



**ÖSTERREICHISCHER
BUNDESFEUERWEHRVERBAND**
SACHGEBIET 4.6 - Gefährliche Stoffe

**ÖBFV-
INFO
E - 08**

INFORMATION

Wasserstoff



Beschlossen vom
Plenum des SG 4.6
im März 2009

Ersetzt die Richtlinie
E 08 von 1997

1. Ausgabe
Juni 2010
Version V01.0/1006

Ziel dieser Information ist es, Entscheidungshilfen für die Einsatzdurchführung zu geben.
Die Information hat aber keinen Normcharakter, der Einsatzleiter kann daher entsprechend seiner Lagefeststellung und Lagebeurteilung bei der Bekämpfung der Gefahr auch eine andere Vorgangsweise wählen.

Erarbeitung durch:
Sachgebiet 4.6 „Schadstoffe“

Copyright: Österreichischer Bundesfeuerwehrverband
Siebenbrunnengasse 21/3
A - 1050 WIEN
Telefon: 01 / 545 82 30
FAX: 01 / 545 82 30 – 13
Internet: www.bundesfeuerwehrverband.at
Mail: office@bundesfeuerwehrverband.at

Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen.....	4
1.1.	Beschreibung	4
1.2.	Vorkommen	4
1.3.	Physikalische, chemische und toxikologische Daten	5
2.	Vorschriften	6
2.1.	Transportvorschriften	6
2.2.	Kennzeichnung für den Anwender	7
2.3.	Kennzeichnungsverordnung BGBl. II Nr. 101/1997 idgF	8
2.4.	Farbkennzeichnung von Gasflaschen	8
2.5.	Garagengesetze	8
3.	Lagerung und Transport	9
3.1.	Transport in Gasphase	9
3.2.	Transport in Flüssigphase	10
3.3.	Verwendung als Antriebsstoff	11
4.	Gefahren	12
4.1.	Brand- und Explosionsgefahr	12
4.2.	Gefahren für den Menschen	13
5.	Maßnahmen	13
5.1.	Allgemeine Maßnahmen	13
5.2.	Zusätzliche Maßnahmen bei Wasserstoffaustritt ohne Brand	13
5.3.	Zusätzliche Maßnahmen bei Wasserstoffaustritt mit Brand	14
6.	Gasbrandbekämpfung.....	15
6.1.	Gasbrandbekämpfung mit Löschpulver	15
6.2.	Gasbrandbekämpfung mit Wasser	15
7.	Erste Hilfe	16
7.1.	Rettung aus dem Gefahrenbereich	16
7.2.	Entfernen durchgaster Kleidung	16
8.	Dokumentation des Einsatzes	16
9.	Informationen	16
10.	Abbildungsverzeichnis.....	16

1. GRUNDLAGEN

1.1. BESCHREIBUNG

Wasserstoff ist bei normalen Bedingungen (Druck und Temperatur) ein brennbares, farb-, geruch- und geschmackloses Gas.

Wasserstoff ist viel leichter als Luft.

Er bildet mit Sauerstoff bzw. Luft Knallgas oder mit Chlor Chlorknallgas.

Wasserstoff ist sehr leicht entzündlich; bereits energiearme Funken wie z.B. bei elektrostatischer Aufladung können zur Zündung führen.

Unter Druck ausströmender Wasserstoff kann sich selbst entzünden.

Transportiert und gelagert wird Wasserstoff verdichtet oder tiefkalt verflüssigt.

1.2. VORKOMMEN

Wasserstoff ist ein wichtiger Arbeitsstoff in der Industrie und wird hauptsächlich eingesetzt:

- Zum Blankglühen in der Metallverarbeitung.
- Zum Hydrieren, z.B. bei der Öl- oder Fetthärtung.
- Zur Synthese von Ammoniak.
- Als Schutzgas in der Halbleiterfertigung und Glasindustrie.
- In der Schweißtechnik als Formiergas.
- In Elektromaschinen als Kühlmittel in Turbogeneratoren.
- Wasserstoff findet auch als Treibstoff Verwendung (PKW, LKW, Busse).
- Notstromversorgungen mit Brennstoffzellen.
- Knallgasbildung – Wasserstoff wird bei der Ladung von Bleiakkumulatoren (z.B. Staplerbatterien, in Batterieladeräumen, Notstrombatterieanlagen u.ä.) freigesetzt.
- Wasserstofffreisetzung bei chemischen Reaktionen – konzentrierte Säuren mit bestimmten Metallen (Salzsäure mit Zink) sowie starke Laugen mit einzelnen Metallen (Natronlauge mit Aluminium).

