



Europäisches Train the Trainer-Programm für Responder

Lektion 6

Schadenskriterien für Personen und Sachen

STUFE I

Feuerwehrmann/frau

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 Lehrmittelpakets mit Materialien der Stufen I - IV:

Diese Lektion ist Teil eines Schulungsmaterialpakets mit Materialien für die Stufen I - IV: Feuerwehrmann/frau, Gruppenführer/in (Kommandant), Einsatzleiter/in und Experte/in. 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 folgender Haftungsausschluss: Die Informationen in diesem Dokument werden in der vorliegenden Form bereitgestellt, und es wird keine Garantie oder Gewährleistung dafür übernommen, 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 "Horizont 2020" der Europäischen Union sowie durch das Vereinigte Königreich, Frankreich, Österreich, Belgien, Spanien, Deutschland, Italien, die Tschechische Republik, die Schweiz und Norwegen unterstützt.

Zusammenfassung

Dieser Vortrag liefert den Einsatzkräften wertvolle Informationen über die Auswirkungen von Wasserstofflecks, Bränden und Explosionen auf die Gesundheit und die Umwelt des Menschen. Außerdem werden die durch Wasserstoffbrände und Überdruckereignisse verursachten Schäden an Bauwerken und Anlagen behandelt.

Schlüsselwörter

Wasserstoffunfall, Wärmestrahlung, Überdruck, Schadenskriterien, persönliche Schutzausrüstung

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung.....	3
Schlüsselwörter	3
Inhaltsübersicht.....	4
1. Zielpublikum	5
1.1 Beschreibung der Rolle: Feuerwehrmann/frau	5
1.2 Kompetenzstufe: Feuerwehrmann/frau	5
1.3 Vorbildung: Feuerwehrmann/frau.....	5
2. Einleitung und Ziele.....	5
3. Wichtigste Definitionen.....	7
4. Gesundheitsgefahren durch Wasserstofffreisetzungen.....	8
4.1 Gasförmiger Wasserstoff.....	8
4.2 Verflüssigter Wasserstoff.....	9
5. Schädliche Auswirkungen der Wasserstoffverbrennung auf den Menschen	10
5.1 Einfluss der Lufttemperatur	10
5.2 Wirkung des direkten Kontakts mit Wasserstoffflammen	10
5.3 Auswirkung des Wärmestrahlungsflusses von Wasserstoffbränden.....	10
5.4 Wirkung von Überdruck auf den Menschen	11
6. Kennzeichnung von Wasserstoffsystemen	11
7. Persönliche Schutzausrüstung	14
8. Auswirkungen auf die Umwelt.....	15
Danksagung.....	15
Referenzen.....	15

1. Zielpublikum

Die in dieser Vorlesung enthaltenen Informationen richten sich an die STUFE 1: Feuerwehrmann. Es gibt auch Vorlesungen für die Stufen II, III und IV: Gruppenführer/in, Einsatzleiter/in und Experte/in.

Die Rollenbeschreibung, das Kompetenzniveau und die Lernerwartungen, die auf der Ebene der Besatzungskommandanten vorausgesetzt werden, werden im Folgenden beschrieben.

1.1 Beschreibung der Rolle: Feuerwehrmann/frau

Von einem Feuerwehrmann/frau kann erwartet werden, dass er die zur Verfügung stehenden Schutzausrüstung eigenverantwortlich benutzt und mit feuerwehrtechnischen Geräten wie z. B. Leitern, Schläuche, Feuerlöscher, Kommunikations- und Rettungsgeräte sicher umgehen kann.

1.2 Kompetenzstufe: Feuerwehrmann/frau

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

1.3 Vorbildung: Feuerwehrmann/frau

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. Einleitung und Ziele

Das Hauptanliegen der Wasserstoffsicherheit ist der Schutz von Leben und Eigentum. Daher ist es wichtig, die Kriterien für Betreiber, Nutzer, Mitglieder der Öffentlichkeit sowie für Einsatzkräfte festzulegen, die von den Folgen eines Zwischenfalls oder Unfalls in einem FCH-System (fuel cell and hydrogen; Brennstoffzelle und Wasserstoff) oder einer FCH-Infrastruktur betroffen sein können. Die Akzeptanzkriterien für Kunden und Mitarbeiter, die mit dem Betrieb, der Inspektion und der Wartung von FCH-Anlagen und -Infrastrukturen befasst sind, werden ähnlich sein, während für die allgemeine Öffentlichkeit, die sich zufällig in der Nähe eines Zwischenfalls/Unfalls befindet, ein eher konservativer Ansatz gewählt werden sollte. Nach der britischen Norm BS 7974 (2004) werden Feuerwehrleute als eine eigene Kategorie von Betroffenen betrachtet. Sie sind zum Zeitpunkt des Vorfalls/Unfalls nicht in der FCH-Einrichtung anwesend und treffen oft dann am Unfallort ein, wenn die Bedingungen am gefährlichsten sind und sie ihren beruflichen Pflichten nachkommen müssen. Sie sind durch den möglichen Einsturz der Gebäude/Strukturen und die Folgen der Druckwelle gefährdet. Da

