



Inventarisatie H₂-tankoplossingen

Voor de afval- en reinigingsbranche

12-01-2022



Samenvatting

Inventarisatie H₂-tankoplossingen voor de afval- en reinigingsbranche

- Het wagenpark in de afval- en reinigingsbranche is divers: afvalinzamelingsvoertuigen, vrachtwagens, veegmachines, zware bedrijfsvoertuigen N₂ en lichte bedrijfsvoertuigen N₁. Uitstootvrij rijden kan worden bereikt door de inzet van waterstof- en batterij-elektrische voertuigen. De inzet van waterstof ligt het meest voor de hand voor vuilnis- en vrachtwagens en veegmachines vanwege het hoge energieverbruik¹ per shift.
- Wanneer er FCEV voertuigen worden inzet, is een H₂-tankinfrastructuur noodzakelijk. Voor de afval- en reinigingsbranche onderscheiden we vier tankoplossingen voor verschillende toepassingen.



1. Mobiel H₂-tankstation²

Starten met FCEV-voertuigen

Het mobiele station is geschikt als kennismaking met waterstof of tussenoplossing voor een vloot van één tot vijf voertuigen.



2. Publiek H₂-tankstation²

Opschaling: publiek H₂ tanken

De nabijheid van een publiek H₂-tankstation maakt de overstap naar waterstof op kleine én grote schaal mogelijk.



3. Dedicated H₂-tankstation²

Oplossing op maat

Van kleine tót grote schaal tanken van waterstof op eigen terrein.



4. Semipubliek H₂-tankstation²

Schaalvergroting door samenwerking

Een semipubliek H₂-tankstation is toegankelijk voor een selecte groep partijen.




¹ De opbouw van een huisvuilwagen en de apparatuur van een veegmachine zorgt voor extra energievraag en daarmee voor een significante afname van de actieradius (kilometrage) en/of aantal draaiuren. Om voldoende energie aan boord te hebben, is waterstof als energiedrager een logische keuze. De investeringskosten voor batterij-elektrische en waterstofhuisvuilwagens zijn op dit moment respectievelijk twee en drie keer zo hoog als een huisvuilwagen die op diesel rijdt.

² Mobiel H₂-tankstation (bron-1), Publiek H₂-tankstation (bron-2), Dedicated H₂-tankstation (bron-3), Semipubliek H₂-tankstation (bron-4). Bronnen zijn opgenomen in bijlage 5.





Samenvatting

Inventarisatie H₂-tankoplossingen voor de afval- en reinigingsbranche

Tankoplossing	Toegankelijkheid	Kernpunten	Aanvoer H ₂	Max. technisch haalbare afname (kg H ₂ /dag)	Kostenindicatie ¹	TRL ²
1a. Mobiel tankstation: Container of semi-permanent	Privaat. Niet openbaar toegankelijk.	<ul style="list-style-type: none"> Eerste ervaring opdoen met de inzet van waterstof of overbrugging tot een permanent station <i>Slow-fill</i>: 1-4 uur tanken 	Trailer	20 - 50 kg/dag ³  1 tankpunt  1-5 voertuigen  1-2 voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> Leasekosten H₂-systeem: 2.500 – 8.500 €/wk⁴. Prijs H₂: ~15 €/kg 	TRL 7-8
1b. Mobiel tankstation: Gastanks	Privaat. Niet openbaar toegankelijk.	<ul style="list-style-type: none"> Toepasbaar voor kleine veegmachines Eerste ervaring opdoen met de inzet van waterstof <i>Wisselen gasfles</i>: 5 min 	Trailer	2 - 20 kg/dag ⁶  1-10 voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> Prijs H₂: 20 - 25 €/kg H₂ 	TRL 7-8
2. Publiek H₂-tankstation	Publiek toegankelijk voor iedere partij.	<ul style="list-style-type: none"> <i>Fast-fill</i>: 10-15 min tanken Behoeft geen investering van reinigingsorganisatie Afhankelijk van externe partij (locatie, realisatie-termijn en performance) 	Trailer, on-site productie of pijplijn	100 – 1000 kg/dag  1-3 tankpunten  10-100 voertuigen  5 – 35 voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> Marktprijs: 8 – 14.50 € / kg H₂ H₂-prijs van 10 €/kg; vergelijkbaar met brandstofkosten benzine 	TRL 7-8



Legenda

-  # tankpunten
-  # Veegmachine klein (1m³)
-  # Veegmachine middel (2 – 4.5 m³)
-  # vuilnis- vrachtwagens

¹ Indicatief. Investerings- en periodieke kosten zijn sterk afhankelijk van set-up van tankoplossing (350 en/of 700 bar, # tankpunten, afname kg H₂/dag). De kosten per tankoplossing zijn in de eenheid gepresenteerd zoals aangeboden door leveranciers en passend voor de betreffende tankoplossing (€ kg / H₂, lease- en investeringskosten, periodieke beheers- en onderhoudskosten).

² Technology Readiness Level: zie bijlage 2.

³ Gemiddelde grootte: vracht- en vuilniswagen (t/m 27.5 ton) 20 - 40 kg (350 bar), veegmachine middel (2 – 4.5 m³): 5 – 15 kg (700 bar).






⁴ Leaseprijs is sterk afhankelijk van looptijd van het contract.

⁵ Lagere TLR dan de andere tankoplossingen omdat deze op kleinere schaal wordt toegepast en nog minder ver doorontwikkeld is.

⁶ Een veegmachine (1m³) heeft 1.8 kg H₂ aan boord, hiermee is een inzet van één à anderhalve dag mogelijk.

