

Kennisbundel transport van waterstof (dragers)



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2022). *Kennisbundel transport van waterstof(dragers)*.
Arnhem: IFV.

Titel:	Kennisbundel transport van waterstof(dragers)
Datum:	2 maart 2022
Status:	Definitief
Versie:	1.0
Auteur en projectleider:	dr. M. Spoelstra
Met dank aan:	Drs. Cees Smit (Arcadis)
Review en eindverantwoordelijk:	dr.ir. N. Rosmuller

Inhoud

	Inleiding	4
1	Transport van waterstof	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Transport van waterstof(dragers)	5
1.3	Transport van waterstof(dragers) in 2022 en 2030	9
2	Wet- en regelgeving	11
2.1	Algemeen	11
2.2	Weg	12
2.3	Water	13
2.4	Spoor	14
2.5	Buisleidingen	14
2.6	Toekomstige regelgeving	15
3	Vergunningverlening	16
3.1	Toeziachter	16
3.2	Meldingen, vergunningen en ontheffingen	17
4	Beperken van gevaren	18
4.1	Gevaren van (vormen van) waterstof	18
4.2	Gevaren van opslagsystemen	20
4.3	Risicobeheersing	22
4.4	Incidentbestrijding	23
5	Overige informatie	26

Inleiding

Veel initiatieven met nieuwe energiedragers en -bronnen vinden plaats op lokaal of regionaal niveau. Omdat in veel gevallen geen wet- en regelgeving beschikbaar is die betrekking heeft op de veiligheid van dergelijke initiatieven, vinden afwegingen veelal plaats op lokaal of regionaal niveau. Enerzijds leidt dit tot inefficiëntie (het wiel wordt steeds weer opnieuw uitgevonden) en anderzijds bestaat het risico van inconsistentie in de besluitvorming. Er is daarom behoefte aan het ontsluiten van kennis over het gebruik van nieuwe energiedragers en -bronnen, onder andere over goede uitvoeringspraktijken.

In 2020 heeft het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) het project 'Kennisbundeling VET' (Veilige Energietransitie) uitgevoerd met als doel nieuwe en bestaande kennis over veiligheidsaspecten rondom de energietransitie te bundelen en te ontsluiten. Het IFV heeft hierin samengewerkt met het Kenniscentrum InfoMil¹ en met het netwerk Externe veiligheid Relevant.² In dat project zijn over vier onderwerpen kennisbundels opgesteld met beknopte beschrijvingen over wet- en regelgeving, vergunningen, pilots en veiligheidsmaatregelen. De kennisbundels maken de lezer wegwijs in de veiligheidsrelevante facetten van de energietransitie.

De doelgroep van de kennisbundels bestaat met name uit de adviseurs van bevoegd gezagen, te weten veiligheidsregio's en omgevingsdiensten. Zij adviseren gemeenten over (omgevings)veiligheidsvraagstukken rondom de energietransitie. Om zich de deelonderwerpen verder eigen te maken, kan de lezer gebruikmaken van de documenten en websites waarnaar verwezen wordt.

In 2021 is een tweede project van start gegaan waarin zes nieuwe kennisbundels worden geschreven over onderwerpen die ook een relatie hebben met de veilige energietransitie. Deze kennisbundel maakt daar deel van uit. Het onderwerp van deze kennisbundel is *Transport van waterstof(dragers) (H₂)*, waarbij de nadruk ligt op het vervoer van bulkhoeveelheden waterstof(dragers) via weg, water, spoor en buisleidingen. Het gebruik van waterstof voor de voorstuwing van transportmiddelen (dus als brandstof) wordt niet behandeld, evenmin als de opslag van waterstof(dragers) en de economische en technische aspecten van het transport van waterstof.

Een kennisbundel is een document dat in beheer komt van het IFV. Dit garandeert dat de inhoud van de kennisbundel (periodiek) geactualiseerd wordt als daar aanleiding toe is.

¹ Zie de [website](#) van InfoMil.

² Zie de [website](#) van Relevant.

1 Transport van waterstof

1.1 Algemeen

Waterstof speelt in de energietransitie een belangrijke rol. Met behulp van waterstof kunnen vraag en aanbod van energie beter op elkaar afgestemd worden: duurzaam opgewekte elektriciteit die niet afgenomen kan worden, wordt gebruikt om waterstof te maken dat gebruikt kan worden waar en wanneer dat nodig is. Het voordeel van waterstof is dat het ten opzichte van elektriciteit eenvoudiger en goedkoper getransporteerd en opgeslagen kan worden.

Nederland zal in de toekomst een deel van het benodigde waterstof moeten importeren, omdat het aanbod van (duurzaam) geproduceerd waterstof nog onvoldoende is. De manier waarop en de vorm waarin waterstof getransporteerd kan worden, variëren en hangen af van diverse factoren. Enkele belangrijke variabelen zijn de:

- > afstand tussen de productielocatie en de opslag- en/of gebruikslocatie
- > hoeveelheid te transporteren waterstof
- > kosten om waterstof te maken en om waterstof te regenereren
- > aanwezigheid van transportinfrastructuur.

1.2 Transport van waterstof(dragers)

De lage dichtheid³ en daardoor de lage energiedichtheid van gasvormig waterstof bij atmosferische druk zorgen ervoor dat opslag en transport van gasvormig waterstof kostbaar zijn. Daarom wordt gezocht naar andere manieren om waterstof te vervoeren.

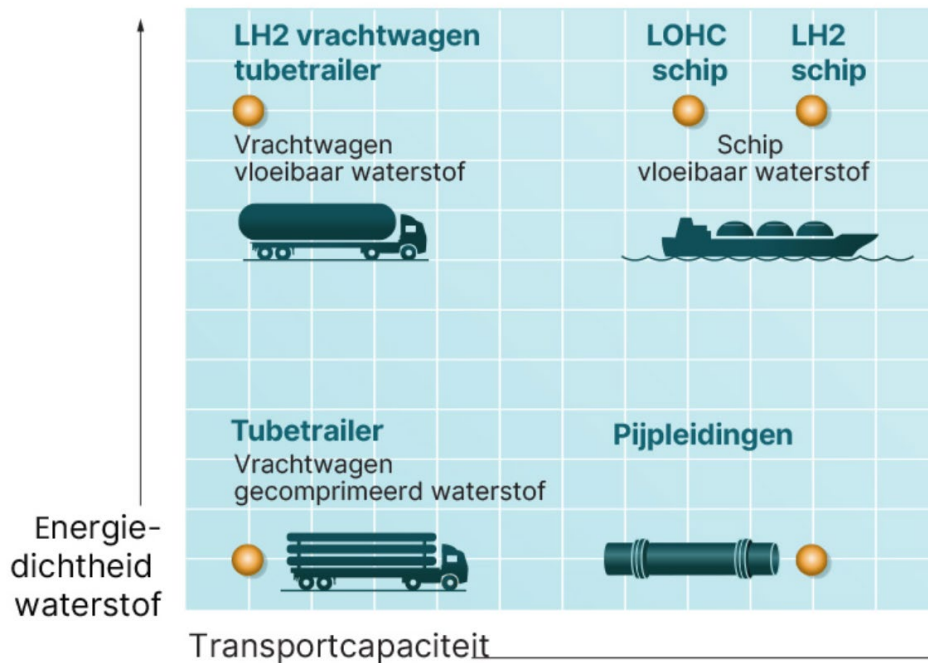
1.2.1 Gasvormige waterstof

De bekendste verschijningsvorm van waterstof is gasvormige waterstof.⁴ Door de druk te verhogen, neemt de dichtheid toe en kan er meer gasvormig waterstof vervoerd worden. Bij 200 bar is de dichtheid zo'n 17 kg/m³.