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

sie mit spezieller persönlicher Schutzausrüstung (PSA) ausgestattet sind, können sie auch höheren Wärmestrahlungen und Temperaturen sowie erstickenden und giftigen Atmosphären standhalten. Darüber hinaus ist der Standort einer Person innerhalb der FCH-Infrastruktur zum Zeitpunkt eines Zwischenfalls/Unfalls sehr wichtig. Die Auswirkungen eines Wasserstoffunfalls können nämlich unmittelbar sein und wirken sich je nach Nähe zur Schadensquelle unterschiedlich auf die Menschen aus. Personen, die sich in geschlossenen Räumen aufhalten, sind eher von der Druckwelle betroffen als Personen, die sich im Freien aufhalten.

Es liegt außerhalb des Rahmens des HyResponder-Projekts, harmonisierte Schadenskriterien oder Schwellenwerte zur Charakterisierung der potenziellen Auswirkungen gefährlicher Phänomene bereitzustellen. Alle interessierten Akteure sollten die für ihr Land geltenden Normen nutzen.

Am Ende dieses Vortrags werden die Teilnehmer in der Lage sein:

- die wichtigsten Gesundheitsgefahren im Zusammenhang mit der Freisetzung von gasförmigem und verflüssigtem Wasserstoff ohne Zündquelle, physikalischen Explosionen (Bersten von Druckbehältern), Bränden, Verpuffungen und Detonationen zu beschreiben;
- die schädlichen Auswirkungen der Freisetzung von nicht entzündetem Wasserstoff in geschlossenen Räumen zu definieren:
 - den Geräuschpegel;
 - Wirkung der Wasserstofftemperatur;
 - Wirkung des Überdrucks bei Druckspitzenphänomenen.
- die schädlichen Auswirkungen der Wasserstoffverbrennung auf den Menschen zu definieren:
 - Auswirkung der Temperatur der Verbrennungsatmosphäre;
 - Exposition gegenüber Wärmestrahlung;
 - Wirkung von Überdruck.
- die Grundsätze und die Anwendung der Rahmenkriterien für die Schädigung von Mensch und Umwelt sowie der Schadenskriterien für Bauwerke und Ausrüstungen zu kennen:
 - Lufttemperatur;
 - thermische Dosis;
 - Wärmestrom;
 - Überdruck, etc.
- die gefährliche und die tödliche Dosis, 50% (LD50) der thermischen Dosis anzugeben;
- zwischen direkten und indirekten schädlichen Auswirkungen von Überdruck auf den Menschen zu unterscheiden;

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

- insbesondere die durch Wasserstoffbrände/ Druckwellen verursachten Schäden an Bauwerken, Geräten und der Umwelt auf die Höhe des Wärmestrahlungsflusses und des Überdrucks in Beziehung zu setzen;
- Kennzeichnungssystemen für die Speicherung von gasförmigem und verflüssigtem Wasserstoff bei Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen zu erkennen;
- die persönliche Schutzausrüstung aufzuführen, die nicht nur von den Einsatzkräften, sondern auch von den Mitarbeitern einer FCH-Einrichtung verwendet werden sollte;
- die Auswirkungen von Wasserstoff auf die Umwelt zu beschreiben.

3. Wichtigste Definitionen

Es ist wichtig, dass die Einsatzkräfte in der Lage sind, die Auswirkungen von Wasserstoffzwischenfällen/-unfällen auf die Lebenssicherheit und die Schadensbegrenzung zu bewerten. Es gibt verschiedene Methoden, um die Folgen eines Zwischenfalls/Unfalls zu definieren und abzuschätzen, je nach Schweregrad, Exposition, Dauer und dem betrachteten Ziel (d. h. Öffentlichkeit, Insassen, Strukturen, Gebäude, Ausrüstung usw.). Es gibt einige nützliche Definitionen, die in den aktuellen und zukünftigen Vorlesungen verwendet werden.

Akzeptanzkriterien sind die Vorgaben, anhand derer die sichere Auslegung einer FCH-Einrichtung/Infrastruktur bewertet wird [1].

