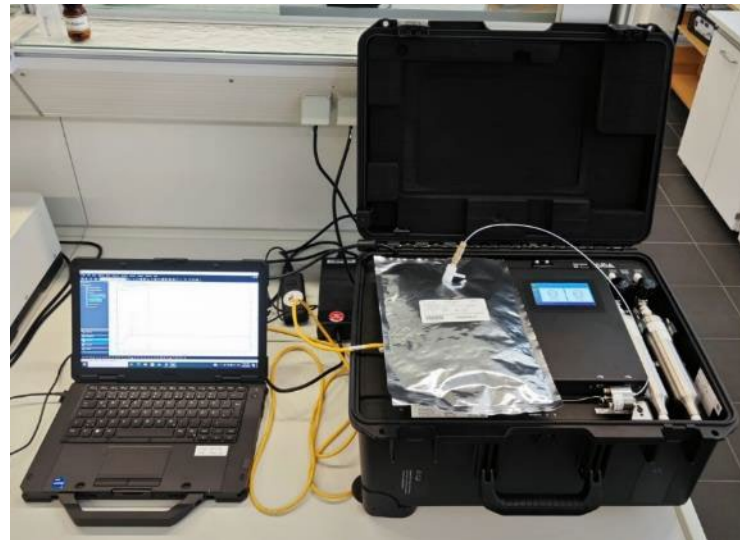


Abb. 2: Gaschromatographie μGC 990, Agilent

➤ HF-Bestimmung über F⁻ Konzentration

➤ H₂, N₂, O₂, CO₂, CO, Methan, Ethan, Ethen, Propan/Propen

SUVEREN 2use

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Monique Glockmann M.Sc. (Förderkennzeichen 16BZF302D)

- Analytik
- Methodik



Abb. 3: Gaschromatographie GC-2010 Plus, Shimadzu

- Bestimmung von organischen Komponenten



Abb. 4: Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (Agilent Serie 1100) mit massenspektrometrischer Detektion (Triple-Quad-MS, API4000, SCIEX) (HPLC-MS³)

- Bestimmung von Aldehyden und Ketonen

SUVEREN 2use

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Monique Glockmann M.Sc. (Förderkennzeichen 16BZF302D)

- Brandversuche auf Modulebene (DMT)
- Begleitung der Modulversuche
- Analytik der entstehenden Ventinggase