1.3. PHYSIKALISCHE, CHEMISCHE UND TOXIKOLOGISCHE DATEN

Bezeichnung, Synonyme	Wasserstoff
Summenformel	H ₂
CAS-Nummer	1333-74-0
Aggregatzustand	gasförmig
Farbe	farblos
Geruch, Geschmack	geruchlos, geschmacklos
Dichte	Luft ist viel schwerer als Wasserstoff (14-mal so schwer!). Wasserstoff sammelt sich in Räumen unter der Decke.

Gefahrnummer	23 (Wasserstoff verdichtet)
UN-Nummer	1049 (Wasserstoff verdichtet)

Siedetemperatur	-253°C
------------------------	--------

Dampfdichteverhältnis zu Luft (Luft = 1)	0,07
---	------

Löslichkeit in Wasser	geringfügig
------------------------------	-------------

Ex-Bereich (Vol. %)	4,0 – 77% ^①
----------------------------	------------------------

Zündtemperatur / Temperaturklasse	560°C T 1
--	--------------

unterer Heizwert	~33,3 kWh/kg ~10,8 MJ/Nm ³
-------------------------	--

Flammentemperatur	~2.300°C in Luft ~2.700°C in Sauerstoff
--------------------------	--

Verbrennungsgeschwindigkeit in Luft max.	3,46 m/s
---	----------

^① Die Literaturangaben weichen geringfügig voneinander ab; an dieser Stelle wurden die „gefährlichsten“, also am weitesten auseinander liegenden Werte eingesetzt

2. VORSCHRIFTEN

2.1. TRANSPORTVORSCHRIFTEN

2.1.1. Kennzeichnungen von Transportfahrzeugen für Versandbehälter
Orange Warntafel (ohne Gefahrnummer und ohne Stoffnummer).



oder

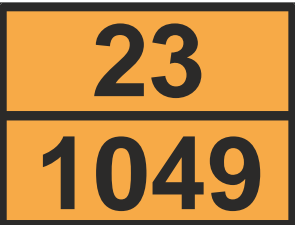

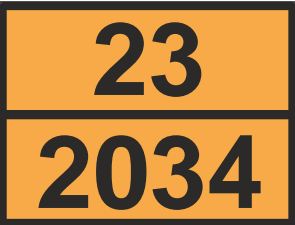



2.1.2. Transportkennzeichnung für Tankwagen und Tankcontainer

Roter Gefahrzettel (auf die Spitze gestelltes Quadrat) mit Flammensymbol und eventuell Ziffer 2.



Orange Warntafel mit schwarzer Beschriftung

<p>Wasserstoff, verdichtet</p> 	<p>Wasserstoff, tiefkalt, verflüssigt</p> 
<p>Wasserstoff und Methan, Gemisch, verdichtet</p> 	<p>Wasserstoff, in einem Metallhydridspeichersystem</p> 

2.2. KENNZEICHNUNG FÜR DEN ANWENDER

2.2.1. Chemikaliengesetz BGBI. I 53 / 1997 IDGF, Chemikalienverordnung BGBI. II 81 / 2000 IDGF

Die Kennzeichnung von Wasserstoff verdichtet nach dem Chemikaliengesetz erfolgt mit dem Zettel für Hochentzündlich und nachstehenden **R + S – Sätzen**



Hochentzündlich

Hinweise auf die besonderen Gefahren:

R 12 Hochentzündlich.

Sicherheitsratschläge:

S 9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.

S 16 Von Zündquellen fernhalten - nicht rauchen.

S 33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.

