



Europäisches Train the Trainer-Programm für Responder

## Lektion 7

# Ungezündete Wasserstofffreisetzungen im Freien und ihre Eindämmung

## STUFE I

### Feuerwehrmann

Die in dieser Lektion enthaltenen Informationen richten sich an **Feuerwehrleute** und höher.

Dieses Thema wird auch auf den Stufen II, III und IV angeboten.

Diese Lektion ist Teil eines Schulungsmaterialpakets mit Materialien für die Stufen I - IV: Feuerwehrmann, Gruppenkommandant(-führer), Einsatzleiter und Experte. Bitte beachten Sie die Einleitung zur Lektion bezüglich der Kompetenzen und Lernerwartungen

Hinweis: Diese Materialien sind Eigentum des HyResponder-Konsortiums und sollten entsprechend gewürdigt werden. Die Ergebnisse von HyResponse wurden als Grundlage verwendet.





### Haftungsausschluss

Trotz der Sorgfalt, die bei der Erstellung dieses Dokuments aufgewendet wurde, gilt der folgende Haftungsausschluss: Die Informationen in diesem Dokument werden so bereitgestellt, wie sie sind, und es wird keine Garantie oder Gewährleistung gegeben, dass die Informationen für einen bestimmten Zweck geeignet sind. Der Nutzer verwendet die Informationen auf eigenes Risiko und eigene Haftung.

Das Dokument gibt ausschließlich die Meinung der Autoren wieder. Das Gemeinsame Unternehmen FCH und die Europäische Union haften nicht für die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen.

### Danksagung

Das Projekt wurde vom Gemeinsamen Unternehmen "Fuel Cells and Hydrogen 2" (JU) im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 875089 finanziert. Das Gemeinsame Unternehmen wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm "Horizon 2020" der Europäischen Union sowie durch das Vereinigte Königreich, Frankreich, Österreich, Belgien, Spanien, Deutschland, Italien, die Tschechische Republik, die Schweiz und Norwegen unterstützt.

## Zusammenfassung

Unerwünschte Wasserstofffreisetzungen führen zu einer Vermischung des entweichenden Gases mit Luft, wodurch die Ausgangsbedingungen für Brand- und Explosionsgefahren geschaffen werden. Bei den ungewollten Freisetzungen handelt es sich um das Entweichen von komprimiertem, gasförmigem Wasserstoff, der unter hohem Druck in FCH-Systemen und -Infrastrukturen gespeichert ist.

## Schlüsselwörter

Ungezündete Freisetzung, Erkennung



## Inhaltsübersicht

Zusammenfassung.....	3
Schlüsselwörter .....	3
1. Zielgruppe.....	5
1.1 Beschreibung der Rolle: Feuerwehrmann .....	5
1.2 Kompetenzstufe: Feuerwehrmann.....	5
1.3 Vorbildung: Feuerwehrmann .....	5
2. Lecks bei komprimiertem Wasserstoff.....	6
3. Abblasen eines Druckwasserstoffspeichers .....	7
4. Aufspüren von Wasserstofflecks .....	7
Danksagung .....	9
Referenzen.....	9



## 1. Zielgruppe

Die in dieser Vorlesung enthaltenen Informationen richten sich an die STUFE 1: Feuerwehrmann. Es gibt auch Lektionen für die Stufen II, III und IV: Gruppenkommandant, Einsatzleiter und Fachoffizier.

Die Rollenbeschreibung, das Kompetenzniveau und die Lernerwartungen, die auf der Ebene der Gruppenkommandanten(-führer) vorausgesetzt werden, werden im Folgenden beschrieben.

### 1.1 Beschreibung der Rolle: Feuerwehrmann

Von einem Feuerwehrmann wird erwartet, dass er in der Lage ist, unter allen klimatischen Bedingungen in Bereichen und in Notsituationen, die nach vernünftigem Ermessen einen Einsatz erfordern, in Schutzausrüstung einschließlich Atemschutzgeräten und unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Ausrüstung wie Fahrzeuge, Leitern, Schläuche, Feuerlöscher, Kommunikations- und Rettungsgeräte sicher zu arbeiten.

### 1.2 Kompetenzstufe: Feuerwehrmann

Die Ersthelfer müssen in der sicheren und korrekten Verwendung von PSA, BA und anderen Ausrüstungsgegenständen, die sie bedienen sollen, geschult sein und über entsprechende Kenntnisse und Praktiken verfügen. Verhaltensweisen, die ihre Sicherheit und die anderer Kollegen gewährleisten, sollten in Standardeinsatzmaßnahmen (SEM) beschrieben werden. Sie müssen in der Lage sein, das Risiko für die eigene Sicherheit und die Sicherheit anderer dynamisch zu bewerten.