Entmündigung ist ein Zustand, in dem Menschen nicht angemessen funktionieren und nicht in der Lage sind, unhaltbaren Zuständen zu entkommen [2].

Insassen sind Personen, die sich innerhalb der Grenzen einer FCH-Einrichtung/Infrastruktur aufhalten, einschließlich des mit dem Betrieb und der Wartung befassten Personals sowie der Kunden/Besucher [1].

Ein *sicherer Ort* ist ein vorher festgelegter Ort innerhalb oder außerhalb einer FCH-Einrichtung/Infrastruktur, an dem Personen nicht unmittelbar durch die Auswirkungen einer Wasserstofffreisetzung, eines Brandes oder einer Explosion gefährdet sind [1].

Öffentlichkeit sind Personen, die sich außerhalb der Grenzen einer FCH-Einrichtung/Infrastruktur aufhalten.

Ein *sensibler Bereich* ist eine Einrichtung, Infrastruktur oder Ausrüstung, in der sich Bestände gefährlicher Stoffe befinden, die zu einer Schadensquelle werden können, wenn sie von einem Wasserstoffzwischenfall/Unfall betroffen sind [1].

Die *Überlebensfähigkeit* ist die maximale Exposition, die mit einer vernachlässigbaren statistischen Wahrscheinlichkeit des Todes/Schadens und ohne Beeinträchtigung der Fähigkeit einer Person, zu entkommen, aufgenommen werden kann [1].

Die *Tenabilität* ist die maximale Gefährdung durch einen Wasserstoffzwischenfall/Unfall, die toleriert werden kann, ohne dass die Sicherheitsziele verletzt werden [1].

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

Der *Schwellenwert* ist die maximale Intensität oder Dosis für eine bestimmte Gefahr, die einer bestimmten physiologischen (für Menschen) oder strukturellen (für Strukturen und Geräte) Reaktion entspricht [1].

4. Gesundheitsgefahren durch Wasserstofffreisetzungen

Wasserstoffgas ist leichter als Luft, weshalb es schnell aufsteigt und sich bei ungewollten Freisetzungen in offener Umgebung schnell in der Luft verdünnen kann. Bei einer unbeabsichtigten Freisetzung in geschlossenen Räumen kann es Menschen durch Erstickung schädigen. Außerdem besteht bei der Freisetzung von Wasserstoff in geschlossenen Räumen die Gefahr von Explosionen. Wasserstoff-Luft-Gemische sind aufgrund des weiten Entflammbarkeitsbereichs von 4 bis 75 Vol.-% Wasserstoff entzündlich. Wenn Wasserstoff an der Luft freigesetzt wird und eine Zündquelle vorhanden ist, verbrennt er unter Bildung von Wasser und Wärme. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich Wasserstoff nach seiner Freisetzung entzündet, ist sehr hoch, da er eine niedrige Mindestzündenergie aufweist: Selbst eine Entladung statischer Elektrizität reicht aus, um Wasserstoff zu entzünden. Für die Einsatzkräfte ist es nicht erforderlich, Schutzkleidung zu tragen, um die Entladung statischer Elektrizität zu vermeiden, da die Entladung statischer Elektrizität in seltenen Fällen ausreicht, um Wasserstoff zu entzünden. **Im Brandfall** ist die Wasserstoffflamme bei Tageslicht fast unsichtbar und ihre Temperatur kann bis zu 2000 °C erreichen. Obwohl die Wasserstoffflamme im Vergleich zu einer Kohlenwasserstoffflamme wenig strahlt, besteht für die Einsatzkräfte das Risiko, in die Flamme zu laufen.

4.1 Gasförmiger Wasserstoff

Wasserstoffgas ist ein geruchs-, farb- und geschmacksneutrales Gas, das von den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden kann. Die Verwendung von Geruchsstoffen (z. B. Mercaptanen) in Lagerbehältern ist nicht möglich, da sie die Brennstoffzellen vergiften können. Wasserstoff ist kein krebserregender Stoff. Es ist nicht zu erwarten, dass Wasserstoff Mutagenität¹, Teratogenität², Embryotoxizität³ oder Reproduktionstoxizität verursacht. Es gibt keine Hinweise auf schädliche Auswirkungen auf Haut oder Augen, die einer Wasserstoffatmosphäre ausgesetzt sind. Allerdings können Hochdruck-Wasserstoffdüsen die nackte Haut verletzen [3]. Wasserstoff kann nicht verschluckt werden. Das Einatmen von Wasserstoff kann jedoch zur Bildung eines entzündlichen Gemischs in der Lunge des Menschen führen.