2.2.2. Globally Harmonised System (GHS)



„Entzündbare Gase“



„Unter Druck stehende Gase“

Signalwort: Gefahr!

Gefahrenhinweise:

Extrem entzündbares Gas. (H220)

Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren. (H280)

Sicherheitshinweis Prävention:

Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen. (P210)

Sicherheitshinweis Aufbewahrung:

Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann. (P377)

Sicherheitshinweis Reaktion:

An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. (P403)

2.3. KENNZEICHNUNGSVERORDNUNG BGBl. II NR. 101/1997 idgF

Gefahrenbereiche sind gemäß „Verordnung über die Sicherheits- und Gesundheitskennzeichnung bei der Arbeit“ mit nachstehenden WARNZEICHEN zu kennzeichnen.



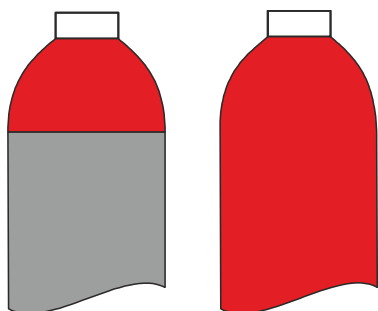
Warnung vor
feuergefährlichen Stoffen



Warnung vor
Gasflaschen

2.4. FARBKENNZEICHNUNG VON GASFLASCHEN

Die ÖNORM EN 1089-3:1997, Farbkennzeichnung für Gasflaschen sieht für brennbare Gase wie Wasserstoff eine rote Farbkennzeichnung vor.



Schulter: Rot

Körperfarbe: Neutral möglich, meistens rot



2.5. GARAGENGESETZE

Das Einfahren und das Abstellen von wasserstoffbetriebenen KFZ in Garagen ist bundesländerspezifisch geregelt.

3. LAGERUNG UND TRANSPORT

3.1. TRANSPORT IN GASPHASE

Gasförmiger Wasserstoff wird in Kartuschen, Einzelflaschen (mit 0,5 - 150 Liter Flaschengröße) in Flaschenbündeln oder in Großraumflaschen transportiert.

Flaschen bzw. Flaschenbündel können auf einem Fahrzeug oder Fahrzeugrahmen (Trailer) fix montiert sein.



3.2. TRANSPORT IN FLÜSSIGPHASE

Tiefkalt verflüssigter Wasserstoff wird unter Druck in Behältern (bis 1000 Liter, max. 3 bar) und Tankfahrzeugen unter Druck (max. 13 bar) transportiert.

Diese Transportbehälter sind mit Sicherheitsventilen und/oder Berstscheiben als Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet.

Die Sicherheitseinrichtungen reichen bei direkter Flammeneinwirkung auf den Transportbehälter zur Druckentlastung nicht aus.



3.3. VERWENDUNG ALS ANTRIEBSSTOFF

Die Besonderheiten von alternativen Antrieben sind in der

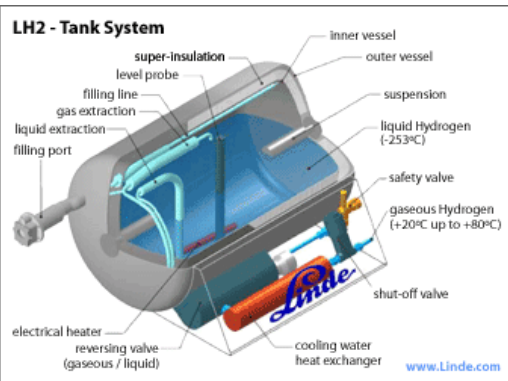

Information „E 20 – Alternative Antriebe“ des SG 4.6 des ÖBFV



detailliert angeführt. In dieser Info ist nur eine kurze Zusammenfassung integriert.

Wasserstoff wird auch als alternativer Treibstoff für Kraftfahrzeuge und zur Stromgewinnung mittels Brennstoffzellen eingesetzt.