Een kilogram waterstof bij atmosferische druk neemt veel ruimte in beslag en voor transport is dit niet gunstig. Het volume kan verkleind worden door gasvormig waterstof te comprimeren of te koelen. Zie ook Figuur 1.1. Het onder druk brengen van gasvormig waterstof leidt wel tot energieverlies.

³ 1 m³ gasvormig waterstof weegt 85 g en 1 kg gasvormig waterstof heeft een volume van 11,8 m³.

⁴ Gasvormig waterstof wordt vaak afgekort tot GH₂.



Figuur 1.1 Energiedichtheden van verschillende vormen van waterstof; LH₂ is vloeibare waterstof, LOHC is waterstofdrager (zie § 1.2.3) (bron: [De wereld van waterstof](#))

Gasvormig waterstof wordt in Nederland vervoerd over de weg en via buisleidingen, maar vooralsnog niet per spoor of over binnenlandse waterwegen. Bij transport over de weg bevindt gasvormig waterstof zich in waterstofcilinders of -tubes. Tubes worden vervoerd in bundels van 2000 liter bij een druk van 200-500 bar, zie Figuur 1.2. De meeste tanks bestaan uit een aluminium of plastic voering ('liner') die met koolstofvezel omwikkeld is. Bij transport via buisleidingen kan gasvormig waterstof worden vervoerd door hogedrukleidingen (66 - 80 bar), middeldrukleidingen (40 bar) of lagedrukleidingen (3-16 bar). Gasvormig waterstof wordt nog niet op grote schaal vervoerd in Nederland, met uitzondering van transport via waterstofleidingen tussen chemieclusters.⁵ De mogelijkheden om aardgasleidingen te gebruiken voor het transport van waterstof, worden onderzocht.

1.2.2 Vloeibaar waterstof

Om grotere hoeveelheden waterstof te kunnen vervoeren, moet waterstof vloeibaar worden gemaakt.⁶ Ook dit proces leidt tot energieverliezen. Het opslagsysteem van vloeibaar waterstof moet vanwege de extreem lage temperaturen zeer goed kunnen isoleren, omdat het kookpunt van waterstof -253 °C is. Vloeibaar waterstof wordt bij een druk van 5 tot 12 bar opgeslagen in dubbelwandige vacuüm geïsoleerde tanks om warmteverliezen te beperken. Door warmte-instream zal altijd wat vloeibaar waterstof verdampen (boil off). De mate waarin boil off plaatsvindt, is afhankelijk van het oppervlak en de inhoud van de tank. Transport van vloeibaar waterstof vindt momenteel alleen over de weg plaats. Wereldwijd zijn er enkele zeeschepen die vloeibaar waterstof (gaan) vervoeren.

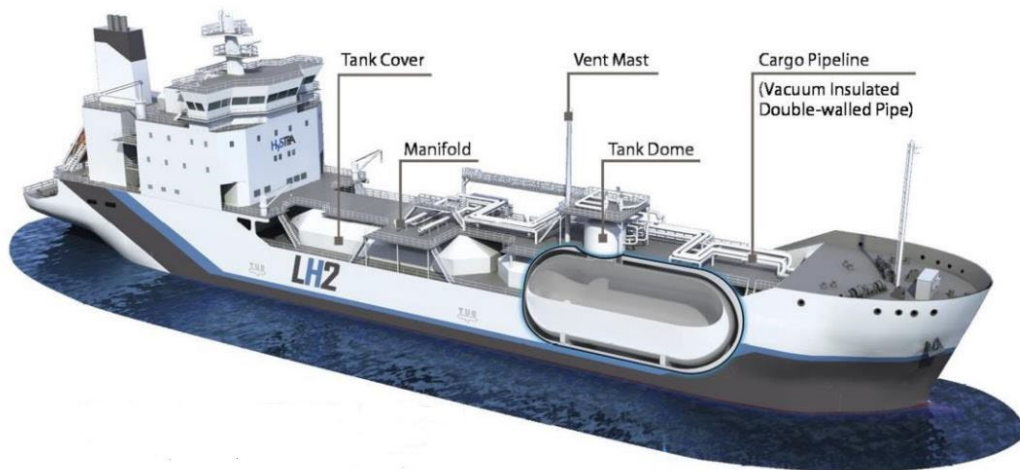
In januari 2022 heeft het eerste bulkzeeschip voor vloeibaar waterstof ter wereld, de Suiso Frontier, op zijn eerste reis vloeibaar waterstof vervoerd van Australië naar Japan.

⁵ Voorbeelden zijn leidingen van Air Products in de haven van Rotterdam, leidingen van Air Liquide van Rotterdam naar Frankrijk en een leiding van Gasunie in Zeeland tussen Yara en Dow Chemical.

⁶ Vloeibaar waterstof wordt vaak afgekort tot LH₂ (liquid hydrogen).



Figuur 1.2 Tubetrailer met waterstof (bron: [TIAPM](#))



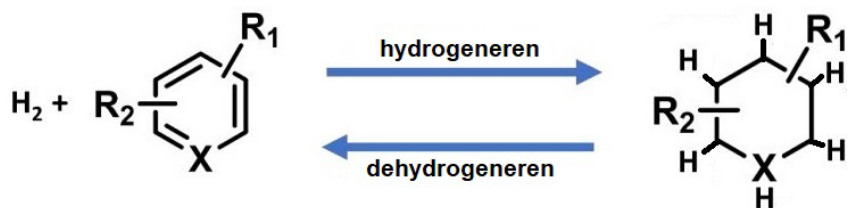
Figuur 1.3 Carrier voor het vervoer van vloeibaar waterstof (bron: [ERIA](#))

1.2.3 LOHC

Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) zijn (cyclische) organische verbindingen met dubbele bindingen die waterstof kunnen opnemen (hydrogeneren) en af kunnen staan (dehydrogeneren).⁷ LOHC's zijn vloeibaar, wat transport relatief eenvoudig maakt. Het gebruik van

⁷ Mierenzuur (HCOOH) en methanol (CH₃OH) zijn ook LOHC's, maar worden in de praktijk niet als zodanig toegepast. Bij mierenzuur zijn procestechnische en chemische problemen hiervoor de oorzaak, terwijl methanol meer gebruikt wordt als grondstof in de chemische industrie en als mogelijke vervanger van brandstoffen voor de voortstuwing van motoren.

LOHC's voor het transport van waterstof is een cyclisch proces. Na transport van het dragermateriaal wordt waterstof hieraan onttrokken. Om het proces cyclisch te maken, moet het dragermateriaal geretourneerd worden, wat tot extra transportbewegingen leidt. Het hydrogeneren en dehydrogeneren leiden tot energieverlies.



R₁ en R₂ zijn chemische groepen en X is een chemisch element. De zesring kan ook een vijfring zijn.

Figuur 1.4 Principe van waterstofdragers (LOHC) (bron: [Rao en Yoon \(2020, bewerkt\)](#))

1.2.4 Ammoniak

Ammoniak (NH₃) is een gas, maar kan als vloeistof (onder druk of gekoeld) eenvoudiger worden vervoerd dan gasvormig en vloeibaar waterstof. Na het transport van ammoniak wordt waterstof door thermische ontleding of door kraken uit ammoniak vrijgemaakt. Het kraken van ammoniak leidt tot energieverlies. Het nadeel van ammoniak is dat het bijtend is en dat inademen van het gas tot irritatie aan de luchtwegen en prikkelende ogen leidt.