Samenvatting

Inventarisatie H2-tankoplossingen voor de afval- en reinigingsbranche

Tankoplossing	Toegankelijkheid	Kernpunten	Aanvoer H2	Max. technisch haalbare afname (kg H2/dag)	Kostenindicatie ¹	TRL ²
3. Dedicated H2-tankstation	Privaat. Niet openbaar toegankelijk	<ul style="list-style-type: none"> • Modulaire en schaalbare maatwerkoplossing die aansluit op behoefte wagenpark • <i>Slow-fill</i>: 1-4 uur tanken • <i>Fast-fill</i>: óók mogelijk. Zie specificaties tankoplossing 4 	Trailer, on-site productie of pijplijn	20 – 150 kg/dag ³  1-2 tankpunten  2 – 15 voertuigen  1 – 10 voertuigen	Kent significante investeringskosten. In de praktijk investeert exploitant en betaalt reinigingsorganisatie leasebedrag en/of H2-prijs. <ul style="list-style-type: none"> • Maandelijkse leasekosten: €3.000 - €8000 €/maand 	TRL 7-8
4. Semipubliek H2-tankstation	Toegankelijk voor een selecte groep partijen	<ul style="list-style-type: none"> • Modulaire en schaalbare maatwerkoplossing die aansluit op behoefte wagenparken • Afhankelijk van behoefte van samenwerkingspartners (o.a. locatie) • <i>Fast-fill</i>: 5-15 min tanken • <i>Slow-fill</i> óók mogelijk. Zie specificaties tankoplossing 3 	Trailer, on-site productie of pijplijn	100 – 1000 kg/dag  1-3 tankpunten  10-100 voertuigen  5-35 voertuigen	Kent significante investeringskosten. In de praktijk investeert exploitant en betaalt reinigingsorganisatie leasebedrag en/of H2-prijs.	TRL 7-8



¹ Indicatieve kosten. Investerings- en periodieke kosten zijn sterk afhankelijk van set-up van H2-tankoplossing (350 en/of 700 bar, # tankpunten, afname kg H2/dag). De kosten per tankoplossing zijn in de eenheid gepresenteerd zoals aangeboden door leveranciers en passend is voor de betreffende tankoplossing (€ kg / H2, leasekosten, investeringskosten, periodieke beheers- en onderhoudskosten).

² Technology Readiness Level: zie bijlage 2.

³ Uitgangspunt slow-fill systeem met een 350 en 700 bar tankpunt. Verdere opschaling is mogelijk door twee of meerdere tanksystemen te realiseren of door de kiezen voor een fast-fill systeem.

⁴ H2-prijs afhankelijk van keuze type waterstof (grijs, blauw of groene), productiemethode, aanvoermethode- en volume. Productiekosten (Hydrogen Strategy EC, juli 2020): groene waterstof geproduceerd uit hernieuwbare energie bedraagt 3-6 €/kg H2. Transportkosten kleinschalige transport (20-150 kg): 4-10 €/kg H2. Transportkosten grootschalige transport (200 – 300 kg) 1.0 - 1.5 €/kg H2

Inhoudsopgave

Inventarisatie H₂-tankoplossingen voor de afval – en reinigingsbranche

Samenvatting

1. Introductie & Context
2. Ontwikkelingen H₂-infrastructuur
3. Waterstofketen
 - 3.1 H₂-tankoplossingen
 - 3.2 Transport en opslag van waterstof
 - 3.3 Productie van waterstof
4. Vervolgstappen

Bijlagen



1. Introductie & Context

Afval- en Reinigingsvoertuigen vanaf 2030 zero emissie

Context en aanleiding

De duurzaamheidsambities binnen de Nederlandse mobiliteitssector groeit. Steeds meer steden maken zero-emissiezones bekend voor vracht- en bestelwagens.¹ Daarbij gelden er vanuit de Europese 'Clean Vehicles Directive' richtlijnen met betrekking tot de inkoop van overheidsvoertuigen². Ook de reinigingsbranche spreekt haar ambities uit; in 2019 is met twintig overheids- en marktpartijen, waaronder afval- en reinigingsorganisaties, een convenant³ getekend met als doel: verduurzamen van de vloot van reinigings- en afvalinzamelingsvoertuigen (zie bijlage 6). Vanaf 1 januari 2030, of eerder waar mogelijk, zijn alle nieuw aan te schaffen reinigingsvoertuigen zero-emissie. In 2020 is het 'Plan van Aanpak: Op weg naar een zero-emissiewagenpark'⁴ opgesteld als handreiking om aan de slag te gaan met de in het convenant gestelde doelstelling. Dit rapport over H₂-tankoplossingen dient hierbij als volgende stap wanneer u besluit met waterstofvoertuigen aan de slag te gaan.

Doel en scope

Vanuit de deelnemers van het convenant én vanuit de werkgroep H₂-reinigingsvoertuigen komen vragen over tankvoorzieningen en –mogelijkheden. In dit rapport wordt een handzaam overzicht gepresenteerd waarin we u overzicht geven van de mogelijke H₂-tankoplossingen. De focus ligt in deze handreiking op H₂-tankoplossingen voor vuilnis- en veegwagens, maar ze zijn tevens geschikt voor andere modaliteiten. Deze rapportage is opgesteld als één van de activiteiten vanuit het Actieprogramma Waterstof en Mobiliteit⁵. Voor deze inventarisatie zijn dertien partijen geïnterviewd, waaronder leveranciers van H₂-tankinfrastructuur, gebruikers en experts uit Actieprogramma Waterstof en Mobiliteit. De verkregen informatie is aangevuld met deskresearch.

Leeswijzer

Allereerst komt de inventarisatie van verschillende tankoplossingen aan bod. Per tankoplossingen worden de belangrijkste technische, operationele, organisatorische, financiële en juridische aspecten uitgelicht. Vervolgens worden de verschillende manieren in kaart gebracht waarop waterstof aangevoerd en geproduceerd kan worden. Afsluitend wordt ingegaan op de stappen die u kunt zetten om aan de slag te gaan met een passende waterstoftankoplossing voor uw wagenpark.



¹ In het Klimaatakkoord is afgesproken dat er in 2030 in de 30 tot 40 grotere gemeenten zogeheten Zero Emissie Zones stadslogistiek ingevoerd gaan worden. Alle bestel- en vrachtauto's die rondrijden in de zero-emissiezone moeten vanaf 1 januari 2030 zero-emissie zijn.

² European Commission (6-11-2020), Clean Vehicles Directive (bron-5, bijlage 5). Aanschaf voertuigen door overheidsorganisaties: in 2030 dient 15% van de nieuw aangeschafte vloot op een schone brandstof te rijden.

³ Rijkswaterstaat (4-11-2020), Convenant Duurzame Voertuigen en Brandstoffen in de Reinigingsbranche (bron-6, bijlage 5)

⁴ Dit rapport is te vinden op de website van Rijkswaterstaat (bron-7, bijlage 5)

⁵ NWP (2021) Werkplan Nationaal Waterstof Programma 2022-2025 (zie bijlage 1)

2. Ontwikkelingen H₂-infrastructuur

Er worden grote stappen gezet richting een basisnetwerk van H₂-tankstations

Het aanbod van H₂-tanklocaties in Nederland groeit sterk. Op dit moment zijn er twaalf openbare H₂-tankstations in Nederland operationeel¹, waarbij er een veelvoud hiervan in voorbereiding zijn. Om toe te werken naar een basisnetwerk van H₂-tankstations wordt er vanuit het *Actieprogramma Waterstof* door overheids- en marktpartijen toegewerkt naar een netwerk van vijftig H₂-tankstations in 2025², waarvan een deel geschikt is voor reinigingsvoertuigen.