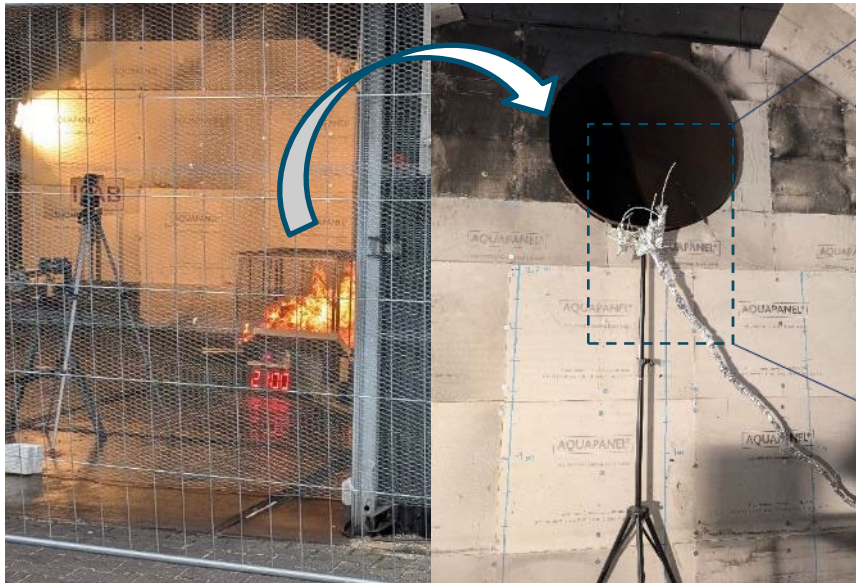


Abb. 5: Foto Brandversuche und Versuchsaufbau

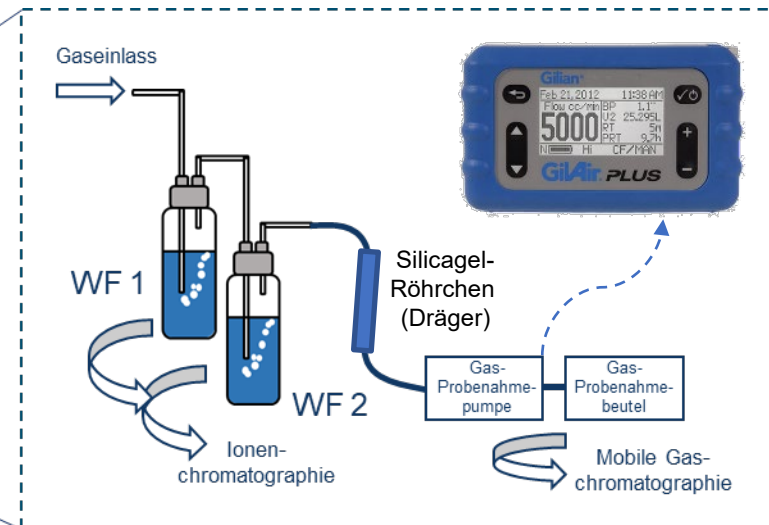


Abb. 6: Schematische Übersicht Probenahme Ventinggas

■ Ventinggasversuche im Druckbehälter

■ Versuchsaufbau

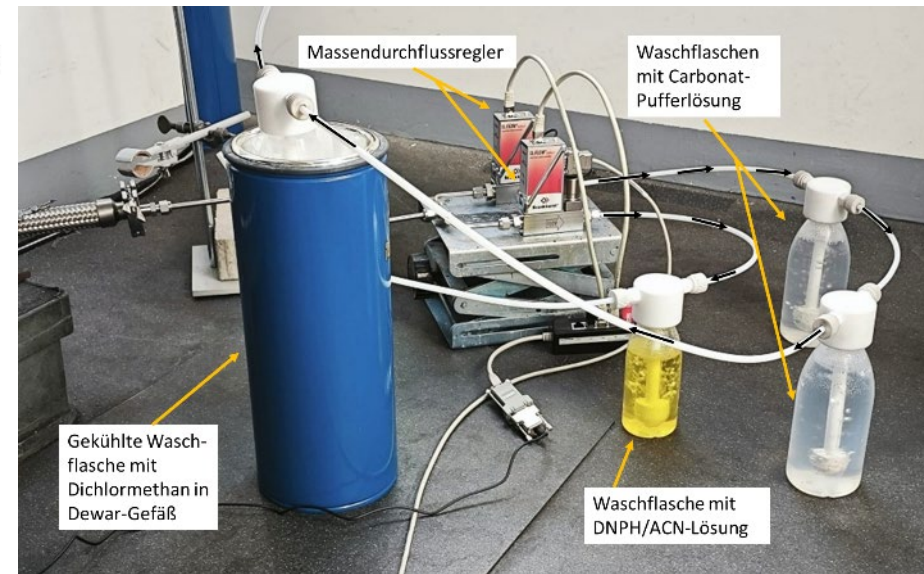
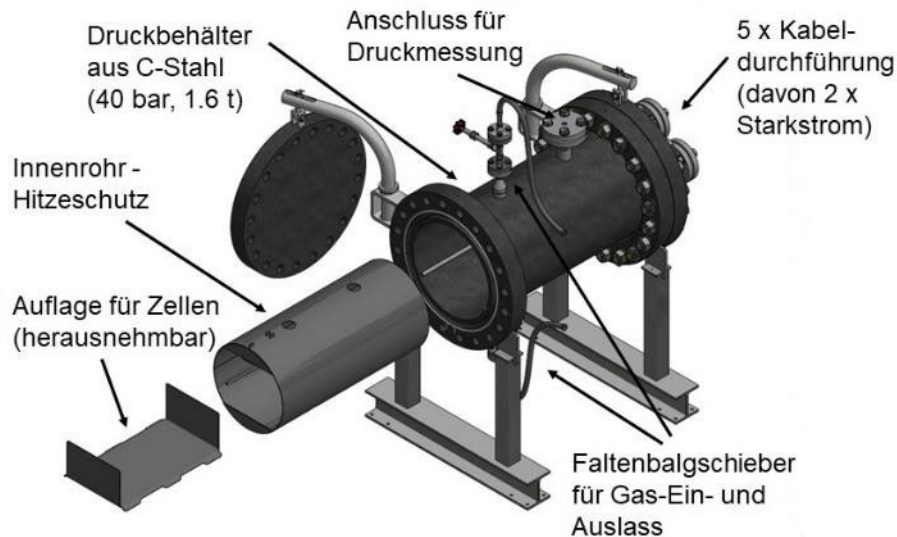


Abb. 16: schematischer Aufbau des Druckbehälters (AVN GmbH) (links), Probenahmeverrichtung mit Massendurchflussreglern und Waschflaschen (rechts)

- Ventinggasversuche im Druckbehälter
- Ventinggaszusammensetzung am Beispiel einer LFP-Zelle

