

## WP4 Veiligheidsaspecten en risico's

Kennisvraag:

**Wat zijn de verschillende methoden voor transport van waterstof over de weg en wat zijn de veiligheidsrisico's?**

Datum: 20 mei 2022

Status: final

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2019 WVIP

## Aanleiding

WVIP WP 4 werkt aan kennisvragen voor het borgen van waterstofveiligheid en heeft als doelstelling:

1. Het inventariseren van alle mogelijke veiligheidsrisico's die gepaard gaan met de productie, opslag, transport en gebruik van waterstof.
2. Welke maatregelen zijn noodzakelijk om waterstof als veilige en betrouwbare energiedrager grootschalig te kunnen introduceren en daarmee de publieke acceptatie te vergroten.

Deze rapportage is bedoeld voor alle partijen die bezig waren, momenteel bezig zijn, dan wel in de nabije toekomst betrokken zullen zijn bij de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur, en specifiek voor partijen die zich bezig houden met het veilig transporteren van waterstof over de weg. Dit rapport geeft handvatten om de vragen en antwoorden die er over dit onderwerp zijn, centraal te ontsluiten met het doel de waterstofveiligheid te borgen.

Het rapport beantwoordt een van de kennisvragen zoals die zijn geïnventariseerd door de deelnemers van WP4 in 2020. Voor meer informatie over en de totstandkoming van de kennisvragen zie rapportage '[WP 4 Inventarisatie van kennisvragen](#)' van het WVIP project'.

Het doel van het behandelen van de kennisvraag is om een overzicht te geven van de methoden van wegtransport van waterstof en de daarbij komende veiligheidsrisico's, oorzaken en beheersmaatregelen.

## Introductie

Waterstof zal een belangrijke rol gaan spelen in de energietransitie, omdat waterstof gemakkelijk te transporteren en op te slaan is en op die manier flexibel ingezet kan worden bij een grote vraag naar energie of aanbod van elektriciteit. Opslag en transport van waterstof vindt op dit moment al plaats in Nederland en brengt vragen met zich mee over de verschillende methodes voor opslag en transport van waterstof en de veiligheidsrisico's hiervan. In deze notitie wordt ingegaan op transport over de weg. Voor andere transportmodaliteiten (water, spoor en buisleidingen) en voor opslag kan deze vraag afzonderlijk worden ingevuld.

Wat zijn de verschillende methoden voor transport van waterstof over de weg en wat zijn de veiligheidsrisico's?

Hiermee komen we op de volgende hoofdvraag:

Het doel van deze rapportage is om potentiële afnemers bewust te maken van de afwegingen die er zijn in de methode van waterstof transport. Deze afweging hangt onder andere af van de hoeveelheid waterstof dat afgenomen wordt, de vereiste zuiverheid en de locatie van de afnemer.

## Overzicht transportmethoden waterstof

Waterstof kan over de weg vervoerd worden:

- a) als (gecomprimeerd) gas in tubetrailers of in cilinders;
- b) als cryogene vloeistof
- c) of in de vorm van alternatieve waterstofrijke energiedragers (bijvoorbeeld metaalhydriden en vloeibare organische waterstofdragers (LOHC).

Het transport van waterstof als gecomprimeerd gas (a) of cryogene vloeistof (b) is op dit moment het meest relevant. Het gebruik van andere alternatieve energiedragers wordt op dit moment onderzocht, maar wordt in praktijk nog weinig toegepast. Deze worden in deze rapportage daarom buiten beschouwing gelaten.

### Gas

Voor transport van waterstof over de weg is het vervoer van gasvormig waterstof in tubetrailers het meest gangbaar. Tubetrailers worden toegepast voor het vervoer van waterstof van industriële kwaliteit, of van hogere kwaliteit voor gebruik in brandstofvoertuigen, naar afnemers voor wie het niet rendabel is om waterstof via een buisleiding te leveren. Hierbij worden meerdere drukcilinders (tubes) gebundeld en liggend getransporteerd op trailers (tubetrailer). Standaard wordt waterstof bij een druk van 200, 350 of 500 bar vervoerd. De tubetrailer wordt meestal gebruikt voor sigaarvormige stalen opslagvaten. Nieuwe trailers voor hoger druk (500 bar) werken met composiet tanks.

