

FOD WERKGELEGENHEID, ARBEID EN SOCIAAL OVERLEG  
ALGEMENE DIRECTIE TOEZICHT OP HET WELZIJN OP HET WERK  
DIRECTIE VAN DE CHEMISCHE RISICO'S

---

CHECKLIST

---



WATERSTOF

## **Inleiding**

*Deze checklist is een inspectie-instrument van de Directie van de chemische risico's om op systematische wijze te onderzoeken in hoeverre bepaalde installaties voor het behandelen van waterstof voldoen aan de huidige normen en de codes van goede praktijk.*

*In het kader van een open beleid van de dienst wordt de checklist vrij ter beschikking gesteld van de bedrijven, om hen toe te laten zelf een onderzoek uit te voeren en er de gepaste conclusies uit te trekken ter verbetering van de preventie van zware ongevallen.*

*De checklist lijst een aantal risico's op die specifiek zijn voor de betrokken installaties en geeft een overzicht van de mogelijke maatregelen die voor deze risico's genomen kunnen worden. Deze risico's en maatregelen zijn grotendeels overgenomen uit standaarden en codes van goede praktijk. De checklist heeft echter niet de pretentie om volledig te zijn en kan dus niet als vervanging gebruikt worden voor een doorgedreven risicoanalyse door de exploitant.*

## Inhoudstafel

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>EIGENSCHAPPEN VAN WATERSTOF</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1      | IDENTIFICATIE   | 4         |
| 1.2      | FYSISCHE EIGENSCHAPPEN  | 4         |
| 1.3      | CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN   | 4         |
| 1.4      | GEVAREN VERBONDEN AAN WATERSTOF   | 5         |
| 1.4.1    | <i>Ontvlambaarheid</i>  | 5         |
| 1.4.2    | <i>Risico's voor de gezondheid</i>  | 6         |
| 1.4.3    | <i>Gevaren verbonden aan constructiematerialen</i>  | 6         |
| 1.4.4    | <i>Gevaren specifiek verbonden aan het gebruik bij extreem lage temperaturen in het geval van vloeibare waterstof</i> | 7         |
| 1.5      | INDELING  | 7         |
| <b>2</b> | <b>TOEPASSING VAN DE CHECKLIST</b>  | <b>9</b>  |
|          | <b>REFERENTIES</b>  | <b>10</b> |

**BIJLAGE 1 : PLANOP-analyse van de installaties**

**BIJLAGE 2 : Veiligheidsafstanden**

**BIJLAGE 3 : Verificatielijsten**

# 1 Eigenschappen van waterstof

## 1.1 Identificatie

Waterstof is een kleurloos, geurloos en smaakloos gas. Het is het lichtste gas.

Chemische formule : H<sub>2</sub>  
CAS-nummer: 1333-74-0  
UN-nummer: 1049  
EG-nummer: 001-001-00-9

## 1.2 Fysische eigenschappen

|  |               |
|--|---------------|
| Moleculair gewicht:  | 2,02 g        |
| Kookpunt:  | -252,9 °C     |
| Tripelpunt:  | -259,2 °C     |
| Kritische temperatuur:                                       | -239,9 °C     |
| Kritische druk:  | 12,8 atm      |
| Densiteit van het gas bij 0°C en 1 atm (lucht = 1):          | 0,089 g/l     |
| Densiteit van het gas bij 25°C en 1 atm (lucht = 1):         | 0,069 g/l     |
| Densiteit van de verzadigde vloeistof bij 23 K:              | 67,723 kg/l   |
| Uitzettingscoëfficiënt, vloeistof -> gas (kookpunt -> 20°C): | 1 tot 848     |
| Latente verdampingswarmte:                                   | 446 kJ/kg     |
| Ontstekingsgrenzen in lucht bij 1 atm:                       | 4 – 74,5 %    |
| Ontstekingsgrenzen in zuurstof bij 1 atm:                    | 4,65 – 93,9 % |
| Zelfontstekingstemperatuur in lucht bij 1 atm:               | 570 °C        |
| Verbrandingswarmte:  | 120.000 kJ/kg |

## 1.3 Chemische eigenschappen

Waterstof, hoewel relatief inactief bij omgevingstemperatuur, reageert met de meeste andere elementen bij verhoogde temperatuur. Zo kan waterstof metaaloxiden reduceren bij verhoogde temperatuur. Het is deze reactiviteit bij verhoogde temperatuur waarvan nuttig gebruik gemaakt wordt in de meeste industriële waterstofinstallaties buiten de energiesector.

Waterstof kan dus beschouwd worden als incompatibel met oxydanten, zoals lucht, zuurstof en halogenen. Fluor en waterstof reageren bij een temperatuur van 250°C in aanwezigheid van onzuiverheden. Mengsels van chloor en waterstof exploderen als deze zijn blootgesteld aan licht. Lithium brandt in een waterstofatmosfeer.

## 1.4 Gevaren verbonden aan waterstof

### 1.4.1 Ontvlambaarheid

Waterstof is een zeer licht ontvlambaar gas. Het brandt in lucht met een bleke blauwe vlam, praktisch onzichtbaar, bij concentraties gaande van 4 tot 75% volume bij standaardcondities (ter vergelijking, de ontvlambaarheidsgrenzen van methaan en propaan zijn respectievelijk tussen 5,3 – 15% en 2,1-9,5%). De explosiegrenzen zijn functie van de druk, de temperatuur en de vochtigheidsgraad. De hoogste temperatuur in de waterstofvlam bedraagt 2.318°C en wordt bereikt bij een concentratie van 29%, maar in een zuurstofatmosfeer kan deze temperatuur oplopen tot 3000°C.

De minimale ontstekingsenergie nodig om een stoichiometrisch mengsel brandstof/zuurstof te onsteken bedraagt 0,02 mJ voor waterstof, wat erg laag is (voor methaan bedraagt deze 0,26 mJ). Dus een tiende van de energie van een ontlading van statische elektriciteit, een boog of een vonk volstaat om waterstof te ontsteken.

Daarenboven wordt waterstof bij verhoogde druk behandeld. Indien dan een lek optreedt, veroorzaakt waterstof een invers Joule-Thompson effect van die aard dat het gas dat ontsnapt voldoende kan opwarmen om direct te kunnen ontvlammen. De lage minimale ontstekingsenergie van een ontvlambaar mengsel van waterstof en lucht verhoogt dus gevoelig de kans op ontsteking van een ontvlambaar mengsel dat waterstof bevat ten opzichte van andere ontvlambare gassen.

De kans op ontsteking wordt ook verhoogd ten opzichte van andere ontvlambare gassen omdat de kleine grootte van de waterstofmolecule haar toelaat gemakkelijker door kleine openingen te stromen. Het is omwille van deze laatste karakteristiek dat het soms beter is om de lektheid van apparatuur die bedoeld is om waterstof te bevatten te testen met helium, een inert gas, omdat de grootte van deze molecule vergelijkbaar is met deze van waterstof.

Het explosiegebied van waterstof situeert zich in het interval tussen 13 en 59% (zie [15]). De diffusiecoëfficiënt in lucht bedraagt 0,61 cm<sup>2</sup>/s, wat 4 keer groter is dan voor methaan. Daarom vermengt waterstof zich veel gemakkelijker met lucht dan methaan of petroleumdampen, wat een voordeel is in open lucht.

In tegenstelling hiermee is het een mogelijk nadeel in inwendige slecht verluchte ruimtes. Omdat waterstof lichter is dan lucht, stijgt het gas gemakkelijk in de atmosfeer, in tegenstelling tot propaan dat ter hoogte van de grond blijft en zo een verhoogde kans op explosie veroorzaakt. Heel wat ervaring heeft aangetoond dat waterstof niet ontsteekt in open lucht.

Het grootste gevaar verbonden aan het gebruik van waterstof is dus de vorming van ontvlambare mengsels met lucht die, blootgesteld aan een ontstekingsbron, kunnen aanleiding geven tot branden of eventueel deflagraties.

De opening waardoor een waterstofvlam zich kan verspreiden is veel nauwer dan voor de meeste andere gassen. Daardoor is het veel moeilijker om elektrische motors te construeren die voldoende “exproof” zijn om te gebruiken in atmosferen waar een ontvlambaar mengsel waterstof-lucht kan aanwezig zijn.

In het geval waar waterstof in vloeibare vorm wordt gebruikt, moet men twee verschillende gevallen bekijken: in het geval van “kleine lekken” van vloeibare waterstof is er ongeveer een

onmiddellijke verdamping en de vrijgekomen gasvormige stroom is snel opgewarmd, wat dit scenario terugbrengt tot dat van een klein lek van gasvormige waterstof wat zich snel verdunt in de lucht. Indien echter vloeibare waterstof vrijkomt in veel grotere hoeveelheden, zal een deel van de vloeibare waterstof onmiddellijk verdampen, maar het andere deel kan een vloeibare waterstofplas over de grond vormen indien deze laatste voldoende verkoelt. De verdamping is dus veel trager en gasvormige waterstof heeft bij heel lage temperatuur een dichtheid die vergelijkbaar is met lucht. Deze verdamping zorgt dus voor een mengsel lucht/waterstof dat zich verspreidt en progressief verdunt in de atmosfeer. Als het mengsel niet ontvlamd is dicht bij de bron, kan dit een gevaar op brand creëren op relatief verafgelegen plaatsen. De maximale uitbreiding van een wolk is in de orde van enkele tientallen meters.

Een bijkomend gevaar wordt veroorzaakt door het gebruik van extreem lage temperaturen. De lucht die de installaties waar men vloeibare waterstof behandelt omgeeft zal condenseren bij de temperatuur waarop de vloeibare waterstof zich bevindt en kan een vloeibare lucht worden die verrijkt is aan zuurstof door de verdamping van stikstof. Deze lucht verrijkt met zuurstof verhoogt de verbrandingssnelheid van brandbare materialen en nabijgelegen ontvlambare stoffen.

#### 1.4.2 Risico's voor de gezondheid

Waterstof op zich is niet toxisch, maar wordt gezien als verstikkend gas omdat wanneer het vrijkomt de normale concentratie van 21% zuurstof in lucht kan reduceren in een besloten ruimte zonder voldoende ventilatie. Gezien het feit dat waterstof kleurloos, geurloos en smaakloos, kan de aanwezigheid van waterstof niet door een persoon ontdekt worden. De verstikking kan plaats grijpen als de concentratie aan zuurstof gereduceerd is tot 18% door verdringing. De effecten van een tekort aan zuurstof door verstikking kunnen onder andere de volgende zijn: snelle ademhaling, verzwakte alertheid, verzwakte spiercontrole, onduidelijk onderscheidingsvermogen, vermindering van alle gewaarwordingen, emotionele instabiliteit en vermoeidheid. Naarmate de verstikking voortduurt, kan deze aanleiding geven tot misselijkheid, overgeven, totale uitputting en bewusteloosheid dat op den duur eindigt in convulsies, coma en de dood.

Men dient echter nota te nemen van het feit dat de concentraties aan waterstof vanaf wanneer de mengsels ontvlambaar of explosief zijn veel lager zijn dan deze vanaf wanneer het risico op verstikking relevant is.

Men kan brandwonden oplopen omwille van het feit dat men niet weet dat men door een waterstofbrand loopt omdat de vlam bijna onzichtbaar is.

In het geval waterstof onder vloeibare vorm wordt gebruikt, kan de blootstelling aan extreem koude waterstof en aan zeer koude waterstofdampen, vrieswonden veroorzaken.

Deze kunnen ook indirect optreden via druppels vloeibare lucht die afdruipt van koude buisleidingen.

#### 1.4.3 Gevaren verbonden aan constructiematerialen

Waterstof is niet corrosief. Niettemin kan waterstof reageren met bepaalde metalen (getemperde stalen) en veroorzaakt dus verbrossing. Bij gedeeltelijk verhoogde temperaturen en drukken kunnen stalen een verbrossing en beschadiging ondergaan te wijten aan waterstof.

Staal ondergaat een decarboxilatie door waterstof, die veroorzaakt een verlies aan ductiliteit en de ontwikkeling van microscheurtjes ter hoogte van de korrelgrenzen, met een verlaagde weerstand als gevolg. De decarboxilatie is reversibel, maar niet de vorming van scheurtjes. Deze twee effecten worden vaak toegeschreven aan waterstofbroosheid. De verzwakkingen hebben plaats bij temperaturen tussen 300 tot 500°C. De weerstand van staal tegen waterstofbroosheid kan gevoelig verhoogd worden door toevoeging van geschikte legeringselementen. Op die manier worden CrMo stalen vaak gebruikt indien men werkt met waterstof.

#### 1.4.4 Gevaren specifiek verbonden aan het gebruik bij extreem lage temperaturen in het geval van vloeibare waterstof

Verschillende gebruikte materialen, zoals koolstofstaal, kunststoffen en rubber, worden bros en kunnen scheuren bij extreem lage temperaturen van cryogene vloeistoffen. Bovendien krimpen de meeste materialen in bij cryogene temperaturen wat aanleiding kan geven tot lekken in de verbindingen.

Ongeacht de gebruikte materialen, dient men in alle gevallen verontreiniging van de apparatuur met water te vermijden, want de uitzetting van ijs kan scheurtjes in de apparatuur veroorzaken.

Bij branden dient men rekening te houden met het feit dat cryogene vloeistoffen zoals waterstof gemakkelijk het water doen bevriezen. Op die manier kan water indien ondoordachtzaam gebruikt de veiligheidskleppen gaan opblokken; omdat het water bovendien relatief warm is, kan het de verdamping van vloeibare waterstof versnellen, wat de brand nog gaat voeden.

Omdat de apparatuur dient gepurgeerd te worden voordat men er vloeibare waterstof in brengt (om mogelijks een explosieve atmosfeer te vermijden of een explosief mengsel van lucht en vloeibare waterstof), kunnen bepaalde inerte gassen zoals stikstof gaan bevriezen en opblokkingen veroorzaken en zo aanleiding geven tot breuken in transferleidingen of in de opslagtank.

### 1.5 Indeling

Volgens het Koninklijk besluit van 11 januari 1993 tot regeling van de indeling, de verpakking en de etikettering van gevaarlijke preparaten met het oog op het op de markt brengen of het gebruik ervan (B.S. 17-5-1993), is de indeling van waterstof de volgende :

- F+, R12 : zeer licht ontvlambaar.
- S9 : "op een goed geventileerde plaats bewaren"
- S16 : "verwijderd houden van ontstekingsbronnen – niet roken"
- S33 : "Maatregelen treffen tegen ontladingen van statische elektriciteit"

De NFPA codes voor waterstof zijn 0-4-0; voor vloeibare waterstof 3-4-0.

Wat betreft de zonering is waterstof een gas van de groep IIC, temperatuursklasse T1 (volgens de norm EN 50.014 / NBN C23-001: Elektrisch materieel voor explosieve atmosferen – algemene regels).

Wat betreft het transport, wordt gasvormig waterstof aangegeven als gecomprimeerde waterstof. Het behoort tot de klasse/divisie 2.1, nummer rubriek ADR/RID is 2, 1°F, gevaarsnummer ADR/RID 23 en etikettering volgens ADR is etiket 3 : ontvlambaar gas. Vloeibare waterstof wordt aangegeven als gekoelde vloeibare waterstof. Het behoort tot de klasse/divisie 2.1, nummer rubriek ADR/RID 2, 3°F, gevaarsnummer ADR/RID 223 en de ADR etikettering is identiek als voor gasvormige waterstof.



## 2 Toepassing van de checklist

Deze checklist is een PLANOP-analyse van enkele typische installaties voor het behandelen van waterstof. PLANOP is een risicoanalysetechniek die binnen de Directie van de chemische risico's werd ontwikkeld en wordt beschreven in de informatienota CRC/IN/012-N "PLANOP".

De installaties zijn opgedeeld in secties en onderdelen. Voor elk onderdeel zijn de verschillende kansbronnen en vrijzettingstappen te behandelen. Bij elk van deze kansbronnen en vrijzettingstappen zijn typische maatregelen gegeven om het risico tot een aanvaardbaar niveau te beperken.

Als algemene regel geldt dat maatregelen die niet aanwezig zijn of criteria waaraan niet voldaan zijn, beschouwd worden als tekortkomingen. Van deze regel wordt afgeweken indien de afwezigheid van een maatregel gecompenseerd wordt door één of meerdere alternatieve maatregelen (al dan niet opgenomen in de checklist) die een gelijkwaardig niveau van risicoreductie garanderen.

Een aantal algemene veiligheidsaspecten worden behandeld op niveau van elke installatie in haar geheel via de aandachtspunten bij installaties.

Na de toepassing van de checklist wordt door de inspecteur(s) een rapport opgesteld met de vastgestelde tekortkomingen. Een termijn wordt afgesproken waarbinnen de onderneming een actieplan zal opmaken om de vastgestelde tekortkomingen te corrigeren. De uitvoering van dat actieplan zal uiteraard ook door de inspecteurs worden opgevolgd.

Indien het aantal en de aard van opmerkingen toelaat om onmiddellijk na de toepassing van de checklist al corrigerende acties vast te leggen, zal geen rapport met tekortkomingen worden overgemaakt maar onmiddellijk een bevestiging van de afgesproken acties.

## Referenties

Deze checklist werd opgesteld op basis van de volgende gepubliceerde aanbevelingen.

- [1] **API RP 941 Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants**, january 1997 (5th Edition), American Petroleum Institute (API).
- [2] **API Std 620 Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks**, february 1996 (9th Edition), American Petroleum Institute (API).
- [3] **Appareils à pression fixes dans lesquels est emmagasiné de l'hydrogène gazeux**, Prescriptions de sécurité types, ITM-CL 155.1, Ed. 13 août 1999, Gouvernement Luxembourgeois.
- [4] **KB van 13 juni 1999 tot uitvoering van de richtlijn van het Europees Parlement en van de Raad van de Europese Unie van 29 mei 1997 inzake onderlinge aanpassing van de wetgevingen der Lid-Staten betreffende drukapparatuur**
- [5] **art. 52 ARAB** (Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming)
- [6] **art. 359 ARAB**
- [7] **art. 363bis ARAB**
- [8] **BCGA CP 8 The safe storage of gaseous hydrogen in seamless cylinders and similar containers**, 1986, *British Compressed Gases Association (BCGA)*
- [9] **Braker, William end Allen L. Mossman, Matheson Gas Data Book (Sixth Edition)**. Lyndhurst, NJ: Matheson, 1980.
- [10] **CGA G-5 Hydrogen**, 1991, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [11] **CGA G-5.4, Standard for Hydrogen Piping at Consumer Locations**, 1992, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [12] **CGA G-5.5 Hydrogen Vent Systems**, 1996, *Compressed Gas Association, Inc.*
- [13] **Comment travailler en toute sécurité avec les liquides cryogéniques?**, 27 novembre 1997, Centre Canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST)
- [14] **Données sur la sécurité de matière chimique: Hydrogène**, Matheson Gas Products, révision du 7/11/1997, les services de la santé au travail, Inc.
- [15] **Dr. Werner Zittel, Reinhold Wurster, Hydrogen in the Energy Sector**, 1996, HyWeb Knowledge, <http://www.hydrogen.org/knowledge/W-i-energie-eng.html>
- [16] **F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control**, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, 1996.