Figuur 1.5 Spoorwagenvoer voor het transport van tot vloeistof verdicht ammoniak (bron: [VTG](#))

1.2.5 Hydride

Waterstof kan chemisch worden opgeslagen in de vorm van hydrides. Een hydride is een verbinding waarbij waterstof negatief geladen is. Veel hydrides zijn poedervormig en daardoor eenvoudig te vervoeren (uitgezonderd vervoer via buisleidingen). Door een hydride te verhitten, ontleedt het en komt waterstof vrij. Bij sommigen hydrides komt waterstof vrij door het met water te laten reageren. Een bekend voorbeeld van een hydride is natriumborhydride (NaBH₄). Het aandeel waterstof in NaBH₄ is zo'n 10 m.%. Bij het vrijmaken van waterstof uit NaBH₄ komt energie vrij, maar het hydrogeneringsproces kost energie.

Documentatie:

- > Dinalog (2020). [De betekenis van waterstof voor de Nederlandse logistieke sector: heilige graal of luchtballon?](#)
- > Pricewaterhouse Coopers (2021). [HyWay 27: waterstoftransport via het bestaande gasnetwerk?](#)
- > Sequiera, C. (2020). [Hydrogen Storage and Transportation](#).
- > Staalkaart groene waterstof (z.d.). [Opslag en Transport](#).
- > [Longread](#) van de Gasunie over onder andere transport van waterstof.
- > Pre-normative Research for Safe use of Liquid Hydrogen (PRESLHY, 2021). [Handbook of hydrogen safety: Chapter on LH2 safety](#).

1.3 Transport van waterstof(dragers) in 2022 en 2030

Welke vorm van waterstof gekozen wordt, hangt onder meer af van de afstand waarover waterstof wordt getransporteerd, van de schaalgrootte en van het eindgebruik. Voor afstanden tot 1000 km is het transporteren van gasvormig waterstof per buisleiding over het algemeen de goedkoopste optie. Boven de 1000 km kan het transport van waterstof als ammoniak of als LOHC goedkoper zijn. Als een stof omgezet moet worden (conversie), geeft dat verlies van energie-inhoud en is een extra transportstap nodig.

De (verwachte) manier waarop waterstof, waterstofdragers en ammoniak in Nederland vervoerd worden, staat beschreven in het rapport van Arcadis en Berenschot (2021). Een samenvatting daarvan staat in Tabel 1.1 en Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Het transport in 2022 van waterstof(dragers) (bron: Arcadis en Berenschot)

Stof	Weg	Water	Spoor	Buis
Gasvormig H ₂	Beperkt	Nee	Nee	Ja
Vloeibaar H ₂	Beperkt	Binnenvaart: nee Zeevaart: zeer beperkt	Nee	Nee
LOHC (MCH) ⁸	Nee	Nee	Nee	Nee
LOHC (PDBT) ⁸	Nee	Nee	Nee	Nee
Tot vloeistof verdicht NH ₃	Ja	Binnenvaart: ja Zeevaart: nee	Beperkt	Beperkt
Tot vloeistof gekoeld NH ₃	Verboden	Binnenvaart: nee ⁹ Zeevaart: incidenteel ¹⁰	Verboden	Nee, maar wel tussen fabrieken

⁸ MCH is MethylCycloHexaan, PDBT is Perhydro-DiBenzylTolueen.

⁹ Transport van tot vloeistof gekoeld ammoniak is wel mogelijk volgens ADN (zie ook paragraaf 2.1).

¹⁰ Informatie is afkomstig uit emailverkeer met transportbranche.

Tabel 1.2 Het transport in 2030 van waterstof(dragers) (bron: Arcadis en Berenschot)

Stof	Weg	Water	Spoor	Buis
<i>Gasvormig H₂</i>	Mogelijk stijging	Nee	Mogelijk beperkte toename	Ja
<i>Vloeibaar H₂</i>	Mogelijk toename	Binnenvaart: nee Zeevaart: mogelijk stijging	Mogelijk beperkte toename	Nee
<i>LOHC (MCH)</i>	Onbekend, maar is mogelijk	Onbekend, maar is mogelijk m.u.v. bepaalde vormen	Onbekend, maar is mogelijk m.u.v. bepaalde vormen	Onbekend, maar is mogelijk
<i>LOHC (PDBT)</i>	Onbekend, maar is mogelijk	Onbekend, maar is mogelijk	Onbekend, maar is mogelijk	Nee
<i>Tot vloeistof verdicht NH₃</i>	Mogelijk toename	Ja, maar hoeveelheid onbekend	Toename verwacht	Beperkt
<i>Tot vloeistof gekoeld NH₃</i>	Vermoedelijk nog steeds verboden	Mogelijk	Vermoedelijk nog steeds verboden	Nee, maar wel tussen fabrieken

Documentatie:

- > Arcadis en Berenschot (2021). [Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers](#).
- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2021). [Verslag over de werking van het Basisnet vervoer gevaarlijke stoffen in 2020](#).

2 Wet- en regelgeving

Het vervoer van gevaarlijke stoffen is aan regels verbonden. Het gaat hierbij om algemene regels en om regels die specifiek zijn voor de vervoersmodaliteit. Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen de wet- en regelgeving van het vervoer van gevaarlijke stoffen en geeft waar mogelijk aan welke regels specifiek gelden voor waterstof of afgeleide vormen daarvan.

2.1 Algemeen

- > **Wet vervoer gevaarlijke stoffen (Wvgs)**¹¹ – Deze wet heeft als doel de veiligheid van mensen en dieren te garanderen bij het transport van gevaarlijke stoffen over de weg, het spoor en over binnenwateren. Hoofdstuk III van de Wvgs gaat in op het Basisnet en hoofdstuk IV op routing van gevaarlijke stoffen. Artikel 47 schrijft voor dat ongevallen met transport van gevaarlijke stoffen gemeld moeten worden bij de ILT.

Het is voor Europese lidstaten verboden om extra eisen te stellen aan het vervoer van gevaarlijke stoffen. Nederland hanteert wel extra regels voor het beschermen van de veiligheid van omwonenden en voor het garanderen van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het stelsel van deze extra regels wordt Basisnet genoemd. Het Basisnet geeft zogenaamde risicoplafonds; dit zijn risicoafstanden uitgedrukt in meters vanaf de transportroute. Het vervoer van gevaarlijke stoffen over de transportroutes is toegestaan, zolang de risicoafstanden die dat met zich meebrengt niet de afgesproken risicoplafonds overschrijden.

Het routeren van gevaarlijke stoffen houdt in dat het Rijk, provincies en gemeenten routes kunnen aanwijzen die verplicht gevolgd moeten worden bij het vervoer van bepaalde gevaarlijke stoffen. Om hiervan af te wijken in verband met bevoorrading, is een ontheffing nodig.

- **Besluit vervoer gevaarlijke stoffen (Bvgs)** – In het Bvgs is vastgelegd dat voor het vervoer van gevaarlijke stoffen de internationale regelgeving voor de diverse modaliteiten wordt gevolgd. Voor transport over land is dit het ADR, voor transport over binnenwateren het ADN en voor transport per spoor het RID.¹²
 - **Regeling basisnet (Rb)** – Deze regeling geeft de hoogte van de risicoplafonds langs de transportroutes weer en geeft regels voor ruimtelijke ontwikkelingen langs transportroutes.
- > **Wet Milieubeheer** – Deze wet geeft onder andere aan dat met het oog op het beschermen van het milieu, milieukwaliteitseisen gesteld kunnen worden, bijvoorbeeld het in acht nemen van grenswaarden.
 - **Besluit externe veiligheid transportroutes (Bevt)** – Het Bevt stelt eisen aan transportroutes en de omgeving daarvan. De regels hebben betrekking op het plaatsgebonden risico, het groepsrisico en de verantwoordingsplicht voor het groepsrisico.