Op deze locaties kan er in de meeste gevallen getankt worden op zowel 350 bar als 700 bar. Zware voertuigen zoals vuilnis- en vrachtwagens tanken op 350 bar. Veegmachines tanken daarentegen op 700 bar. In de markt is er discussie over tanken op 350 bar en 700 bar, maar is er nog geen keuze gemaakt. Om zoveel mogelijk voertuigen te kunnen bedienen, worden H₂-tankstations op dit moment veelal met 350 bar en 700 bar uitgerust. Enerzijds heeft een hogere druk het voordeel dat er meer energie in een kleinere volume kan worden opgeslagen³. Anderzijds vraagt het tanken op een hogere druk om extra investeringen in compressoren en gaat er door het comprimeren 10 tot 15% van de energie verloren⁴.

De prijs voor het tanken bij openbare H₂-stations varieert tussen de 8 à 14 €/kg excl. btw. Een daling van waterstofprijs naar 6-8 €/kg excl. btw mag de aankomende vijf jaar worden verwacht. Wanneer de productie van waterstof wordt opgeschaald (*orde grootte: MW-GW-elektrolyse*) en elektriciteitsprijzen dalen (*bijv. bij overschotten van windenergie*), dan is deze prijsdaling mogelijk.

De realisatie en het beheer & onderhoud van een H₂-tankstation kent op dit moment nog een onrendabele top. Nationale en Europese subsidies, zoals DKTI-subsidies, BENEFIC en de CEF-subsidie⁵ dragen bij aan de overgang van de marktpartijen naar realisatie. Voordat H₂-tankstations subsidievrij kunnen worden gerealiseerd, moet het aantal waterstofvoertuigen op de weg nog fors groeien. In de afval- en reinigungsbranche worden waterstofvoertuigen vooralsnog in kleine aantallen ingezet in de vorm van demonstratieprojecten. Wel zien we een opschaling; de gemeente Amsterdam laat zes huisvuilwagens rijden en tankt deze in het Amsterdamse Havengebied. Ook de gemeenten Groningen, Noordenveld, Breda en Rotterdam rijden met waterstofvoertuigen die op publieke en private vulpunten getankt worden.

¹ H₂-rijders, H₂-platform.

² NWP (2021) Werkplan Nationaal Waterstof Programma 2022-2025 (bron-8, bijlage 5)

³ Energiedichtheid H₂: 350 bar 0.8 kWh/L en 700 bar 1.3 kWh/L

⁴ Energieverlies is afhankelijk van gewenste druk.

⁵ DKTI-transport. Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport (bron-9, bijlage 5)

⁶ BENEFIC. BENEFIC is een grensoverschrijdend en innovatief project voor de ontwikkeling van laad- en tankinfrastructuur voor alternatieve brandstoffen voor transport. (bron-10, bijlage 5)

⁷ H₂Benelux: 8 HYDROGEN STATIONS IN THE BENELUX (bron-11, bijlage 5)