- [17] **Fiche de sécurité: Hydrogène réfrigéré**, Air Liquide S.A., Version 1, 11.11.00
- [18] **Fiche de sécurité: Hydrogène**, Air Liquide S.A., Version 1, 11.11.00
- [19] **Fiche signalétique Hydrogène**, BOC GAZ, révision 99-06-01
- [20] **Hydrogène propriétés**, 2001, <http://www.airliquide.com/fr/business/products/hydrogen>
- [21] **Material Safety Data Sheet for Hydrogen (H<sub>2</sub>)**, Voltaix, Inc. MSDS Document Number – H000 (revision dated 03 sept 96)
- [22] **Matheson Guide to safe handling of compressed gases**, Third Printing, 1983 Matheson Gas Products, Inc.
- [23] **NFPA 50A: Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites**, Edition 1999
- [24] **NFPA 50B: Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites**, Edition 1999
- [25] **AREI** (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties)
- [26] **Safetygram – 4 Gaseous Hydrogen**, Air Products and Chemicals, Inc., 2000
- [27] **Safetygram – 9 Liquid Hydrogen**, Air Products and Chemicals, Inc., 2000
- [28] **The Accident Database CD-ROM**, The Institution of Chemical Engineers (IChemE), 1997
- [29] **Wade A. Amos, Costs of storing and Transporting Hydrogen**, National Renewable Energy Laboratory, November 1998
- [30] **EIGA DOC 06/02/E: Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen**, European Industrial Gases Association.
- [31] **IGC DOC 15/96: Gaseous hydrogen stations**, European Industrial Gases Association
- [32] **IGC DOC/59/98/E: Prevention of excessive pressure in cryogenic tanks during filling**, European Industrial Gases Association.
- [33] **IGC DOC 63/99/E: Prevention of tow-away accidents**, European Industrial Gases Association.
- [34] **IGC Doc 24/02/E: Vacuum insulated cryogenic storage tank systems pressure protection devices**, European Industrial Gases Association.
- [35] **NSS 1740.16: National Aeronautics and Space Administration Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems: Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage and Transportation**, Office of Safety and Mission Assurance, Washington, DC 20546

*Deze checklist is een document van de  
Directie van de chemische risico's  
Algemene directie toezicht op het welzijn op het werk  
FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal overleg  
crc@meta.fgov.be*

*Eindredactie: ir. Peter Vansina  
Auteurs: ir. Brigitte Gielens  
Vertaling : ir. Martine Mortier*

*Deze checklist wordt ter beschikking gesteld via de website van de FOD Werkgelegenheid,  
Arbeid en Sociaal overleg ([www.meta.fgov.be](http://www.meta.fgov.be))*

# BIJLAGE 1

## PLANOP analyse van de installaties


# Inhoudstafel

## Checklist: Waterstof



Directie van de chemische risico's

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Opslag en verlading van samengedrukte waterstof</b> | <b>1</b>  |
| <i>Opslag in vaste houders</i>                         | 3         |
| Drukhouder   | 3         |
| <i>Leidingen</i>                                       | 19        |
| Leidingen met samengedrukte waterstof                  | 19        |
| Waterstofcompressor                                    | 27        |
| <i>Verlading</i>                                       | 32        |
| Verlading van tube-trailers of spoorwagens             | 32        |
| <b>Vullen en opslaan van waterstofflessen</b>          | <b>44</b> |
| <i>Opslag van flessen</i>                              | 46        |
| Waterstoffles (opslag)                                 | 46        |
| <i>Vulstation voor waterstofflessen</i>                | 53        |
| Waterstoffles (vulstation)                             | 53        |
| <b>Opslag en verlading van vloeibare waterstof</b>     | <b>62</b> |
| <i>Opslag in cryogene houders</i>                      | 64        |
| Cryogene houder  | 64        |
| <i>Leidingen</i>                                       | 83        |
| Leidingen met vloeibare waterstof                      | 83        |
| <i>Verlading</i>                                       | 93        |
| Verlading van (spoor)tankwagens                        | 93        |
| <i>Verdamping van vloeibare waterstof</i>              | 106       |
| Verdamper  | 106       |

|  |   |
|--|---|
| <b>Installatie</b><br><br><b>Opslag en verlading van samengedrukte<br/>waterstof</b> |  |
|  | Directie van de chemische risico's  |

## 1. Beschrijving

---

## 2. Secties en onderdelen

### *Opslag in vaste houders*

Drukhouder

### *Leidingen*

Leidingen met samengedrukte waterstof

Waterstofcompressor

### *Verlading*

Verlading van tube-trailers of spoorwagons

---

## 3. Aandachtspunten

### *Verlichting en noodverlichting*

- Ter hoogte van de verlaadposten
- Explosie veilig of opgesteld buiten de explosiezone.

Ref. [26], [31], [35].

### *Toegangscontrole*

- Omheining rond de onderneming:
- voldoende hoog (2 m)
  - aanduiding van toegangsverbod
  - toegangscontrole
  - niet-gecontroleerde deuren en poorten op slot.

Ref. [3], [35]

### *Toegankelijkheid voor interventie*

- Toegang tot de houders en de verlaadstations:
- vastgelegd in overleg met de brandweer
  - via 2 verschillende richtingen (om de toegang te verzekeren bij verschillende windrichtingen)
  - breed genoeg om interventievoertuigen door te laten (6 m voor 2-richtingsverkeer of 4 m voor éénrichtingsverkeer)
  - geen niet-gesignaleerde doodlopende straten (als onvermijdelijk dan draai-mogelijkheid op het einde)
  - een vrije hoogte van ten minste 4,2 m (bv. onder pijpenbruggen)

Ref. [23], [31]

### *Zonering*

Waterstof is een gas die tot de groep IIC, temperatuursklasse T1 behoort.

De zonering is:

- actueel (daterend van na de laatste aanpassingen)
- ondertekend door de Technische inspectie
- keuringsverslag van de elektrische installatie door een erkend organisme (min. 5-jaarlijks).

### *Inplanting*

De afstand tot volgende installaties is groot genoeg om domino-effecten te vermijden:

- elke naburige eigendom
- tanks met ontvlambare vloeistoffen of gassen
- gebouwen
- verlaadstations
- installaties waar met ontvlambare producten wordt gewerkt
- fragiele en hoge structuren

Deze afstanden zijn bepaald op basis van een risicoanalyse of een erkende code (zie bijlage 2)

Het is verboden om installaties waar met waterstof wordt gewerkt te plaatsen onder hoogspanningslijnen.

Ref. [3], [23], [26], [31], [35]

### *Constructie van de tanks en de leidingen*

Constructie is gebeurd volgens een constructie standaard.

De houders en toebehoren in gebruik genomen na 29/5/2002 moeten beschikken over een CE-markering en een EG-verklaring van overeenkomst conform de richtlijn drukapparatuur.

Ref. [4], [23], [31], [35]

### *Signalisatie van tanks*

Aanduiding op elke houder van:

- het nummer van de houder
- de naam van het opgeslagen gas: waterstof
- de gevarensymbolen
- het inhoudsvermogen

### *Signalisatie van leidingen*


Aanduiding van:

- stroomrichting
- aanwezige stof
- vloeibaar of gasvormig

Ref. [31], [35]

---



|   |   |
|---|---|
| <b>Onderdeel</b><br><br><b>Drukhouder</b> |  |
|   | Directie van de chemische risico's  |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van samengedrukte waterstof

Sectie: Opslag in vaste houders

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Interne explosie
- Warmte-input van externe brand
- Voedingsdruk

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Impact van voertuigen
- Verzakking

#### *Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

##### *Corrosieve of chemisch agressieve condities*

- Aanwezigheid van waterstof
- Externe corrosieve condities

##### *Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

- Externe brand

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Breuk of lek aan opslagtank

#### *Verspreiding*

- Vorming explosieve wolk

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand
- Explosie

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: hoge druk

Bij het (her) indienststellen van een opslagtank.

#### **Oorzaken:**

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M1)

EN C2 Aanwezigheid van een inwendige ontstekingsbron

C2.1 Ontlading statische elektriciteit (M2)

#### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

#### **Maatregelen:**

*Invloed op een oorzaak*

M1 Voorafgaand spoelen van de opslagtank

Om voorafgaande aanwezigheid van zuurstof en lucht te vermijden voor het inbrengen van waterstof.

Ref. [26], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M2 Aarden van de opslagtank

Ref. [3], [26], [31], [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit

*Inspectie*

Opgenomen in een inspectieprogramma

## Warmte-input van externe brand

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

- OF C1 Brand in omgeving van opslagtank (M5)
  - OF C1.1 Brand ter hoogte van pompen of compressoren  
Pompen en compressoren zijn lekgevoelige punten
  - OF C1.2 Brandbaar materiaal aanwezig
    - OF C1.2.1 Aanwezigheid van brandbaar afval (M3)
    - OF C1.2.2 Aanwezigheid van droog gras, struikgewas (M2)
- OF C2 Brand onder de opslagtank (M4)

### Vrijzettingstappen:

Breuk of lek aan opslagtank

### Maatregelen:

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

#### M1 Veiligheidsklep

Een veiligheidsklep kan enkel als maatregel tegen een kansenbron aanvaard worden als kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de betrokken kansenbron.

De berekeningen geven:

- de vereiste capaciteit voor de betrokken kansenbron
- de effectieve capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep

Ref. [3], [23], [26], [31], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Afblaaslocatie*

De afblaaslijnen van de veiligheidskleppen moeten in de open lucht afblazen (vooral indien de apparatuur zich binnen een gebouw situeert) en in ieder geval volgens een bepaalde richting, op een plaats en een voldoende hoogte om alle gevaar te vermijden.

Ref. [3], [23], [31], [35]

*Waterophoping in de afblaaslijn*

De afblaaslijnen van de veiligheidskleppen moeten zo geconstrueerd of geplaatst zijn dat er geen vochtigheid in kan ophopen en vastvriezen zodat de goede werking van de kleppen in gevaar komt (blokkering door ijsvorming, hydrostatische druk van het water).

Ref. [23], [31], [35]

*Ontstekingsbron in de afblaaslijn*

Om specifieke ontstekingsrisico's wegens roest te vermijden, zijn koperlegeringen of roestvaste stalen het best geschikt voor afblaaslijnen.

Ref. [3], [31]

*Verbinding met te beveiligen ruimte*

Verbinding met te beveiligen ruimte is verzekerd:

- ofwel geen handklep aanwezig om veiligheidsklep af te sluiten
- ofwel sleutelsysteem dat de open positie van de handklep verzekert.

Ref. [35]

*Betrouwbaarheid*

De veiligheidskleppen zijn opgenomen in een periodiek inspectieprogramma.

*Invloed op een oorzaak*

#### M2 Afwezigheid brandbare begroeiing

Er wordt geen gebruik gemaakt van oxiderende onkruidbestrijdingsmiddelen (bv. natriumchloraat).

Ref. [23], [26], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van droog gras, struikgewas

M3 Periodieke inspecties op aanwezigheid brandbare rommel

Ref. [23], [26]

*Laag: Controle*

*Type: Inspectie & onderhoud*

Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van brandbaar afval

M4 Positie ten opzichte van grondniveau

- Opslag gesitueerd op een hoger gelegen niveau dan de opslag van ontvlambare vloeistoffen of vloeibaar gemaakte zuurstof (als de afstand tussen beide kleiner is dan 15 m)

- Als de opslag toch gelegen is op een niveau dat lager is dan de nabijgelegen opslag van ontvlambare vloeistoffen of vloeibaar gemaakte zuurstof, dan moeten er beschermingsmaatregelen genomen worden om te vermijden dat gevaarlijke stoffen onder de opslagtanks kunnen lopen (als de afstand tussen beide kleiner is dan 15 m)

Ref. [23], [26], [31], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand onder de opslagtank

M5 Beschermingsmuren of beschermingsdaken

Geconstrueerd uit onbrandbare materialen of moeilijk brandbare materialen.

Ref. [23], [26], [31], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand in omgeving van opslagtank

## Voedingsdruk

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

EN C1 Alle uitgaande leidingen afgesloten

EN C2 Compressor voedt opslagtank

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Drukverlagingsstelsel, namelijk ontspanners

In het geval de drukhouder ontworpen is voor lage druk of dat de vulling van de drukhouder gebeurt vanop een tube-trailer of een ander systeem op hoge druk.

De vastgelegde druk mag niet hoger zijn dan de ontwerpdruk van de drukhouder ontworpen voor lage druk.

Ref. [31].

*Laag: Controle*

*Type: Passief*

M2 Veiligheidspressiostaat ter hoogte van de ontspanners

Actie:

- sluit de afsluitkleppen

Ref. [31].

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M3 Drukmeting met alarm

Ref. [3], [23]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

M4 Veiligheidsklep

Een veiligheidsklep kan enkel als maatregel tegen een kansenbron aanvaard worden als kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de betrokken kansenbron.

De berekeningen geven:

- de vereiste capaciteit voor de betrokken kansenbron

- de effectieve capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep

Ref. [3], [23], [26], [31], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

Aandachtspunten :zie kansenbron warmte-input externe brand

## Impact van voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Impact

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen interne of externe verkeerswegen in de nabijheid van de opslagtank

De te volgen verkeerswegen zijn aangegeven op de site.

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Snelheidsbeperking

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Vangrails

Ref. [31], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Verzakking

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Complexe spanningen

### **Oorzaken:**

C1 Onstabiele grond

C1.1 Ogespoten grond

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Stabiele fundering

De stabiliteit is aan te tonen via berekeningen.

Ref. [23], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M2 Meetprogramma om verzakking op te volgen

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

## Aanwezigheid van waterstof

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: waterstofbrosheid

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Omhulling uit corrosiebestendig materiaal

- De koolstofstalen zijn af te raden voor drukken groter dan 10 bar.
  - Verhoging van de weerstand van staal tegen waterstofbrosheid door toevoeging van geschikte legeringselementen (bv. CrMo staal).
  - Keuze van het materiaal volgens de standaard "API 941 Steels for hydrogen services at elevated temperatures and pressure in petroleum refineries and petrochemical plants" .
- Ref. [1], [3], [16], [23], [31], [35]

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*



## Externe corrosieve condities

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Corrosie

### **Oorzaken:**

OF C1 Blootstelling aan atmosferische condities

OF C2 Accumulatie van vocht ter hoogte van ondersteuning (M2)

Typisch bij horizontale opslagtanks

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Uitwendige inspectie van de opslagtank

Opgenomen in een inspectieprogramma.

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

*Instructies*

De uitvoering van de inspecties is opgenomen in instructies. De ondersteuning van horizontale opslagtanks worden ook geïnspecteerd.

*Invloed op een oorzaak*

M2 Ondersteuning ontworpen om accumulatie van water te vermijden

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Accumulatie van vocht ter hoogte van ondersteuning

## Externe brand

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Vloeiing

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan opslagtank

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Ondersteuning hebben een brandweerstand van 2 uur

Mogelijke oplossingen:

- ondersteuning in beton

- brandwerende isolatie

Ref. [3], [23], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Waterkoeling van de ondersteuning

De koeling van de ondersteuning moet zodanig zijn dat een brandweerstand van 2 uren bekomen wordt.

*Laag: Beveiliging*

*Type: Blussystemen*

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Breuk of lek aan opslagtank

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

**M1 Waterstofdetectie**

Acties:

- geeft alarm op permanent bemande plaats bij 20 à 25% LEL
- sluit afsluitkleppen

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

*Plaatsing detectoren*

- volledig rond de opslaghouders

*Betrouwbaarheid*

De calibratie van de meetkoppen is opgenomen in een onderhoudsprogramma.

**M2 Inbloksysteem opslagtank**

Activatie:

- door noodstop verlading
  - door noodstop in controlekamer (of andere permanent bemande plaats)
  - door waterstofdetectie.
- Ref. [3], [31], [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

*Brandbestendigheid afsluitklep*

- aangetoond via testcertificaat
- de pakkingen tussen de opslagtank en de afsluitkleppen zijn eveneens brandbestendig of de flens is dichtgelast.

*Plaatsing afsluitklep*

Zo dicht mogelijk tegen de opslagtank of in de opslagtank

*Betrouwbaarheid*

het inbloksysteem van de opslagtank is opgenomen in een inspectieprogramma.

*Signalisatie van de afsluitkleppen*

Positie-aanduiding (open/toe)

*Fail safe positie van de afsluitklep*

- Fail safe is gesloten.

Bv. Het wegsmelten van de luchttoevoerleiding plaatst deze kleppen in een veilige positie.

**M3 Terugslagklep**

Ref. [3], [31]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Zelfwerkende afsluiters*

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma.

**M4 Excess-flow valve in de afvoerleiding**

Ref. [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Zelfwerkende afsluiters*

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma

*Plaatsing*

Zo dicht mogelijk tegen de opslagtank

## Vorming explosieve wolk

*Verspreiding*

### Beschrijving:

### Details:

D1 Onvoldoende ventilatie (M1;M2)

### Maatregelen:

M1 Installatie in de open lucht

Ref. [3], [23], [26], [31], [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Passief*

Invloed op detail: Onvoldoende ventilatie

M2 Ventilatie

Als de opslagtank geïnstalleerd is in een apart gebouw, moet er ventilatie verzekerd zijn.

Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)

Ref. [13], [17], [24], [27], [31], [35] (cryogene opslag)

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Passief*

Invloed op detail: Onvoldoende ventilatie

*Plaatsing van de lucht toe- en afvoer*

- De luchttoevoerplaatsen moeten gesitueerd zijn nabij de grond, enkel in de buitenmuren.
- De luchtafvoerplaatsen moeten gesitueerd zijn ter hoogte van het hoogste punt van het lokaal in de buitenmuren of in het dak.

*Oppervlak van de lucht toe- en afvoer*

De lucht toe- en afvoerplaatsen moeten elk een oppervlak hebben van minimaal  $1 \text{ m}^2/305 \text{ m}^3$  volume van het lokaal.

# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M6)
- OF D2 Elektrische vonken
  - OF D2.1 Statische oplading (M1;M2;M3)
  - OF D2.2 Elektrische apparatuur (M4;M5)
- OF D3 Mechanische vonken (M7)

### Maatregelen:

- M1 Vloerbekleding voldoende geleidend  
Voldoende geleidend: onbehandeld beton  
Onvoldoende geleidend: asfalt, epoxyharsen.  
Ref. [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Statische oplading
- M2 Het dragen van antistatisch schoeisel  
- voor eigen personeel  
- voor derden (bv. vrachtwagenchauffeurs)  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Statische oplading
- M3 Aarden van de opslagtank  
Ref. [3], [26], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Statische oplading  
*Inspectie*  
Opgenomen in een inspectieprogramma
- M4 Elektrische installatie explosie veilig uitgevoerd  
Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)  
Ref. [24], [27], [30], [35] (cryogene opslag)  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur  
*Zoneringsplan voor het betrokken onderdeel*  
- goedgekeurd door de Technische inspectie  
- actueel  
*Verslag elektrische keuring voor het betrokken onderdeel*  
- Laagspanning: 5-jaarlijks tenzij anders vermeld op het laatste keuringsverslag  
- keuringsverslag vermeldt geen inbreuken
- M5 Verbod op gebruik GSM's, radio's en ander mobiele niet Ex-apparatuur  
- aangeduid ter plaatse met pictogram  
- aangeduid aan de ingang van het terrein  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur
- M6 Rookverbod en verbod open vlam  
- aangeduid ter plaatse met pictogram  
- aangeduid aan de ingang van het terrein  
Ref. [3], [23], [26], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Open vlam

M7 Gebruik vonkvrij gereedschap

Ref. [9], [22], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Procedureel

Invloed op detail: Mechanische vonken

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

**M1 Branddetectie**

Vooraf wanneer de installatie van op afstand bediend wordt.  
Ref. [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

**M2 Vaste blussystemen**

- monitoren
  - hydranten
  - besproeiingssysteem dat manueel kan bediend worden van op een veilige afstand of automatisch door branddetectie (min. 8,14 l/min.m<sup>2</sup> blootgesteld oppervlak)
- Ref. [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Blussystemen*

*Voorraden bluswater*

- voldoende groot waterreservoir en/of natuurlijke reserve (kanaal, stroom,...)
- aanzuigpunt voor bluswater is beschermd tegen inname van brokstukken
- regelmatige controle van de voorraden bluswater
- reservepompen, die ook bij elektriciteitsuitval werken (diesel)

*Bescherming van de blussystemen*

Bescherming blusmiddelen tegen:

- corrosie
  - kathodische bescherming
  - beschermende verflaag
- vorst: voldoende diep ingegraven, verwarmd, droog systeem,...
- tegen mechanische schade van wegverkeer
- brand/explosie:
  - brandweerstation, bluswaterpompen gesitueerd:
    - buiten elke gevaarlijke zone
    - min. 30 m van dichtste brandrisico
    - in een explosie- en brandbestendig gebouw ondergebracht
  - leidingen beschermd tegen gevolgen van een explosie

Het bluswaternet is in lus(sen) aangelegd en voorzien van sectiekranen.

*Inspectie van brandbestrijdingsmiddelen*

- volgens een inspectieprogramma
- inspecties worden geregistreerd
- inspectieprogramma omvat o.a.:
  - bluswaterpompen (werking, dieselvoorraad) (wekelijks)
  - sprinklerinstallatie (maandelijks)

*Signalisatie*

Bluswaterleidingen en hydranten zijn rood geverfd.

*Dimensionering*

Brandbestrijdingsmiddelen vastgelegd in samenwerking met de brandweer (verslag).

### M3 Draagbare blusapparaten

- gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO<sub>2</sub> blussers, stikstof en stoom om kleine waterstofbrandjes te blussen.
  - strategisch opgesteld
- Ref. [26] (gasvormige waterstof), [27], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Blussystemen

#### *Opleiding*

Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparaten.

#### *Inspectie en onderhoud*

- De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een inspectie- of onderhoudsprogramma.
- maandelijkse visuele controle op aanwezigheid en goede staat
  - jaarlijkse controle

### M4 Interventiestrategie

- Proberen waterstoflek te stoppen, anders risico van herontsteking of explosie
  - De naburige apparatuur met grote waterhoeveelheden besproeien (voorkeur voor vernevelde waterstraal) om te koelen, te vermijden dat zij in de brand terecht komen en om het risico van herontsteking door contact met naburige hete oppervlakken te vermijden.
  - Als de brand gedoofd is en als de gasstroom voortduurt, de ventilatie verhogen om te vermijden dat een explosieve atmosfeer kan ontstaan. Men kan een watergordijn gebruiken om ventilatie te creëren.
- Ref. [3], [26], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Procedureel

## Explosie

### *Impact*

### **Beschrijving:**

### **Details:**

### **Maatregelen:**

#### M1 Zwakke wand


Indien een opslagtank opgesteld staat in een apart gebouw, moeten de buitenmuren geconstrueerd zijn in een licht materiaal of uit panelen gemaakt om los te raken bij een interne explosie van maximaal 13,3 kPa/m<sup>2</sup>.

Ref. [23], [26], [31], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief



|   |   |
|---|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Leidingen met samengedrukte waterstof</b></p> |  <p>Directie van de chemische risico's</p> |
|---|---|

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van samengedrukte waterstof

Sectie: Leidingen

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Impact van voertuigen
- Bovengrondse belasting op ondergrondse leiding

#### *Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

- Aanwezigheid van waterstof
- Externe aanwezigheid van corrosieve condities

*Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

- Externe brand

#### *Zwakke punten*

*Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

- Flensverbindingen

### Lijst vrijzettingstappen:

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Impact van voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Impact

#### **Oorzaken:**

#### **Vrijzettingsstappen:**

#### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen interne of externe verkeerswegen in de nabijheid van de leidingen

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Snelheidsbeperking

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Vangrails

Ref. [31], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Bovengrondse belasting op ondergrondse leiding

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Externe druk

### **Oorzaken:**

OF C1 Verkeer boven ondergrondse leiding (M2)

OF C2 Opslag boven ondergrondse leiding (M3)

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Diepte of afscherming aangepast aan bovengrondse belasting

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Geen verkeer boven ondergrondse leiding

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Verkeer boven ondergrondse leiding

M3 Geen opslag boven ondergrondse leiding

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Opslag boven ondergrondse leiding

## Aanwezigheid van waterstof

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Waterstofbrosheid

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

#### M1 Omhulling uit corrosiebestendig materiaal

- De koolstofstalen zijn af te raden voor drukken groter dan 10 bar.
  - Verhoging van de weerstand van staal tegen waterstofbrosheid door toevoeging van geschikte legeringselementen (bv. CrMo staal).
  - Keuze van het materiaal volgens de standaard "API 941 Steels for hydrogen services at elevated temperatures and pressure in petroleum refineries and petrochemical plants" .
- Ref. [1], [3], [16], [23], [31], [35]

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*

## Externe aanwezigheid van corrosieve condities

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Corrosie

### **Oorzaken:**

OF C1 Leiding blootgesteld aan atmosferische corrosieve condities (M3)

OF C2 Leiding blootgesteld aan ondergrondse corrosieve condities

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Inspectie uitwendige omhulling leidingen

Opgenomen in een inspectieprogramma

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

*Instructies*

De uitvoering van de inspecties is opgenomen in de instructies. De ondersteuning van leidingen worden mee geïnspecteerd.

M2 Kathodische protectie

*Laag: Beveiliging*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M3 Beschermende verflaag

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Leiding blootgesteld aan atmosferische corrosieve condities

## Externe brand

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Daling treksterkte door stijging temperatuur

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Leidingen voldoende ver van potentiële brandhaarden

Geen potentiële brandhaarden onder pijpenbruggen, zoals:

- verlaadposten

- containers met brandbaar afval (karton, verpakkingen, enz.)

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Flensverbindingen

*Zwakke punten*

*Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

### **Beschrijving:**

Aard van het zwak punt: Lekgevoelig punt

### **Oorzaken:**

OF C1 Flensverbinding slecht aangespannen

OF C2 Aantasting of veroudering pakkingsmateriaal

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen ondergrondse flensverbindingen

Onder de grond uitsluitend gelaste verbindingen. Boven de grond zo veel mogelijk gelaste verbindingen.

Ref. [3], [23], [31], [35]


*Laag: Proces*

*Type: Passief*

### 3. Vrijzettingsstappen en maatregelen

---



|  |   |
|--|---|
| <b>Onderdeel</b><br><br><b>Waterstofcompressor</b> |  |
|  | Directie van de chemische risico's  |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van samengedrukte waterstof

Sectie: Leidingen

### Lijst kansenbronnen:

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Interne explosie
- Voedingsdruk

### Lijst vrijzettingstappen:

*Vrijzetting*

- Breuk of lek van de compressor

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

#### Oorzaken:

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M1;M2)

C1.1.1 Drukverlies en lek naar de atmosfeer (M3)

EN C1.1.1.1 Drukverlies

EN C1.1.1.2 Lek

EN C2 Aanwezigheid van een ontstekingsbron (M6)

OF C2.1 Hot spot (M4;M5)

OF C2.1.1 Oververhitting van de lagers

OF C2.2 Temperatuur gelijk aan de zelfontstekingstemperatuur

#### Vrijzettingsstappen:

Breuk of lek van de compressor

#### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Voorafgaand spoelen compressor voor starten compressor

Om voorafgaande aanwezigheid van zuurstof en lucht te vermijden voor het inbrengen van waterstof. Men dient een reiniging met inert gas te voorzien, daarna een reiniging met waterstof. Om dit te verwezenlijken moet er een klep aanwezig zijn tussen de afsluitklep aan de ingang van de compressor en de aanzuiging om het doorblazen van het installatie-onderdeel toe te laten.

De gebruikte stikstofdruk is normaal niet lager dan het gemiddelde tussen de ontwerpdruk en de aanzuigdruk.

De compressor moet ten minste gedurende 10 minuten draaien en als de aanwezigheid van zuurstof in het doorstroomgas lager is dan 1% gedurende minimum 2 minuten, kan de compressor gestopt worden.

De toevoer van stikstof wordt afgesloten en de afsluitklep aan de zuigkant wordt geopend.

Samengedrukte waterstof wordt nog doorgeblazen totdat de concentratie aan inert gas gereduceerd is tot een aanvaardbaar niveau.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M2 Meten van de zuurstofconcentratie in de waterstof

Vooraf indien de waterstof afkomstig is van een bron bij lage druk of als er de mogelijkheid bestaat dat er contaminatie van zuurstof is.

Actie:

- automatisch stoppen van de compressor indien de concentratie van zuurstof 1 vol % bedraagt.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

*Plaatsing*

Juist voor het aanzuigpunt van de compressor.

- M3 Meten van de aanzuigdruk met alarm  
Actie:  
- stopt de compressor voordat de aanzuigdruk de atmosferische druk bereikt.  
Ref. [31]  
*Laag: Beveiliging* *Type: Veiligheidskring*  
Invloed op oorzaak: Drukverlies en lek naar de atmosfeer
- M4 Meten van de temperatuur van waterstof aan de perszijde met alarm  
Gesitueerd na elk lager (of na de koeling tussen elke trap)  
Actie:  
- stopt de compressor wanneer een vooraf ingestelde maximale temperatuur bereikt wordt.  
Ref. [31]  
*Laag: Beveiliging* *Type: Veiligheidskring*  
Invloed op oorzaak: Hot spot
- M5 Interlock op het koelwater na elk lager  
Alarm op de druk of het debiet van het water in het koelwatersysteem.  
Actie:  
- stopt de compressor bij een lage druk/laag debiet.  
Ref. [31]  
*Laag: Beveiliging* *Type: Veiligheidskring*  
Invloed op oorzaak: Hot spot
- M6 Interlock op lage druk/laag debiet inert gas ter hoogte van de elektrische motor  
Te voorzien indien de elektrische motor en andere hulpapparatuur van de compressor onder een inerte gasdruk gehouden worden (bv. stikstof).  
Alarm + actie:  
- stopt de motor en de hulpapparatuur  
Ref. [31]  
*Laag: Beveiliging* *Type: Veiligheidskring*  
Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van een ontstekingsbron

## Voedingsdruk

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

OF C1 Uitgangsklep gesloten

OF C2 Opblokkingen in de uitgangsleiding

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek van de compressor

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Interlock bij hoge druk stopt de compressor

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

M2 Veiligheidsklep ter hoogte van elke druktrap

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Breuk of lek van de compressor

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

D1 In een afvoerleiding (M3)

D2 In een toevoerleiding

**Maatregelen:**

M1 Afsluitklep ter hoogte van de perszijde

Voor systemen bij hoge druk (honderden bars).

Aangesproken:

- door meten van te lage druk aan de perszijde van de compressor

- noodstop in de controlekamer (stopt eveneens de compressor)

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Zelfwerkende afsluiters

M2 Detectie van waterstof ter hoogte van de compressor

Actie:

- geeft alarm in een permanent bemand lokaal bij 25% LEL.

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

*Plaatsing van de detectoren*

- volledig rond de compressor

*Betrouwbaarheid*

De calibratie van de meetkoppen is opgenomen in een onderhoudsprogramma.

M3 Terugslagklep aan de perszijde

Ref. [31]

*Laag:* Beveiliging

*Type:* Zelfwerkende afsluiters

Invloed op detail: In een afvoerleiding

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Verlading van tube-trailers of spoorwagens</b></p> |  <p>Directie van de chemische risico's</p> |
|--|---|

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van samengedrukte waterstof

Sectie: Verlading

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Voedingsdruk
- Interne explosie
- Warmte-input van externe brand

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Beweging van aangekoppelde voertuigen

#### *Openingen in de omhulling*

##### *Tijdelijke openingen naar de atmosfeer*

- Aansluitpunt voor flexibels of laadarmen

#### *Zwakke punten*

##### *Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

- Flexibels

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Breuk of lek van tijdelijke verbinding
- Breuk of lek van de tube-trailer of spoorwagon

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand

## 2. Kansbronnen en maatregelen

### Voedingsdruk

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

#### **Oorzaken:**

C1 Overvulling

#### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek van de tube-trailer of spoorwagon

#### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Duidelijke verladingsprocedure

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M2 Meten van de druk met alarm bij hoge druk

Het alarmsignaal wordt gegeven op een plaats waar werknemers aanwezig zijn. Het alarmniveau is zo bepaald dat men nog over voldoende tijd beschikt om te reageren.

Hoe men moet reageren is beschreven in een instructie.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

## Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

OF C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M1)

EN C2 Aanwezigheid van een inwendige ontstekingsbron

OF C2.1 Ontlading statische elektriciteit (M2;M3)

### Vrijzettingstappen:

Breuk of lek van de tube-trailer of spoorwagon

### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Doorblazen van de flexibels en de aansluitpunten

Het doorblazen dient opgenomen te zijn in de verlaadprocedure.

Men dient een reiniging met inert gas te voorzien, daarna verschillende reinigingen met waterstof. Om dit te verwezenlijken moet er een klep aanwezig zijn die een verbinding met de open lucht maakt om de aansluiting te maken om het doorblazen van de leidingen mogelijk te maken tussen de tube-trailer/spoorwagon en de toegangsklep.

Ref. [3], [26], [31], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M2 Plaatsing van een equipotentiaalverbinding

De plaatsing van een equipotentiaalverbinding dient opgenomen te zijn de verlaadprocedure.

Tussen de tube-trailer of de spoorwagon en de vaste installatie.

Ref. [3], [35]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit

M3 Voldoende geleidende flexibels

Ref. [31]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit



## Warmte-input van externe brand

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

OF C1 Brand in nabijgelegen installatie

OF C2 Brand door lek aan tube-trailer/spoorwagen

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek van de tube-trailer of spoorwagon

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Delugesysteem verlaadinstallatie  
Kan manueel geactiveerd worden.  
Ref. [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Blussystemen*

## Beweging van aangekoppelde voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Trekkrachten (en andere)

### Oorzaken:

OF C1 Vertrek van een aangekoppeld voertuig (M3;M4;M5;M6)

OF C2 Aanrijding van aangesloten voertuig door ander voertuig (M1;M2)

### Vrijzettingstappen:

Breuk of lek van tijdelijke verbinding

### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Geen intern verkeer nabij de verlaadplaats

Ref. [3]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aanrijding van aangesloten voertuig door ander voertuig

M2 Verlaadplaats aangeduid als zone met parkeerverbod

Ref. [3], [31]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Aanrijding van aangesloten voertuig door ander voertuig

M3 Plaatsing van wielblokken

Opgenomen in de verlaadprocedure.

Ref. [23]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

M4 Handrem opgetrokken tijdens de verlading

Opgenomen in de verlaadprocedure.

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

M5 Chauffeur niet toegelaten in vrachtwagen tijdens transfer

Een alternatief bestaat erin te verbieden dat de motorwagen aangekoppeld is tijdens de verlading en in het plaatsen van een ketting na de oplegger.

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

## M6 Interlock op de toegang van de verladingsverbinding

Verbonden met:

1) ofwel de activatie van de rem: dit systeem omvat een dispositief gekoppeld aan het remcircuit en wordt geactiveerd door de chauffeur/operator wanneer deze toegang wil hebben tot de verladingsverbindingen. Het dispositief moet:

- blokkeren van het openen van de deuren van de kast met leidingen en/of
- blokkeren van de toegang tot de verladingsverbindingen en/of
- wordt geactiveerd indien de deuren van de kast open zijn.

De beweging van het dispositief activeert de remmen of verhindert dat de remmen losgelaten worden. Op het einde van de operatie moet de chauffeur/operator eerst de flexibel ontkoppelen voordat het dispositief terug op nul kan gezet worden. Het terugzetten op nul van het dispositief laat de remmen los, of laat toe dat de remmen losgelaten worden om het transportvoertuig te laten vertrekken.

2) Of het sluiten van een bareel voor het transportvoertuig. Deze bareel wordt geactiveerd door een speciale onderbreker, geplaatst op de ondersteuning van de verlaadflexibel. Vanaf het moment dat de flexibel verwijderd wordt van zijn steunpunt, sluit de bareel automatisch.

Ref. [33]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma.

## Aansluitpunt voor flexibels of laadarmen

*Openingen in de omhulling*

*Tijdelijke openingen naar de atmosfeer*

### **Beschrijving:**

Gebruiksfrequentie: Bij de verlading

### **Oorzaken:**

C1 Loskoppelen terwijl er nog waterstof aanwezig is. (M1)

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek van tijdelijke verbinding

### **Maatregelen:**

*Invloed op een oorzaak*

M1 Leegmaken van de tijdelijke verbinding voor ontkoppeling

Dit veronderstelt de aanwezigheid van een klep verbonden met de open lucht om de tijdelijke verbinding leeg te drukken. Een manometer laat toe vast te stellen dat de verbinding drukloos is.

Voor het leegdrukken mag geen perslucht gebruikt worden.

Deze operatie is opgenomen in de verlaadprocedure.

Ref. [26]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Loskoppelen terwijl er nog waterstof aanwezig is.

## Flexibels

*Zwakke punten*

*Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

### **Beschrijving:**

Aard van het zwak punt: Gevoelig voor slijtage

### **Oorzaken:**

OF C1 Aantasting wanneer niet in gebruik (M4)

OF C2 Frequent gebruik

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek van tijdelijke verbinding

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Lekttest voor elk gebruik

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

M2 Visuele inspectie voor gebruik

Dit omvat onderzoek van de aansluitpunten, de geleidbaarheid en de uitwendige toestand. Dit onderzoek is opgenomen in de verlaadprocedure.

Ref. [3]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Periodieke vervanging van de flexibels

Ten laatste 5 jaar na hun fabricatiejaar, tenzij de flexibels nog niet gebruikt geweest zijn.

Ref. [3], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

*Invloed op een oorzaak*

M4 Opbergsysteem voor flexibels

Het gebruik van dit systeem is uiteraard voorzien in de procedures.