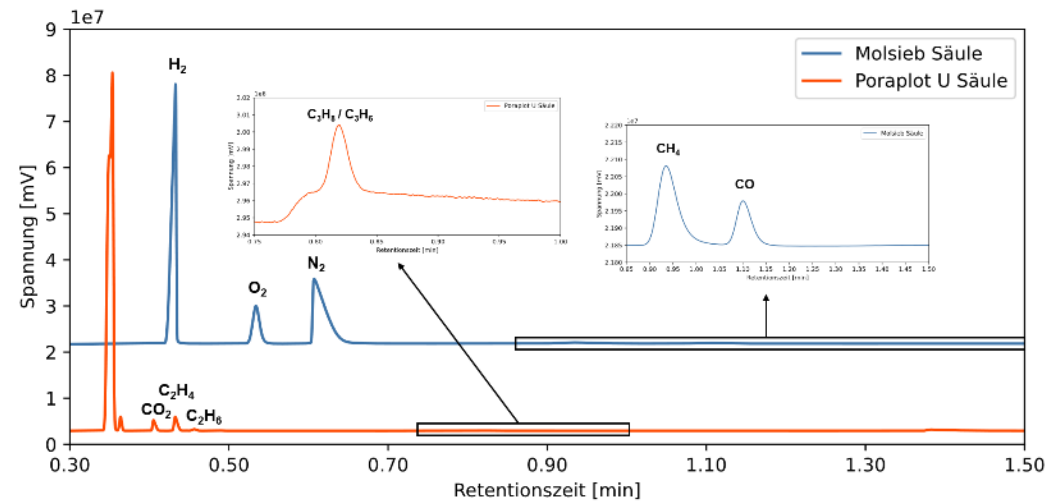
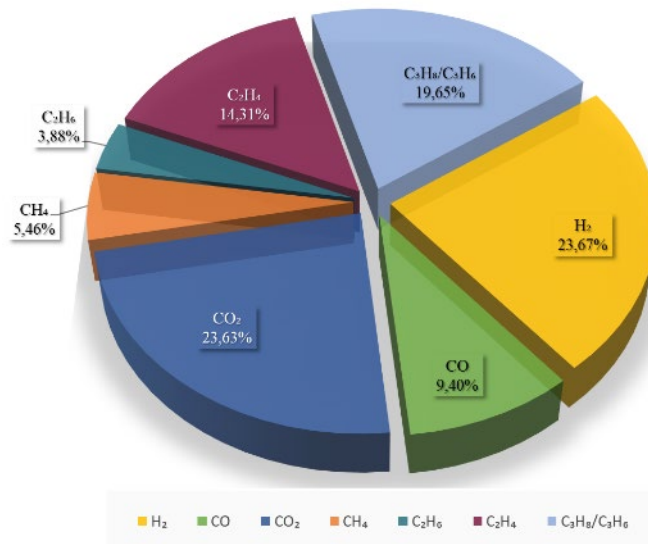


Abb. 17: Prozentuale Zusammensetzung des Ventinggases einer LFP-Zelle normalisiert auf 100% (links), dazugehörige μGC -Chromatogramme beider Kanäle (rechts)



- Ventinggasversuche im Druckbehälter
- Bestimmung von HF im Ventinggas einer LFP-Zelle