¹¹ Deze wet wordt ook wel Wet Basisnet genoemd.

¹² ADR = Accord Européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route, ADN = Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par voies de Navigation intérieure, RID = Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses.

Documentatie:

- > Website van de [Inspectie Leefomgeving en Transport](#) (ILT) over wet- en regelgeving gevaarlijke stoffen.
- > Website van [Evofenedex](#) over het vervoer van gevaarlijke stoffen.
- > Websites van InfoMil over beleid en regelgeving [Basisnet](#) en [buisleidingen](#).
- > Websites van Atlas Leefomgeving met [kaartviewers](#) van Basisnet en buisleidingen.
- > Raad van State (2022). [Tankstation in Purmerend mag LPG blijven verkopen](#).

Gasvormig waterstof onder druk (UN 1049) en vloeibaar waterstof (UN 1966) worden voor risicoberekeningen ten behoeve van Basisnet ingedeeld als GF0, dat wil zeggen een brandbaar gas ('gas flammable') waar niet aan gerekend hoeft te worden ten behoeve van externe veiligheid. Dit geldt voor vervoer over weg en water waarbij geen verschil is aangebracht tussen gasvormig waterstof onder druk en vloeibaar waterstof. Omdat het vervoer van gevaarlijke stoffen in klasse GF0 niet gemonitord wordt, zou waterstof in principe onbeperkt vervoerd kunnen worden over weg en water. Bij een verdere toename van het vervoer van waterstof over de weg, zal de indeling echter wijzigen naar GF3, dat wil zeggen een zeer brandbaar gas. Een dergelijke aanpassing heeft in het verleden ook plaatsgevonden bij LNG. Bij vervoer over spoor wordt wel onderscheid gemaakt: in de berekeningen wordt gasvormig waterstof onder druk wel meegenomen en vloeibaar waterstof niet.¹³

2.2 Weg

- > **Regeling vervoer over land van gevaarlijke stoffen (Vlg)** – De Vlg bevat specifieke voorschriften voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg binnen Nederland. De voorschriften hebben onder andere betrekking op het ADR, het vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels, de routing van gevaarlijke stoffen en het rijden met gevaarlijke stoffen bij slechte weersomstandigheden.
- > **ADR** – Het ADR bevat eisen, criteria en procedures voor onder andere de gevaarsindeling van gevaarlijke goederen, vervoersmiddelen, verpakkingen en tanks en voor etikettering en documentatie.

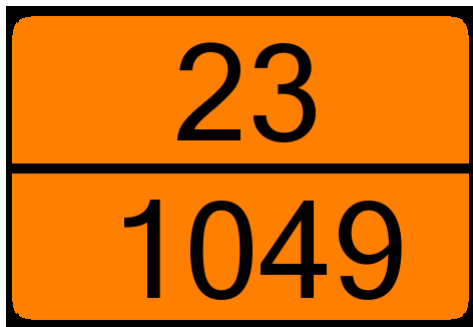
- > Het transport van waterstof en ammoniak is routeplichtig (Vlg, bijlage 2, hoofdstuk II, artikel 4, tabel 1).
- > Voor het transport van gasvormig waterstof (UN 1049) en vloeibare waterstof (UN 1966) geldt (ADR, 3.2.1):
 - Vervoer in tanks (bulkvervoer) is verboden in tunnels van categorie B, C, D en E.
 - Overig vervoer (bijvoorbeeld in gasflessen) is verboden in tunnels van categorie D en E.
- > Het transport van tot vloeistof gekoeld ammoniak is verboden (ADR, § 2.2.2.2).
- > Voor het transport van tot vloeistof verdicht ammoniak (UN 1005) geldt (ADR, § 3.2.1):
 - Vervoer in tanks (bulkvervoer) is verboden in tunnels van categorie C, D en E.
 - Overig vervoer (bijvoorbeeld in gasflessen) is verboden in tunnels van categorie D en E.

Documentatie:

- > [Wettekst](#) Vlg.
- > [Tekst](#) van de Europese overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg (ADR, 2021).

¹³ De mogelijkheid om waterstof mee te nemen in risicoberekeningen voor transport wordt momenteel onderzocht door het RIVM. Mogelijk dat op basis van de aanbevelingen het risicoberekeningspakket wordt aangepast.

- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021). [Overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg \(ADR\)](#).
- > [Dossier](#) van Evofenedex over het ADR en het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.



Het bovenste getal geeft het gevaar aan (brandbaar gas) en het onderste getal het UN-nummer.

Figuur 2.1 UN- of Kemler-bord voor het vervoer van gasvormig waterstof

2.3 Water

2.3.1 Binnenvaart

- > **Regeling vervoer over de binnenwateren van gevaarlijke stoffen (Vbg)** – De Vbg bevat specifieke voorschriften voor het vervoer van gevaarlijke stoffen per schip. De voorschriften hebben onder andere betrekking op het ADN, op het vervoer van gevaarlijke stoffen met zeeschepen op Nederlandse binnenwateren en op routing.¹⁴
- > **ADN** – Het ADN bevat eisen, criteria en procedures voor onder andere de gevaarsindeling van gevaarlijke goederen, vervoersvoorwaarden, verpakkingen en tanks en voor etikettering en documentatie.

Het transport van vloeibaar waterstof in ingebouwde schepstanks is niet toegestaan, wel in tankcontainers. Het transport van tot vloeistof verdicht ammoniak kent bij Dordrecht, Zwijndrecht en Papendrecht een verplichte vaarroute als de schepen meer dan 25 ton vloeibare ammoniak bevatten (Vbg, bijlage 3, artikel 3). Binnenvaartschepen moeten daar verplicht de Dordtse Kil volgen.

Documentatie:

- > Wettekst [Vbg](#).
- > [Tekst](#) van de Europese overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de binnenwateren (ADN, 2021).
- > Het VGM Handboek waterbouw geeft informatie over de wet- en regelgeving voor de [binnenvaart](#).

2.3.2 Zeevaart

- > **Schepenwet** – Deze wet regelt de constructieve (bouwkundige) veiligheid en de functie-eisen aan de bemanning van zeeschepen.¹⁵ Ook stelt de Schepenwet regels met het oog op de zorg voor het milieu.

¹⁴ Hoewel de scope van deze kennisbundel beperkt is tot transport, is het goed om te weten dat voor het verladen van containers – al dan niet met gevaarlijke stoffen – van en naar schepen (swappen) nog geen wetgeving bestaat.

¹⁵ Een zeeschip wordt als zodanig beschouwd als het over een certificaat van zeewaardigheid beschikt.

- **Schepenbesluit** – Het Schepenbesluit geeft onder andere voorschriften voor het certificeren van zeeschepen en voorschriften voor het vervoer van lading. In principe staan deze voorschriften los van elkaar, tenzij bepaalde lading alleen door daartoe gecertificeerde schepen mag worden vervoerd. Regels voor het vervoer van gevaarlijke stoffen worden beschreven in paragraaf 2 van het besluit en zijn afkomstig van de codes van de International Maritime Organisation (IMO).

Documentatie:

- > Het VGM Handboek waterbouw geeft informatie over de wet- en regelgeving voor de [zeevaart](#).