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aantasting wanneer niet in gebruik

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Breuk of lek van tijdelijke verbinding

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

- M1 Permanente aanwezigheid losoperator  
Ref. [3], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
- M2 Inbloksysteem tijdelijke verbinding  
Langs de kant van de vaste installatie.  
Geactiveerd door:  
- noodstop  
- gasdetectie  
- fout aan equipotentiaalverbinding  
Ref. [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*
- M3 Terugslagklep in de verlaadleiding  
Langs de kant van de vaste installatie.  
Ref. [3], [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Zelfwerkende afsluiters*  
*Betrouwbaarheid*  
Opgenomen in een inspectieprogramma.
- M4 Terugslagklep op de flexibel  
Gesitueerd ter hoogte van de aansluiting van de flexibel met de tube-trailer of spoorwagon.  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Zelfwerkende afsluiters*
- M5 Gasdetectie ter hoogte van het verlaadstation  
Acties:  
- geeft alarm in de controlekamer (of in een permanent bemand lokaal) bij een detectie van 25% LEL  
- sluit automatisch de op afstand gestuurde kleppen  
- stopt automatisch de compressoren  
Ref. [3], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*  
*Betrouwbaarheid*  
Opgenomen in een inspectieprogramma.  
*Plaatsing meetpunten*  
- op strategische plaatsen van het verlaadstation  
- .....
- M6 Noodstop van de verlading  
Acties:  
- sluit automatisch de van op afstand gestuurde kleppen  
- stopt automatisch de compressoren  
- geeft een alarm in de controlekamer (of in een permanent bemand lokaal).  
Ref. [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*  
*Plaatsing*  
Gesitueerd op de ontruimingwegen

M7 Flexibel vastgemaakt op regelmatige afstand

Om te vermijden dat de flexibel in alle richtingen slingert in geval van een breuk.

Ref. [31], [35]

*Laag:* Omhulling

*Type:* Passief

## Breuk of lek van de tube-trailer of spoorwagon

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M4)
- OF D2 Elektrische vonken (M5)
  - OF D2.1 Elektrische apparatuur (M8)
  - OF D2.2 Elektrostatistische oplading (M2;M6;M7)
  - OF D2.3 Zwerfstromen (M3)

### Maatregelen:

- M1 Gebruik vonkvrij gereedschap  
Ref. [9], [22], [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Procedureel
- M2 Aarding van spoorwegrails  
Ref. [31]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Passief  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M3 Elektrische isolatie van spoorwegrails van de rest van het spoornetwerk  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Passief  
Invloed op detail: Zwerfstromen
- M4 Rookverbod en verbod open vlam  
- aangeduid ter plaatse met pictogram  
- aangeduid aan de ingang van het terrein  
Ref. [3], [23], [26], [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Procedureel  
Invloed op detail: Open vlam
- M5 Vloerbekleding voldoende geleidend  
Voldoende geleidend: onbehandeld beton  
Onvoldoende geleidend: asfalt, epoxyharsen.  
Ref. [31], [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Passief  
Invloed op detail: Elektrische vonken
- M6 Plaatsing van een equipotentiaalverbinding  
De plaatsing van een equipotentiaalverbinding dient opgenomen te zijn de verlaadprocedure.  
Tussen de tube-trailer of de spoorwagon en de vaste installatie.  
Ref. [3], [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Procedureel  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M7 Het dragen van antistatisch schoeisel  
- voor eigen personeel  
- voor derden (bv. vrachtwagenchauffeurs)  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Procedureel  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading



- M8 Elektrische installatie explosie veilig uitgevoerd  
Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)  
Ref. [24], [27], [30], [35] (cryogene opslag)  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Passief  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur  
*Zoneringsplan voor het betrokken onderdeel*  
- goedgekeurd door de Technische inspectie  
- actueel  
*Verslag elektrische keuring voor het betrokken onderdeel*  
- Laagspanning: 5-jaarlijks tenzij anders vermeld op het laatste keuringsverslag  
- keuringsverslag vermeldt geen inbreuken
- M9 Vergrendeling equipotentiaalverbinding  
Een interlock die het verladen verhindert zolang de weerstand van de equipotentiaalverbinding te hoog is.  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Veiligheidskring  
Invloed op maatregel: Plaatsing van een equipotentiaalverbinding  
*Betrouwbaarheid*  
Opgenomen in een inspectieprogramma.

## Brand


*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

- M1 Draagbare blusapparaten  
- gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO2 blussers, stikstof en stoom om kleine waterstofbrandjes te blussen.  
- strategisch opgesteld  
Ref. [26] (gasvormige waterstof), [27], [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Blussystemen  
*Opleiding*  
Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparaten.  
*Inspectie en onderhoud*  
De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een inspectie- of onderhoudsprogramma.  
- maandelijkse visuele controle op aanwezigheid en goede staat  
- jaarlijkse controle
- M2 Branddetectie  
Vooraf wanneer de installatie van op afstand bediend wordt.  
Ref. [35]  
*Laag:* Schadebeperking *Type:* Veiligheidskring

|  |  |
|--|--|
| <h1 style="margin: 0;">Installatie</h1> <h2 style="margin: 0;">Vullen en opslaan van waterstofflessen</h2> |  <p style="margin: 0;">Directie van de chemische risico's</p> |
|--|--|

## 1. Beschrijving

De industriële flessen zijn beschikbaar in staal met een volume gaande van 2 tot 50 l (overeenstemmend met 0,35 tot 8,9 Nm<sup>3</sup> en met een gewicht van 5,3 tot 68 kg) bij een druk van 200 bar.

## 2. Secties en onderdelen

### *Opslag van flessen*

Waterstoffles (opslag)

### *Vulstation voor waterstofflessen*

Waterstoffles (vulstation)

## 3. Aandachtspunten

### *Goede staat van de waterstofflessen*

Er is een systematisch nazicht op de toestand van de te vullen flessen:

- of er visuele defecten zijn (uitstulpingen, deuken, barsten, roest)
- of de herkeuringsdatum verstreken is

Flessen in slechte staat of met verstreken keuringsdatum worden verwijderd.

Ref. [22]

### *Leegmaken van defecte flessen*

- Plaatsen van de defecte flessen in de open lucht op een goed verluchte plaats.
- Aanduiding van de aanwezigheid van een dergelijke fles (herhaling van de verbodsbepalingen)
- plaatsen van een drukregelaar (ontspanner) om de fles de ledigen aan een normale snelheid.

Een andere methode bestaat erin om waterstof gecontroleerd te verbranden in een installatie die hiervoor ontworpen is.

Ref. [22]

### *Signalisatie van de opslagzone*

Aanwezigheid van een signalisatie die de aanwezigheid van waterstof weergeeft, die de etikettering weergeeft evenals een verbod om te roken, open vlam te gebruiken en GSM's te gebruiken.

Ref. [22]

### *Incompatibiliteit*

- Het is verboden om waterstofflessen op te slaan samen met zuurstofflessen of andere sterk oxiderende of brandbare producten.
- Men moet elk direct contact met dergelijke oxiderende materialen vermijden bij waterstofflessen of kleppen op deze flessen.

Ref. [9], [14], [18], [21], [22], [26]


### *Kleurencode voor waterstofflessen*

Het ogief van de waterstofflessen moet geschilderd zijn in rood en groen.

De nieuwe kleurencode voor gasflessen volgens norm NBN-EN-1089-3 die van kracht wordt vanaf 1/7/2006 mag nu ook al toegepast worden. Voor waterstofflessen dient het ogief dan geschilderd te zijn in rood met een N erop om aan te tonen dat dit een nieuwe kleur is.

Ref. [6] + bijkomende referentie

---

|   |   |
|---|---|
| <b>Onderdeel</b><br><br><b>Waterstoffles (opslag)</b> |  |
|   | Directie van de chemische risico's  |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Vullen en opslaan van waterstofflessen

Sectie: Opslag van flessen

De industriële flessen zijn beschikbaar in staal met een volume gaande van 2 tot 50 l (overeenstemmend met 0,35 tot 8,9 Nm<sup>3</sup> en met een gewicht van 5,3 tot 68 kg) bij een druk van 200 bar.

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Warmte-input door externe brand (of andere warmtebron)

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Impact van voertuigen of andere toestellen

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Lek of breuk van de fles

#### *Verspreiding*

- Vorming van een explosieve wolk in een gebouw

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand
- Explosie in het gebouw

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Warmte-input door externe brand (of andere warmtebron)

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

De uitwendige temperatuur moet beneden de 50°C gehouden worden.

#### **Oorzaken:**

#### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de fles

#### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Veiligheidsafstanden met betrekking tot mogelijke externe brandhaarden

Zie bijlage 2.

Ref. [22], [31]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Koeling door middel van sprinklers

Voorals de hoeveelheden gestockeerd op een zelfde plaats belangrijk zijn en als de afstanden ten opzichte van warmtebronnen niet groot zijn.

Geactiveerd door:

- detectie van een vastgelegde verhoogde temperatuur (of een vastgelegde temperatuurstijgingsnelheid)

- manueel

De activatie veroorzaakt een alarm in een permanent bemand lokaal.

Ref. [22], [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Blussystemen*

M3 Weghouden van radiatoren of andere warmtebronnen

Ref. [6], [9], [18], [19], [21], [22], [26], [31]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Impact van voertuigen of andere toestellen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Impact

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de fles

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Opslag verwijderd van intern en extern wegverkeer

Ref. [19], [21], [22], [31]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

### 3. Vrijzettingsstappen en maatregelen

#### Lek of breuk van de fles

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

M1 Waterstofdetectie in het gebouw met alarm

In gebouwen, waar een natuurlijke ventilatie niet mogelijk is, dient de detectie gekoppeld te zijn aan een gedwongen ventilatie.

Ref. [21], [22], [31]

Een alternatief bestaat in het gebruiken van een draagbare detector

Ref. [26]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

*Betrouwbaarheid*

De goede werking wordt periodiek getest (alle maanden)

De hercalibratie heeft ten minste om de 6 maanden plaats.

*Plaatsing van de meetpunten*

De meetpunten bevinden zich op strategische plaatsen (hoge punten).

#### Vorming van een explosieve wolk in een gebouw

*Verspreiding*

**Beschrijving:**

**Details:**

D1 Onvoldoende ventilatie (M2)

**Maatregelen:**

M1 Propagatie van de explosieve wolk in een veilige zone vermijden

Men moet maatregelen voorzien om te vermijden dat waterstof binnendringt op bepaalde plaatsen (trappenhallen,...) die de verbinding vormen met als veilig gedefinieerde lokalen (dus buiten de gevaarlijke zones).

Ref. [31]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

M2 Voldoende ventilatie garanderen

Ref. [18], [19], [22], [23], [26], [31]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

*Invloed op detail:* Onvoldoende ventilatie

*Plaatsing*

- de luchtinlaten moeten gesitueerd zijn nabij de grond, enkel in buitenmuren;

- de luchtuitlaten moeten zo hoog mogelijk in het lokaal voorzien zijn in buitenmuren of in het dak.

*Oppervlak*

De luchtinlaten en -uitlaten moeten elk een totale oppervlakte hebben van ten minste  $1 \text{ m}^2 / 305 \text{ m}^3$  volume van het lokaal.

# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M1)
- OF D2 Warme oppervlakken (M2)
- OF D3 Elektrische vonken (M7)
  - OF D3.1 Elektrostatische oplading (M3;M4)
  - OF D3.2 Elektrische apparatuur (M5;M6)

### Maatregelen:

- M1 Rookverbod en verbod op open vlam  
- Aangeduid aan de hand van pictogrammen  
Ref. [22], [23], [26], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Open vlam
- M2 Weghouden van radiatoren of andere warmtebronnen  
Ref. [6], [9], [18], [19], [21], [22], [26], [31]  
*Laag: Proces* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Warme oppervlakken
- M3 Vloerbekleding voldoende geleidend  
Voldoende geleidend : niet behandeld beton  
Onvoldoende geleidend : asfalt, epoxyharsen.  
Ref. [22], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrostatische oplading
- M4 Het dragen van antistatisch schoeisel  
Ref. [5], [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrostatische oplading
- M5 Elektrische installatie is explosie veilig  
Ref. [19], [22], [23], [26], [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur  
*Zoneringsplan voor het opslaggebouw van waterstofflessen*
  - goedgekeurd door de Technische inspectie
  - actueel*Inspectieverslag elektrische controle*
  - laagspanning: minsten om de 5 jaar tenzij een andere frequentie werd aangegeven op het laatste inspectieverslag.
  - het inspectieverslag vermeldt geen enkele inbreuk
- M6 Verbod op gebruik GSM's, radio's en ander mobiele niet Ex-apparatuur  
- aangeduid aan de hand van pictogrammen.  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur
- M7 Gebruik van vonkvrij gereedschap  
Ref. [9], [22]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische vonken



# Brand

*Impact*

## **Beschrijving:**

### **Details:**

- OF D1 Impact op personen (M3)
- OF D2 Impact op het gebouw (M2)
- OF D3 Impact op de installaties

### **Maatregelen:**

#### M1 Draagbare blusapparaten

- gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO2 blussers, stikstof en stoom om kleine waterstofbrandjes te blussen.
  - strategisch opgesteld
- Ref. [22], [26], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Blussystemen

#### *Opleiding*

Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparaten.

#### *Inspectie en onderhoud*

- De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een periodiek onderhoudsprogramma:
- maandelijks visuele controle op aanwezigheid en goede staat
  - jaarlijkse controle

#### M2 Brandweerstand van het gebouw

Ref. [19], [22], [23], [26], [31].

De brandweerstand is conform met artikel 52 (Ref. [5]). Men beschikt over een lokaal van de eerste groep indien de opgeslagen hoeveelheid gelijk of meer is dan 300 l totale capaciteit in liters flessen..

Dit betekent dat een gebouw zonder verdiep gebouwd na 01/06/1972 moet geconstrueerd zijn met muren en een dakstructuur met een brandweerstand van minstens een half uur.

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

Invloed op detail: Impact op het gebouw

#### M3 Evacuatiewegen buiten de opslag van waterstofflessen

Duidelijk aangeduid en zichtbaar vanuit gelijk welke hoek van het opslaglokaal.

Ref. [5], [21], [22], [31]

*Laag:* Aanwezigheid

*Type:* Passief

Invloed op detail: Impact op personen

## Explosie in het gebouw

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

M1 Zwakke wand

In het geval de opslag van flessen gesitueerd is in een apart gebouw, moeten de buitenmuren opgetrokken zijn uit licht materiaal of opgetrokken uit panelen die loslaten bij een maximale interne overdruk van 13,3 kPa/m<sup>2</sup>.

(uitgezonderd indien slechts kleine hoeveelheden waterstof gebruikt worden)

Ref. [22], [23], [26], [31], [35]


*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

*Keuze van de zwakke wand*

De explosie moet weggeleid worden van een plaats waar personen of andere apparatuur kunnen geraakt worden.

---

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Waterstoffles (vulstation)</b></p> |  |
|  | <p>Directie van de chemische risico's</p>   |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Vullen en opslaan van waterstofflessen

Sectie: Vulstation voor waterstofflessen

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

#### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Interne explosie
- Voedingsdruk

#### *Zwakke punten*

#### *Afdichtingen van bewegende delen*

- Afsluitkraan op hals fles

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Lek of breuk van de fles

#### *Verspreiding*

- Vorming van een explosieve wolk

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand
- Explosie

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

#### Oorzaken:

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M2;M4)

C1.1.1 Drukverlies en lek naar de atmosfeer (M1)

EN C1.1.1.1 Drukverlies

EN C1.1.1.2 Lek

EN C2 Aanwezigheid van een ontstekingsbron (M3)

#### Vrijzettingstappen:

Lek of breuk van de fles

#### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Verificatie van de residuele druk in de fles

Als er geen residuele druk is of als de afsluitkraan voorafgaandelijk open gezet is, moet de fles verwijderd worden van de transportband van het vulstation.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Drukverlies en lek naar de atmosfeer

*Instructies*

Deze maatregel is opgenomen in de instructie voor het vullen van waterstofflessen.

M2 Meten van de concentratie zuurstof

De analyse van de zuurstofconcentratie is één keer per dag verplicht. De concentratie moet lager zijn dan 2 vol %.

Ref. [6]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M3 Aarding van de fles

Als de te vullen fles in contact staat met de vloer (die zelf geleidt), is het niet nodig te fles te verbinden met de aarde.

Ref. [22], [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van een ontstekingsbron

M4 Doorblazen van flexibels en aansluitpunten van het vulstation

Men dient een reiniging met een inert gas te voorzien, daarna een reiniging met waterstof. Om dit te verwezenlijken moet men een kraan naar de open lucht voorzien om het doorblazen van de leiding tussen de waterstofvoeding en het aansluitpunt van de fles mogelijk te maken. Deze procedure dient verschillende keren herhaald te worden indien noodzakelijk.

Ref. [22], [26], [31], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

*Instructies*

De doorblaasprocedure moet opgenomen zijn in de vulprocedure.

## Voedingsdruk

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de fles

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

#### **M1 Meten van de druk met alarm bij hoge druk**

Gesitueerd op de belangrijkste voedingslijn (voor de collector).

Het alarmsignaal wordt gegeven op een plaats waar operatoren aanwezig zijn. Het alarmniveau is zo vastgelegd zodat men nog voldoende tijd heeft om te reageren.

Hoe men dient te handelen is beschreven in een instructie.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

#### **M2 Vulprocedure voor waterstofflessen**

Voor het sluiten van de afsluitkraan bij de gewenste druk, dient men rekening te houden met de nodige correctie te wijten aan de omgevingstemperatuur.

Ref. [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

## Afsluitkraan op hals fles

*Zwakke punten*

*Afdichtingen van bewegende delen*

### **Beschrijving:**

Aard van het zwak punt: kraan in verbinding met gas

### **Oorzaken:**

OF C1 Kraan onvoldoende dichtgedraaid

OF C2 Versleten afdichting

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de fles

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Nazicht van dichtheid na het vullen

Opgenomen in de vulprocedure.

Ref. [22], [31]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

### 3. Vrijzettingsstappen en maatregelen

#### Lek of breuk van de fles

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

**M1 Automatische afsluitklep**

Gesitueerd op de belangrijkste waterstofvoeding van het vulstation.

Activatie:

- door de noodstop
- door gasdetectie

Ref. [31]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

*Karakteristiek van de afsluitklep*

- brandbestendig (firesafe)
- indicatie van de positie (open/toe)

**M2 Terugslagklep**

Gesitueerd ter hoogte van de belangrijkste waterstofvoeding van het vulstation.

Ref. [31]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Zelfwerkende afsluiters*

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma.

**M3 Noodstop van de flessenvulling**

Acties:

- sluit automatisch de automatische afsluitkleppen
- geeft een alarm in de controlekamer (of in een permanent bemand lokaal)

Ref. [31]

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

*Plaatsing*

- gesitueerd op de ontruimingswegen

**M4 Waterstofdetectie ter hoogte van het vulstation**

In gebouwen, waar een natuurlijke ventilatie niet mogelijk is, dient de detectie gekoppeld te zijn aan een gedwongen ventilatie.

Ref. [31]

Acties:

- sluit de automatische afsluitkleppen van het vulstation
- geeft een alarm in de controlekamer (of in een permanent bemand lokaal)

Ref. [21], [22], [26], [31].