Die verschiedenen Speicherarten für Wasserstoff weisen einige Neuerungen im Vergleich zu den herkömmlichen Systemen auf:

- **Hochdruck-Compositebehälter** (bis ~900 bar)
Sicherheitseinrichtung (Schmelzsicherung)
- **Flüssigwasserstoff** (<-253°C)
Sicherheitseinrichtung (Überdrucksicherung)
- **Metallhydridspeicher** (Metallhydrid = „Metallschwamm“ mit Wasserstoff unter Druck in Gasflaschen (bis ~150 bar))
Sicherheitseinrichtung (Schmelzsicherung)
- **Nanotubes** (Kapillaren aus Glas/Kohlefasern, GNF “Graphit Nano Fiber“-Kartuschensysteme)

Flüssigwasserstofftank	Hochdruck-Compositebehälter
 <p>The diagram illustrates the internal structure of a liquid hydrogen tank. It features a double-walled design with super-insulation between the inner and outer vessels. Key components include a level probe, filling and extraction lines, a safety valve, and a shut-off valve. The tank is equipped with a suspension system and a cooling water heat exchanger. The liquid hydrogen is stored at -253°C, while gaseous hydrogen is at +20°C up to +80°C. The Linde logo is visible at the bottom of the diagram.</p>	 <p>A cutaway view of a Mercedes-Benz car showing the location of a high-pressure composite hydrogen storage tank. The tank is cylindrical and mounted in the rear of the vehicle. The car's engine and other components are also visible.</p>
[2]	[3]

Metallhydridspeicher	Nanotubes
 <p>A photograph showing a large, cylindrical metal hydride storage tank being handled by workers in a factory setting. The tank is being moved by a crane or hoist.</p>	 <p>A photograph of a car being refueled with hydrogen at a station. The car is labeled 'SanEnergy'. An inset image shows a 3D model of a nanotube structure, which is a type of carbon nanotube used for hydrogen storage.</p>
[4]	[5]

4. GEFAHREN

4.1. BRAND- UND EXPLOSIONSGEFAHR

4.1.1. Allgemeine Gefahren

- Wasserstoff brennt mit fast farbloser Flamme, diese ist bei Tageslicht kaum sichtbar und oft nur durch die Wärmestrahlung „wahrnehmbar“.

- Wegen der schweren Erkennbarkeit einer Wasserstoffflamme ist es wichtig, die Wasserstoff-Austrittsstelle zu lokalisieren und auf Brand zu prüfen (Wärmebildkamera, Besentest).

Besentest:

Die Borstenseite eines Besens wird vor die vermutete Wasserstoff-Austrittsstelle gehalten. Durch das Entflammen der Besenborsten bei Brand wird eine unsichtbare Wasserstoffverbrennung erkennbar.

- Explosionsgefahr
 - Zündfähige Gas-Luft-Gemische im Bereich der Gas-Austrittsstelle.
 - Beschädigung bzw. Zerstörung von Gebäuden (Raumexplosion).
 - Sehr weiter Explosionsbereich.
 - Gefahr der Zündung, besonders bei hohem Austrittsdruck des Gases.
- Brandgefahr
 - Gefahr von Sekundärbränden.
 - Sehr rasche Verbrennung im Freien, bzw.
 - explosionsartige Verbrennung in Räumen.
 - Brand an der Gas-Austrittsstelle wahrscheinlich.
- Berstgefahr
 - Wärmestrahlung und Flammeneinwirkung können zu einem Zerknall der Behälter und einem schlagartigen Austritt von großen Gasmengen führen.
- **Gefahrenzone:** Mindestens **30 bis 60 m!**
 - **Mehrere 100 m bis zu 1000 m** beim Austritt großer Gasmengen unter hohem Druck, wie auch bei direkter Beflammung von oberirdischen Speicherbehältern und Behältern mit tiefkalt verflüssigtem Wasserstoff!
- **Wirkzone:** Die Größe der Wirkzone ist abhängig von der austretenden Gasmenge (Flammenlänge und Hitzestrahlung).
- Einsturzgefahr und möglicher Trümmerflug.