### 1.3 Vorbildung: Feuerwehrmann

EQR 2 Grundlegende Faktenkenntnisse in einem Arbeits- oder Studienbereich. Grundlegende kognitive und praktische Fertigkeiten, die erforderlich sind, um relevante Informationen zu nutzen, um Aufgaben auszuführen und Routineprobleme unter Verwendung einfacher Regeln und Hilfsmittel zu lösen. Arbeit oder Studium unter Aufsicht mit einer gewissen Selbstständigkeit.

## 2. Lecks bei komprimiertem Wasserstoff

Wie bereits aus früheren Vorträgen bekannt ist, sind FC-Fahrzeuge mit bordeigenen Wasserstoffspeichern ausgestattet, die unter einem Druck von bis zu 70 MPa stehen, und die Betankungsinfrastruktur arbeitet mit einem Druck von bis zu 100 MPa [1]. Aufgrund der geringen Größe seines Moleküls ist Wasserstoff anfällig für Leckagen. Überwiegend entstehen Wasserstofffreisetzungen/Leckagen aus Ventilen und Anschlüssen [2], die sowohl in Innenräumen als auch im Freien auftreten können. Die Freisetzungen können ungezündet (d. h. nicht reagierend) oder gezündet (d. h. reagierend) sein. Obwohl der Bruch einer Leitung oder eines Behälters in voller Länge ein seltenes Ereignis ist, sollte er als ein glaubwürdiges Worst-Case-Szenario betrachtet werden. Es sollten besondere Anstrengungen unternommen werden, um die unerwünschte Freisetzung von Wasserstoff zu verhindern. Eine Freisetzung von Wasserstoff entweder durch eine PRD (Druckentlastungsvorrichtung) oder durch einen Rohrbruch führt zu einem Hochdruckstrahl.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Arten von Leckagen und die Geräte oder Bauteile, die Wasserstoffleckagen verursachen [3].

Tabelle 1. Von der EIGA (2007) entwickelte Leckquellen und Szenarien [3]

Ausrüstung/Komponente	Art des Lecks
Verrohrung	Nadellöcher, Rohrbruch
Flansche	Dichtungsversagen, thermische Bewegung, Materialkriechen
Verschweißte Verbindung	Riss in der Schweißnaht
Lötverbindung	Löttriss, Lötschmelze
Zentralanschluss	Thermische Bewegung, Leckage
Schraubverbindung	Undichtigkeit, Versagen der Dichtungsmasse, Kriechen, Materialbruch
Schlauchanschluss	Dichtungsleck, Materialbruch, menschliches Versagen
Ventile	Spindel undicht, Dichtung undicht, Motorhaube/Gehäuse durch Schlag geöffnet
Schläuche	Perforation geteilt
Instrumente	Bruch des Elements
Druckminderer, Druckbegrenzungsventil, ect.	Membranbruch, Leckage der Dichtung, stromabwärts gerichteter Bruch (Überdruck)

Elektromagnetische Ventile	Dichtung undicht
Pumpen	Perforation, Dichtungsleck
Druckbehälter	Perforation, Bruch, Permeationsleck

### 3. Abblasen eines Druckwasserstoffspeichers

Eine von Li et al. [4] durchgeführte CFD-Studie hat dies gezeigt:

- Bei der Freisetzung von Wasserstoff aus Lagertanks, die unter einem Druck von 35 MPa und 70 MPa stehen, treten die größten Gefahrenmomente innerhalb von 10 s nach dem Öffnen des TPRD (Thermisch aktivierte Druckentlastungsvorrichtung) auf, und die Dauer der mit der Wasserstofffreisetzung verbundenen Gefahren beträgt weniger als 2 Minuten;
- die deterministischen Gefährungsdistanzen für die Freisetzung von nicht gezündetem Wasserstoff aus einem TPRD, der senkrecht nach unten unter einem FC-Fahrzeug ausgerichtet ist, sind deutlich kürzer als die von Freistrahlen;
- Sowohl für die Öffentlichkeit als auch für Einsatzkräfte, die nicht mit Wärmeschutzkleidung ausgestattet sind, liegt der maximale Gefahrenabstand bei einer nicht entzündeten Freisetzung je nach Lagerungsdruck zwischen 8 und 12 m;
- Um sicherzustellen, dass die Wasserstoffkonzentration am Ort des Gaseintritts in die Gebäude stets unter der unteren Zündgrenze (4 Vol. %) liegt, sollte der Gefahrenabstand bei Freisetzungen von 35 MPa mindestens 11 m und bei Freisetzungen von 70 MPa mindestens 13 m betragen.