Voor kleinere afnemers wordt gasvormig waterstof ook in cilinders geleverd. Hiervoor worden kleinere cilinders gebruikt, die staand worden vervoerd.

### Vloeibaar

Wanneer gebruikers waterstof van hoge zuiverheid eisen, wordt gekozen voor vloeibare waterstof. De producent maakt gasvormig waterstof vloeibaar en slaat deze op locatie op bij een temperatuur van -253 °C en 700 mbar druk. Vanuit de grote opslagreservoirs wordt waterstof getransporteerd naar de klanten door middel van geïsoleerde cryogene tankwagens.

## Veiligheid

### Veiligheidsrisico's

#### Algemene risico's voor waterstof.

- Waterstof ontbrandt bij een concentratie vanaf 4 vol.% maar geeft dan nog geen explosie, maar een ontbranding van de gaswolk zonder overdrukeffecten. Pas vanaf ongeveer 10 vol.% kan waterstof exploderen. Tussen de 4-10 vol.% is waterstof qua ontstekingskans vergelijkbaar met aardgas.
- Boven de 18 vol.% kan een detonatie optreden. Dit is een explosie die met meer overdruk gepaard gaat dan een 'gewone' explosie.
- Een explosie vindt plaats wanneer waterstof vrijkomt en vertraagd ontsteekt. Als er sprake is van directe ontsteking, ontstaat een fakkelbrand.
- Waterstof dat vrijkomt in de atmosfeer kan door elektrostatische energie of onzuiverheden spontaan ontbranden. Dit geldt vooral wanneer waterstof vrijkomt uit een bron onder druk.
- Waterstof brandt met een bij daglicht moeilijk zichtbare vlam, een waterstofbrand is daardoor moeilijker te detecteren.
- Waterstofbranden zijn moeilijk te blussen. Vaak is de beste manier het afsluiten van de waterstoftoevoer.

#### Risico's specifiek voor vloeibare waterstof

Naast bovenstaande risico's zijn er ook veiligheidsrisico's die specifiek gelden voor vloeibare waterstof:

- Vloeibare waterstof en het 'boil-off gas' kunnen door de zeer lage temperatuur ernstige brandwonden veroorzaken bij aanraking met de huid, zelfs wanneer het contact zeer kort is. Dit kan ook voorkomen bij indirect contact met bijvoorbeeld geïsoleerde leidingen, opslagtanks of onderdelen.

- De temperatuur van vloeibare waterstof is dermate laag dat bijna alle andere gassen, behalve helium, bij deze temperatuur condenseren en vast worden. Deze vaste deeltjes kunnen zorgen voor verstoppingen in apparatuur zoals leidingen, kleppen en ventielen.
- Vloeibare waterstof heeft een zeer lage verdampingswarmte. Dit betekent dat als er een kleine hoeveelheid vloeibare waterstof vrijkomt, dit door het temperatuurverschil zeer snel uitzet tot een grote wolk gasvormige waterstof.

### Oorzaken transportrisico's

- Beschadiging van de cilinders, truck of onderdelen door externe oorzaak, zoals aanrijdingen, vallende objecten, etc.
- Eenzijdig ongeluk met de truck, bijvoorbeeld door weersomstandigheden etc. Gebreken aan equipment, door:
  - Ontwerpfouten
  - Slijtage/onvoldoende onderhoud
  - Beschadigingen van buitenaf
  - Onvoorzien/niet te voorkomen gebreken aan equipment
- Ontbrekende/niet werkende preventiemaatregelen op equipment
- Ontbrekende/niet werkende bestrijdingsmiddelen in geval van incident
- Onjuist handelen bij bijv. reparatie of bergingswerkzaamheden na een defect of ongeluk
- Menselijke fouten
  - Onvoldoende opleiding personeel
  - Geen goede procedures
    - Afwijken van procedures
    - Menselijke fouten (onoplettendheid, vermoeidheid, etc)

Op de website van H2tools is een incidentenregister bijgehouden van waterstofincidenten, onder andere bij het vervoeren over de weg. <sup>1</sup> De voornaamste oorzaken van de incidenten die genoemd worden zijn: menselijke fouten, (onvoldoende) bewustzijn van de omgeving en verandering in procedures, voorschriften, apparatuur en materialen.