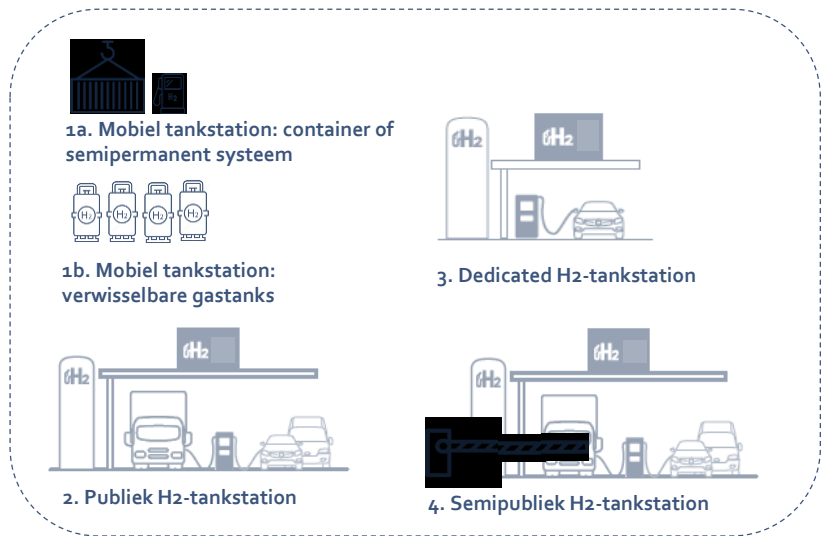


3. Waterstofketen

Een viertal H₂-tankoplossingen voor de afval- en reinigingsbranche

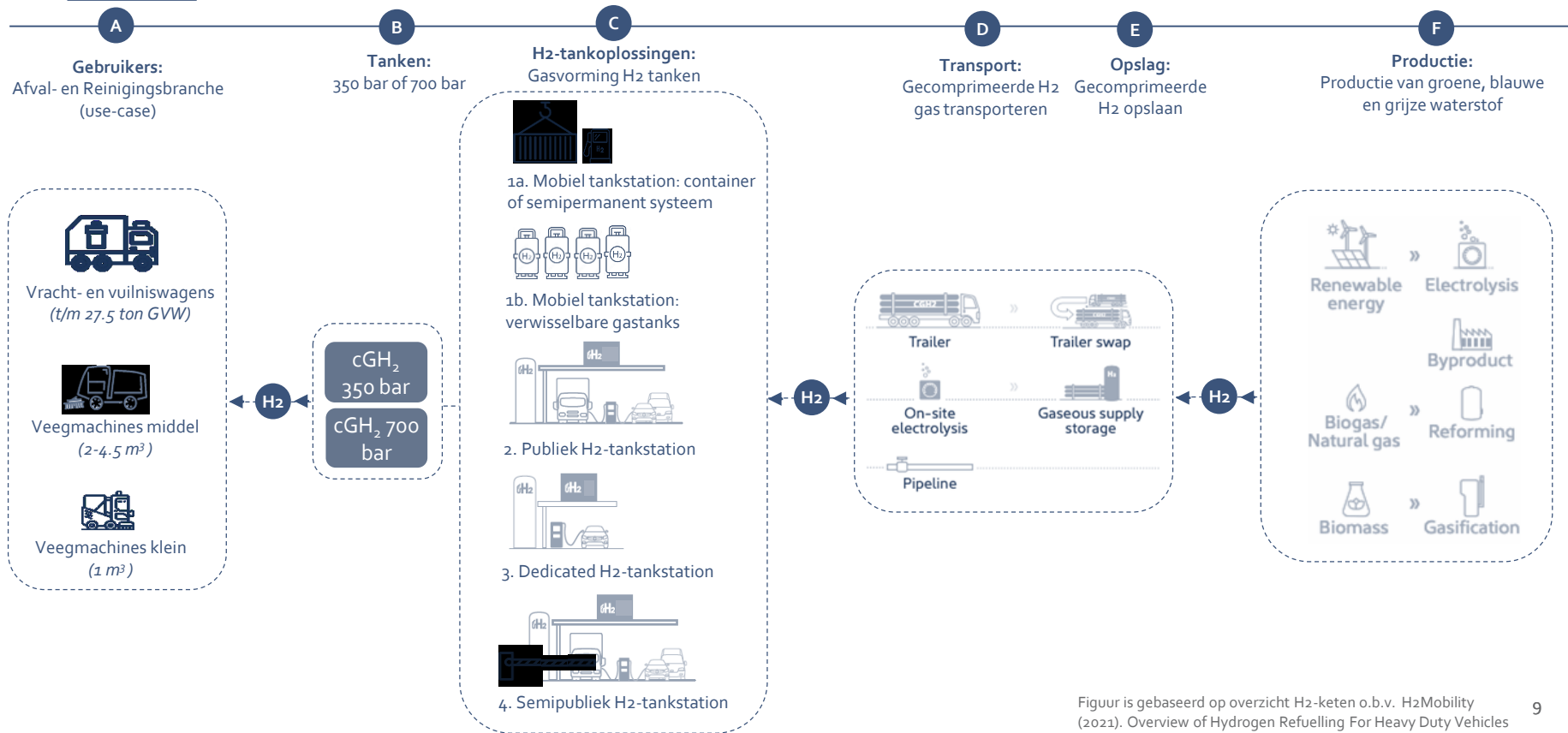
Voor u als gebruiker zijn er hoofdzakelijk vier tankoplossingen in de markt beschikbaar. De diverse tankoplossingen bevinden zich op publiek, semipubliek of privaat terrein in vaste of mobiele vorm: een mobiel H₂-tankpunt, publiek H₂-tankstation, een dedicated H₂-tankstation of een semipubliek H₂-tankstation. Ook zijn er verschillende manieren om waterstof te produceren, transporteren en op te slaan (zie pagina 8). Gasvormige waterstof wordt op dit moment grotendeels aangevoerd met trailers. (Toekomstige) alternatieven zijn pijpleidingen en on-site productie middels elektrolyse. De waterstof wordt stationair opgeslagen in verwisselbare tanks of in een vaste container (trailer swap). De productie van waterstof kan centraal of decentraal worden georganiseerd, en in bepaalde gevallen komt er CO₂ bij vrij. Op basis van de verwerking van deze uitstoot maken we onderscheid tussen grijze, blauwe en groene waterstof. Deze vormen worden op pagina 25 verder toegelicht. Het gebruik van vloeibare waterstof is voor afval- en reinigingsbranche niet aan de orde omdat deze vorm met name geschikt is voor lange afstanden en een hoge energievraag kent.

Op de volgende pagina's worden de H₂-tankoplossingen (3.1), transport- & opslagopties (3.2) en productiemogelijkheden (3.3) in meer detail toegelicht.



3. Waterstofketen

Er zijn meerdere opties voor het tanken, transporteren, opslaan en produceren van waterstof



Figuur is gebaseerd op overzicht H₂-keten o.b.v. H₂Mobility (2021). Overview of Hydrogen Refuelling For Heavy Duty Vehicles (bron 12, bijlage 5).

3.1 Tankoplossingen

Inventarisatie H₂-tankoplossingen voor de afval- en reinigingsbranche

De inzet van waterstof in deze twee voertuigsegmenten vereist H₂-tankinfrastructuur. In dit rapport worden vier tankoplossingen onderscheiden voor verschillende toepassingen.



1. Mobiel H₂-tankstation¹

Starten met H₂-voertuigen

Het mobiele station is geschikt als kennismaking met waterstof of tussenoplossing (back-up) voor een vloot van één tot vijf voertuigen.



2. Publiek H₂-tankstation¹

Opschaling: publiek H₂ tanken

De nabijheid van een publiek H₂-tankstation maakt de overstap naar waterstof op kleine én grote schaal mogelijk.



3. Dedicated H₂-tankstation¹

Oplossing op maat

Van kleine tót grote schaal tanken van waterstof op eigen terrein.



4. Semipubliek H₂-tankstation¹

Schaalvergroting door samenwerking

Een semipubliek H₂-tankstation is toegankelijk voor een selecte groep partijen.





¹ Mobiel H₂-tankstation (bron-1), Publiek H₂-tankstation (bron-2), Dedicated H₂-tankstation (bron-3), Semipubliek H₂-tankstation (bron-4). Bronnen zijn opgenomen in bijlage 5.

3.1 Tankoplossingen

1A. Een mobiel H₂-tankpunt

Starten met waterstofvoertuigen

Is geschikt als kennismaking met waterstof of tussenoplossing (back-up) voor een vloot van één tot vijf voertuigen.

Technische aspecten ¹	
Max. technisch haalbare afname	20 – 50 kg H ₂ /dag  1 – 5 voertuigen 1 – 2 voertuigen
Druk	350 bar of 700 bar
Tankduur	Slow fill, 1-4 uur.
Type voertuigen	Vracht- en vuilniswagens, middel veegmachines (2 – 4.5 m ³ laadruimte)
Aantal tankpunten	1 
Systeemgrootte	80 – 250 m ²

Juridische aspecten
<ul style="list-style-type: none">Vergunningsprocedures dient doorlopen te worden². Doorlooptijd van gemiddeld 4 tot 6 maanden.