2.4 Spoor

- > **Regeling vervoer over de spoorwegen van gevaarlijke stoffen (Vsg)** – De Vlg bevat specifieke voorschriften voor het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor in Nederland. De voorschriften hebben onder andere betrekking op het RID en op het vervoer van specifieke stoffen (munitie en chloor).
- > **RID** – Het RID bevat eisen, criteria en procedures voor onder andere de gevaarsindeling van gevaarlijke goederen, vervoersvoorwaarden, verpakkingen en tanks en voor etikettering en documentatie.

Documentatie:

- > Wettekst [Vsg](#).
- > [Tekst](#) van het Reglement betreffende het internationaal spoorwegvervoer van gevaarlijke goederen (RID, 2021).

2.5 Buisleidingen

- > **Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb)** – Het Bevb heeft betrekking op buisleidingen met een druk van 16 bar of meer en geeft voorschriften voor zowel exploitanten als het bevoegd gezag.
- > **Regeling externe veiligheid buisleidingen (Revb)** – Het Revb geeft aan hoe de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen door buisleidingen berekend moet worden. Waterstofleidingen vallen in de categorie chemicaliënleidingen.

Belangrijke normen en standaarden voor waterstofleidingen met een druk van meer dan 16 bar staan beschreven in NEN 3650 (Transportleidingen), ASME B31.12 (Hydrogen Piping and Pipelines) en Gasunie Technische Standaarden.

Documentatie:

- > Wetteksten [Bevb](#) en [Revb](#).
- > Website van InfoMil met een [overzicht](#) van beleid en regelgeving voor buisleidingen met gevaarlijke stoffen.
- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2019). [Onderzoek technische aspecten van waterstof in bestaande buisleidingen t.b.v. de energietransitie](#).

2.6 Toekomstige regelgeving

Per 1 oktober 2022 of 1 januari 2023 gaat een groot deel van de huidige wet- en regelgeving op het gebied van ruimtelijke ordening en milieu ongewijzigd over in de Omgevingswet en de daaronder vallende besluiten. Bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet vervallen:

- > de Wet Milieubeheer
- > het Besluit externe veiligheid transport
- > het Besluit externe veiligheid buisleidingen
- > de Regeling externe veiligheid buisleidingen.

De Wvgs en de Regeling Basisnet (Rb) blijven behouden met de komst van de Omgevingswet. De tabellen met de risicoplafonds blijven (vooralsnog) behouden. De Omgevingsregeling (Or) legt een koppeling tussen de Omgevingswet en de tabellen van de Rb.

- > **Omgevingswet (Ow)** – De wet bundelt tientallen wetten met betrekking tot onder meer bouwen, milieu, water, ruimtelijke ordening en natuur. Het proces van vergunningverlening verandert hierdoor, maar de inhoudelijke afwegingen blijven grotendeels intact.
 - **Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)** – Het Bkl bevat instructieregels die het bevoegd gezag moet hanteren als het een aanvraag voor een omgevingsvergunning beoordeelt en wanneer het een omgevingsplan opstelt. Bijlage VII van het Bkl wijst het Basisnet en buisleidingen met gevaarlijke stoffen aan als milieubelastende activiteiten.

Documentatie:

- > Website van Omgevingsweb met [informatie](#) over wijzigingen in regelgeving.
- > Website van Informatiepunt Leefomgeving over [geconsolideerde teksten regelgeving](#).
- > Nieuwsblad Transport (2019). [CTGG: 'Meer realiteitszin nodig bij nieuwe regels gevaarlijke stoffen'](#).

Op de [website](#) van de Fuel Cells and Hydrogen Observatory (FCHO) wordt informatie gegeven van internationale en Europese commissies over normen die in 2020 gepubliceerd of gestart zijn. De normen hebben betrekking op diverse waterstofgerelateerde technieken en toepassingen.

3 Vergunningverlening

Bevoegd gezagen zijn overheden die een controlerende en handhavende functie hebben. Zij geven bijvoorbeeld vergunningen voor het produceren en opslaan van gevaarlijke stoffen. Bij het transport van gevaarlijke stoffen is er wel sprake van een bevoegd gezag, maar het transport is niet aan vergunningen onderhevig.¹⁶ Wel zijn er diverse organisaties en instanties die toezien op het veilig transporteren van gevaarlijke stoffen.

3.1 Toezichthouder

3.1.1 Weg, water en spoor

De regelingen die onder het Besluit vervoer gevaarlijke stoffen vallen (Vlg, Vbg en Vsg) bevatten overzichten van erkende Nederlandse instanties die een rol hebben in de uitvoering van de voorschriften van het ADR, ADN en het RID. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de ILT, TNO, CBR en havenmeesters, waarbij de ILT de belangrijkste rol heeft. De ILT controleert transporteurs van gevaarlijke stoffen en besteedt bepaalde taken uit aan keuringsinstanties.

De voorschriften waar toezicht op wordt gehouden, worden veelal beschreven in het ADR, ADN en RID en hebben onder meer betrekking op:

- > tunnels
- > stilstand (parkeren, station, emplacements en haven)
- > belading
- > uitrusting van het transportmiddel
- > opleiding en certificering van personeel
- > documenten en etikettering
- > keuring van het transportmiddel
- > de aanwezigheid van een veiligheidsadviseur.

Documentatie:

- > [Regeling](#) erkende instanties vervoer gevaarlijke stoffen.
- > Websites van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) over [transport gevaarlijke stoffen](#), waaronder de [binnenvaart](#), transport van gevaarlijke stoffen per [spoor](#) en over de [weg](#).
- > Politie (2021). [Diverse boetes bij vervoer gevaarlijke stoffen](#).

3.1.2 Buisleidingen

Bij buisleidingen zijn vergunningen vooral geregeld met het oog op de ruimtelijke ordening. De ILT is toezichthouder namens het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) waar het de naleving van het Bevb betreft.

Gemeenten moeten de ligging van buisleidingen met gevaarlijke stoffen en de daarbij behorende belemmeringsstroken vastleggen in bestemmingsplannen. Buisleidingen zijn ook

¹⁶ Bij omgevingsvergunningen kan wel sprake zijn van routeplicht.

weergegeven op de Provinciale Risicokaart. Afhankelijk van de locatie, de eigenaar van de grond en specifieke regelgeving is het lokale bevoegd gezag rechthebbend.

Nieuwe buisleidingen met gevaarlijke stoffen zijn soms MER-plichtig en vaak is er een bestemmingsplanwijziging nodig of een omgevingsvergunning vanwege afwijking van het bestemmingsplan. Het Bevb legt een link tussen het wijzigen van het plaatsgebonden risico van een buisleiding en ruimtelijke plannen: als het plaatsgebonden risico groter wordt, heeft de exploitant een omgevingsvergunning nodig als van het geldende bestemmingsplan wordt afgeweken.

Documentatie:

- > IenW (2012). [Structuurvisie Buisleidingen](#).
- > IenW en EZK (2018). [Structuurvisie Ondergrond](#).
- > Wind-Middel, I. (2015) [Ruimtelijk plannen met buisleidingen: verleden, heden en toekomst](#).
- > Website van de ILT over transport van gevaarlijke stoffen via [buisleidingen](#).
- > Vereniging van leidingeigenaren Nederland (Velin, 2021). [BEVB/REVB](#).

3.2 Meldingen, vergunningen en ontheffingen

Om goederen per vrachtwagen te mogen vervoeren, is een Eurovergunning nodig.¹⁷ Voor vervoer van goederen van of op weg naar het eigen bedrijf ('eigen vervoer') geldt geen vergunningplicht.