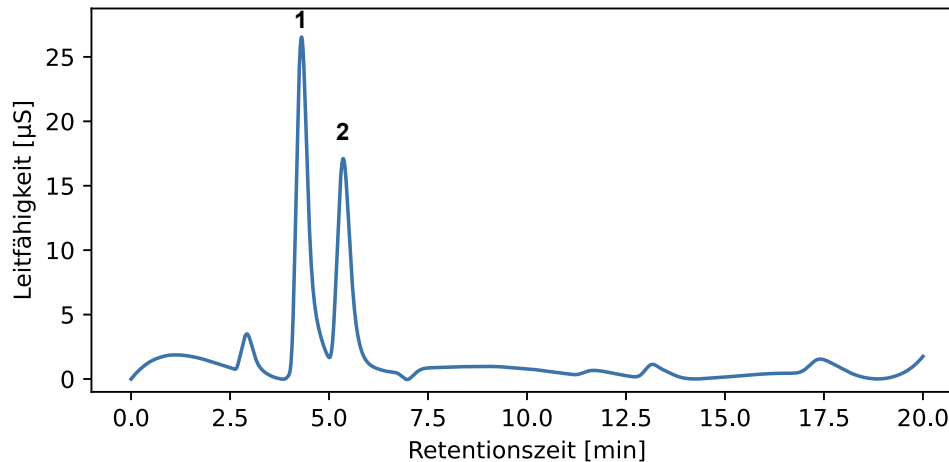


Abb. 18: IC-Chromatogramm der Carbonat-Pufferlösung einer LFP-Zelle

- Ventinggasvolumen ca. 50 L
- HF-Konzentration: $c_{\text{HF}} = 1100 \text{ ppmv}$
- HF-Konzentration vorheriger Versuche: 36 ppmv
- 30-fach höhere Ausbeute
- Verbesserungen zu vorherigen Versuchen:
 - Einsatz von Massendurchflussreglern → Verringerung der Gasdurchflussgeschwindigkeit in den Waschflaschen → Erhöhung der Absorptionsrate von HF in der Pufferlösung
 - Umstellung von Druckluft (Raumluft + Kompressor) auf synthetische Luft zur Verringerung der Feuchtigkeit im Druckbehälter

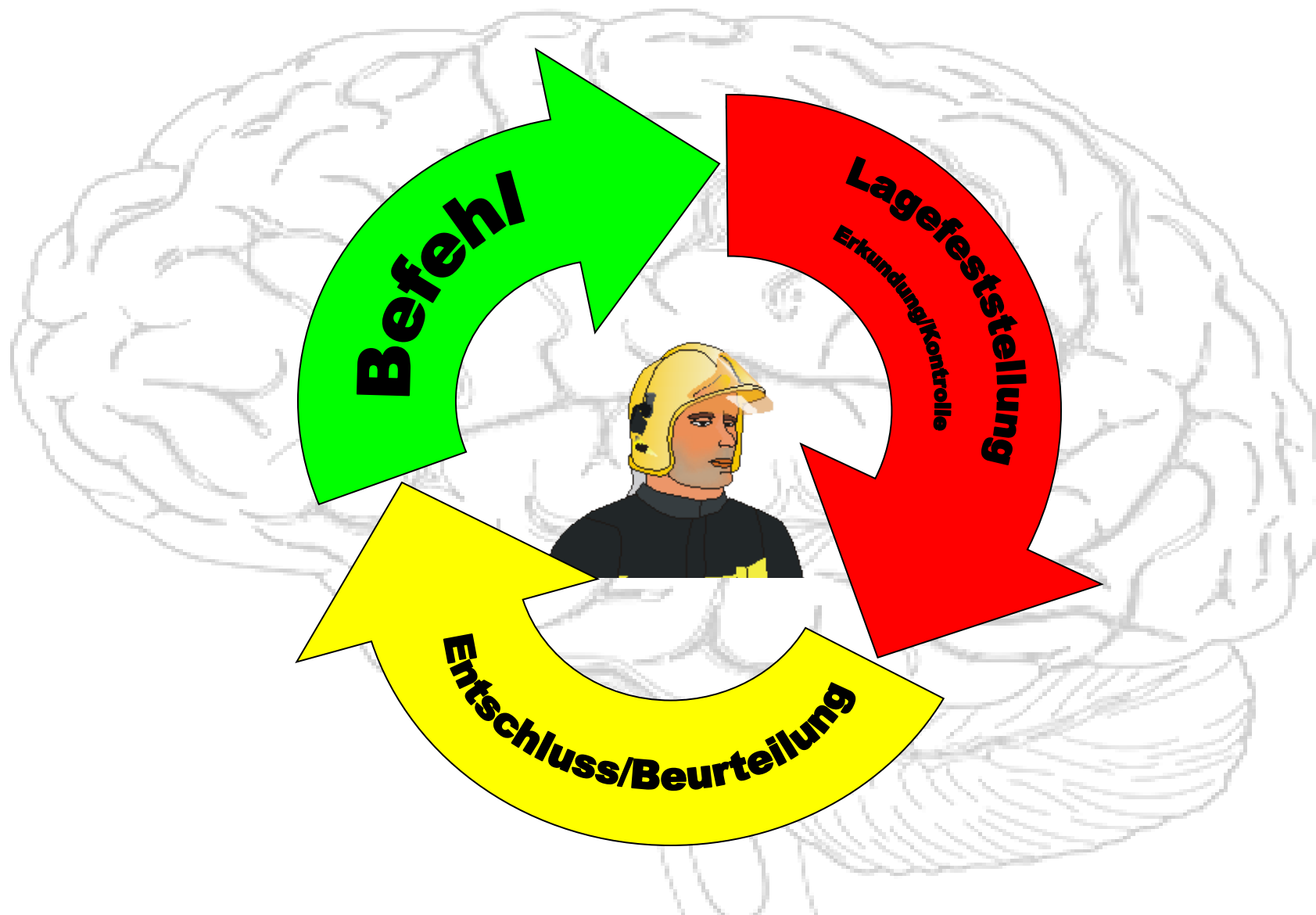


Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Monique Glockmann M.Sc. (Förderkennzeichen 16BZF302D)





Planung

Beurteilung/Entschluss



Beurteilung:

Welche Gefahren für Menschen, Tiere, Umwelt und Sachen?