### Beheersmaatregelen

Hoewel het transport van waterstof niet zonder risico is, zijn deze risico's te ondervangen. Waterstoftransport is vergelijkbaar met andere soorten transport van gevaarlijke stoffen over de weg, en moet voldoen aan de veiligheidseisen conform het ADR, de Europese overeenkomst voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.

Chauffeurs die waterstof vervoeren in Nederland zijn verplicht om het ADR certificaat en Code 95 te behalen. In deze opleiding leren de chauffeurs onder andere om te gaan met de gevaren en risico's, eerste hulp bij een ongeval, voorzorgsmaatregelen tijdens het laden en lossen en brandbestrijding.

De volgende maatregelen worden genomen om de kans op falen te verminderen:

- Veilig ontwerp van de tanks/tubes/trailers
  - Moet geschikt zijn voor waterstof:
    - Geschikte materialen gebruiken
    - Explosie veilige elektrische equipment
    - Geschikt voor opslag onder hoge druk of lage temperatuur
  - Voldoende ventilatie

---

<sup>1</sup> <https://h2tools.org/lessons>

- Voorzien van veiligheidskleppen/afsluiters etc.
- Bescherming tegen impact van buitenaf
- Waarschuwing/alarmeringssystemen
- Opleiding van personeel om te werken met waterstof/gevaarlijke stoffen.
- Vaste procedures voor handelingen met waterstof
- Regelmatig onderhoud volgens vaste procedures en door opgeleid personeel
- Vaste procedures voor reparaties, door opgeleid personeel
- Inspecties
- Vaste procedures voor laden/lossen

De volgende maatregelen worden genomen om de impact van een incident te verminderen:

- Keuze transportroute
- Bestrijdingsmiddelen aanwezig, bijv. brandblusser
- Noodprocedures

Grotere bedrijven en gebruikers weten vaak al hoe om te gaan met waterstof en hebben die risico's al zoveel als mogelijk ingedeekt. Nu waterstof een steeds belangrijker rol vervult in de energietransitie en samenleving, komen er steeds meer nieuwe gebruikers bij die (nog) weinig kennis en ervaring hebben met waterstof. Deze nieuwe gebruikers hebben niet de kennis in huis die de traditionele afnemers (oliebedrijven, chemische industrie) hebben en hebben zich dus minder goed beschermt tegen de potentiële gevaren van waterstof. Dit is een potentieel risico.

## Conclusie

Een eventuele vervolgstap voor het invullen van deze rapportage is het in gesprek gaan met meerdere partijen. De input nu komt grotendeels van Air Products. Een aantal partijen die hiervoor benaderd kan worden:

- [Inspectie Leefomgeving en Transport \(ILT\) \(ilent.nl\)](https://ilent.nl)
- EIGA (European Industrial Gas Association)
- Linde
- Air Liquide

Zoals gesteld zijn er de nodige bedrijven die decennialange ervaring hebben met het vervoeren van waterstof, zowel gasvormig als vloeibaar. Het is voor de nieuwe spelers in de markt ten gevolge van de energietransitie zaak om de lessen die geleerd zijn door eerdergenoemde bedrijven ter harte te nemen om incidenten te vermijden die bij voorbaat voorkomen hadden kunnen worden.

## Referenties

SAFETY IN STORAGE, HANDLING AND DISTRIBUTION OF LIQUID HYDROGEN, EIGA, DOC 06/02/E,  
[https://h2tools.org/sites/default/files/Doc6\\_02SafetyLiquidHydrogen.pdf](https://h2tools.org/sites/default/files/Doc6_02SafetyLiquidHydrogen.pdf)

Een belangrijke leverancier en transporteur van waterstof is Air Products. Air Products is een specialist op onder andere (vloeibare) waterstof en heeft een deel van de input gegeven voor deze rapportage. Air Products levert gasen en chemische stoffen, waaronder waterstof, in meer dan 75 landen. In Nederland produceren zij waterstof op hun productielocatie in Pernis, waar zij tot 350 ton waterstof per dag kunnen produceren. Vervolgens wordt de waterstof direct getransporteerd via pijpleiding of over de weg naar de afnemers, of naar hun waterstof vullocatie in Botlek.