Als het vervoer van gevaarlijke stoffen niet kan voldoen aan de gestelde eisen, is het in bepaalde gevallen mogelijk een ontheffing aan te vragen, bijvoorbeeld als men wil afwijken van de routing of als men ergens wil parkeren. Daarnaast kan er toestemming worden aangevraagd als de bevoegde autoriteit volgens de vervoersregelgeving een toestemming kan verlenen. Ook kunnen bedrijven erkenning aanvragen voor het uitvoeren van bepaalde handelingen.

Documentatie:

- > Informatie van de ILT over [regels tijdens vervoer gevaarlijke stoffen over de weg](#) en over het [aanvragen van ontheffing, toestemming of erkenning](#).
- > [Informatie](#) van Ondernemersplein over het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.

¹⁷ Deze vergunning wordt ook wel communautaire vergunning genoemd.

4 Beperken van gevaren

Dit hoofdstuk beschrijft de eigenschappen en gevaren van (de diverse vormen van) waterstof en de maatregelen die genomen kunnen worden om de kans op en de effecten van het vrijkomen van (vormen van) waterstof tijdens transport te voorkomen en te beperken.

4.1 Gevaren van (vormen van) waterstof

4.1.1 Gasvormig waterstof

- > Waterstof is bij standaard temperatuur en druk (20 °C en 1 atmosfeer) gasvormig.
- > Waterstof heeft geen kleur, geen geur, geen smaak en is niet giftig. Het wordt daardoor niet waargenomen als het vrijkomt.
- > Waterstof is veel lichter dan lucht, wat zorgt voor een groot stijgend vermogen.
- > Waterstof heeft een breed ontvlambaarheidsgebied (4 - 75 vol. %) en ontsteekt relatief makkelijk.
- > Waterstofgas lekt relatief makkelijk.
- > Waterstofvlammen zijn nauwelijks zichtbaar, zijn zeer heet maar stralen relatief weinig warmte uit.
- > Waterstof verbrandt snel en een vertraagde ontsteking van hoge concentraties kan een explosie geven.
- > Waterstof kan leiden tot verbrossing van metalen doordat het in de haarscheurtjes van het metaal opgesloten raakt.
- > In besloten ruimtes kan waterstof zuurstof verdringen.

Documentatie:

- > Brandweer Nederland (2019). [Aandachtskaart Waterstof \(drukhouder, gasvormig\)](#).
- > Linde Gas (2021). Safety data sheet [Hydrogen - compressed](#).

4.1.2 Vloeibaar waterstof

Bij het vrijkomen van vloeibaar waterstof zal dit snel verdampen tot gasvormig waterstof. De gevaren van vloeibaar waterstof komen dan ook overeen met de gevaren van gasvormig waterstof, maar vanwege de zeer lage temperatuur van vloeibaar waterstof kent dit nog de volgende gevaren:

- > Koude waterwaterstofdampen zijn zwaarder dan lucht en zakken uit naar de grond, waardoor ze zich kunnen ophopen in besloten ruimtes zoals riolen.
- > In contact met vloeibaar waterstof of met koude waterstofdampen daarvan bestaat gevaar op bevriezing van lichaamsdelen.
- > Koud waterstofgas kan na verdamping alsnog op afstand ontsteken.
- > Materialen kunnen falen door de lage temperatuur van vloeibaar waterstof.

Documentatie:

- > Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2021). [Waterstofinstallaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen](#).

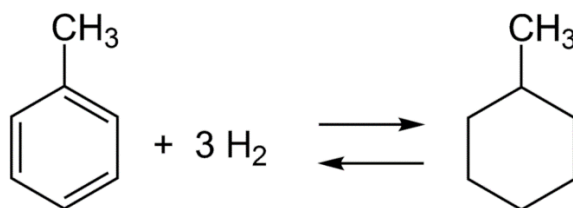
- > European Industrial Gases Association (EIGA, 2002). [Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen](#).



Figuur 4.1 Opslagtank met tot vloeistof verdicht waterstof (bron: Shutterstock)

4.1.3 LOHC

LOHC is een verzamelnaam van organische verbindingen die als drager voor waterstof fungeren. In spraakgebruik met betrekking tot LOHC's wordt echter vaak de verbinding die géén waterstof heeft opgenomen, als drager aangeduid. Dit is onjuist.¹⁸ In Figuur 4.2 is methylcyclohexaan de drager en niet toluen.



Figuur 4.2 Hydrogeneren van toluen (links) geeft methylcyclohexaan (rechts)

De fysisch eigenschappen en de gevaarseigenschappen verschillen per drager en kunnen veranderen als de stof waterstof heeft afgestaan.

Methylcyclohexaan is een brandbare kleurloze vloeistof met een kenmerkende geur die onoplosbaar is in water. Het in grote hoeveelheden inademen van de damp kan slaperigheid veroorzaken. Aanraking van de vloeistof kan de huid irriteren.

¹⁸ Niet-gehydrogeneerde stoffen zijn vaak aromatische koolwaterstoffen, dat wil zeggen moleculen met een vlakke ringstructuur die afwisselend enkelvoudige en dubbele bindingen bevatten. Als deze moleculen waterstof opnemen, worden de dubbele bindingen verbroken en worden enkelvoudige verbindingen met waterstof gemaakt. Het is gebruikelijk om enkelvoudige verbindingen tussen koolstof en waterstof niet aan te geven in de structuurformule.

Tolueen is net als methylcyclohexaan een brandbare kleurloze vloeistof met een kenmerkende geur. De (gevaars)eigenschappen komen voor een groot deel overeen met die van methylcyclohexaan. Tolueen is een bestanddeel van thinner, benzine en van bandenplakmiddel.

Documentatie:

- > Carl Roth (2021). Veiligheidsinformatieblad [tolueen](#).
- > Sigma-Aldrich (2022). Veiligheidsinformatieblad [methylcyclohexaan](#).

4.1.4 Ammoniak

Ammoniak (NH₃) is een kleurloos gas met een sterk prikkelende geur. De stof is goed oplosbaar in water en wordt dan ammonia genoemd.¹⁹ Ammoniak brandt slecht en het belangrijkste gevaar van ammoniak is de prikkelende en bijtende werking op ogen en op de ademhaling.²⁰ In grote hoeveelheden wordt ammoniak tot vloeistof gekoeld (-33 °) of tot vloeistof verdicht (8-10 bar).

Documentatie:

- > RIVM (2017). Probit function technical support document - [20170606-ammonia](#).
- > RIVM (2021). [Interventiewaarden voor incidentbestrijding: interventiewaarden, stofdocumenten en handleiding](#).
- > Fertilizers Europe (2014). [Guidance for transporting ammonia by rail](#).

4.1.5 Hydrides

Een bekend hydride is NaBH₄, een wit poeder. De stof is hygroscopisch, wat wil zeggen dat het vocht uit de lucht aantrekt waardoor de poeder klonterig wordt. De reactie met water is heftig en er ontstaan natriumhydroxide, een bijtende vloeistof, en waterstof. Bij de reactie komt warmte vrij en deze kan voldoende zijn om de ontvlambare waterstof te ontsteken.

Documentatie:

- > Alfa (2021). Veiligheidsinformatieblad [sodium borohydride](#).