Welche Gefahr muss zuerst an welcher Stelle bekämpft werden?

Welche Möglichkeiten bestehen mit welchen Vor- und Nachteilen?

Welche ist die beste Möglichkeit?



Einsatztaktische Überlegungen

- (1) Elektrofahrzeug in unterirdischer Großgarage während des Ladevorgangs
 - i. ohne Feuer
 - ii. mit Feuer
- (2) Elektrofahrzeug während der Fahrt auf einem Abschleppfahrzeug
- (3) Elektrofahrzeug nach Unfall mit anderen Fahrzeugen stark beschädigt und verkeilt
- (4) Eingeschlossene oder eingeklemmte Insassen in einem Elektrofahrzeug

„Menschenrettung aus Elektrofahrzeugen“

Gefördert durch die

ADAC Stiftung



Szenarium 1 a

Einsatzanlass: Elektrofahrzeug im 2. UG einer unterirdischen Großgarage verursacht einen „verbrannten“ Geruch

Einsatzmittel: ELW 1, HLF 10, GW-Mess

1a

Erkundung

Trupp (1:1) geht mit Pressluftatmer (zunächst ohne den Lungenautomaten anzuschließen) mit

- Wärmebildkamera und
- Ex-/Mehrgasmessgerät

zur Erkundung vor.

a) Menschen anwesend/betroffen?

a) sensorische Kontrolle (Anblick, Geräusche, Geruch)

a) Kfz-Kennzeichenübermittlung an Einsatzleitung → Kennzeichenabfrage und Kontrolle des Ergebnisses

a) Erkundung mit Wärmebildkamera und Ex-/Mehrgasmessgerät

a) bauliche Charakteristik (z. B. Brand- und Rauchabschnitte)?

a) anlagentechnischer Brandschutz (z. B. Löschanlagen, Entrauchung)?

a) befindet sich das Fahrzeug an der Ladestation, lädt das Fahrzeug?

a) Nachbarfahrzeuge?

Beurteilung der Gefahren

1a

Welche Gefahren bestehen für Menschen, Tiere, Umwelt und Sachen?

Welche sind die drei größten Gefahren und wo ist der Gefahrenschwerpunkt?

1	2	-	+
Atemgifte	Ausbreitung	Angst	Chemische Gefahren
+	-	3	-
Elektrizität	Einsturz	Explosion	Erkrankung

Gefahrenschwerpunkt: Fahrzeug, Umgebung, Fahrzeuginnenraum

Erläuterung:

- ggf. auch plötzlich einsetzenden Freisetzung von Venting-Gasen und ggf. Wasserstoff
- giftige und korrosive Gase (CO, HF etc.) als Atemgifte und Wasserstoff
- Wasserstoff und Kohlenmonoxid ca. 30 Vol.-%
- schwermetallhaltige Stäube
- Anreicherung der Venting-Gase im Fahrzeuginnenraum: Entstehung von explosionsfähigen Atmosphären
- bei schlechter Ventilation und kleinem Raumvolumen auch innerhalb der Tiefgarage
- Chemische Gefahren und Elektrizität erst bei fortschreiten des Schadensereignisses

	1 Atemgifte	2 Ausbreitung	3 Explosion
angreifen	1 Lüftereinsatz 2 Aktivierung der Entrauchung, wenn vorhanden 3 Fahrzeug aus der Garage ins Freie bringen	1 Fahrzeug aus der Garage ins Freie bringen (nicht starten, sondern schleppen) 2 mit Wasser berieseln → C-Hohlstrahlrohr, → provisorischer Werfer → Sprinkleranlage lokal aktivieren, wenn vorhanden 3 Lüftereinsatz 4 Entrauchung aktivieren 5 Ladevorgang des Fahrzeugs deaktivieren	1 Zündquellen entfernen/vermeiden 2 Wassereinsatz 3 Lüfter/Entrauchung
in Sicherheit bringen	4 Räumung		
Verteidigen	5 Einsatz von Fluchthauben 6 Schließen von Brandschutzturen	5 Tore schließen	

Die beste(n) Möglichkeit(en)

2.5 Ladevorgang deaktivieren

Sofern das Fahrzeug während des Parkens in der Tiefgarage an die Ladeinfrastruktur angeschlossen ist, sollte diese getrennt werden.