4.2. GEFAHREN FÜR DEN MENSCHEN

- Verbrennungsgefahr (Wasserstoffflamme ist kaum sichtbar).
- Auswirkungen von Druckwellen.
- Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverdrängung in geschlossenen Räumen.
 - Keine giftige Wirkung bei reinem Wasserstoff.
- Erfrierungsgefahr bei Kontakt mit tiefkalt verflüssigtem Wasserstoff.

Hinweis: Veränderung der Stimmhöhe (hoch, piepsend) bei Einatmen von Wasserstoff.

5. MAßNAHMEN

5.1. ALLGEMEINE MAßNAHMEN

Bei jedem Einsatz sind nachstehende Maßnahmen durchzuführen bzw. zu erwägen:

- Gasabspernung in die Wege leiten bzw. Flaschen oder Behälterventil schließen.
- Gefahrenzone festlegen (Explosimeter) und absperren.
 - Ausströmrichtung und Windrichtung beachten.
- Nur das erforderliche Minimum an Einsatzkräften in der Gefahrenzone einsetzen.
- Gefährdete Personen aus der Gefahrenzone bringen.
- Zündquellen in der Gefahrenzone beseitigen.
- Brandschutz aufbauen (Wasser, Löschpulver) und Sekundärbrände löschen.
- Herabsetzung der Entzündungsgefahr:
Austretendes Gas an der Austrittsstelle mit Wasser(sprüh-)strahl verwirbeln.

5.2. ZUSÄTZLICHE MAßNAHMEN BEI WASSERSTOFFAUSTRITT OHNE BRAND

5.2.1. Austritt ohne Brand im Freien

Keine.

5.2.2. Austritt ohne Brand in Räumen.

- Betroffenes Gebäude und gefährdete Umgebung von Personen räumen und absperren.
- Gaskonzentration durch
 - Durchlüften (Querlüftung – mehrere Fenster und Türen öffnen) oder
 - Absaugen mit explosionsgeschütztem Lüfter unter die UEG verdünnen.
- Wasserstoffbehälter ins Freie bringen.

5.3. ZUSÄTZLICHE MAßNAHMEN BEI WASSERSTOFFAUSTRITT MIT BRAND

brennendes Gas = kontrolliertes Gas

5.3.1. Retten von Personen und Schließen von Absperrorganen

Durch Abdrängen der Wasserstoffflamme mit mehreren Strahlrohren (Einstellung: Sprühstrahl) ist in der Regel eine Menschenrettung oder das Schließen von Absperrorganen trotz der Wärmestrahlung möglich.

5.3.2. Wasserstoffaustritt mit Brand, Entschluss „brennen lassen“

- Direkt beflammete Objekte (wie z.B. Lagerbehälter, tragende Konstruktionsteile) kühlen,
 - erforderlicher Kühlwasserbedarf mindestens 15 l/(m².min).Vorsicht: Gasflamme nicht löschen!
- Gefährdete Umgebung kühlen,
 - erforderlicher Kühlwasserbedarf mindestens 1,5 l/(m².min).
- Sekundärbrände verhindern bzw. löschen.
Vorsicht: Gasflamme nicht löschen!
- Wenn durch das Nachlassen des Ausströmdruckes die Gasflamme zusammensinkt und dadurch die Gefahr eines Flammenrückschlages in die Gasleitung droht, ist die Gasflamme unbedingt zu löschen.
- In Räumen: Sicherstellung einer ausreichenden Luftzufuhr, damit der Brand nicht infolge Sauerstoffmangels erlischt.

5.3.3. Wasserstoffaustritt mit Brand, Entschluss „ablöschen“

Der Entschluss zum Ablöschen einer Gasflamme ist nur dann gerechtfertigt, wenn

- der Gasaustritt nicht sofort durch Absperrung unterbunden werden kann und nur durch das Löschen des Gasbrandes
 - Personen gerettet werden können oder
 - besondere Gefahren für die Umgebung abgewendet werden können.
- Gasaustrittsstelle und deren Umgebung unter die Zündtemperatur kühlen.
 - Verbrühungsgefahr beachten!
- Wasserstoffbrand mit Pulver löschen.
- Nach dem Ablöschen austretendes Gas zur Herabsetzung der Entzündungsgefahr an der Austrittsstelle mit Wasser beaufschlagen.
- Sehr große Entzündungsgefahr und Explosionsgefahr in geschlossenen Räumen bei anhaltendem Gasaustritt.