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Veiligheidskring*

*Betrouwbaarheid*

De goede werking wordt periodiek getest (elke maand)  
De hercalibratie heeft tenminste om de 6 maanden plaats.

*Plaatsing van de meetpunten*

De meetpunten zijn strategisch opgesteld (hoge plaatsen).

## Vorming van een explosieve wolk

*Verspreiding*

### **Beschrijving:**

### **Details:**

D1 Onvoldoende ventilatie (M2)

### **Maatregelen:**

M1 Propagatie van een explosieve wolk in een veilige zone vermijden

Men moet maatregelen voorzien om te vermijden dat waterstof binnendringt op bepaalde plaatsen (trappenhallen,...) die de verbinding vormen met als veilig gedefinieerde lokalen (dus buiten de gevaarlijke zones).

Ref. [31]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

M2 Voldoende ventilatie garanderen

Ref. [18], [22], [23], [26], [31], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

Invloed op detail: Onvoldoende ventilatie

*Plaatsing*

- de luchtinlaten moeten gesitueerd zijn nabij de grond, enkel in buitenmuren;
- de luchtuitlaten moeten zo hoog mogelijk in het lokaal voorzien zijn in buitenmuren of in het dak.

*Oppervlak*

De luchtinlaten en de luchtuitlaten moeten elk een totaal oppervlak hebben van minstens  $1 \text{ m}^2 / 305 \text{ m}^3$  volume van het lokaal.



# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M1)
- OF D2 Elektrische vonken (M7)
  - OF D2.1 Elektrostatistische oplading (M2;M3;M4)
  - OF D2.2 Elektrische apparatuur (M5;M6)

### Maatregelen:

- M1 Rookverbod en verbod op open vlam  
- aangeduid ter plaatse aan de hand van pictogrammen  
Ref. [3], [22], [26], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Open vlam
- M2 Voldoende geleidende vloerbekleding  
Voldoende geleidend : niet behandeld beton  
Onvoldoende geleidend : asfalt, epoxyharsen.  
Ref. [22], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M3 Het dragen van antistatisch schoeisel  
Ref. [5], [22], [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M4 Aarding van het vulstation  
Ref. [9], [22], [31]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M5 Elektrische installatie is explosie veilig  
Ref. [22], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur  
*Zoneringsplan voor het vulstation*
  - goedgekeurd door de Technische inspectie
  - actueel*Inspectieverslag elektrische keuring van het vulstation*
  - laagspanning: minsten om de 5 jaar tenzij een andere frequentie werd aangegeven op het laatste inspectieverslag.
  - het inspectieverslag vermeldt geen enkele inbreuk
- M6 Verbod op gebruik van GSM's, radio's en andere mobiele niet Ex-apparatuur  
- aangeduid aan de hand van pictogrammen  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische apparatuur
- M7 Gebruik van vonkvrij gereedschap  
Ref. [9], [22]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische vonken

# Brand

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

D1 Impact op personen (M3)

D2 Impact op het gebouw (M4)

### Maatregelen:

M1 Noodverlichting

Ref. [31]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

M2 Draagbare blusapparaten

- gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO2 blussers, stikstof en stoom om kleine waterstofbrandjes te blussen.

- strategisch opgesteld

Ref. [22], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Blussystemen

#### *Opleiding*

Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparatuur.

#### *Inspectie en onderhoud*

De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een periodiek onderhoudsprogramma:

- maandelijks visuele controle van hun aanwezigheid en goede staat

- jaarlijkse controle

M3 Evacuatiewegen uit het vulcentrum

Duidelijk aangeduid en zichtbaar vanuit gelijk welke plaats in het opslaglokaal.

Ref. [5], [22], [31]

*Laag:* Aanwezigheid

*Type:* Passief

Invloed op detail: Impact op personen

M4 Brandweerstand van het vulcentrum

Ref. [22], [26].

Brandweerstand conform met artikel 52 (Ref. [5]).

Dit betekent voor een gebouw zonder verdiep geconstrueerd na 01/06/1972 dat de muren en de structuur van het dak een brandweerstand van een half uur moet hebben.

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

Invloed op detail: Impact op het gebouw

## Explosie

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

M1 Zwakke wand

In het geval een flessenvulstation gesitueerd in een apart gebouw, moeten de buitenmuren geconstrueerd zijn uit een licht materiaal of opgetrokken uit panelen die zich losmaken bij een interne overdruk van maximaal 13,3 kPa/m<sup>2</sup>.

(uitgezonderd indien slechts kleine hoeveelheden waterstof gebruikt worden)

Ref. [22], [23], [26], [31], [35]


*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

*Keuze van de zwakke wand*

De explosie moet weggeleid worden van een plaats waar personen of andere apparatuur kunnen geraakt worden.

---

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Installatie</b></p> <p><b>Opslag en verlading van vloeibare<br/>waterstof</b></p> |  |
|   | <p>Directie van de chemische risico's</p>   |

## 1. Beschrijving

---

## 2. Secties en onderdelen

*Opslag in cryogene houders*

Cryogene houder

*Leidingen*

Leidingen met vloeibare waterstof

*Verlading*

Verlading van (spoor)tankwagens

*Verdamping van vloeibare waterstof*

Verdamper

---

## 3. Aandachtspunten

*Signalisatie van tanks*

Aanduiding op elke houder van:

- nummer van de houder
- naam van de opgeslagen vloeistof: waterstof
- de gevaarssymbolen
- het inhoudsvermogen

*Constructie van de tanks en de leidingen*

Constructie is gebeurd volgens een constructie standaard.

De houders en toebehoren op de markt gebracht en in gebruik genomen na 29/5/2002 dienen te beschikken over een CE-markering en een EG-verklaring van overeenkomst conform de richtlijn drukapparatuur.

De volgende geharmoniseerde normen bestaan:

- EN13458: Cryogenic vessels - static vacuum insulated vessel
  - EN13648: Cryogenic vessels - Safety devices for protection against excessive pressure.
- Ref. [4], [24], [30], [34], [35]

*Verlichting en noodverlichting*

- Ter hoogte van de verlaadposten
  - Explosie veilig of opgesteld buiten de explosiezone
- Ref. [24], [27], [30], [35]

*Toegangscontrole*

Omheining omheen de onderneming:

- voldoende hoog (2 m)
  - aanduiding van toegangsverbod
  - toegangscontrole
  - niet gecontroleerde deuren en poorten op slot
- Ref. [13], [27], [30], [35]

### *Toegankelijkheid voor interventie*

Toegang tot de houders en de verlaadstations:

- vastgelegd in overleg met de brandweer
  - via 2 verschillende richtingen (om de toegang te verzekeren bij verschillende windrichtingen)
  - breed genoeg om interventievoertuigen door te laten (6 m voor 2-richtingsverkeer of 4 m voor 1 richting)
  - geen of niet-gesignaleerde doodlopende straten (als onvermijdelijk dan draai-mogelijkheid op het einde)
  - een vrije hoogte van ten minste 4,2 m (bv. onder pijpenbruggen)
- Ref. [24], [27], [30]

### *Signalisatie van leidingen*

Aanduiding van:

- stromingsrichting
- de aanwezigheid van waterstof
- vloeibaar of gasvormig

### *Zonering*

Waterstof is een gas van de groep IIC, temperatuursklasse T1.

De zonering is:

- actueel (daterend van na de laatste aanpassingen)
- ondertekend door de technische inspectie
- keuringsverslag van de elektrische installatie door een erkend organisme (min. 5-jaarlijks)

### *Inplanting*

De afstand tot de volgende installaties is groot genoeg om domino-effecten te vermijden:


- elke naburige eigendom
- tanks met ontvlambare vloeistoffen of gassen
- gebouwen
- verlaadstations
- installaties waar met ontvlambare producten wordt gewerkt
- fragiele en hoge structuren

Deze afstanden zijn bepaald door een risicostudie of een erkende code (zie bijlage 2)

Het is verboden om installaties waar met waterstof wordt gewerkt te plaatsen onder hoogspanningslijnen.

Ref. [24], [27], [30], [35]

---

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Cryogene houder</b></p> |  |
|   | <p>Directie van de chemische risico's</p>   |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van vloeibare waterstof

Sectie: Opslag in cryogene houders

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Input van warmte door zonnestraling
- Warmte-input door de voedingsstroom
- Voedingsdruk
- Verlies van isolatie van de cryogene houder
- Warmte-input door externe brand
- Interne explosie

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Impact van voertuigen
- Verzakking

#### *Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

##### *Corrosieve of chemisch agressieve condities*

- Aanwezigheid van externe corrosieve condities

##### *Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

- Externe brand

##### *Fenomenen die leiden tot lage temperaturen*

- Afkoeling door een lek van cryogene vloeistof

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Breuk of lek aan cryogene houder

#### *Verspreiding*

- Vorming explosieve wolk
- Verspreiding van vloeistof

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand
- Explosie

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Input van warmte door zonnestraling

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

#### **Oorzaken:**

C1 Slechte isolatie

#### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

#### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Weerkaatsende bekleding

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M2 Veiligheidsklep of breekschijf op de binnenste wand

Een veiligheidsklep kan alleen aanvaard worden als maatregel tegen een kansenbron indien kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de beschouwde kansenbron.

De berekeningen geven aan:

- de noodzakelijke capaciteit van de beschouwde oorzakenbron;
- de reële capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep.

Ref. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Afblaaslocatie*

De afblaaslijnen van de veiligheidskleppen moeten uitmonden in de open lucht (vooral een aandachtspunt indien het installatie-onderdeel zich in een gebouw bevindt) en in elk geval volgens een bepaalde richting op een plaats en een voldoende hoogte om elk gevaar te vermijden.

Ref. [24], [30], [34], [35]

*Waterophoping in de afblaaslijn*

De afblaaslijnen van de veiligheidskleppen moeten zo geconstrueerd of gelokaliseerd zijn dat vochtigheid zich niet kan accumuleren of leidt tot bevrozing zodat het correcte gebruik van de veiligheidskleppen verhinderd wordt (blokkering door ijs, hydrostatische druk van het water)

Het is aangewezen om bij de houder ter hoogte van het afblaasniveau van de veiligheidsklep een ...bord te voorzien dat verbiedt om water te besprenkelen over of in de afblaasopening.

Ref. [24], [30], [34], [35]

*Verbinding met de te beveiligen ruimte*

De verbinding met de te beveiligen ruimte is verzekerd:

- ofwel geen handklep aanwezig om de veiligheidsklep af te zonderen
- ofwel een sleutelsysteem dat de open positie van de handklep verzekert

Ref. [24], [30], [34], [35]

*Betrouwbaarheid*

De veiligheidskleppen zijn opgenomen in een periodiek inspectieprogramma.

Ref. [34]

## Warmte-input door de voedingsstroom

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

C1 Verlading van te warme vloeibare waterstof

EN C1.1 Verlading bezig

EN C1.2 Oplegger niet geschikt voor vloeibare waterstof (M2)

De isolatie van de oplegger is onvoldoende

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Veiligheidsklep of breekschijf op de binnenste wand

Een veiligheidsklep kan alleen aanvaard worden als maatregel tegen een kansbron indien kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de beschouwde kansbron.

De berekeningen geven aan:

- de noodzakelijke capaciteit van de beschouwde oorzakenbron;

- de reële capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep.

Ref. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Aandachtspunten: zie kansbron Input van warmte door zonnestraling*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Enkel verlading van tankwagens of spoorwagens die in orde zijn

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Oplegger niet geschikt voor vloeibare waterstof



## Voedingsdruk

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

EN C1 Alle uitgaande leidingen zijn gesloten

EN C2 Tank volledig gevuld

EN C3 Vulpomp pompt naar de tank

### Vrijzettingsstappen:

Breuk of lek aan cryogene houder

### Maatregelen:

*Invloed op de kansenbron*

M1 Beperking van de voedingsdruk

De maximale voedingsdruk gebruikt om de houder te vullen mag niet hoger zijn dan de maximaal toelaatbare pompvoedingsdruk van de houder. Deze laatste is normaal hoger dan de maximaal toelaatbare werkingsdruk van de houder, om drukverlies aan de inlaten toe te laten gedurende vulling. Deze voedingsdruk wordt in het algemeen voorzien door de pomp van de vrachtwagen (gevoed door een energiebron aan boord van de vrachtwagen of door een externe energiebron)  
Ref. [32]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M2 Interlock sluit de inlaat bij hoge druk

De instellingsdruk moet de hoogste druklimiet zijn van de houder.  
Ref. [32]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

M3 Interlock stopt de voedingspomp bij hoge druk

De instellingsdruk moet de hoogste druklimiet zijn van de houder..  
Ref. [32]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

M4 Veiligheidsklep of breekplaat op de binnenste wand

Een veiligheidsklep kan alleen aanvaard worden als maatregel tegen een kansenbron indien kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de beschouwde kansenbron.

De berekeningen geven aan:

- de noodzakelijke capaciteit van de beschouwde oorzakenbron;

- de reële capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep.

Ref. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Aandachtspunten: zie kansenbron Input van warmte door zonnestraling*

## Verlies van isolatie van de cryogene houder

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

C1 Breuk door overdruk in de dubbel isolerende wand (M2)

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Veiligheidsklep of breekschijf op de binnenste wand

Een veiligheidsklep kan alleen aanvaard worden als maatregel tegen een kansbron indien kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de beschouwde kansbron.

De berekeningen geven aan:

- de noodzakelijke capaciteit van de beschouwde oorzakenbron;
- de reële capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep.

Ref. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Aandachtspunten: zie kansbron Input van warmte door zonnestraling*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Veiligheidsklep of beekschijf in de ruimte tussen de twee wanden

Ref. [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Invloed op oorzaak: Breuk door overdruk in de dubbel isolerende wand*

*Dimensionering*

Deze voorziening moet toelaten om de druk in de dubbele wand te beperken tot minder dan 10% hoger dan de laagste waarde tussen:

- de externe berekeningsdruk van de interne envelop
- de berekeningsdruk van de buitenste envelop.

## Warmte-input door externe brand

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

- OF C1 Brand in de omgeving van de opslagtank (M4)
  - OF C1.1 Brand ter hoogte van pompen of compressoren
    - Pompen en compressoren zijn lekgevoelige punten
  - OF C1.2 Brandbaar materiaal aanwezig
    - OF C1.2.1 Brandbaar afval (M2)
    - OF C1.2.2 Droog gras, struikgewas (M5)
- OF C2 Brand onder de opslagtank (M3;M6)

### Vrijzettingstappen:

Breuk of lek aan cryogene houder

### Maatregelen:

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Veiligheidsklep of breekschijf op de binnenste wand

Een veiligheidsklep kan alleen aanvaard worden als maatregel tegen een kansbron indien kan aangetoond worden (aan de hand van berekeningen) dat de drukontlasting gedimensioneerd is voor de beschouwde kansbron.

De berekeningen geven aan:

- de noodzakelijke capaciteit van de beschouwde oorzakenbron;
- de reële capaciteit van de geïnstalleerde veiligheidsklep.

Ref. [24], [27], [30], [32], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Aandachtspunten: zie kansbron Input van warmte door zonnestraling*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Periodieke inspecties op aanwezigheid brandbare rommel

Ref. [24], [27]

*Laag: Controle*

*Type: Inspectie & onderhoud*

Invloed op oorzaak: Brandbaar afval

M3 Ondergrond onder opslagtank afhellend

De helling moet een normale afwatering toelaten.

Ref. [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand onder de opslagtank

M4 Beschermingsmuren of -daken

Opgetrokken uit onbrandbare materialen of moeilijk brandbare materialen.

Ref. [24], [27], [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand in de omgeving van de opslagtank

M5 Afwezigheid brandbare begroeiing

Er wordt geen gebruik gemaakt van oxiderende onkruidbestrijdingsmiddelen (bv. natriumchloraat).

Ref. [23], [26], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Droog gras, struikgewas

M6 Positie ten opzichte van grondniveau

- Opslag gesitueerd op een hoger gelegen niveau dan de opslag van ontvlambare vloeistoffen of vloeibaar gemaakte zuurstof (als de afstand tussen beide kleiner is dan 15 m)
- Als de opslag toch gelegen is op een niveau dat lager is dan de nabijgelegen opslag van ontvlambare vloeistoffen of vloeibaar gemaakte zuurstof, dan moeten er beschermingsmaatregelen genomen worden om te vermijden dat gevaarlijke stoffen onder de opslagtanks kunnen lopen (als de afstand tussen beide kleiner is dan 15 m)

Ref. [23], [26], [31], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand onder de opslagtank

## Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M1;M2)

EN C2 Aanwezigheid van een ontstekingsbron

C2.1 Ontlading statische elektriciteit (M4)

OF C2.1.1 Vloeistofsplash (M3)

OF C2.1.2 Statische oplading door hoge vloeistofsnelheden

### Vrijzettingstappen:

Breuk of lek aan cryogene houder

### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Voorafgaand spoelen van de houder

Om te vermijden dat zuurstof en lucht aanwezig zijn in de houder voordat er waterstof wordt ingebracht. Stikstof is af te raden omdat bij de gebruikte temperaturen, stikstof vast wordt. Men kan helium in plaats van stikstof gebruiken.

Indien men toch stikstof gebruikt, dient men eerst gasvormige waterstof in te brengen voordat men vloeibare waterstof binnen brengt om de stikstof uit te drijven.

Ref. [27], [30], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M2 Onder druk zetten van de vloeisof

Ref. [35]

*Laag: Controle*

*Type: Regelkring*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

M3 Voeding via dompelpijpen of bodemvoeding

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Vloeistofsplash

M4 Aarding van de houder

Ref. [27], [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit

## Impact van voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Impact

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingsstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen (interne of externe) verkeerswegen in de buurt van de houders

De verkeerswegen zijn aangegeven op de site.

Ref. [24]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Snelheidsbeperking

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Vangrails

Ref. [24], [30]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Verzakking

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Complexe spanningen

### **Oorzaken:**

C1 Onstabiele ondergrond

C1.1 Opgespoten grond

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Meetprogramma om verzakking op te volgen

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

M2 Stabiele fundering

De stabiliteit is aan te tonen via berekeningen.

Ref. [24], [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Aanwezigheid van externe corrosieve condities

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Corrosie

### **Oorzaken:**

OF C1 Blootstelling aan atmosferische condities (M2)

OF C2 Aanwezigheid van corrosieve condities onder de isolatie (M1)

OF C3 Accumulatie van vocht ter hoogte van de ondersteuning (M3)

Typisch bij horizontale houders

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op een oorzaak*

M1 Isolatie rond opslagtank ondoorlatend voor water en luchtvochtigheid

Ref. [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van corrosieve condities onder de isolatie

M2 Inspectie uitwendige omhulling

Opgenomen in een inspectieprogramma.

Ref. [30]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

Invloed op oorzaak: Blootstelling aan atmosferische condities

M3 Ondersteuning ontworpen om accumulatie van water te vermijden

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Accumulatie van vocht ter hoogte van de ondersteuning



## Externe brand

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: vloeïing

In het geval van horizontale houders.