¹ Die Herbeiführung dauerhafter, übertragbarer Veränderungen in der Menge oder Struktur des genetischen Materials von Zellen oder Organismen.

² Geburtsfehler durch eine toxische Wirkung auf einen Embryo oder Fötus.

³ Toxische Auswirkungen einer Substanz, die die Plazentaschranke überwindet, auf den Embryo.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

Ähnlich wie bei anderen Gasen führt ein Anstieg der Wasserstoffkonzentration zu einer Verringerung des Sauerstoffgehalts in der Luft, was wiederum zu *Erstickungsgefahr* führen kann. Wasserstoff wird als einfaches *Erstickungsmittel eingestuft*; es gibt keinen Grenzwert (TLV) [4]. Hohe Wasserstoffkonzentrationen in der Luft führen in vollständig oder teilweise geschlossenen Räumen zur Bildung von *Sauerstoffmangelatmosphären*. Bei Personen, die solchen Atmosphären ausgesetzt sind bzw. diese einatmen, können die folgenden Symptome auftreten: Kopfschmerzen, Schwindel, Schläfrigkeit, Bewusstlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen, Beeinträchtigung aller Sinne, usw. Die Haut der betroffenen Personen kann sich blau verfärben, und unter bestimmten Umständen kann es zum Tod kommen. Wenn Wasserstoff eingeatmet wird und die oben genannten Symptome auftreten, sollte die Person an die frische Luft gebracht werden; wenn die Atmung erschwert ist, sollte Sauerstoff zugeführt werden, und wenn die Person nicht atmet, sollte sie künstlich beatmet werden.

4.2 Verflüssigter Wasserstoff

Verflüssigter Wasserstoff wird aufgrund seines niedrigen Siedepunkts (-253 °C) bei extrem niedrigen Temperaturen gelagert/verwendet. Die Gesundheitsgefahren, die mit der Freisetzung von verflüssigtem Wasserstoff verbunden sind, werden im Folgenden beschrieben.

- Der Kontakt mit flüssigem Wasserstoff oder seine Spritzer auf der Haut oder in den Augen können schwere Kälteverbrennungen durch *Erfrierungen oder Unterkühlung* verursachen.
- Verbrennungen *durch Kälte* können auch durch den Kontakt ungeschützter Körperteile mit kalten Flüssigkeiten oder kalten Oberflächen entstehen.
- Das Einatmen kalter Wasserstoffdämpfe kann *Atembeschwerden* verursachen und zum *Erstickungstod* führen.
- Direkter physischer Kontakt mit LH₂, kalten Dämpfen oder kalten Geräten kann zu schweren *Gewebeschäden* führen. Bei kurzzeitigem Kontakt mit einer kleinen Menge der Flüssigkeit ist die Gefahr einer Verbrennung nicht so groß, da sich ein Schutzfilm aus verdampfendem gasförmigem Wasserstoff bilden kann. Die Gefahr des Erfrierens besteht, wenn große Mengen verschüttet werden und die Exposition groß ist⁴.
- Das Personal darf keine kalten Metallteile berühren und muss *Schutzkleidung* tragen. Außerdem müssen sie den betroffenen Bereich mit einer losen Abdeckung schützen.
- Wenn die Körperinnentemperatur auf 27 °C oder weniger sinkt, sind *Herzfehlfunktionen* wahrscheinlich, und der Tod kann eintreten, wenn die Körperinnentemperatur auf weniger als 15 °C sinkt [5].
- Eine *Erstickung* ist auch möglich, wenn verflüssigter Wasserstoff freigesetzt wird und in Innenräumen verdampft.

⁴ _ Wirkung von flüssigem Stickstoff:

<https://www.youtube.com/watch?v=F9dhZJQk80A&feature=youtu.be&t=291>

5. Schädliche Auswirkungen der Wasserstoffverbrennung auf den Menschen

Das Einatmen von Verbrennungsprodukten herkömmlicher Brennstoffe ist eine der Hauptursachen für Verletzungen und eine der Hauptfolgen eines Brandes. Bei Wasserstoff wird sie als weniger schwerwiegend angesehen, da das einzige Verbrennungsprodukt Wasserdampf ist (ungiftig, nicht giftig). Bei Sekundärbränden können jedoch Rauch oder andere Verbrennungsprodukte entstehen, die eine Gesundheitsgefahr darstellen.