6. GASBRANDBEKÄMPFUNG

6.1. GASBRANDBEKÄMPFUNG MIT LÖSCHPULVER

Das am besten geeignete Löschmittel zum Löschen von Gasbränden ist Löschpulver!

Gasbrände sind bei

- HORIZONTALLEM GASAUSTRITT in Gasausströmrichtung,
- VERTIKALEM GASAUSTRITT immer mit dem Wind (d.h. mit dem Wind im Rücken) zu bekämpfen!
- Die Pulverwolke
 - ist bis zum Löscherfolg ohne Unterbrechung einzubringen und
 - muss möglichst das gesamte Flammenvolumen erfassen.
Können nur tragbare Feuerlöschgeräte eingesetzt werden, sind mehrere gleichzeitig zu verwenden.

6.2. GASBRANDBEKÄMPFUNG MIT WASSER

6.2.1. Gasbrandbekämpfung mit Wassersprüh- oder Nebelstrahl

Löschangriffe mit Wassersprüh- oder Nebelstrahl sind bei Gasbränden

- mit HORIZONTALLEM GASAUSTRITT in Gasausströmrichtung,
- mit VERTIKALEM GASAUSTRITT möglichst umfassend

vorzutragen!

Es ist mit mehreren Rohren gleichzeitig anzugreifen, die Löschwasserstrahlen sind überschneidend und möglichst das gesamte Flammenvolumen erfassend in den austretenden Gasstrom einzubringen!

6.2.2. Gasbrandbekämpfung mit Vollstrahl

Diese Methode ist nur bei kleinen Gasaustrittsöffnungen (kleine Löcher, undichte Flansche) anwendbar.

Dazu sind (möglichst aus B-Rohren) mehrere Vollstrahlen gleichzeitig und mit hohem Druck gegen die Gasausströmöffnung zu richten.

7. ERSTE HILFE

7.1. RETTUNG AUS DEM GEFAHRENBEREICH

Unter Beachtung der eigenen Sicherheit sind Verunfallte unverzüglich aus dem Gefahrenbereich zu bringen.

7.2. ENTFERNEN DURCHGASTER KLEIDUNG

Mit einer Gefährdung der Helfer ist nicht zu rechnen; lebensrettende Sofortmaßnahmen können unverzüglich durchgeführt werden.

Da möglicherweise geringe Mengen des Gases in der Kleidung verbleiben, sollte die Oberbekleidung, insbesondere vor Verabreichung von Sauerstoff, entfernt werden.

8. DOKUMENTATION DES EINSATZES

Folgemaßnahmen:

- Flaschen nach einem Brand entsprechend kennzeichnen.
- Flasche ins Füllwerk überführen lassen.
- Einsatzbericht und Erfahrungen dem Sachgebiet 4.6 des ÖBFV übermitteln.
sg4.6@bundesfeuerwehrverband.at

9. INFORMATIONEN

Weitere Informationen wie Sicherheitsdatenblätter sind bei den Herstellern zu erhalten.

Nachstehend eine Auflistung ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

<http://www.airliquide.at/>

<http://www.linde-gas.at/>

10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

[1] <http://cdn-www.greencar.com/images/linde-group-green-hydrogen-from-byproduct-biodiesel-production.php/linde-truck-and-h2-supply.jpg>, download am 27.3.2010, 21:57

[2] http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/storage/hydrogen_storage.html, download am 27.3.2010, 22:05

[3] http://www.sfgate.com/cgi-bin/object/article?f=/c/a/2007/01/02/FUELCCELL.TMP&object=%2Fc%2Fpictures%2F2007%2F01%2F02%2Fmn_fuelcell_mjm.jpg, download am 27.3.2010, 22:16

[4] <http://www.hycar.de/metallhydrid.html>, download am 27.3.2010, 22:20

[5] <http://dvice.com/archives/2008/10/carbon-nanotube.php>, download am 27.3.2010, 22:24