1.7 Abwarten, Überwachung

Das Fahrzeug und die nächste Umgebung wird mit einem Ex-/Mehrgasmessgerät auf H₂ und CO überwacht. Die Fahrzeugunterseite mit einer Wärmebildkamera auf einen schnellen Temperaturanstieg (Fehlermeldungen sind teilweise im Fahrerdisplay oder in der Handy-App des Besitzers erkennbar)

1.3 Fahrzeug aus der Tiefgarage entfernen

Es ist sinnvoll, das Fahrzeug -ohne Inbetriebnahme- aus der Garage zu entfernen, wenn die technische Möglichkeit dazu besteht.

1.1 Lüftereinsatz

Für den möglichen Lüfter- und Wassereinsatz, sofern die Überwachung eine kritische Situation ergibt, wurde ein Einsatz mit Bereitstellung vorgenommen.

2.2 Wassereinsatz

Zusammenfassung

Ein Trupp mit nicht angeschlossenem Pressluftatmer erkundet und kontrolliert die Situation des Fahrzeugs unter Einsatz des Ex-/Mehrgasmessgeräts sowie der Wärmebildkamera. Sofern sich keine Lageänderung einstellt, kann der Einsatz nach ca. 30 min beendet werden.

Szenarium 1 b

Einsatzanlass: Elektrofahrzeug im 2. UG einer unterirdischen Großgarage brennt
 Einsatzmittel: Erster Abmarsch ELW 1, HLF 10, GW-Mess, weitere Fahrzeuge folgen

Erkundung

Trupp (1:1) geht mit Pressluftatmer (Lungenautomaten anschließen) vor

- C-Hohlstrahlrohr
- Wärmebildkamera (und
- Ex-/Mehrgasmessgerät)

zur Erkundung vor.

a) Menschen anwesend/betroffen?

a) Handelt es sich um ein E-Fahrzeug (Ladesäule, Kennzeichen etc.)

a) sensorische Kontrolle (Anblick, Geräusche, Geruch)

a) Kfz-Kennzeichenübermittlung an Einsatzleitung → Kennzeichenabfrage und Kontrolle des Ergebnisses

a) Erkundung mit Wärmebildkamera und Ex-/Mehrgasmessgerät

a) bauliche Charakteristik (z. B. Brand- und Rauchabschnitte)?

a) anlagentechnischer Brandschutz (z. B. Löschanlagen, Entrauchung)?

a) befindet sich das Fahrzeug an der Ladestation, lädt das Fahrzeug?

a) Nachbarfahrzeuge?

Beurteilung der Gefahren

Welche Gefahren bestehen für Menschen, Tiere, Umwelt und Sachen?

Welche sind die drei größten Gefahren und wo ist der Gefahrenschwerpunkt?

2	1	-	+
Atemgifte	Ausbreitung	Angst	Chemische Gefahren
+	-	3	-
Elektrizität	Einsturz	Explosion	Erkrankung

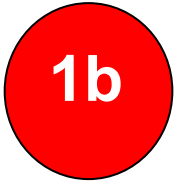
Gefahrenschwerpunkt: Fahrzeug, Umgebung, ggf. Fahrzeuginnenraum, Garage

Erläuterung

bestätigter Brand eines BEV: Hochvoltspeicher kann ursächlich sein und sich bereits im thermischen Durchgehen befinden, muss er aber nicht zwangsläufig. Auch der ausgedehnte Brand des PKW, d. h. des Innenraums etc., muss wiederum nicht zwangsläufig zum thermischen Durchgehen des Speichers führen. Tendenziell wird die Gefahr der Ausbreitung auf benachbarte Fahrzeuge als größte Gefahr eingeschätzt, auf die sich die Maßnahmen der Brandbekämpfung konzentrieren müssen.

Planung

	1 Ausbreitung	2 Atemgifte	3 Explosion
angreifen	1 Kühlung der benachbarten PKW und Brandbekämpfung → C-Hohlstrahlrohr, → provisorischer Werfer → ggf. Sprinkleranlage lokal aktivieren 2 Entrauchung aktivieren 3 Lüftereinsatz 4 Ladevorgang des Fahrzeugs deaktivieren 5 Ladestation deaktivieren	1 Lüftereinsatz 2 Aktivierung Entrauchung	1 Lüftung 2 Wassereinsatz 3 Lüfter/Entrauchung 4 Öffnungen zum Fahrzeuginnenraum schaffen
in Sicherheit bringen		6 Räumung	6 Räumung
Verteidigen	5 Tore schließen	4 Einsatz von Fluchthauben 5 Schließen von Brandschutztoren	



Die beste(n) Möglichkeit(en)	
1.1 Kühlen und Brandbekämpfung	
2.1 Lüftereinsatz	Für den möglichen Lüfter- und Wassereinsatz, sofern die Überwachung eine kritische Situation ergibt, wurde ein Einsatz mit Bereitstellung vorgenommen.
2.2 Entrauchung	



Zusammenfassung

Trupp unter PA erkundet die Situation und beginnt mit der Brandbekämpfung und Kühlung der benachbarten Fahrzeuge.