5.1 Einfluss der Lufttemperatur

Bei einem Wasserstoffbrand wird die Umgebungsluft stark erhitzt, was sich auf Personen in der Nähe auswirken kann. Direkter Kontakt mit brennendem Wasserstoff oder heißen Nachbrenngasen, die bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen, führt zu schweren *thermischen Verbrennungen*. Ein Anstieg der Lufttemperatur kann zu Atemnot oder Verbrennungen der Atemwege führen. Hohe Temperaturen können auch zu einem Kollaps führen.

5.2 Wirkung des direkten Kontakts mit Wasserstoffflammen

Die Auswirkungen einer Wasserstoffflamme auf den Menschen sind ähnlich wie bei den Flammen anderer gängiger Brennstoffe. Direkter Kontakt mit brennendem Wasserstoff oder heißen Nachbrenngasen, die bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen, führt zu schweren Verbrennungen [11].

5.3 Auswirkung des Wärmestrahlungsflusses von Wasserstoffbränden

Eine Wasserstoffflamme strahlt im Vergleich zu einer Kohlenwasserstoffflamme deutlich weniger Wärme ab und ist bei hellem Tageslicht praktisch unsichtbar. Die maximale Wellenlänge ihrer Emission liegt bei etwa 311 nm, also im ultravioletten (UV) Bereich des Strahlungsspektrums [11]. Das bedeutet, dass Personen, die sich in der Nähe einer Wasserstoffflamme aufhalten, diese möglicherweise erst wahrnehmen, wenn sie mit ihr in Kontakt kommen [11]. Ohne geeignete Detektionsgeräte ist der erste Hinweis auf eine kleine Flamme wahrscheinlich ein "zischendes" Geräusch des durch eine Öffnung entweichenden Gases und vielleicht auch "Wärmewellen" [11].

Bitte beachten Sie, dass eine Wasserstoffflamme ein Minimum an Infrarotstrahlung und praktisch keine sichtbare Strahlung abgibt.

Für Personen, die nicht in direktem Kontakt mit den Wasserstoffflammen stehen, besteht die Möglichkeit, dass sie über einen längeren Zeitraum hohen Strahlungswärmeflüssen ausgesetzt sind, die zu Verbrennungen ersten, zweiten oder dritten Grades führen können.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

5.4 Wirkung von Überdruck auf den Menschen

Eine der wichtigsten indirekten Auswirkungen von Überdruck sind fliegende Fragmente (auch Raketen oder Geschosse genannt). Das Ausmaß der Verletzungen hängt von der Größe und dem Gewicht der Fragmente, der Aufprallgeschwindigkeit und dem Ort des Aufpralls auf einen menschlichen Körper ab [12]. Die Geschwindigkeit der Raketenbeschleunigung ist der Hauptfaktor, der Verletzungen verursacht. Die Wahrscheinlichkeit einer Penetrationswunde steigt mit zunehmender Geschwindigkeit, insbesondere bei kleinen Flugkörpern wie Glasfragmenten.

6. Kennzeichnung von Wasserstoffsystemen

Die Piktogramme für den kommerziellen Transport von Wasserstoff sind in [Abbildung 1](#) dargestellt, wobei "1049" für gasförmigen Wasserstoff und "1966" für flüssigen Wasserstoff steht [13].

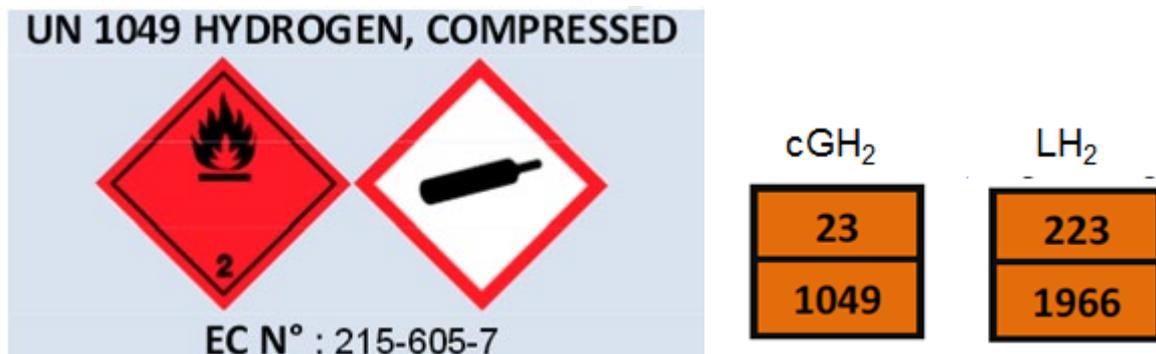


Abbildung 1. Beispiele für Piktogramme, die für den Transport von Wasserstoff verwendet werden.