Operationele en organisatorische aspecten
<ul style="list-style-type: none">Oplossing is geschikt als kennismaking met waterstof of tussenoplossing (back-up) voor een vloot van gemiddeld één tot vijf voertuigen.Leverbaar in containervariant of semipermanent fleetownersysteem.Wordt veelal toegepast i.c.m. subsidietraject.³Slow-fill vereist voldoende tanktijd (1-4 uur per voertuig) gedurende de nacht of dag.Bepert leverbaar, tijdige reservering noodzakelijk.Is niet geschikt voor iedere locatie in verband met veiligheidseisen⁴.Vraagt om inzet en tijdsinvestering van reinigingsorganisatie (o.a. afstemming met leverancier, verzekeringen, veiligheid). Leveranciers en system integrators kunnen hierbij ondersteunen.

Financiële aspecten ⁵
<ul style="list-style-type: none">Relatief hoge leasekosten en waterstofprijs vanwege korte contractduur en lage afname van waterstof.Indicatieve kosten⁶:<ul style="list-style-type: none">Leasekosten H₂-systeem: 2.500 – 8.500 €/wkPrijs H₂: ~15 €/kg

¹ H2Mobility (2021). Overview of Hydrogen Refuelling For Heavy Duty Vehicles (bron 12, bijlage 5).

² Ekinetix (2021). Praktische handleiding vergunningsproces waterstof (bron 13, bijlage 5).

³ RVO (2020). H2Rent: Waterstof Reinigingstrucks (bron-14, bijlage 5).

⁴ IPO (2021). Veiligheidsvoorschriften Tanken en opslaan van waterstof (bron-15, bijlage 5). O.a. niet nabij een woonwijk.

⁵ Disclaimer: Investerings- en periodieke kosten zijn sterk afhankelijk van contractuur en set-up van H₂-tank-oplossing (350 en/of 700 bar, aantal tankpunten en kg H₂-afname per dag).

⁶ Opgenomen in de leasekosten: H₂-tanksysteem, B&O, serviceverlening. Aanne contractduur: aantal maanden t/m één jaar.

Voorbeeldproject

Gemeente Breda

- **Afval- en Reinigingsorganisatie:** gemeente Breda
- **Samenwerking met (o.a.):** WaterstofNet, E-trucks, Wystrach GmbH, AirLiquide
- **(Subsidie)project:** Waterstofregio 2.0, REVIVE
- **Voertuigen:** Waterstofhuisvuilwagen (achterlader), E-trucks.
- **Tankoplossing:** Mobiele tankoplossing (container-variant), 350 bar, slow-fill.
- **Start operatie:** oktober 2020




3.1 Tankoplossingen

1B. Verwisselbare H₂-tanks

Starten met waterstofvoertuigen

Is geschikt als kennismaking met waterstof of voor de lange termijn voor kleine veegmachines (1 m³ laadruimte)

Technische aspecten	
Max. technisch haalbare afname	2 - 20 kg/dag ¹  1 – 10 voertuigen
Druk	700 bar
Tankduur	Verwisselen gasfles: 5 min
Type voertuigen	Kleine veegmachines (1 m ³ laadruimte)
Aantal tankpunten	n.v.t.
Systeemgrootte	25 – 50 m ²

Juridische aspecten
<ul style="list-style-type: none">Vergunningsprocedures dient doorlopen te worden. Doorlooptijd van gemiddeld 4 tot 6 maanden².

Operationele en organisatorische aspecten
<ul style="list-style-type: none">Oplossing is geschikt als kennismaking met waterstof of voor de lange termijn voor een klein aantal (1 tot 10 stuks) veegmachines (1 m³ laadruimte)Wisselcarrousel en aanrijdbeveiliging voor opslag H₂-flessen dient op werf te worden gerealiseerd.

Financiële aspecten
<ul style="list-style-type: none">Relatief hoge waterstofprijs vanwege lage afname van waterstof.Indicatieve kosten²: 20 – 25 €/kg H₂

¹ Gemeente Utrecht: vanuit de veiligheidseisen mogen er maximaal 12-20 gasflessen (12-20 pods, 0,9 kg H₂ per pod) op voorraad gehouden worden.

² WABO omgevingsvergunning.

² Brandbreedte is bepaald o.b.v. verkregen prijs van de gemeente Utrecht die waterstof geleverd krijgt door Rijngas.

Voorbeeldproject

Gemeente Utrecht

- **Afval- en Reinigingsorganisatie:** gemeente Utrecht
- **Samenwerking met (o.a.):** GreenMachines, Rijngas
- **(Subsidie)project:** *onbekend*
- **Voertuigen:** Straatveegmachine (1m³) van Green Machines (GM500H₂ Hydrogen)
- **Tankoplossing:** verwisselbare gastanks (pods)
- **Start operatie:** november 2020



¹ Allesoverwaterstof (2021). Waterstofveegmachine door Utrechtse straten (Bron 16, bijlage 5)

3.1 Tankoplossingen

2. Publiek H₂-tankstation

Opschaling: publiek H₂ tanken

De nabijheid (max. 20-30 km) van een publiek H₂-tankstation maakt de overstap naar waterstof op kleine én grote schaal mogelijk.

Technische aspecten ¹	
Max. technisch haalbare afname	100 – 1000 kg H ₂ /dag, afhankelijk van set-up van H ₂ -tankstation  10 – 100 voertuigen 5 – 35 voertuigen
Druk	350 bar en/of 700 bar
Tankduur	Fast-fill, 5 - 15 min
Type voertuigen	Vracht- en vuilniswagens personenauto's, bestelbussen, OV, bouwmachines
Aantal tankpunten	1 - 3 
Systeemgrootte	S (200 kg/dag): 1 tankpunt: 80-250 m ² M (500 kg/dag): 2 tankpunten: 200-350 m ² L (1000 kg/dag): 2-3 tankpunten: 250-800 m ²
Juridische aspecten	
<ul style="list-style-type: none">Complex vergunningstraject²: 1-3 jaar.	

Operationele en organisatorische aspecten
<ul style="list-style-type: none">Afhankelijk een externe partij voor de locatie, realisatietermijn en performance."Locatie is key": goede bereikbaarheid en zichtbaarheidRijtijd naar tanklocatie dient opgenomen te worden in operationele planning.

Financiële aspecten
<ul style="list-style-type: none">Behoeft geen investeringskosten voor afval- en reinigingsorganisatie.Gemiddelde H₂-marktprijs voor openbare H₂-tanklocaties in Nederland: 8 – 14,50 €/kg H₂³.

¹ H2Mobility (2021). Overview of Hydrogen Refuelling For Heavy Duty Vehicles.

² Ekinetix (2021). Praktische handleiding vergunningsproces waterstof (bron-6, bijlage).