4.2 Gevaren van opslagsystemen

4.2.1 Gasvormig waterstof

Een cilinder of een tube met gasvormig waterstof kan door opwarming door een brand beschadigd raken of zelfs bezwijken door een te hoge inwendige druk. Beschadiging kan ook veroorzaakt worden door externe impact of door bijtende en corrosieve stoffen. Voor leidingen met gasvormig waterstof is het grootste gevaar beschadiging of falen door graafschade, corrosie of te hoge spanningen in het leidingmateriaal.

Een gat in een cilinder, tube of leiding geeft bij directe ontsteking een fakkel. Als het vrijgekomen waterstof niet direct ontsteekt, ontstaat een waterstofwolk. De uitstroom gaat gepaard met geluid dat dermate hard kan zijn, dat het pijn doet aan het gehoor. Als de wolk na enige tijd ontsteekt, ontstaat een wolkbrand (zonder overdruk) of een explosie (met overdruk). Dit is afhankelijk van de omstandigheden.

¹⁹ Niet te verwarren met de Engelse term 'ammonia' dat gebruikt voor gasvormig ammoniak.

²⁰ De alarmeringsgrenswaarde (AGW) van NH₃ bij 1 uur blootstelling is 140 mg/m³ = 198 ppm.

Als een cilinder of tube instantaan faalt, ontstaat er ook een explosie. Dit is een fysische explosie terwijl een explosie van een waterstofwolk een chemische explosie is.

Documentatie:

- > Scenarioboek Externe Veiligheid (2018). [Cilinderpakket Waterstof - Fakkelfbrand](#) en [Tubetrailer Waterstof - Fakkelfbrand](#).
- > Scenarioboek Externe Veiligheid (2020). [Cilinderpakket Waterstof – Explosie](#) en [Tubetrailer Waterstof – Explosie](#).
- > IFV (2021). [Berekeningen aan waterstoffakkels met behulp van HyRAM](#).

4.2.2 Vloeibaar waterstof

De opslag van vloeibaar waterstof in geïsoleerde tanks brengt voor een deel dezelfde gevaren met zich mee als de opslag van gasvormig waterstof in cilinders of tubes. Daarnaast gelden bij vloeibaar waterstof nog de volgende gevaren:

- > Een tank met vloeibaar waterstof kan falen door opwarming door zonnewarmte, slechte isolatie en door aanstraling door een externe brand.
- > Vloeibaar waterstof heeft een temperatuur van -253 °C . Het lekken van lucht bij systemen met vloeibaar waterstof kan ertoe leiden dat lucht vloeibaar wordt of zelfs stolt tot een vaste stof waardoor apparatuur faalt.

Het is niet duidelijk of bij vloeibaar waterstof een BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) en/of een RPT (Rapid Phase Transition) kan ontstaan. Een BLEVE is een fysische explosie die ontstaat wanneer een opslagvat met een tot vloeistof verdicht gas catastrofaal faalt. Een RPT is een heel ander fenomeen. Bij een RPT verdampst een zeer koude vloeistof zeer snel wanneer deze in contact komt met een warmere vloeistof. Een BLEVE is een bekend fenomeen bij bijvoorbeeld LPG, terwijl een RPT voorkomt bij LNG. PGS 35 en onderzoekers van het Europese PRESPLY-project benoemen het gevaar van een BLEVE, terwijl de HSE het gevaar van een RPT aangeeft.

Documentatie:

- > Air Products (2021). [Liquid hydrogen](#).
- > Aziz, M. (2021). [Liquid Hydrogen: A Review on Liquefaction, Storage, Transportation, and Safety](#).
- > Health and Safety Executive (HSE, 2010). [Hazards of liquid hydrogen](#).
- > Pre-normative Research for Safe use of Liquid Hydrogen (PRESLHY, 2021). [Handbook of hydrogen safety: Chapter on LH2 safety](#).

4.2.3 LOHC

LOHC is een verzamelnaam van diverse cyclische organische verbindingen. De eigenschappen van deze verbindingen lopen nogal uiteen en kunnen sterk veranderen op het moment dat waterstof opgenomen is. Verbindingen kunnen verschillen in brandbaarheid en in giftigheid.

Documentatie:

- > Rao, P.C. en Yoon, M. (2020). [Potential Liquid-Organic Hydrogen Carrier \(LOHC\) Systems: A Review on Recent Progress](#).

4.2.4 Ammoniak

Ammoniak heeft een kenmerkende geur en heeft een lage geurdrempel. Ammoniak kan als gas, als tot vloeistof verdicht gas en als tot vloeistof gekoeld gas vrijkomen.

- > Als gasvormig ammoniak vrijkomt uit een vat met tot vloeistof verdicht ammoniak, zal de vloeibare ammoniak gaan koken en voor een continue uitstroom van gasvormig waterstof zorgen. Door afkoelen van de vloeibare ammoniak zal verdamping in de loop der tijd langzamer gaan en daarmee ook het vrijkomen van gasvormig ammoniak.
- > Bij een groot lek in een vat met tot vloeistof verdicht ammoniak zal vloeibaar ammoniak op de grond terecht komen en een plas vormen terwijl de druk in het vat wegvat. Het vloeibare ammoniak verdampt snel en heftig, waardoor een deel van de vloeibare ammoniak als nevel met de gasvormige ammoniak mee de atmosfeer in wordt gevoerd.
- > Bij een lek in een vat met tot vloeistof gekoeld ammoniak zal vloeibare ammoniak op de grond terecht komen, een plas vormen en snel verdampen. De verdampingssnelheid wordt in de loop der tijd steeds kleiner.

Documentatie:

- > PGS (2021). [PGS 12: Ammoniak - Opslag en verlading](#).
- > Brandweer Nederland (2021). Operationeel naslagwerk - Incidentbestrijding gevaarlijke stoffen (IBGS).²¹

4.2.5 Hydrides

Poedervormige hydrides als NaBH_4 worden onder atmosferische condities bewaard. Bij het kapotgaan van de verpakking in de buitenlucht kan de stof zich verspreiden door de wind. Hydrides reageren met water, waarbij zich waterstof vormt. Bij NaBH_4 gaat dat relatief rustig, maar de reactie van water met lithiumaluminiumhydride (LiAlH_4) is zeer heftig.

NaBH_4 is in mei 2021 ingedeeld als zeer zorgwekkende stof (ZZS). Het is niet duidelijk of dit ook betekent dat de stof niet ingezet wordt als waterstofdrager.

Documentatie:

- > PubChem (z.d.) [Sodium borohydride](#).
- > RIVM (2021). [Zeer zorgwekkende stoffen](#).

4.3 Risicobeheersing

De Europese regels voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg, water en spoor staan beschreven in respectievelijk het ADR, ADN en RID. Deze regelgeving is zeer uitgebreid en beschrijft de maatregelen die getroffen moeten worden om het vervoer van iedere gevaarlijke stof zo veilig mogelijk te laten verlopen. Het voldoen aan deze Europese regelgeving leidt er dus in principe toe dat het vervoer van gevaarlijke stoffen veilig plaats kan vinden.

Het stilstaan of -liggen van het vervoersmiddel leidt tot grotere risico's, omdat gevaarlijke stoffen dan gedurende langere tijd op een bepaald punt van de transportroute aanwezig zijn. Het gaat dan bijvoorbeeld om het parkeren van vrachtwagens, het schutten van binnenvaartschepen en het rangeren van spoorketelwagens op emplacementen. Het ADR en het ADN hebben hier ook regels voor opgesteld. Voor rangeren geldt geen expliciete regelgeving.

²¹ Dit document is niet openbaar toegankelijk. De veiligheidsregio's beschikken er echter wel over.