Für BZ-Fahrzeuge empfiehlt die EU-Verordnung Nr. 406/2010 die Verwendung von grünen Rauten in weißen Rahmen mit der Aufschrift "H₂ GAS" oder "LIQUID H₂" in weißen Buchstaben [14].

Die wichtigsten Schritte bei der Entwicklung von Symbolen zur formalen Gefahrenerkennung sind in den [Abbildungen 2](#) und [3](#) dargestellt. Diese Farben werden auch in den Rettungsinformationen und zur Einfärbung von Fahrzeugteilen (Rettungsblätter) verwendet.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

SYMBOLS

- 1) FIRST ENERGY SOURCE: CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE: →
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:
- 4) STORED AGREGATE STATE:



Abbildung 2. Vom CTIF vorgeschlagene Farben und Symbole für die Entwicklung von standardisierten Zeichen

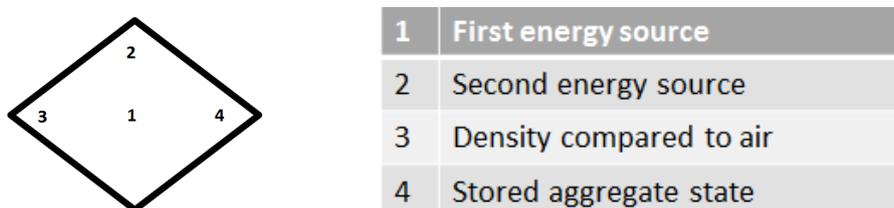


Abbildung 3. Eine vom CTIF vorgeschlagene Rautenform zur Identifizierung von Fahrzeuggefahren [15].

Abbildung 4 zeigt die neueste Version eines Etiketts für ein BZ-Fahrzeug, auf dem zwei Hauptenergieträger angegeben sind: Wasserstoff (in der Mitte) und Strom in der oberen Ecke. Das Symbol in der linken Ecke zeigt an, dass die erste Energiequelle (d.h. Wasserstoff) leichter als Luft ist; das Symbol in der rechten Ecke zeigt an, dass es sich um komprimiertes Gas

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

handelt. Die ISO 17840-4 liefert den Einsatzkräften wertvolle Informationen über die Gefahren, die weithin sichtbar sind.



Abbildung 4. Ein vom CTIF entwickeltes Symbol für ein mit komprimiertem gasförmigem Wasserstoff betriebenes BZ-Fahrzeug [15]

Die Beispiele der vom CTIF vorgeschlagenen Symbole für andere Fahrzeugtypen, traditionelle und Hybridfahrzeuge, sind in [Abbildung 5](#) dargestellt.

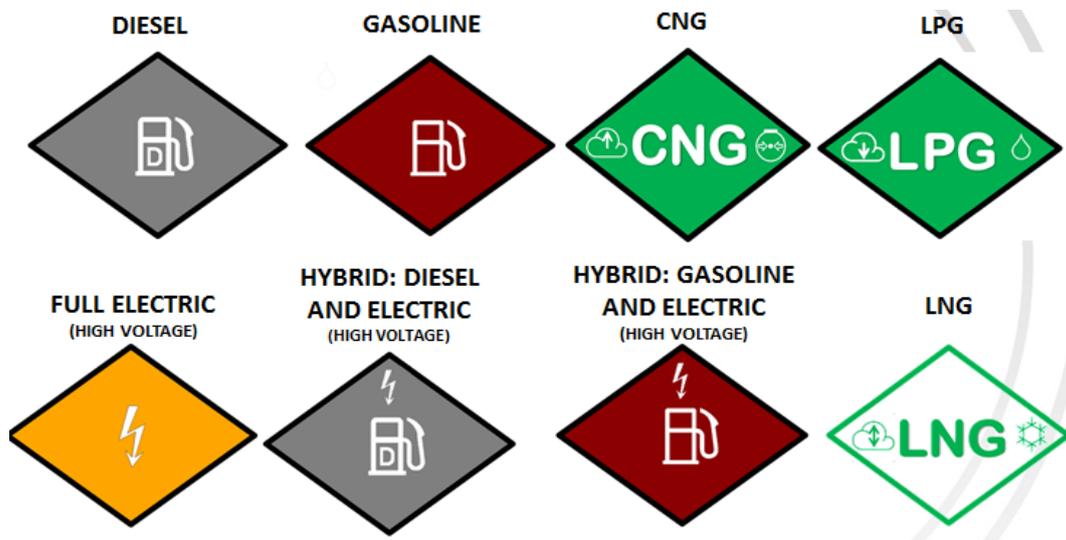


Abbildung 5. Vom CTIF entwickelte Symbole für verschiedene Arten von Fahrzeugkraftstoffen/-energien [15]