³ Gemiddelde prijs voor H₂ tanken op openbare waterstof tanklocaties in Nederland.

Voorbeeldproject

Overzicht H2-tanklocaties in Nederland

	Locatie	Exploitant	Vuldruk	Openbaar toegankelijk?
1.	Delfzijl, Oosterhorn	TotalEnergies	350 bar	Beperkt, lokale H2-rijders kunnen een tankpas aanvragen
2.	Groningen, Bornholmstraat	Holthausen Energy Points	350 bar, 700 bar	Ja
3.	Assen, Peelo Oost	OrangeGas / Resato	700 bar (langere vultijd dan gebruikelijk)	Ja
4.	Bultinge, Pesse	Green Planet	350 bar, 700 bar	Ja
5.	Hoofddorp, Den Ruygenhoek (langs A4)	Shell	700 bar	Ja
6.	Amsterdam, Westpoortweg	Shell	700 bar	Ja
7.	Amsterdam, Australiëhavenweg	OrangeGas	700 bar	Ja
8.	Den Haag, Binckhorst	Kerkhof	350 bar, 700 bar	Ja
9.	Rhoon, Groene Kruisweg (Rotterdam)	AirLiquide	350 bar, 700 bar	Beperkt, tankpas Air Liquide vereist.
10.	Nieuwegein, Structuurbaan	Hysolar/Greenpoint	350 bar, 700 bar	Ja
11.	Arnhem, Kleefse Waard	TotalEnergies	350 bar, 700 bar	Ja

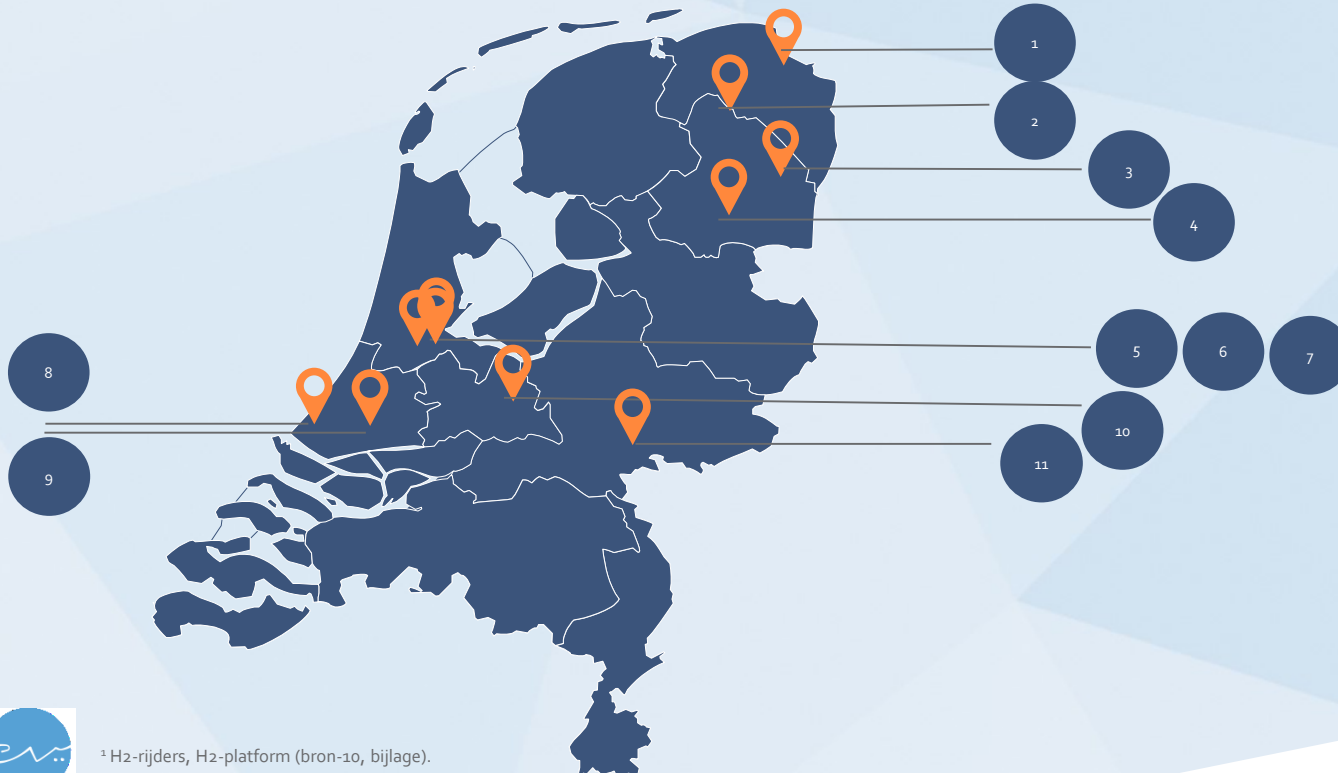
N.B. Exploitanten van H2-tankstations streven ernaar om een zo geschikt mogelijk locatie voor verschillende doelgroepen te selecteren, echter zijn niet alle (semi)publieke locaties goed bereikbaar voor de reinigingsbranche.



¹ H2-rijders, H2-platform (bron-10, bijlage).

Voorbeeldproject

Overzicht (semi)publieke H₂-tanklocaties in Nederland



¹ H₂-rijders, H₂-platform (bron-10, bijlage).

N.B. Exploitanten van H₂-tankstations streven ernaar om een zo geschikt mogelijk locatie voor verschillende doelgroepen te selecteren, echter zijn niet alle (semi)publieke locaties goed bereikbaar voor de reinigingsbranche.

Voorbeeldproject

Overzicht publieke H2-tanklocaties in Nederland



1. TotalEnergies: Oosterhoorn, Delfzijl¹



2. Holthausen Energy Points: Groningen Bornholmstraat



3. Oranegas/Resato: Assen, Peel Oost



4. Green Planet: Bultinge, Pesse



5. Shell: Den Ruygenhoek, Hoofddorp



6. Shell: Amsterdam, Westpoortweg



^{1,2} Deze H2-tankstations behoren tot TotalEnergies Marketing Nederland NV

Voorbeeldproject

Overzicht publieke H₂-tanklocaties in Nederland



7. Orangegas:
Australiëhavenweg, Amsterdam



8. Kerkhof: Binckhorst, Den Haag



9. AirLiquide: Rotterdam, Rhoon



10. Hysolar/Greenpoint:
Structuurbaan, Nieuwegein



11. TotalEnergies: Arnhem, Kleefse
Waard²




3.1 Tankoplossingen

3. Dedicated H2-tankstation

Oplossing op maat

Van kleine tot grotere schaal tanken van waterstof op eigen terrein.