Bij buisleidingen is graafschade de belangrijkste faaloorzaak. Dit kan voorkomen worden als de grondroerder voorafgaand aan de graafwerkzaamheden deze meldt bij het Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC-melding). Andere maatregelen zijn bijvoorbeeld het strikt begeleiden van graafwerkzaamheden of het toevoegen van extra gronddekking.

Documentatie:

- > RIVM (2021). Bijlage Randvoorwaarden reductiefactoren in de [Handleiding risicoberekeningen Bevb.](#)
- > IFV (2020). [Veiligheidsaspecten van waterstof in een besloten ruimte.](#)
- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2019). [Onderzoek technische aspecten van waterstof in bestaande buisleidingen t.b.v. de energietransitie.](#)
- > Rijkswaterstaat (1994). [Syllabus Schutten kegelschepen](#)

4.4 Incidentbestrijding

Elk incident met cilinders, tubes of buisleidingen met waterstof, waterstofdragers of ammoniak moet beschouwd worden als een ongeval met een gevaarlijke stof. De veiligheidsregio's hebben adviseurs gevaarlijke stoffen in dienst die getraind en opgeleid zijn om bij een repressieve inzet de hulpverleners advies te geven. Een belangrijk hulpmiddel daarbij is het operationeel naslagwerk van Brandweer Nederland over incidentbestrijding gevaarlijke stoffen (IBGS). Dit document is niet online beschikbaar, maar alle brandweerkorpsen beschikken erover.

Bij een incident bij het vervoer van gevaarlijke stoffen moet eerst duidelijk zijn welk stof of stoffen betrokken zijn. Identificatie kan op verschillende manieren, zoals via gevaarsetiketten, vervoersdocumenten, codes op de oranje Kemler-borden et cetera. Eén van de belangrijkste vragen hierbij is of een stof brandbaar, explosief en/of giftig is. Zodra dit duidelijk is, kunnen de inzetstrategie en de bijbehorende beschermingsmiddelen bepaald worden.

De volgende maatregelen zijn belangrijk, ongeacht welke gevaarlijke stof vrijkomt:

- > gebruiken van persoonlijke beschermingsmiddelen
- > inschakelen van de bedrijfsdeskundige
- > bepalen van de omvang van de vloeistofplas of gaswolk
- > uitbreiding voorkomen door:
 - beperken van de uitstroming
 - beperken van de verdamping
- > escalatie voorkomen door:
 - beperken van de wolk met gevaarlijke stof
 - voorkomen van ontsteking
 - voorkomen of beperken van een explosieve atmosfeer
 - aanhouden van voldoende afstand.

De manier waarop bovenstaande maatregelen uitgevoerd kunnen worden, verschilt per situatie. Naast de hierboven genoemde maatregelen zijn er per waterstof(drager) enkele specifieke aandachtspunten te benoemen.

Gasvormig waterstof

Aandachtspunten bij het vrijkomen van gasvormig waterstof uit een tank of een buisleiding zijn:

- > Als uitstroom in een besloten ruimte plaatsvindt, kan waterstof verdreven worden door de ruimte te ventileren.
- > Waterstof geeft bij ontsteking een nauwelijks zichtbare vlam (fakkel).
- > Een waterstoffakkel kan niet geblust worden.
- > Bij het koelen van waterstofcilinders of -tubes moet voorkomen worden dat overdrukventielen niet meer kunnen functioneren door ijsafzetting.
- > Bij een lek in een grote buisleiding kan het lang duren voordat de toevoer gestopt is.
- > De uitstroom van waterstof onder hoge druk kan de communicatie verstoren vanwege de herrie die ermee gepaard gaat.
- > Bij een te hoge temperatuur in een cilinder of tube met waterstof blaast het systeem af via een afblaasveiligheid. Bij het benaderen van het incident moet hier rekening mee worden gehouden, aangezien het afgeblazen gas kan ontsteken.

Documentatie:

- > Brandweer Nederland (2019). [Aandachtskaart H₂ brandstoftanks](#).
- > IFV (2018). [Handreiking voorbereiding bestrijding buisleidingincidenten](#).



Figuur 4.3 Ter illustratie: omgevallen tankauto geladen met gevaarlijke stoffen (bron: [Nieuwsblad](#))

Vloeibaar waterstof

Bij het vrijkomen van vloeibaar waterstof, zal de stof verdampen tot gasvormig waterstof. De bestrijding van een incident met vloeibaar waterstof kent dan ook een aantal overeenkomsten met die van een incident met gasvormig waterstof. Bij een inzet waar vloeibaar waterstof bij betrokken is, gelden daarnaast nog de volgende aandachtspunten:

- > Geen gebonden waterstraal gebruiken.

- > Alles wat in aanraking komt met vloeibaar waterstof (lucht, water, apparatuur) zal bevriezen, waardoor het zicht op het lek of het incident bemoeilijkt wordt.

Documentatie:

- > Air Products (2021). [Safetygram for Liquid Hydrogen](#).
- > Hydrogen Tools (z.d.) [Liquid hydrogen fires](#).
- > Linde (2021). [Safety data sheet - Hydrogen, refrigerated liquid](#).

4.4.1 Ammoniak

Aandachtspunten bij het vrijkomen van ammoniak uit een tank of een buisleiding zijn:

- > Geen water spuiten in een grote plas vloeibaar ammoniak. Toevoer van water zorgt voor sterkere verdamping.
- > Bij afdekken van een plas vloeibaar ammoniak met schuim moet rekening worden gehouden met het verwaaien van het schuim.

Voor ammoniak bestaat een landelijke regeling die ervoor zorgt dat producenten en/of gebruikers bij incidenten bijstand verlenen in de vorm van technisch advies, al dan niet ter plaatse. Inzet van deze bijstand verloopt via de veiligheidsregio.

Documentatie:

- > PGS (2021). [PGS 12: Ammoniak - Opslag en verlading](#).
- > Scenarioboek Externe Veiligheid (2018). [Tankwagen ammoniak](#), [Ketelwagen ammoniak](#), [Binnenvaarttanker ammoniak](#).
- > [Website](#) van de Intervention in Chemical transport Emergencies (ICE) over assistentie bij incidenten.

Hydride

NaBH_4 vormt in contact met water waterstofgas. Aandachtspunten bij het vrijkomen van deze stof zijn:

- > Blussing van een brand kan het best met droog zand gebeuren.
- > Wanneer NaBH_4 in contact is gekomen met water, moet rekening worden gehouden met drukopbouw in het vat en met de aanwezigheid van gasvormig waterstof.

Documentatie:

- > Brandweer Nederland (2021). Operationeel naslagwerk - Incidentbestrijding gevaarlijke stoffen (IBGS).²¹

5 Overige informatie

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van rapporten en websites die nog niet genoemd zijn in dit document, maar mogelijk wel interessant zijn voor de lezer.

- > Website van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart ([CCR](#)) die reglementen opstelt om de scheepvaart op de Rijn te reguleren.
- > DNV-GL (2017). [Verkenning waterstofinfrastructuur](#).
- > NFPA (2020). [Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code](#).
- > Expertise en Innovatiecentrum Binnenvaart (EICB, 2020). [Waterstof in binnenvaart en short sea - een inventarisatie van innovatieprojecten](#) (waterstof voor de voortstuwing).
- > Nieuwsbericht van de Haven van Rotterdam over een [studie naar grootschalige import van waterstof](#).
- > [Website](#) van de Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office over het leveren van waterstof.
- > HyWay 27 (2021). [Waterstoftransport via het bestaande gasnetwerk?](#)
- > National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2015). [Hydrogen Technologies Safety Guide](#).