Abbildung 6. Identifizierung nach formalen Methoden in den USA [13]

7. Persönliche Schutzausrüstung

Im Hinblick auf die Leistungsanforderungen an Persönliche Schutzausrüstung (PSA) für die Brandbekämpfung sind zwei wichtige EU-Normen zu nennen. Die (NF) EN 469:2006-02 [16] enthält Anforderungen an Schutzkleidung für Feuerwehrleute, und die (NF) EN 136: 1998 [17] - die für Atemschutzgeräte.

Das Personal, das in einer Wasserstoffanlage oder einem Wasserstoffsystem arbeitet, kann die möglichen Folgen einer Gefahr durch die Verwendung geeigneter Schutzausrüstung verringern. Zu den Bedingungen, bei denen das Personal geschützt werden sollte, gehören die Exposition gegenüber kryogenen Temperaturen, Flammentemperaturen, Wärmestrahlung einer Wasserstoffflamme und sauerstoffarme Atmosphären aus Wasserstoff oder inerten Spülgasen wie Stickstoff und Helium. Die Art der Arbeit bestimmt, welche Art von PSA verwendet werden sollte. Einige allgemeine Leitlinien für PSA wurden in der ISO 15196 [11] festgelegt. Diese Richtlinien enthalten keine PSA, die bei anderen Tätigkeiten wie Arbeiten an elektrischen Schaltkreisen oder Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten zu berücksichtigen ist [11]. Erforderliche oder vorgeschriebene Teile der PSA müssen auf der Grundlage der Bedingungen vor Ort ausgewählt werden.

- Gegebenenfalls sollte ein Augenschutz getragen werden (z. B. ein vollständiger Gesichtsschutz beim Anschließen und Trennen von Leitungen oder Bauteilen oder eine Schutzbrille bei der Handhabung von LH₂).
- Bei der Handhabung von Gegenständen, die mit LH₂ oder kaltem GH₂ in Berührung kommen, sollten gut isolierte Handschuhe getragen werden. Die Handschuhe sollten locker sitzen, sich leicht ausziehen lassen und keine großen Stulpen haben.
- Es sollten lange Hosen, vorzugsweise ohne Manschetten, getragen werden, wobei die Beine außen an den Stiefeln oder Arbeitsschuhen bleiben sollten.
- Es sollten geschlossene Schuhe getragen werden (offene oder poröse Schuhe sollten nicht getragen werden).
- Es sollte Kleidung aus normaler Baumwolle, flammhemmender Baumwolle oder antistatischem Material getragen werden. Vermeiden Sie das Tragen von Kleidung aus Nylon oder anderen synthetischen Stoffen, Seide oder Wolle, da diese Materialien statische Aufladungen erzeugen können, die entflammbare Gemische entzünden können. Synthetisches Material (Kleidung) kann schmelzen und am Fleisch haften, was zu größeren Verbrennungsschäden führen kann. Kleidung, die mit Wasserstoff besprüht oder bespritzt wurde, sollte ausgezogen werden, bis sie vollständig frei von Wasserstoffgas ist.
- Stulpenhandschuhe, enge Kleidung oder Kleidung, die Flüssigkeit am Körper hält oder einschließt (Taschen), sollten vermieden werden.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

- Gehörschutz sollte getragen werden, wenn die Wasserstoffanlage oder das Wasserstoffsystem Geräte enthält, die laute Geräusche erzeugen.
- Schutzhelme sollten getragen werden, wenn in der Wasserstoffanlage oder im Wasserstoffsystem die Gefahr von herabfallenden Gegenständen besteht.
- Bei Arbeiten in geschlossenen Räumen, die eine sauerstoffarme Atmosphäre aufweisen können, sollte ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät getragen werden.
- Tragbare Wasserstoff- und Feuerdetektoren sollten verwendet werden, um vor Wasserstofflecks und Bränden zu warnen.
- Wärmebildkameras und unbemannte Schlauch- oder Monitorrohre sollten von den Feuerwehrleuten eingesetzt werden.
- Das Personal sollte sich erden, bevor es ein Werkzeug an einem Wasserstoffsystem berührt oder benutzt, wenn Wasserstoff in dem Bereich vermutet wird.