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Ondersteuning hebben een brandweerstand van 2 uur

Mogelijke oplossingen:

- ondersteuning in beton

- brandwerende isolatie

Ref. [24], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Afkoeling door een lek van cryogene vloeistof

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot lage temperaturen*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Vermoeidheid

### **Oorzaken:**

C1 Lek aan de houder of een toebehoren

### **Vrijzettingstappen:**

Breuk of lek aan cryogene houder

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Ondersteuning geconstrueerd uit materialen bestand tegen cryogene temperaturen

Typisch voor horizontale houders.

Ref. [30]

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Breuk of lek aan cryogene houder

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

M1 Afsluitkleppen op de vloeistofleidingen

Zo dicht mogelijk bij de houder.

Voor de houders met een capaciteit van meer dan 7.570 l, moet deze klep van op afstand gestuurd kunnen worden en er mogen er geen flensverbindingen aanwezig zijn tussen deze afsluitklep en de aansluiting van de leiding met de houder.

Ref. [24], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

*Brandbestendigheid afsluitklep*

- aangetoond via testcertificaat

- de pakkingen tussen de opslagtank en de afsluitkleppen zijn eveneens brandbestendig of de flens is dichtgelast.

*Plaatsing afsluitklep*

Zo dicht mogelijk tegen de opslagtank of in de opslagtank

*Betrouwbaarheid*

Het inbloksysteem van de opslagtank is opgenomen in een inspectieprogramma.

*Signalisatie van de afsluitkleppen*

Positie-aanduiding (open/toe)

*Fail safe positie van de afsluitklep*

- Fail safe is gesloten

bv. het wegsmelten van de luchttoevoerleiding plaatst deze kleppen in een veilige positie.

## Vorming explosieve wolk

*Verspreiding*

### Beschrijving:

#### Details:

D1 Onvoldoende ventilatie (M1;M2)

#### Maatregelen:

M1 Installatie in open lucht

Ref. [24], [27], [30], [35]

*Laag:* *Proces*

*Type:* *Passief*

Invloed op detail: Onvoldoende ventilatie

M2 Ventilatie

Als de opslagtank geïnstalleerd is in een apart gebouw, moet er ventilatie verzekerd zijn.

Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)

Ref. [13], [17], [24], [27], [31], [35] (cryogene opslag)

*Laag:* *Schadebeperking*

*Type:* *Passief*

Invloed op detail: Onvoldoende ventilatie

*Plaatsing van de lucht toe- en afvoer*

- De luchttoevoerplaatsen moeten gesitueerd zijn nabij de grond, enkel in de buitenmuren.
- De luchtafvoerplaatsen moeten gesitueerd zijn ter hoogte van het hoogste punt van het lokaal in de buitenmuren of in het dak.

*Oppervlak van de lucht toe- en afvoer*

De lucht toe- en afvoerplaatsen moeten elk een oppervlak hebben van minimaal 1 m<sup>2</sup>/305 m<sup>3</sup> volume van het lokaal.

## Verspreiding van vloeistof

*Verspreiding*

### Beschrijving:

#### Details:

D1 Over de grond (M1)

D2 Via de riolen (M2)

#### Maatregelen:

M1 Ondergrond onder opslagtank afhellend

De helling moet een normale afwatering toelaten.

Ref. [30], [35]

*Laag:* *Proces*

*Type:* *Passief*

Invloed op detail: Over de grond

M2 Watersloten in de riolen

De riolen zijn voorzien van een systeem dat de verspreiding van ontvlambare gassen verhindert (bv. watersloten)

Ref. [35]

*Laag:* *Proces*

*Type:* *Passief*

Invloed op detail: Via de riolen

# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M1)
- OF D2 Warme oppervlakken
- OF D3 Elektrische vonken (M5;M6)
  - D3.1 Elektrostatische oplading (M2;M3;M4)
  - D3.2 Elektrische apparatuur (M7)

### Maatregelen:

- M1 Rookverbod en verbod open vlam  
Ter plaatse aangeduid via pictogrammen  
Ref. [24], [27], [31], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Open vlam
- M2 Vloerbekleding voldoende geleidend  
Voldoende geleidend: niet behandeld beton  
Onvoldoende geleidend: asfalt, epoxyharsen.  
Ref. [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrostatische oplading
- M3 Het dragen van antistatisch schoeisel  
- voor eigen personeel  
- voor derden (bv. vrachtwagenchauffeurs)  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrostatische oplading
- M4 Aarding van de opslaghouder  
Ref. [24], [27], [30], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrostatische oplading  
*Inspectie*  
Deze inspectie is opgenomen in een inspectieprogramma.
- M5 Gebruik vonkvrij gereedschap  
Ref. [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
Invloed op detail: Elektrische vonken
- M6 Elektrische installatie explosie veilig uitgevoerd  
Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)  
Ref. [24], [27], [30], [35] (cryogene opslag)  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
Invloed op detail: Elektrische vonken  
*Zoneringsplan voor het betrokken onderdeel*
  - goedgekeurd door de Technische inspectie
  - actueel*Verslag elektrische keuring voor het betrokken onderdeel*
  - Laagspanning: 5-jaarlijks tenzij anders vermeld op het laatste keuringsverslag
  - keuringsverslag vermeldt geen inbreuken

M7 Verbod op gebruik GSM's, radio's en ander mobiele niet Ex-apparatuur

- aangeduid ter plaatse met pictogram
- aangeduid aan de ingang van het terrein

*Laag: Schadebeperking*

*Type: Procedureel*

Invloed op detail: Elektrische apparatuur

# Brand

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

**M1 Draagbare blusapparaten**

- gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO2 blussers, stikstof en stoom om kleine waterstofbrandjes te blussen.
- strategisch opgesteld

Ref. [26] (gasvormige waterstof), [27], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Blussystemen

*Opleiding*

Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparaten.

*Inspectie en onderhoud*

- De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een inspectie- of onderhoudsprogramma.
- maandelijkse visuele controle op aanwezigheid en goede staat
  - jaarlijkse controle

**M2 Interventiestrategie**

- proberen om de voeding van het waterstoflek te stoppen, indien men dit niet doet dan risico op herontsteking of explosie
- naburige apparaten met grote hoeveelheden water besproeien (bij voorkeur verneveld water), om deze te koelen, te vermijden dat deze in de brand terecht komen en om het risico op herontsteking door contact met naburige hete oppervlakken te reduceren.
- als de brand geblust is en als de gasstroom blijft bestaan, dient men de ventilatie te verhogen om de vorming van een explosieve atmosfeer te verhinderen. Men kan een waternevel gebruiken om ventilatie te creëren.

Ref. [27], [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Procedureel

**M3 Branddetectie**

Vooraf wanneer de installatie van op afstand bediend wordt.

Ref. [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

#### M4 Vaste blussystemen

- monitoren
  - hydranten
  - besproeiingssysteem dat manueel kan bediend worden van op een veilige afstand of automatisch door branddetectie (min. 8,14 l/min.m<sup>2</sup> blootgesteld oppervlak)
- Ref. [35]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Blussystemen

##### *Voorraden bluswater*

- voldoende groot waterreservoir en/of natuurlijke reserve (kanaal, stroom,...)
- aanzuigpunt voor bluswater is beschermd tegen inname van brokstukken
- regelmatige controle van de voorraden bluswater
- reservepompen, die ook bij elektriciteitsuitval werken (diesel)

##### *Bescherming van de blussystemen*

Bescherming blusmiddelen tegen:

- corrosie
  - kathodische bescherming
  - beschermende verflaag
- vorst: voldoende diep ingegraven, verwarmd, droog systeem,...
- tegen mechanische schade van wegverkeer
- brand/explosie:
  - brandweerstation, bluswaterpompen gesitueerd:
    - buiten elke gevaarlijke zone
    - min. 30 m van dichtste brandrisico
    - in een explosie- en brandbestendig gebouw ondergebracht
  - leidingen beschermd tegen gevolgen van een explosie

Het bluswaternet is in lus(sen) aangelegd en voorzien van sectiekranen.

##### *Inspectie van brandbestrijdingsmiddelen*

- volgens een inspectieprogramma
- inspecties worden geregistreerd
- inspectieprogramma omvat o.a.:
  - bluswaterpompen (werking, dieselvoorraad) (wekelijks)
  - sprinklerinstallatie (maandelijks)

##### *Signalisatie*

Bluswaterleidingen en hydranten zijn rood geverfd.

##### *Dimensionering*

Brandbestrijdingsmiddelen vastgelegd in samenwerking met de brandweer (verslag).

## Explosie

### *Impact*

### **Beschrijving:**

### **Details:**

### **Maatregelen:**

#### M1 Zwakke wand

In het geval de houder opgesteld staat in een apart gebouw, dienen de externe muren geconstrueerd zijn uit een licht materiaal of uit platen zo gemaakt dat deze loskomen bij een maximale interne druk van 13,3 kPa/m<sup>2</sup>.  
Ref. [24], [27], [35]


*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Passief

##### *Keuze van de zwakke wand*

De explosie moet afgeleid worden naar een plaats waar noch personen noch andere apparatuur kunnen geraakt worden.



|   |   |
|---|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Leidingen met vloeibare waterstof</b></p> |  |
|   | <p>Directie van de chemische risico's</p>   |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van vloeibare waterstof

Sectie: Leidingen

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Thermische uitzetting van ingesloten vloeistof
- Vloeistofslag

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Impact van voertuigen
- Bovengrondse belasting op ondergrondse leiding

#### *Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

##### *Corrosieve of chemisch agressieve condities*

- Aanwezigheid van externe corrosieve condities

##### *Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

- Externe brand

#### **Zwakke punten**

##### *Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

- Flenzen

### Lijst vrijzettingstappen:

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Thermische uitzetting van ingesloten vloeistof

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

#### Oorzaken:

EN C1 De vloeistof is ingesloten

OF C1.1 Tussen twee gesloten kleppen

OF C1.2 Aanwezigheid van opblokkingen in de leiding (M3)

Veel gebruikte stoffen zoals zuurstof en stikstof kunnen bevroren bij de gebruikte temperaturen

EN C2 Opwarming van ingesloten vloeistof (M7)

OF C2.1 Zonnestraling (M4)

OF C2.2 Brand te wijten aan condensatie van lucht (M5;M6)

Voor de niet-geïsoleerde leidingen die gebruikt worden op de temperatuur van vloeibare waterstof, kan er condensatie van de omgevingslucht optreden wat te wijten is aan de extreem lage oppervlaktetemperaturen. Dit geeft aanleiding tot een zuurstofverrijking en bevordert de verbranding van bepaalde materialen die daar aanwezig kunnen zijn.

#### Vrijzettingstappen:

#### Maatregelen:

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Thermische drukontlastingskleppen

Ref. [24], [34], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma

M2 Leiding bestand tegen resulterende overdruk

De resulterende overdruk moet gekend zijn.

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M3 Purgeringsprocedure van de leidingen

Om de vorming van opblokkingen door het vast worden van vloeistoffen gebruikt bij cryogene temperaturen te vermijden. Men dient stikstof te vermijden en bij voorkeur helium te gebruiken.

Ref. [27], [30]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Aanwezigheid van opblokkingen in de leiding

M4 Verlaag die warmtestraling reflecteert

Niet in wit want anders kan men niet meer de vorming van ijs onderscheiden, wat een aanduiding is van een lek van vloeibare waterstof.

Ref. [25]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Zonnestraling

M5 Aanwezigheid van goten

Voor de niet-geïsoleerde leidingen.

Om de gecondenseerde vloeibare lucht op te vangen en de verdampen.

Ref. [24], [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand te wijten aan condensatie van lucht

M6 Grond onder de leidingen uit onbrandbare materialen

Voor de niet-geïsoleerde leidingen

Geen asfalt

Ref. [24], [27], [30], [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand te wijten aan condensatie van lucht

M7 Isolatie uit onbrandbaar materiaal

De isolatie moet op een dergelijke manier geconstrueerd zijn dat er een dampdichte afsluiting is van de buitenste omhulling om de condensatie van lucht te vermijden en als gevolg daarvan ook een verrijking aan zuurstof binnen in de isolatie te vermijden.

Ref. [24], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Opwarming van ingesloten vloeistof

## Vloeistofslag

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

C1 Snel sluiten van kleppen in lange leidingen (M2)

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Leiding bestand tegen resulterende overdruk

De resulterende overdruk moet gekend zijn.

*Laag: Omhulling*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Sluitingsnelheid van automatische kleppen aangepast aan leidingsnet

Sluitingssnelheid van meerdere seconden afhankelijk van de snelheid van de vloeistof en van de lengte van de leiding.

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Snel sluiten van kleppen in lange leidingen

## Impact van voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Impact

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen (intern en extern) wegverkeer in de buurt van leidingen

Ref. [24]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

M2 Snelheidsbeperking

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Vangrails

Re. [24], [30]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

## Bovengrondse belasting op ondergrondse leiding

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Externe druk

### **Oorzaken:**

OF C1 Verkeer boven ondergrondse leiding (M2)

OF C2 Opslag boven ondergrondse leiding (M3)

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Diepte of afscherming aangepast aan bovengrondse belasting

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Geen verkeer boven ondergrondse leidingen

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Verkeer boven ondergrondse leiding

M3 Geen opslag boven ondergrondse leidingen

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Opslag boven ondergrondse leiding

## Aanwezigheid van externe corrosieve condities

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Corrosieve of chemisch agressieve condities*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Corrosie

### **Oorzaken:**

OF C1 Blootstelling aan atmosferische condities

OF C2 Blootstelling aan ondergrondse corrosieve condities

OF C3 Aanwezigheid van corrosieve condities onder isolatie

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Isolatie rond de leidingen is waterdicht en dicht tegen luchtvochtigheid

Ref. [24]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Passief*

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M2 Inspectie uitwendige omhulling leidingen

Opgenomen in een inspectieprogramma (jaarlijks).

Ref. [30]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

*Instructies*

De uitvoering van de inspecties maakt onderdeel uit van instructies. De ondersteuning van de leidingen worden ook geïnspecteerd.

M3 Kathodische protectie

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

## Externe brand

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot hoge temperaturen (bedreigend voor de omhulling)*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Daling treksterkte door stijging temperatuur

### **Oorzaken:**

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Leidingen voldoende ver van potentiële brandhaarden

Geen potentiële brandhaarden onder pijpenbruggen, zoals:

- verlaadposten

- containers met brandbaar afval (karton, verpakkingen, enz.)

*Laag: Proces*

*Type: Passief*



## Flenzen

*Zwakke punten*

*Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

### **Beschrijving:**

Aard van het zwak punt: Lekgevoelige punten

### **Oorzaken:**

OF C1 Flensverbinding slecht aangespannen (M2)

C1.1 Groot temperatuurverschil

tussen het omgevingsmilieu en de getransporteerde vloeistoffen

OF C2 Aantasting of veroudering pakkingsmateriaal

### **Vrijzettingstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Geen ondergrondse flensverbindingen

Onder de grond uitsluitend gelaste verbindingen (boven de grond zo veel mogelijk gelaste verbindingen).

Ref. [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

*Invloed op een oorzaak*

M2 Programma om bouten van flenzen terug aan te spannen

Ref. [35]


*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Flensverbinding slecht aangespannen

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

---

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Onderdeel</b></p> <p><b>Verlading van (spoor)tankwagens</b></p> |  |
|   | <p>Directie van de chemische risico's</p>   |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van vloeibare waterstof

Sectie: Verlading

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

##### *Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Thermische uitzetting van ingesloten vloeistof
- Warmte-input door externe brand
- Interne explosie

##### *Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Beweging van aangekoppelde voertuigen

#### *Openingen in de omhulling*

##### *Tijdelijke openingen naar de atmosfeer*

- Aansluitpunt voor flexibel of laadarm

#### *Zwakke punten*

##### *Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

- Flexibels

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Lek of breuk tijdelijke verbinding

#### *Verspreiding*

- Verspreiding vloeistoflek

#### *Impact*

- Ontsteking
- Brand
- Intoxicatie of brandwonden door percutaan contact met de stof

## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Thermische uitzetting van ingesloten vloeistof

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

#### **Oorzaken:**

EN C1 Vrije ruimte onvoldoende voor uitzetting (M1;M2;M3)

EN C2 Opwarming van ingesloten vloeistof

#### **Vrijzettingsstappen:**

Lek of breuk tijdelijke verbinding

#### **Maatregelen:**

*Invloed op een oorzaak*

M1 Verificatie van beschikbare capaciteit voor verlading

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vrije ruimte onvoldoende voor uitzetting

*Instructies*

Opgenomen in de verlaadprocedure.

M2 Niveaucontrole

Automatische stopzetting van de verlading wanneer de ingestelde hoeveelheid verpompt werd. Deze controlemaatregel is geen alternatief voor de overvulbeveiliging van het transportreceptiënt.

*Laag: Controle*

*Type: Regelkring*

Invloed op oorzaak: Vrije ruimte onvoldoende voor uitzetting

M3 Interlock bij hoog niveau stopt de verlading voor het kritische niveau

Functie onafhankelijk van de niveaumeting

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

Invloed op oorzaak: Vrije ruimte onvoldoende voor uitzetting

*Betrouwbaarheid*

Een test van de volledige kring is opgenomen in een inspectieprogramma.

## Warmte-input door externe brand

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

### **Oorzaken:**

OF C1 Brand in een naburige installatie

OF C2 Brand door een lek aan een tankwagen of spoorwagon (M2)

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk tijdelijke verbinding

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansenbron*

M1 Externe koeling door sprinklers ter hoogte van het verlaadstation

Ref. [30]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Blussystemen*

*Activatie*

Kan manueel geactiveerd worden.

*Invloed op een oorzaak*

M2 Ondergrond onder verlaadplaats afhellend naar opvang

Afvoer naar een verdampingszone ver genoeg verwijderd van de tankwagen/spoorwagon om thermische stralingseffecten te minimaliseren.

Ref. [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Brand door een lek aan een tankwagen of spoorwagon

## Interne explosie

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Hoge druk

### Oorzaken:

EN C1 Aanwezigheid van een explosieve atmosfeer

OF C1.1 Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig) (M1)

EN C2 Aanwezigheid van een ontstekingsbron

OF C2.1 Ontlading statische elektriciteit (M2;M3)

OF C2.1.1 Vloeistofsplash (M4)

OF C2.1.2 Statische oplading door hoge vloeistofsnelheid

### Vrijzettingstappen:

Lek of breuk tijdelijke verbinding

### Maatregelen:

*Invloed op een oorzaak*

M1 Purgeren van de flexibels en de aansluitpunten

Men moet een reiniging met een inert gas voorzien, daarna verschillende reinigingen met waterstof. Om dit te doen moet er een klep naar de open lucht voorzien zijn om een purgering van de verbinding begrepen tussen de tankwagen (spoorwagon) en de voedingsklep toe te laten.

Ref. [27], [30], [35]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Abnormale aanwezigheid van zuurstof (ontvlambare gassen normaal aanwezig)

*Instructies*

De spoelprocedure moet opgenomen zijn in de verlaadprocedure.

M2 Plaatsen van een equipotentiaalverbinding

Tussen de tankwagen of de spoorwagon en de vaste installatie.