Im weiteren Verlauf: zweiter Trupp

auf regelmäßig/stoßweise auftretende Geräusche und Gasfreisetzungen achten.

Mit dem Ex-/Mehrgasmessgerät sowie der Wärmebildkamera wird anschließend überprüft, ob der Hochvoltspeicher betroffen war oder ist.

Mit Blick auf die Möglichkeit der Zersetzung von Li-Ionen-Zellen bei den wärmebeaufschlagten Nachbarfahrzeugen und dem Brand-PKW muss der Bereich weiter gekühlt und überwacht werden. Wichtig ist die Dokumentation insbesondere des gemessenen Temperaturverlaufs. Die Fahrzeuge sollten nach Möglichkeit im Rahmen der Gefahrenabwehr aus der Tiefgarage entfernt werden, sofern die technischen Möglichkeiten dazu vorliegen.

1b



Szenarium 3

Einsatzanlass:

- Stark beschädigtes,
- mit anderem Fahrzeug verkeiltes Elektrofahrzeug (BEV),
- 2 Personen im BEV eingeklemmt und verletzt,
- andere Personen haben sich selbst befreit und in Sicherheit gebracht.

Einsatzmittel: Erster Abmarsch ELW 1, HLF 10, GW-Mess, RTW, NEF,
weitere Fahrzeuge folgen

3a

Keine Anhaltspunkte für
Probleme im HV-Speicher

3b

Temperaturanstieg/
weißer Nebel

3c

Entstehungsbrand/
durchgehender HV-Speicher



Szenarium 3 a:

es liegen keine objektiven Anhaltspunkte für einen Schaden im Hochvoltspeicher vor.

Lageerkundung:

- Kennzeichenabfrage
- Laufende Überwachung mit CO-/Ex-Sensor und Wärmebildkamera!

Gefahren:

1. Erkrankung/Verletzung
2. Einsturz - Wegrollen, mechanische Stabilität
3. Elektrizität



3a

Maßnahmen:

Wichtig:

- Hinnehmen und einplanen, dass der Einsatz insgesamt deutlich länger dauern kann.
 - 1. Mechanische Stabilisierung/Verhinderung des Wegrollens durch Einsatz von z.B. Keilen
 - 2. med. Versorgung und Betreuung der Verletzten, technische Rettung mit Rettungsgeräten, z.B. gemäß dem Merkblatt 0601 technisch-medizinische Rettung nach Verkehrsunfällen der vfdb e.V.
 - 3. Hochvoltsystem gemäß Rettungsdatenblatt deaktivieren (Achtung, vorher alle elektrischen Verbraucher zur Entklemmung/Befreiung nutzen (elektrische Türen und Fronthauben bzw. Heckklappe öffnen, Fenster runterlassen, Sitze und/oder Lenkrad verstellen)
 - 4. Elektro-Lüfter vorbereiten, um ggf. plötzlich freiwerdende Ventinggase von Verletzten und Einsatzkräften fernzuhalten, Brandschutz mit Wasser sicherstellen
- Weiterhin laufende Kontrolle mit Wärmebildkamera, CO- und Ex-Sensor während der technischen Rettung und danach bis Fahrzeugübergabe z. B. an Polizei, Halter, Abschleppunternehmen, etc.



3a

Kräfteansatz

Es wird ein

- eigener Trupp mit Wärmebildkamera und Mehrgasmessgerät mit PA (einsatzbereit, nicht angeschlossen) benötigt,
- um den Hochvoltspeicher kontinuierlich auf Veränderungen zu kontrollieren

Beim plötzlichen Auftreten eines

- Venting-Ereignisses während der technischen Rettung kann es nötig werden, dass
- alle unmittelbar an der Rettung beteiligten Einsatzkräfte geeigneten Atemschutz tragen müssen.
- Daher sind auch für Patienten entsprechende Schutzmaßnahmen bereitzuhalten, z. B. fremdbelüftete Rettungshauben.

Insgesamt zeigt sich, dass bei Verkehrsunfällen mit eingeklemmten Personen bei Elektrofahrzeugen ein

- **höherer Kräfteansatz**, welche zudem über eine gültige Eignungsbeurteilung „Atemschutzgeräte“ (früher „G26“) verfügen vor Ort erforderlich ist.