Er kan voor **dedicated H2-tankstation** ook op termijn worden opgeschaald of direct voor fast-fill worden gekozen. Zie tankoplossing '4. Semipubliek H2-tankstation'.

Technische aspecten ¹	
Max. technisch haalbare afname	Slow-fill: 25 – 150 kg H2/dag ² , afhankelijk van set-up van H2-tankstation  2 – 15 voertuigen  1 – 10 voertuigen
Druk	350 bar en/of 700 bar
Tankduur	Slow-fill: 1 – 4 uur per voertuig
Type voertuigen	Vracht- en vuilniswagens, veegmachine middel (2 - 4.5 m ³)
Aantal tankpunten	1 - 2 
Systeemgrootte	80 - 350 m ²

Juridische aspecten
• Complex vergunningstraject: 1-2 jaar ³

Operationele en organisatorische aspecten
<ul style="list-style-type: none"> • Modulaire en schaalbare maatwerkoplossing die aansluit op behoefte wagenpark. • Reinigingsbedrijf bepaalt in overleg met leverancier locatie, realisatietermijn en vereisten performance. • Behoeft ruimte op eigen terrein (ca. 80 - 350 m²) • Niet geschikt voor iedere locatie i.v.m. veiligheidseisen.⁴ • Slow-fill vereist voldoende tanktijd (1-4 uur per voertuig) gedurende de nacht of dag. • Geen rijtijd naar tanklocatie, tanken op de werf.

Financiële aspecten ⁵
<ul style="list-style-type: none"> • Vraagt om investering van afval- en reinigingsorganisatie². • In de praktijk investeert de exploitant die de afval- en reinigingsorganisatie een leasebedrag en/of H2-prijs laat betalen • Indicatieve kosten: <ul style="list-style-type: none"> • Investeringskosten: 250 – 750 k€. • Periodieke kosten (service- & onderhoud): 10 – 30 k€/maand. • Inkoopprijs H2⁶: 8-15 €/kg. • Leveranciers bieden ook lease aan. Indicatieve kosten: <ul style="list-style-type: none"> • Maandelijks leasekosten: €3.000 - €8000 €/maand.

¹ H2Mobility (2021). Overview of Hydrogen Refuelling For Heavy Duty Vehicles.

² Uitgangspunt slow-fill systeem met een 350 en 700 bar tankpunt.

³ Ekinetix (2021). Praktische handleiding vergunningsproces waterstof (bron-6, bijlage).

⁴ IPO (2021). Veiligheidsvoorschriften Tanken en opslaan van waterstof (bron-8, bijlage).

⁵ Disclaimer: Investerings- en periodieke kosten zijn sterk afhankelijk van contractuur en set-up van H2-tankoplossing (350 en/of 700 bar, aantal tankpunten en kg H2-afname per dag).

⁶ H2-prijs afhankelijk van keuze type waterstof (grijs, blauw of groene), productiemethode, aanvoermethode- en volume.

Voorbeeldproject

Shell, Groningen Peizerweg

- **Afval- en Reinigingsorganisatie:** Momenteel tanken hier nog geen afval- of reinigingsvoertuigen, in de toekomst is dit eventueel mogelijk
- **Samenwerking met (o.a.):** Qbuzz
- **(Subsidie)project:** onbekend
- **Voertuigen:** 20 bussen van Qbuzz
- **Tankoplossing:** Dedicated H₂-tankstation
- **Start operatie:** juni 2021



¹ Hive Mobility (2021). Waterstofbussen en tankstations (Bron 17, bijlage 5)

3.1 Tankoplossingen

4. Semipubliek H2-tankstation

Er kan voor een *semipubliek H2-tankstation* ook voor een slow-fillsysteem worden gekozen. Zie tankoplossing '3. *Dedicated H2-tankstation*'.

Schaalvergroting door samenwerking

Een semipubliek H2-tankstation is toegankelijk voor een selecte groep partijen.

Technische aspecten ¹	
Max. technisch haalbare afname	Fast-fill: 100 – 1000 kg/dag, afhankelijk van set-up van H2-tankstation  10 – 100 voertuigen 5 – 35 voertuigen
Druk	350 bar en/of 700 bar
Tankduur	Fast-fill: 10-15 min
Type voertuigen	Vracht- en vuilniswagens, veegmachine middel (2 - 4.5 m ³), OV-bussen, bestelbussen
Aantal tankpunten	1 - 3 
Systeemgrootte	S (200 kg/dag): 1 tankpunt: 80-250 m ² M (500 kg/dag): 2 tankpunten: 200-350 m ² L (1000 kg/dag): 2-3 tankpunten: 250-800 m ²
Juridische aspecten	
<ul style="list-style-type: none"> Complex vergunningstraject: 1-2 jaar³ 	

Operationele en organisatorische aspecten
<ul style="list-style-type: none"> Modulaire en schaalbare maatwerkoplossing die aansluit op behoefte wagenpark van betrokken partijen. Wagenparkbeheerders bepalen in overleg met leverancier locatie, realisatietermijn en vereisten performance. Behoeft ruimte op eigen terrein (ca. 80 - 800 m²) Niet geschikt voor iedere locatie i.v.m. veiligheidseisen.⁴ Tanklocatie moet geschikt zijn voor alle stakeholders. Veiligheid: vervoersbewegingen andere partijen eigen terrein
Financiële aspecten ⁵
<p>Kent significante, maar gedeelde, investeringskosten met besloten groep gebruikers. In de praktijk investeert exploitant en betaalt reinigingsorganisatie leasebedrag en/of H2-prijs.</p> <ul style="list-style-type: none"> Indicatieve kosten: <ul style="list-style-type: none"> Investeringskosten:² 0.8 – 2.5 M€ OPEX:² 25 – 75 k€/maand Inkoopprijs H2:³ 4-8 €/kg

¹ H2Mobility (2021). Overview of Hydrogen Refuelling For Heavy Duty Vehicles (bron 12, bijlage 5)

² Uitgangspunt slow-fillsysteem met een 350 en 700 bar tankpunt.

³ Ekinetix (2021). Praktische handleiding vergunningsproces waterstof (bron 13, bijlage 5).