Ref. [30]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit

M3 Verlaadflexibel voldoende geleidend

Ref. [31]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Ontlading statische elektriciteit

M4 Voeding via dompelpijpen of bodemaansluiting

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Vloeistofsplash

## Beweging van aangekoppelde voertuigen

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### Beschrijving:

Aard van de krachten: Trekkrachten

### Oorzaken:

OF C1 Vertrek van een aangekoppeld voertuig (M3;M4;M5;M6)

OF C2 Aanrijding van aangesloten voertuig door ander voertuig (M2)

### Vrijzettingstappen:

Lek of breuk tijdelijke verbinding

### Maatregelen:

*Invloed op de kansenbron*

#### M1 Verlaadprocedure

De verlaadprocedure moet de te nemen acties en de noodzakelijke verificaties beschrijven om te vermijden dat een voertuig onverwacht vertrekt.

Ref. [33]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

*Beschikbaarheid*

Een verkorte versie van de procedure (in de vorm van punten) is opgehangen ter hoogte van de verlaadpost.

Ref. [33]

*Invloed op een oorzaak*

#### M2 Geen intern wegverkeer nabij verlaadplaats

Ook niet gedefinieerd als een parkeerzone.

Ref. [30]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Aanrijding van aangesloten voertuig door ander voertuig

#### M3 Blokkering van de wielen

Opgenomen in de verlaadprocedure

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

#### M4 Handrem opgetrokken tijdens de verlading

Opgenomen in de verlaadprocedure.

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

#### M5 Verbod aanwezigheid chauffeur in de tankwagen gedurende de transfer

Ref. [30]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

## M6 Interlock op de toegang tot de verlaadverbinding

Verbonden met:

1) ofwel de activatie van de rem: dit systeem omvat een dispositief gekoppeld aan het remcircuit en wordt geactiveerd door de chauffeur/operator wanneer deze toegang wil hebben tot de verladingsverbindingen. Het dispositief moet:

- blokkeren van het openen van de deuren van de kast met leidingen en/of
- blokkeren van de toegang tot de verladingsverbindingen en/of
- wordt geactiveerd indien de deuren van de kast open zijn.

De beweging van het dispositief activeert de remmen of verhindert dat de remmen losgelaten worden. Op het einde van de operatie moet de chauffeur/operator eerst de flexibel ontkoppelen voordat het dispositief terug op nul kan gezet worden. Het terugzetten op nul van het dispositief laat de remmen los, of laat toe dat de remmen losgelaten worden om het transportvoertuig te laten vertrekken.

2) Of het sluiten van een bareel voor het transportvoertuig. Deze bareel wordt geactiveerd door een speciale onderbreker, geplaatst op de ondersteuning van de verlaadflexibel. Vanaf het moment dat de flexibel verwijderd wordt van zijn steunpunt, sluit de bareel automatisch.

Ref. [30], [33]

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

Invloed op oorzaak: Vertrek van een aangekoppeld voertuig

*Betrouwbaarheid*

Opgenomen in een inspectieprogramma



## Aansluitpunt voor flexibel of laadarm

*Openingen in de omhulling*

*Tijdelijke openingen naar de atmosfeer*

### **Beschrijving:**

Gebruiksfrequentie:

### **Oorzaken:**

C1 Ontkoppeling terwijl er nog waterstof aanwezig is (M1)

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk tijdelijke verbinding

### **Maatregelen:**

*Invloed op een oorzaak*

M1 Leegmaken van de tijdelijke verbinding voor ontkoppeling

Dit veronderstelt de aanwezigheid van een klep verbonden met de open lucht om de tijdelijke verbinding leeg te drukken. Een manometer laat toe vast te stellen dat de verbinding drukloos is.

Voor het leegdrukken mag geen perslucht gebruikt worden.

Deze operatie is opgenomen in de verlaadprocedure.

Ref. [27], [30]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

Invloed op oorzaak: Ontkoppeling terwijl er nog waterstof aanwezig is

## Flexibels

*Zwakke punten*

*Onderdelen van de omhulling in zwakkere materialen*

### **Beschrijving:**

Aard van het zwak punt: Gevoelig voor slijtage

### **Oorzaken:**

OF C1 Degradatie wanneer niet in gebruik (M4)

OF C2 Frequent gebruik

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk tijdelijke verbinding

### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Lektest voor elk gebruik

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

M2 Visuele inspectie voor gebruik

Dit omvat onderzoek van de koppelstukken, de geleidbaarheid en de uitwendige toestand. Dit onderzoek is opgenomen in de verlaadprocedure.

Ref. [30]

*Laag: Controle*

*Type: Procedureel*

M3 Periodieke vervanging van de flexibels

Ten laatste 5 jaar na hun fabricatiejaar, tenzij de flexibels nog niet gebruikt geweest zijn.

*Laag: Beveiliging*

*Type: Inspectie & onderhoud*

*Invloed op een oorzaak*

M4 Opbergsysteem voor flexibels

Het gebruik van dit systeem is uiteraard voorzien in de verlaadprocedure.

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Degradatie wanneer niet in gebruik

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Lek of breuk tijdelijke verbinding

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

- M1 Permanente aanwezigheid van een operator  
Ref. [7], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
- M2 Inbloksysteem van de tijdelijke verbinding  
Afsluitkleppen:  
- langs de kant van de tankwagen of spoorwagon  
- langs de kant van het aansluitpunt met de vaste installatie  
  
Geactiveerd door:  
- noodstop  
- waterstofdetectie  
- fout aan aarding  
Ref. [30], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*
- M3 Detectie van een waterstoflek ter hoogte van de verlaadpost  
Acties:  
- geeft alarm in de controlekamer (of in een permanent bemand lokaal) bij een detectie van 25% LEL  
- sluit automatisch de op afstand gestuurde kleppen  
- stopt automatisch de pompen  
Ref. [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*  
*Betrouwbaarheid*  
Opgenomen in een inspectieprogramma.  
*Plaatsing van de meetpunten*  
- op strategische plaatsen van het verlaadstation  
- .....
- M4 Noodstop tankwagen- of spoorwagonverlading  
Acties:  
- sluiten automatisch de op afstand gestuurde kleppen  
- stoppen automatisch de pompen  
- geven alarm in de controlekamer  
Ref. [30]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*  
*Plaatsing*  
- gesitueerd op de ontruimingswegen

## Verspreiding vloeistoflek

*Verspreiding*

### Beschrijving:

### Details:

D1 Over de grond (M1)

D2 Via de riolen (M2)

### Maatregelen:

M1 Ondergrond onder verlaadplaats afhellend naar opvang

Afvoer naar een verdampingszone ver genoeg verwijderd van de tankwagen/spoorwagon om thermische stralingseffecten te minimaliseren.

Ref. [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op detail: Over de grond

M2 Watersloten in riolering

De riolen zijn voorzien van een systeem dat de verspreiding van ontvlambare gassen verhindert (vb. watersloten).

Ref. [35]

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op detail: Via de riolen

# Ontsteking

*Impact*

## Beschrijving:

### Details:

- OF D1 Open vlam (M1)
- OF D2 Elektrische vonken (M6)
  - OF D2.1 Elektrostatistische oplading (M2;M3;M7;M9)
  - OF D2.2 Elektrische apparatuur (M4;M5;M10)
  - OF D2.3 Zwerfstromen (M8)

### Maatregelen:

- M1 Rookverbod en verbod op open vlam
  - Ter plaatse aangeduid door middel van pictogrammen.
  - Ref. [24], [27], [30], [35]
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
  - Invloed op detail: Open vlam
- M2 Vloerbekleding voldoende geleidend
  - Voldoende geleidend : niet behandeld beton
  - Onvoldoende geleidend : asfalt, epoxyharsen.
  - Ref. [35]
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*
  - Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M3 Het dragen van antistatisch schoeisel
  - Voor eigen personeel
  - Voor derden (vb. vrachtwagenchauffeurs)
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
  - Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M4 Verbod op gebruik van GSM's, radio's en ander mobiele niet-Exapparatuur
  - aangeduid ter plaatse aan de hand van pictogrammen
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
  - Invloed op detail: Elektrische apparatuur
- M5 Pompen explosie veilig uitgevoerd
  - ook indien de verlading gebeurt met behulp van de pomp van de vrachtwagen.
  - de vrachtwagen kan niet zijn eigen motor gebruiken om de pomp aan te drijven.
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*
  - Invloed op detail: Elektrische apparatuur
- M6 Gebruik van vonkvrij gereedschap
  - Ref. [9], [22]
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*
  - Invloed op detail: Elektrische vonken
- M7 Aarding van de spoorwegrails
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*
  - Invloed op detail: Elektrostatistische oplading
- M8 Elektrische isolatie van spoorwegrails van de rest van het spoornetwerk
  - Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*
  - Invloed op detail: Zwerfstromen

- M9 Plaatsing equipotentiaalverbinding  
 Tussen de tankwegen of de spoorwagon en de vaste installatie.  
 Ref. [27], [30], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Procedureel*  
 Invloed op detail: Elektrostatische oplading
- M10 Elektrische installatie explosie veilig uitgevoerd  
 Ref. [3], [23], [26], [31], [35] (opslag onder druk)  
 Ref. [24], [27], [30], [35] (cryogene opslag)  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Passief*  
 Invloed op detail: Elektrische apparatuur  
 Zoneringsplan voor het betrokken onderdeel  
 - goedgekeurd door de Technische inspectie  
 - actueel  
 Verslag elektrische keuring voor het betrokken onderdeel  
 - Laagspanning: 5-jaarlijks tenzij anders vermeld op het laatste keuringsverslag  
 - keuringsverslag vermeldt geen inbreuken
- M11 Vergrendeling equipotentiaalverbinding  
 Een interlock die de verlading verhindert zolang als de weerstand van de equipotentiaalverbinding te hoog is.  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*  
 Invloed op maatregel: Plaatsing equipotentiaalverbinding  
 Betrouwbaarheid  
 Opgenomen in een inspectieprogramma.

## Brand

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

- M1 Draagbare blusapparaten  
 - gebruik van blusapparaten met droog poeder of CO<sub>2</sub>, stikstof en stoom om kleine waterstofbranden te blussen.  
 - strategisch opgesteld  
 Ref. [27], [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Blussystemen*  
*Opleiding*  
 Werknemers krijgen periodiek training in het gebruik van draagbare blusapparaten.  
*Inspectie en onderhoud*  
 De draagbare blusapparaten zijn opgenomen in een inspectie- of onderhoudsprogramma.  
 - maandelijkse visuele controle op de aanwezigheid en goede staat  
 - jaarlijkse controle
- M2 Branddetectie  
 Vooral indien de installaties van op afstand gestuurd worden.  
 Ref. [35]  
*Laag: Schadebeperking* *Type: Veiligheidskring*

## Intoxicatie of brandwonden door percutaan contact met de stof

*Impact*

**Beschrijving:**

**Details:**

**Maatregelen:**

M1 Aanwezigheid in de omgeving van oogspoelers en nooddouches

Ref. [13], [17], [35]

*Laag: Eerste hulp*

*Type: Blussystemen*

M2 PBM's tegen de gevaren van vloeibare waterstof

Handen:

Beschermingshandschoenen die de huid volledig isoleren of in leder.  
De handschoenen moeten voldoende soepel zijn om deze gemakkelijk te kunnen uittrekken indien er vloeibare waterstof zou doordringen.

Ogen:

Veiligheidsbril bestand tegen spatten en met een beschermingsvizier

Kledij:

Geschikte kledij om te verhinderen dat de huid bevriest:

- lange mouwen
- broeken zonder omslagboord, de broekspijpen moeten over de laarzen gedragen worden.

Voeten:


Voldoende hoge veiligheidsschoenen om bedekt te worden door broekspijpen zonder omslagboord.

Ref. [13], [17], [27], [35]

*Laag: Persoonlijke bescherming*

*Type: PBM*

---

|  |   |
|--|---|
| <b>Onderdeel</b><br><br><b>Verdamper</b> |  |
|  | Directie van de chemische risico's  |

## 1. Beschrijving onderdeel

Installatie: Opslag en verlading van vloeibare waterstof

Sectie: Verdamping van vloeibare waterstof

### Lijst kansenbronnen:

#### *Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

- Warmte-input door een warmtewisselaar

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

- Massale ijsvorming

#### *Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot lage temperaturen*

- Te lage temperatuur van de uitgaande gasvormige waterstofstroom

*Fenomenen die leiden tot een cyclische belasting (risico's voor vermoeiing)*

- Expansie- en contractiecyclussen te wijten aan temperatuursveranderingen

### Lijst vrijzettingstappen:

#### *Vrijzetting*

- Lek of breuk van de verdamper



## 2. Kansenbronnen en maatregelen

### Warmte-input door een warmtewisselaar

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot hoge druk*

#### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Hoge druk

#### **Oorzaken:**

OF C1 Maximale temperatuur van de warmtewisselende vloeistof (M3)

OF C2 Maximaal debiet van de warmtewisselende vloeistof

#### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de verdamper

#### **Maatregelen:**

*Invloed op de werkingskarakteristiek*

M1 Interlock bij hoge druk of temperatuur stopt de warmtetoevoer

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

M2 Veiligheidskleppen

op de verdamper en de leidingen langs de kant van de waterstof en langs de kant van de warmtewisselende vloeistof.

Ref. [24], [30].

*Laag: Beveiliging*

*Type: Drukontlasting*

*Invloed op een oorzaak*

M3 Beperking van de temperatuur van de warmtewisselende vloeistof

De warmte wordt indirect overgedragen: bv. door omgevingslucht, door buizen in een stoombad, door buizen in een warmwaterbad.

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

Invloed op oorzaak: Maximale temperatuur van de warmtewisselende vloeistof

## Massale ijsvorming

*Fenomenen die leiden tot krachten op de omhulling*

*Fenomenen die leiden tot andere krachten dan druk*

### **Beschrijving:**

Aard van de krachten: Trekkrachten te wijten aan het gewicht van ijs

Dit is van toepassing op verdamper met warmteoverdracht via de omgevingslucht.

### **Oorzaken:**

C1 Koud weer

C2 Luchtvochtigheid

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de verdamper

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Regelmatige verificatie van de hoeveelheid gevormd ijs

Om dit ijs te vermijden kan men gebruik maken van warm water of stoom voor de warmteoverdracht.  
Ref. [30].

*Laag: Beveiliging*

*Type: Procedureel*

## **Te lage temperatuur van de uitgaande gasvormige waterstofstroom**

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot lage temperaturen*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Vermoeidheid

Dit kan schade veroorzaken in het systeem stroomafwaarts van de verdamper.

### **Oorzaken:**

C1 Verlies van warmtewisselende vloeistof

### **Vrijzettingsstappen:**

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Interlock bij lage temperatuur aan de uitgang van de verdamper

Sluit een automatische afsluitklep aan de uitgang van de verdamper.

Ref. [24], [30].

*Laag: Beveiliging*

*Type: Veiligheidskring*

## Expansie- en contractiecyclussen te wijten aan temperatuursveranderingen

*Fenomenen die de constructiematerialen van de omhulling bedreigen*

*Fenomenen die leiden tot een cyclische belasting (risico's voor vermoeiing)*

### **Beschrijving:**

Aard van de aantasting: Vermoeidheid

### **Oorzaken:**

EN C1 Lage temperatuur van de inkomende vloeibare waterstof

EN C2 Niet continu werkend installatie-onderdeel

### **Vrijzettingstappen:**

Lek of breuk van de verdamper

### **Maatregelen:**

*Invloed op de kansbron*

M1 Verankering en flexibiliteit van het installatie-onderdeel

De verdamper moet verankerd zijn en de verbindingleidingen moeten voldoende flexibel zijn om de effecten van uitzetting en inkrimping te wijten aan veranderingen in temperatuur op te vangen.

Ref. [24], [30].

*Laag: Proces*

*Type: Passief*

### 3. Vrijzettingstappen en maatregelen

#### Lek of breuk van de verdamper

*Vrijzetting*

**Beschrijving:**

**Details:**

D1 In de uitgaande leiding (M2)

**Maatregelen:**

M1 Waterstofdetectie ter hoogte van de verdamper

Acties:

- geeft alarm in de permanent bemand lokaal bij 25% van de LEL
- sluit de afsluitklep aan de uitgang van de verdamper.

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

*Betrouwbaarheid*

De calibratie van de meetkoppen is opgenomen in een onderhoudsprogramma.

M2 Afsluitklep in de uitgaande leiding

Activatie:

- waterstofdetectie
  - noodstop
- Ref. [30]

*Laag:* Schadebeperking

*Type:* Veiligheidskring

Invloed op detail: In de uitgaande leiding

---

# BIJLAGE 2

## Veiligheidsafstanden

**Tabel 1: NFPA 50 A : Minimale afstanden tussen systemen die gasvormige waterstof bevatten in open lucht en mogelijke schadedragers [23]**

| Type externe schadedrager  | Totale opslag van gasvormige waterstof |  |                             |
|--|--|--|-----------------------------|
|  | Minder dan 99 m <sup>3</sup>           | Tussen 99 m <sup>3</sup> en 425 m <sup>3</sup> | Meer dan 425 m <sup>3</sup> |
| 1. Gebouw of structuur   |  |  |                             |
| (a) Muur of muren grenzend aan een systeem opgetrokken uit onbrandbare materialen of moeilijk brandbare materialen                       |  |  |                             |
| (1) Gesprinkeld gebouw of structuur of een gebouw of structuur dat niet gesprinkeld is en dat geen brandbare materialen bevat            | 0 <sup>2</sup>                         | 1,5 <sup>2</sup>                               | 1,5 <sup>2</sup>            |
| (2) Niet gesprinkeld gebouw of structuur die wel brandbare materialen bevat  |  |  |                             |
| Aangrenzende muur of muren met een brandweerstand van minder dan 2 uur <sup>1</sup> .  | 0 <sup>3</sup>                         | 3,1  | 7,6 <sup>4</sup>            |
| Aangrenzende muur of muren met een brandweerstand van meer dan 2 uur <sup>1</sup>  | 0                                      | 1,5  | 1,5                         |
| (b) Muur of muren grenzend aan een systeem opgetrokken uit andere materialen dan onbrandbare materialen of moeilijk brandbare materialen | 3,1                                    | 7,6  | 15,2 <sup>4</sup>           |
| 2. Openingen in muren  |  |  |                             |
| (a) Niet boven gelijk welk deel van het systeem  | 3,1                                    | 3,1  | 3,1                         |
| (b) Boven gelijk welk deel van het systeem   | 7,6                                    | 7,6  | 7,6                         |
| 3. Alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen boven grondniveau  |  |  |                             |
| (a) 0 – 3.785 l  | 3,1                                    | 7,6  | 7,6                         |
| (b) meer dan 3.785 l   | 7,6                                    | 15,2   | 15,2                        |
| 4. Alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen onder grondniveau, capaciteit tussen 0 en 3.785 l <sup>5</sup>                 | 3,1                                    | 3,1  | 3,1                         |
| (a) Tank   | 7,6                                    | 7,6  | 7,6                         |
| (b) Afblaaspunt of vulopening van de tank  |  |  |                             |
| 5. Alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen onder grondniveau, capaciteit meer dan 3.785 l <sup>5</sup>                    |  |  |                             |
| (a) Tank   | 6,1                                    | 6,1  | 6,1                         |
| (b) Afblaaspunt of vulopening van de tank  | 7,6                                    | 7,6  | 7,6                         |
| 6. Opslag van ontvlambaar gas (andere dan waterstof) hetzij bij lage of hoge druk  |  |  |                             |
| (a) capaciteit van 0 – 255 m <sup>3</sup>  | 3,1                                    | 7,6  | 7,6                         |
| (b) capaciteit meer dan 255 m <sup>3</sup>   | 7,6                                    | 15,2   | 15,2                        |