8. Auswirkungen auf die Umwelt

Wasserstoff verunreinigt weder das Grundwasser (unter normalen atmosphärischen Bedingungen ist er ein Gas), noch trägt eine Freisetzung von Wasserstoff zur Luftverschmutzung bei. Wasserstoff findet sich in der Erdatmosphäre in einer Konzentration von 0,5 ppm (parts per million) vom Boden bis in 60 km Höhe [1]. Zu den von Schultz [18] beschriebenen Quellen von Wasserstoffemissionen gehören:

- Unvollständige Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Biomasse (40 %),
- Atmosphärische petrochemische Oxidation von Methan und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen (50 %),
- Emissionen aus Vulkanen, Ozeanen und stickstoffbindenden Leguminosen (10 %).

75 % der Wasserstoffemissionen werden durch trockene Ablagerung auf dem Boden aus der Atmosphäre entfernt, während die restlichen 25 % durch Oxidation in der Atmosphäre entfernt werden [18].

Bei der Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff entstehen keine "Abgase" oder "Rauch". Ein BZ-Fahrzeug hat keine Auspuffemissionen [19].

Danksagung

Das HyResponse-Projekt wird als Vor-Projekt herausgehoben, da die hier vorgestellten Materialien auf Basis der ursprünglichen HyResponse-Unterlagen erweitert wurden.

Referenzen

1. Saffers, JB (2010). Grundsätze der Wasserstoffsicherheitstechnik. Dissertation. Universität von Ulster.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

2. NFPA (2009). Life Safety Code.
3. Hammer, W. (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4. thAuflage, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, Kapitel 19.
4. NASA (1997). Sicherheitsstandard für Wasserstoff und Wasserstoffsysteme. Richtlinien für die Konstruktion von Wasserstoffsystemen, die Materialauswahl, den Betrieb, die Lagerung und den Transport. Technischer Bericht NSS 1740.16, Office of safety and mission assurance, Washington.
5. Molkov, V. (2012). Grundlagen der Wasserstoffsicherheitstechnik, Teil I und Teil II. Verfügbar unter: www.bookboon.com, kostenloser Download E-Book
6. Prasher, D. (2000). Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen von Lärmbelastung (NOPHER): Ein Arbeitsplan der Europäischen Kommission für eine konzertierte Aktion. Noise Health, Ausgabe 2, S. 79-84. Verfügbar unter: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [Zugriff am 09.11.20].
7. Wasserstoffdetektion in Ö Raffinerien. A Gassonic. Ein Unternehmen von General Monitors.
8. NIO Note D'Information Operationnelle (2013). Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques lies. Auf Französisch und auf Englisch. Verfügbar unter: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) Download unter: http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf [Zugriff am 25.11.20].
9. Friedrich, A. et al. (2012). Zündung und Wärmestrahlung von kryogenen Wasserstoffdüsen. International Journal of Hydrogen Energy. Vol.31, pp.17589-17598.
10. Drysdale, D. (1985). Eine Einführung in die Branddynamik. John Wiley and Sons, Chichester, S. 146
11. ISO/TR 15916 (2004). Grundlegende Überlegungen zur Sicherheit von Wasserstoffsystemen. Internationale Organisation für Normung. ISO Technisches Komitee 197 Wasserstofftechnologien. Internationale Organisation für Normung, Genf.
12. Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K und Hashiguchi, K (2007). Einführung einer Technologie zur Bewertung der Wasserstoffsicherheit. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technische Rundschau. Vol. 44(1), S. 1-3.
13. US DoE, US Department of Energy (2008). Wasserstoff-Sicherheitstraining für Ersthelfer. Verfügbar unter: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [Zugriff am 11.11.20].
14. EU Nr. 406/2010, Verordnung der Kommission vom 26. April 2010 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 79/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von wasserstoffbetriebenen Kraftfahrzeugen. Amtsblatt der Europäischen Union. Bd. 53, 18. Mai 2010. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [Zugriff am 09.11.20].
15. Esbroeck, T. und Vollmacher, K. (2015). Identifizierung der ISO-Antriebsenergie. Commission for Extrication and New Technologies. Unveröffentlicht.

Lektion 6: Schadenskriterien für Personen und Sachen

16. (NF) EN 469:2006-02. Europäische Norm. Schutzkleidung für Feuerwehren. Leistungsanforderungen an Schutzkleidung für die Feuerwehr.
17. (NF) EN 136: 1998. Europäische Norm. Atemschutzgeräte. Vollgesichtsmasken. Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung.
18. Schultz, MG, Markt, F, Pilegaard, K (2004). Wasserstoff und Umwelt. RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. P.58-62
19. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Verfügbar unter: <http://cafcp.org/> [Zugriff am 09.11.20].