3b

Szenarium 3 b:

es liegen objektiven Anhaltspunkte für einen Schaden im Hochvoltspeicher vor

- CO- oder Ex-Sensor zeigt entsprechende Werte an und/oder
- Wärmebildkamera verzeichnet einen schnellen Temperaturanstieg und/oder
- Austreten weißer Nebel)

Lageerkundung:

- Kennzeichenabfrage
- Laufende Überwachung mit CO-/Ex-Sensor und Wärmebildkamera!

Gefahren:

1. Atemgifte
2. Ausbreitung, auch Brandausbreitung
3. Erkrankung
4. Einsturz/Wegrollen



Maßnahmen:

3b

Wichtig:

- Hinnehmen und einplanen, dass der Einsatz insgesamt deutlich länger dauern wird
- 1. Mechanische Stabilisierung/Verhinderung des Wegrollens durch Einsatz von z.B. Keilen
- 2. Elektro-Lüfter einsetzen, um freiwerdende Ventinggase von Verletzten und Einsatzkräften fernzuhalten, falls möglich (Zustand der Eingeklemmten) Fluchthauben einsetzen
- 3. med. Versorgung und Betreuung der Verletzten, technische Rettung mit Rettungsgeräten
- 4. Hochvoltsystem gemäß Rettungsdatenblatt deaktivieren (Achtung, vorher alle elektrischen Verbraucher zur Entklemmung/Befreiung nutzen (elektrische Türen und Fronthauben bzw. Heckklappe öffnen, Fenster runterlassen, Sitze und/oder Lenkrad verstellen)
- 5. Ggf. Sprühwasser einsetzen um Ventinggase zu binden
- 6. Hochvoltspeicher kühlen
- 7. Bei Sofort-Rettung: Brandbegrenzungsdecken zum Abschirmen einsetzen

Weiterhin laufende Kontrolle mit Wärmebildkamera, CO- und Ex-Sensor während der technischen Rettung und danach bis Fahrzeugübergabe an Abschleppunternehmen



3b

Kräfteansatz

- Es wird ein eigener Trupp mit Wärmebildkamera und Mehrgasmessgerät mit PA (einsatzbereit, nicht angeschlossen) benötigt, um den Hochvoltspeicher kontinuierlich auf Veränderungen zu kontrollieren
- Insgesamt zeigt sich, dass bei Verkehrsunfällen mit eingeklemmten Personen bei Elektrofahrzeugen ein höherer Kräfteansatz vor Ort erforderlich ist



3c

Szenarium 3 c:

wie 3 b und zusätzlich Entstehungsbrand bzw. aktiv durchgehender Speicher (stoßweise austretender weißer Nebel)

Lageerkundung:

- Kennzeichenabfrage
- Laufende Überwachung mit CO-/Ex-Sensor und Wärmebildkamera!

Gefahren:

1. Ausbreitung, auch Brandausbreitung
2. Atemgifte
3. Erkrankung
4. Einsturz/Wegrollen



Maßnahmen:

3c

Wichtig:

- Hinnehmen und einplanen, dass der Einsatz insgesamt deutlich länger dauern wird
- 1. Mechanische Stabilisierung/Verhinderung des Wegrollens durch Einsatz von Keilen
- 2. Sprühwasser einsetzen um Ventinggas zu binden
- 3. Elektro-Lüfter einsetzen, um freiwerdende Ventinggas von Verletzten und Einsatzkräften fernzuhalten, falls möglich (Zustand der Einklemmten)
Fluchthauben einsetzen
- 4. med. Versorgung und Betreuung der Verletzten, technische Rettung mit Rettungsgeräten
- 5. Hochvoltspeicher kühlen
- 6. Hochvoltsystem gemäß Rettungsdatenblatt deaktivieren (Achtung, vorher alle elektrischen Verbraucher zur Entklemmung/Befreiung nutzen (elektrische Türen und Fronthauben bzw. Heckklappe öffnen, Fenster runterlassen, Sitze und/oder Lenkrad verstellen)
- 7. Bei Sofort-Rettung: Brandbegrenzungsdecken und Brandfluchthaube zum Abschirmen einsetzen
- Weiterhin laufende Kontrolle mit Wärmebildkamera, CO- und Ex-Sensor während der technischen Rettung und danach bis Fahrzeugübergabe an Abschleppunternehmen



3c

Kräfteansatz

- Trupp 1
Technische Rettung unter Pressluftatmer (!)
- Trupp 2
Brandbekämpfung/Sprühwasser, Speicher kühlen
- Trupp 3
Lüftungsmaßnahmen und messen/überwachen, Brandfluchthaube und
Brandbegrenzungsdecke
- Trupp 4
Unterstützung bei der technischen Rettung

Natürlich sind weitere Kräfte für Verkehrsabsicherung, Logistik,
Löschwasserbereitstellung etc. erforderlich.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