<sup>1</sup> Uitgezonderd deuren en vensters (zie punt 2).<sup>2</sup> Delen van de muren lager dan 3 m (horizontaal gemeten) op gelijk welk punt van het systeem moeten een brandweerstand van minsten een half uur hebben.<sup>3</sup> Delen van de muren lager dan 3 m (horizontaal gemeten) op gelijk welk punt van het systeem moeten een brandweerstand hebben van tenminste 1 uur.<sup>4</sup> Maar niet minder dan de gemiddelde hoogte van de muur grenzend aan het gebouw of de structuur.<sup>5</sup> De afstanden kunnen gereduceerd worden tot 4,5 m voor brandbare vloeistoffen van klasse IIB (vlampunt > 93,4°C)

| Type externe schadedrager   | Totale opslag van gasvormige waterstof  |  |                             |
|---|---|--|-----------------------------|
|   | Minder dan 99 m <sup>3</sup>  | Tussen 99 m <sup>3</sup> en 425 m <sup>3</sup> | Meer dan 425 m <sup>3</sup> |
| 7. Opslag van zuurstof  |   |  |                             |
| (a) Capaciteit van 566 m <sup>3</sup> of minder                                     | Zie NFPA 51, <i>Standard for the Design and Installation of Oxygen-Fuel Gas Systems for Welding, Cutting and Allied Processes</i> |  |                             |
| (b) Capaciteit meer dan 566 m <sup>3</sup>  | Zie NFPA 50, <i>Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumers sites</i>   |  |                             |
| 8. Snel brandende vaste stoffen zoals papier  | 15,2  | 15,2   | 15,2                        |
| 9. Traag brandende vaste stoffen, zoals kolen                                       | 7,6   | 7,6  | 7,6                         |
| 10. Open vlam en laswerkzaamheden   | 7,6   | 7,6  | 7,6                         |
| 11. Aanzuiging van luchtcompressoren of inlaten van ventilators of airconditioners. | 15,2  | 15,2   | 15,2                        |
| 12. Plaatsen waar mensen kunnen aanwezig zijn                                       | 7,6   | 15,2   | 15,2                        |
| 13. Openbare wegen en geparkeerde voertuigen  | 4,6   | 4,6  | 4,6                         |
| 14. Grens van een naburige eigendom   | 1,5   | 1,5  | 1,5                         |

De afstanden bij punten 1, 3 tot 10 en 14 zijn niet van toepassing daar waar de beschermingsstructuren een brandweerstand hebben van tenminste 2 uur en geplaatst zijn tussen het systeem en de schadedragers.

De afstanden moeten ook gerespecteerd worden voor verladingsverbindingen.

De gasvormige waterstofsysteemen met een capaciteit van minder dan 99 m<sup>3</sup>, wanneer deze geplaatst zijn in een gebouw en blootgesteld aan andere werkzaamheden, moeten opgesteld zijn het gebouw op de volgende manier:

- (a) in een voldoende geventileerde omgeving;
- (b) op 6 m van alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen, oxiderende gassen en gemakkelijk brandende materialen zoals papier;
- (c) op 7,6 m van alle open vlammen, elektrische apparatuur of andere ontstekingsbronnen;
- (d) op 15 m van de ingangen van ventilatieapparatuur of airconditioners en luchtcompressoren;
- (e) op 15 m van alle andere opslag van ontvlambare gassen;
- (f) beschermd tegen beschadiging door een val van een object of andere werkzaamheden in de omgeving.



**Tabel 2 : NFPA 50 B : Minimale afstanden tussen systemen voor vloeibare waterstof en mogelijke schadedragers [24]**

| Type externe schadedrager   | Totale opslag vloeibare waterstof |                             |                              |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|   | Tussen 150 l en 13.250 l          | Tussen 13.250 l en 56.775 l | Tussen 56.775 l en 283.875 l |
| 1. Gebouw of structuur  |                                   |                             |                              |
| (a) Muur of muren aangrenzend aan een systeem gebouwd uit onbrandbare of moeilijk brandbare materialen  |                                   |                             |                              |
| (1) Gesprinkeld gebouw of structuur of een gebouw of structuur dat niet gesprinkeld is dat geen brandbare materialen bevat                        | 1,5 <sup>7</sup>                  | 1,5 <sup>7</sup>            | 1,5 <sup>7</sup>             |
| (2) Niet gesprinkeld gebouw of structuur die wel brandbare materialen bevat   |                                   |                             |                              |
| Aangrenzende muur of muren met een brandweerstand van minder dan 3 uur <sup>6</sup>   | 7,60                              | 15,2                        | 22,9                         |
| Aangrenzende muur of muren met een brandweerstand van meer dan 3 uur <sup>6</sup>   | 1,5                               | 1,5                         | 1,5                          |
| (b) Muur of muren aangrenzend aan een gebouw of structuur opgetrokken uit brandbare materialen  |                                   |                             |                              |
| (1) Gebouw of structuur gesprinkeld   | 15,2                              | 15,2                        | 15,2                         |
| (2) Gebouw of structuur niet gesprinkeld  | 15,2                              | 22,9                        | 30,5                         |
| 2. Openingen in de muren  |                                   |                             |                              |
| (a) Die kunnen geopend worden   | 22,9                              | 22,9                        | 22,9                         |
| (b) Die niet kunnen geopend worden  | 7,6                               | 15,2                        | 15,2                         |
| 3. Aanzuiging van luchtcompressoren of inlaten van ventilatieapparatuur of airconditioners.   | 22,9                              | 22,9                        | 22,9                         |
| 4. Alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen (boven de grond en afblaaspunten en vulopeningen indien onder grondniveau) <sup>8</sup> | 15,2                              | 22,9                        | 30,5                         |
| 5. Tussen vaste opslagtanks met vloeibare waterstof   | 1,5                               | 1,5                         | 1,5                          |
| 6. Opslag van ontvlambare gassen, andere dan waterstof  | 15,2                              | 22,9                        | 22,9                         |
| 7. Opslag van vloeibare zuurstof en andere oxydanten  | 22,9                              | 22,9                        | 22,9                         |
| 8. Brandbare vaste stoffen  | 15,2                              | 22,9                        | 30,5                         |
| 9. Open vlam en laswerkzaamheden  | 15,2                              | 15,2                        | 15,2                         |
| 10. Plaatsen waar mensen kunnen aanwezig zijn   | 22,9                              | 22,9                        | 22,9                         |
| 11. Openbare wegen, spoorwegen en eigendomsgrenzen  | 15,2                              | 22,9                        | 30,5                         |
| 12. Inlaten tot ondergrondse riolen   | 1,5                               | 1,5                         | 1,5                          |

De afstanden bij punten 1, 4, 6, 7, 8 en 11 kunnen met 2/3 verminderd worden, maar mogen niet kleiner zijn dan 1,5 m, voor de geïsoleerde delen van het systeem. Voor de niet geïsoleerde delen van het systeem kunnen de afstanden gereduceerd worden door gebruik te maken van beschermingsstructuren met een brandweerstand van tenminste 2 uur.

De afstanden moeten ook gerespecteerd worden voor verladingsverbindingen. De minimale afstand tussen deze verbindingen en de geparkeerde voertuigen moet 7,6 m bedragen.

<sup>6</sup> Uitgezonderd deuren en vensters

<sup>7</sup> De delen van de muren lager dan 3 m (horizontaal gemeten) op elk punt van het systeem moeten een weerstand hebben van ten minste een half uur.

<sup>8</sup> De afstanden kunnen gereduceerd worden tot 4,6 m voor brandbare vloeistoffen van klasse IIIB (vlampunt > 93,4°C)

Wanneer draagbare recipiënten met vloeibare waterstof met een capaciteit kleiner dan 189 l zich binnen in een gebouw bevinden, maar niet in een speciaal lokaal en blootgesteld aan andere activiteiten, moeten deze in het gebouw op de volgende manier opgesteld zijn:

- (a) op 6 m van alle klassen van ontvlambare en brandbare vloeistoffen en gemakkelijk brandende materialen zoals papier;
- (b) op 7,6 m van alle open vlammen, elektrische apparatuur of andere ontstekingsbronnen;
- (c) op 15 m van de inlaten van ventilatieapparatuur of airconditioners en luchtcompressoren;
- (d) op 15 m van alle andere opslag van ontvlambare gassen of oxiderende gassen;
- (e) beschermd tegen beschadiging door een val van een object of andere werkzaamheden in de omgeving.

**Tabel 3: NFPA 50 A : Voorkeursplaatsen voor systemen met gasvormige waterstof [23]**

| Aard van de plaats   | Grootte van het waterstofsysteem |                                 |                             |
|--|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|  | Minder dan 99 m <sup>3</sup>     | Tussen 99 en 425 m <sup>3</sup> | Meer dan 425 m <sup>3</sup> |
| Open lucht   | I                                | I                               | I                           |
| In een apart gebouw  | II                               | II                              | II                          |
| In een speciaal lokaal   | III                              | III                             | Niet toegelaten             |
| In een gebouw maar niet in een speciaal lokaal of blootgesteld aan andere activiteiten | IV                               | Niet toegelaten                 | Niet toegelaten             |

I = voorkeursplaats

**Tabel 4: NFPA 50 B : Voorkeursplaatsen voor systemen met vloeibare waterstof [24]**

| Aard van de plaats   | Grootte van het waterstofsysteem |                 |                   |                  |
|--|----------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|  | 150 tot 190 l                    | 191 tot 1.135 l | 1.135 tot 2.271 l | Meer dan 2.271 l |
| Open lucht   | I                                | I               | I                 | I                |
| In een apart gebouw  | II                               | II              | II                | Niet toegelaten  |
| In een speciaal lokaal   | III                              | III             | Niet toegelaten   | Niet toegelaten  |
| Binnen in een gebouw, maar niet in een speciaal lokaal of blootgesteld aan andere activiteiten | IV                               | Niet toegelaten | Niet toegelaten   | Niet toegelaten  |

I = voorkeursplaats

**Tabel 5 : IGC DOC 15/96 : Aanbevolen minimale veiligheidsafstanden voor gasvormige waterstofsyste men [31]**

|     | Typisch type van schadedrager in open lucht  | Afstand (m) |
|-----|--|-------------|
| 1.  | Open vlammen en andere ontstekingsbronnen (elektrische ingesloten)                                   | 5           |
| 2.  | Eigendomsgrenzen en plaatsen waar personen kunnen aanwezig zijn zoals autoparkings, kantines,...enz. | 8           |
| 3.  | Houten gebouwen of structuren  | 8           |
| 4.  | Openingen in muren van bureaus, ateliers,...enz.   | 5           |
| 5.  | Bovengrondse bulkopslag van ontvlambare vloeistoffen en LPG  | 8           |
| 6.  | Ondergrondse bulkopslag van ontvlambare vloeistoffen en LPG  |             |
|     | - tank   | 3           |
|     | - afblaaspunt of verbindingen  | 5           |
| 7.  | Opslag van flessen met ontvlambare gassen, andere dan waterstof                                      | 5           |
| 8.  | Opslag van gasvormige zuurstof in flessen  | 5           |
| 9.  | Opslag van vloeibare zuurstof  | 8           |
| 10. | Opslag van niet ontvlambare cryogene vloeistoffen zoals argon, stikstof,...                          | 5           |
| 11. | Opslag van brandbare materialen  | 8           |

Deze afstanden mogen gereduceerd worden als men beschermingsmuren gebruikt met een voldoende brandweerstand.

Deze afstanden moeten eveneens gerespecteerd worden voor verladingsverbindingen en afblaaspunten.

Als een apparaat opgesteld staat in een gebouw, dan worden de afstanden ten opzichte van de verschillende types externe schadedragers gemeten vanaf de openingen: de deuren, de vensters,...enz.

**Tabel 6 : EIGA DOC 06/02/E : Aanbevolen minimale veiligheidsafstanden voor opslag van vloeibare waterstof [30]**

|     | Onderwerp  | Afstand (m) |
|-----|--|-------------|
| 1.  | Muren met een brandweerstand van 90 minuten          | 2,5         |
| 2.  | Technische gebouwen waar geen personen aanwezig zijn | 10          |
| 3.  | Gebouwen met aanwezige personen                      | 20          |
| 4.  | Aanzuiging van luchtcompressoren, airconditioners    | 20          |
| 5.  | Alle brandbare vloeistoffen                          | 10          |
| 6.  | Alle brandbare vaste stoffen                         | 10          |
| 7.  | Andere vaste opslagtanks voor vloeibare waterstof    | 1,5         |
| 8.  | Andere vloeibare waterstoftank                       | 3           |
| 9.  | Opslag van vloeibare zuurstof                        | 6           |
| 10. | Opslag van ontvlambare gassen                        | 8           |
| 11. | Open vlam, roken, laswerkzaamheden                   | 10          |
| 12. | Plaatsen waar personen samenkomen                    | 20          |
| 13. | Openbare plaatsen                                    | 60          |
| 14. | Openbare wegen, spoorwegen, eigendomsgrenzen         | 10          |
| 15. | Hoogspanningslijn in open lucht                      | 10          |

Deze afstanden kunnen gereduceerd worden als er bijkomende beschermingen (bv. watergordijnen) geplaatst zijn tussen de installatie met vloeibare waterstof en de

blootgestelden. Dergelijke beschermingen kunnen gebruikt worden voor de onderwerpen 2, 3, 5, 6, 10 en 14.

Deze afstanden dienen eveneens gerespecteerd te worden voor beladingsverbindingen en afblaaspunten.

# BIJLAGE 3

## verificatielijst

|  |  |
|--|--|
| <b>INGANG – ALGEMEEN</b>   |  |
| Toegangscontrole   |  |
| Aanduiding rookverbod, verbod op open vlam en GSM's                  |  |
| Hydranten gemakkelijk herkenbaar (rood)                              |  |
| Hydranten beschermd tegen mechanische schade (wegverkeer)            |  |
| Leidingen duidelijk geïdentificeerd (kleur)                          |  |
| Bovengronds leidingsysteem is beschermd tegen impact van het verkeer |  |

|  |  |
|--|--|
| <b>OPSLAGTANKS VOOR SAMENGEDRUKTE WATERSTOF</b>  |  |
| Aanwezigheid blusapparaten   |  |
| Eventuele aanwezigheid van een sprinklerinstallatie  |  |
| Aanduiding op elke tank van : <ul style="list-style-type: none"> <li>• nummer van de tank</li> <li>• naam van de opgeslagen stof</li> <li>• de gevaarssymbolen</li> <li>• de opslagcapaciteit</li> </ul> |  |
| Voldoende afstand tussen de tanks en de terreingrenzen   |  |
| Beschermd tegen mechanische impact of wegverkeer   |  |
| De veiligheidskleppen mogen niet geïsoleerd zijn of met sleutelsysteem   |  |
| De veiligheidskleppen blazen voldoende hoog en in een veilige richting af.   |  |
| Localisatie van gasdetectoren  |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>(SPOOR)TANKWAGENVERLADING VAN SAMENGEDRUKTE WATERSTOF</b>            |  |
| Aanwezigheid van blusapparaten  |  |
| Aanwezigheid van een sprinklerinstallatie                               |  |
| Continue bewaking tijdens verlading                                     |  |
| Localisatie van de gasdetectoren  |  |
| Localisatie van de noodstoppen  |  |
| Aanwezigheid van kallen en barrières of een interlock op het remsysteem |  |
| Aanwezigheid van equipotentiaalverbinding met interlock                 |  |
| Vloerbekleding voldoende geleidend (geen asfalt, geen epoxyharsen)      |  |
| Flexibels in goede staat  |  |
| Geschikt opbergsysteem voor flexibels                                   |  |
| <b>OPSLAG EN VULSTATION VOOR WATERSTOFFLESSEN</b>                       |  |

|   |  |
|---|--|
| Aanwezigheid blusapparaten  |  |
| Geen zuurstofflessen (of andere sterke oxydanten) opgeslagen samen met waterstofflessen |  |
| Aanduiding van de opslagzone voor waterstofflessen                                      |  |
| Controle van de dichtheid van de flessen (kraan en hals)                                |  |
| Hal voor vulling en opslag voldoende verlucht   |  |
| Plaatsing van gasdetectoren op hoge punten  |  |
| Aanwezigheid van noodstoppen ter hoogte van de vulling                                  |  |

|  |  |
|--|--|
| <b>CRYOGENE OPSLAGTANKS VAN VLOEIBARE WATERSTOF</b>  |  |
| Aanwezigheid blusapparaten   |  |
| Eventuele aanwezigheid van een sprinklerinstallatie  |  |
| Aanduiding op elke tank van : <ul style="list-style-type: none"> <li>• nummer van de tank</li> <li>• naam van de opgeslagen stof</li> <li>• de gevaarssymbolen</li> <li>• de opslagcapaciteit</li> </ul> |  |
| Voldoende afstand tussen de tanks en de terreingrenzen   |  |
| Beschermd tegen mechanische impact of wegverkeer   |  |
| De veiligheidskleppen mogen niet geïsoleerd zijn of met een sleutelsysteem   |  |
| De veiligheidskleppen blazen voldoende hoog en in een veilige richting af.   |  |
| Localisatie van gasdetectoren  |  |
| Vloer voldoende hellend om geen accumulatie van vloeistof te hebben onder de opslagtanks   |  |
| De riolen in de buurt van de opslagtanks zijn voorzien van watersloten.  |  |
| Aanwezigheid van thermische expansiekleppen op leidingen die ingeblokt kunnen worden   |  |
| Aanwezigheid van goten onder de niet geïsoleerde leidingen die vloeibare waterstof bevatten  |  |
| Vloer onder de niet geïsoleerde leidingen die vloeibare waterstof bevatten uit onbrandbaar materiaal   |  |
| Aanwezigheid van oog- en nooddouches   |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>(SPOOR)TANKWAGENVERLADING VAN VLOEIBARE WATERSTOF</b>  |  |
| Aanwezigheid van blusapparaten  |  |
| Aanwezigheid van een sprinklerinstallatie   |  |
| Continue bewaking tijdens verlading   |  |
| Localisatie van de gasdetectoren  |  |
| Localisatie van de noodstoppen  |  |
| Aanwezigheid van kallen en barrières of een interlock op het remsysteem                                   |  |
| Aanwezigheid van equipotentiaalverbinding met interlock   |  |
| Vloerbekleding voldoende geleidend (geen asfalt, geen epoxyharsen)  |  |
| Flexibels in goede staat  |  |
| Geschikt opbergsysteem voor flexibels   |  |
| Afwatering van vloeistoflekken op een manier zodat deze niet kunnen accumuleren onder de (spoor)tankwagen |  |
| Aanwezigheid van thermische expansiekleppen op leidingen die ingeblokt kunnen worden                      |  |
| Aanwezigheid van oog- en nooddouches  |  |