### 4. Aufspüren von Wasserstofflecks

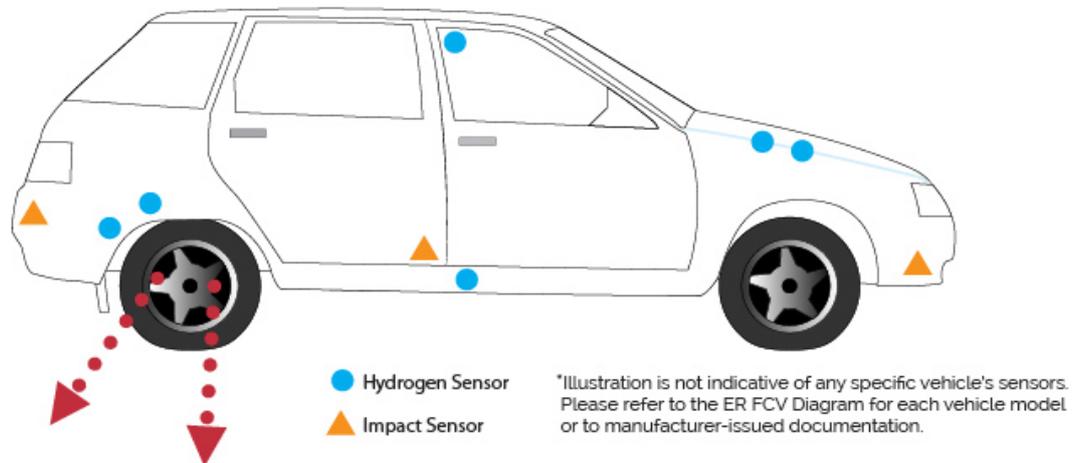
Es ist auch wichtig zu wissen, dass Sensoren in der Wasserstoffsicherheitstechnik aufgrund des Auftriebs und der Diffusionsfähigkeit von Wasserstoff keine vollständige Detektionsstrategie bieten. Ein Wasserstoffsensor ist zum Beispiel in einem großen Raum oder im Freien wenig nützlich. Die Platzierung der Sensoren sollte sorgfältig überlegt werden, und Werkzeuge wie CFD (Computergestützte Strömungsmechanik) können zur Simulation von Leckszenarien verwendet werden, um einen Einblick in die Positionierung der Sensoren zu erhalten. Zum Schutz des Personals und der Anlagen sind sowohl fest installierte als auch persönliche/handgehaltene Sensoren erforderlich.

Die vorgeschlagene Positionierung der Wasserstoffsensoren wird im Folgenden erläutert:

- Orte, an denen Wasserstoff austreten kann;
- an routinemäßig getrennten Wasserstoffanschlüssen (z. B. Wasserstoffbetankungsstellen);
- Orte, an denen sich Wasserstoff ansammeln könnte;
- in Ansaugkanälen von Gebäuden, wenn Wasserstoff in das Gebäude eingetragen werden könnte;
- in Gebäudeabluftkanälen, wenn Wasserstoff im Gebäude freigesetzt werden könnte.

Außerdem müssen Wasserstoffsensoren an FC-Fahrzeugen angebracht werden, um vor möglichen Lecks zu warnen. Die Standorte der Wasserstoffsensoren für Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEV) sind in Abbildung 1 als blaue Punkte markiert und umfassen [5]:

- Abgasleitung (Prozesssteuerung) ;
- Fahrgastraum (Sicherheit) ;
- Motor (Sicherheit) ;
- Brennstoffzellenstapel (Sicherheit).



Hydrogen sensors detect hydrogen leaks in the passenger cabin and through the vehicle. It's very unlikely that the fuel system will leak, however if the sensors detect a leak a solenoid will close and seal hydrogen in the tank. In addition, electrical relays open to shut down the vehicle and isolate the high voltage.



Impact sensors detect collision, just as air bag sensors do. This also seals fuel in the tank and isolates high voltage. (Buses do not have this sensor)

Abbildung 1 Mögliche Anordnung der Wasserstoffsensoren in einem FCEV [5].



## Danksagung

Das HyResponse-Projekt wird anerkannt, da die hier vorgestellten Materialien auf der Grundlage der ursprünglichen HyResponse-Vorlesungen erweitert wurden.

## Referenzen

1. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Available from: [www.bookboon.com](http://www.bookboon.com), free download e-book
2. HyFacts Project. Chapter R. Hydrogen releases and dispersion. Available from: <https://www.h2euro.org/hyfacts/category/education-training/> [accessed on 12.11.20].
3. EIGA, European Industrial Gases Association (2007). Determination of safety distances. IGC Doc 75/07/E.
4. Li, Z, Makarov, D, Keenan, J, Molkov, V (2015). CFD study of the unignited and ignited hydrogen releases from TPRD under a fuel cell car. 6<sup>th</sup> International Conference on Hydrogen Safety, 19-21 October 2015, Yokohama, Japan.
5. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Available from: <http://cafcp.org/> [accessed on 12.11.20].
- 6.