⁴ IPO (2021). Veiligheidsvoorschriften Tanken en opslaan van waterstof (bron 15, bijlage 5)

⁵ Disclaimer: Investerings- en periodieke kosten zijn sterk afhankelijk van contractduur en set-up van H2-tankoplossing (350 en/of 700 bar, aantal tankpunten en kg H2-afname per dag).

³ H2-prijs afhankelijk van keuze type waterstof (grijs, blauw of groene), productiemethode, aanvoermethode- en volume.

Voorbeeldproject

TotalEnergies¹, Delfzijl

- **Afval- en Reinigingsorganisatie:** Momenteel tanken hier nog geen afval- of reinigingsvoertuigen, in de toekomst is dit eventueel mogelijk
- **Samenwerking met (o.a.):** Qbuzz, OV-bureau Groningen-Drenthe, Akzonobel Specialty Chemicals, Groningen Seaports
- **Subsidie:** Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU)
- **Voertuigen:** Bussen van Qbuzz
- **Tankoplossing:** Semipubliek H₂-tankstation
- **Start operatie:** Maart 2018



¹ Dit H₂-tankstations behoort tot TotalEnergies Marketing Nederland NV

3.2 Transport en opslag van waterstof

Op de korte termijn is transport van waterstof middels een tubetrailer dominant

Er zijn verschillende manieren om waterstof op te slaan en te transporteren. Het gecompriëerd opslaan van waterstof wordt vandaag de dag het meeste toegepast. Gasvormige opslag vindt plaats in composiet hogedrukvaten (200, 350 of 700 bar). Compressie is nodig om voldoende energie in een beperkte ruimte te kunnen opslaan. Nadeel is dat er door het comprimeren 10 tot 15% energie verloren gaat afhankelijk van de gewenste druk¹. Waterstof transporteren via een pijpleiding onder lagere druk (66 - 80 bar) kent daarom voordelen². Het aanvoeren via flessen onder druk is een toegankelijke optie voor de korte termijn, aanlevering via een pijplijn is in de toekomst een goedkope en duurzame mogelijkheid.

Transport met tubetrailers

- Transport kan gepaard gaan met uitstoot; niet alle trucks zijn zero-emissie.
- Per truck kan er 200 - 300 kg waterstof worden getransporteerd.

Transport via pijplijnen

- Over ~10 jaar een geschikte transportoplossing; op dit moment is er nog geen netwerk van H₂-pijpleidingen.
- Alleen wanneer er een pijpleiding nabij de beoogde H₂-tanklocatie ligt, is transport middels een pijpleiding mogelijk.
- Lagere transportkosten per kg dan trailertransport, wel is het aanleggen van een netwerk kostbaar.
- Er gaat relatief weinig energie verloren tijdens het transport.
- Waterstof uit de pijpleiding is voor ca. 90% zuiver H₂. Er zijn extra handelingen³ nodig om tot 99.9% zuiverheid (klasse 5) te komen voordat de waterstof het voertuig in gaat.

Elektrolyse

Wanneer er gebruikt wordt gemaakt van elektrolyse op locatie is er geen transport van waterstof nodig. Zie voor meer toelichting pagina 27.

Opslag van waterstof

Gasvormige opslag van waterstof kent twee opties:

- *Stationaire opslag.* Op de tanklocatie staan stationaire opslagtanks. Vanuit de tubetrailers wordt de waterstof overgetankt naar de stationaire opslag. Door de drukverschillen kan de tubetrailer niet helemaal leeggetankt worden.
- *Drop-and-swapmethode.* De tubetrailer wordt ingezet als opslag in combinatie met kleinere stationaire opslag zodat er een tankdruk van 350 of 700 bar mogelijk is.

¹ WaterstofNet (2021). Hoe verloopt de opslag en distributie van waterstof? (bron 19, bijlage 5)

² Netbeheer Nederland (2017)

³ Voor meer info zie: <https://www.klimaathelpdesk.org/answers/kan-het-gasnetwerk-omgebouwd-worden-voor-waterstof/>

Voorbeeldprojecten

Voorbeeldprojecten

Tubetrailertransport en een combinatie van mobiele en stationaire H₂-opslag

De H₂-tanklocatie in Nieuwegein maakt gebruik van tubetrailertransport om de waterstof aan te voeren. De combinatie van opslag van waterstof in de tubetrailer, een compressor en stationaire opslag onder hoge druk zorgt dat tanken op 350 en 700 bar mogelijk is.



Hysolar (2021). Hysolar opent waterstofstation in Nieuwegein (bron 20, bijlage 5).

H₂-pijpleiding

Het waterstofnetwerk in Nederland is op dit moment nog beperkt. Het grootste netwerk loopt momenteel van Rotterdam naar Vlaanderen.¹ Echter, Gasunie werkt samen met Havenbedrijf Rotterdam aan een nieuwe waterstofleiding tussen de Maasvlakte en Pernis. Naar verwachting is de pijplijn medio 2024 gereed, en in de toekomst sluit de pijpleiding aan op het landelijke gasnetwerk dat Gasunie beheert. Ook komt er een verbinding naar Chemelot in Limburg, Noordrijn-Westfalen in Duitsland en andere Europese regio's



Waterstofbackbone Gasunie. Deze backbone brengt vraag en aanbod bij elkaar en bestaat grotendeels uit bestaande leidingen (Zie voor meer details bron 21, bijlage 5).

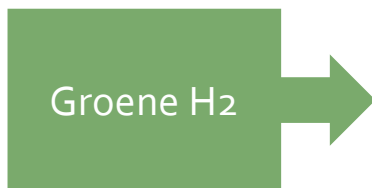
¹https://industrie.airliquide-benlux.com/sites/industry_benlux/files/air-liquide-benlux-pijpleidingen-nl.pdf



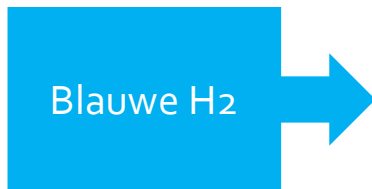
3.3 Productie van waterstof

Waterstofketen – productie waterstof

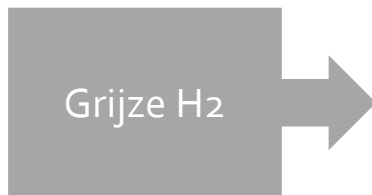
De productie van waterstof kan zowel decentraal als centraal plaatsvinden. De centrale productie levert veelal schaalvoordelen op waardoor de H₂-prijs kan dalen. De decentrale productie heeft als voordeel dat er geen of minder transportkosten zijn. Er zijn verschillende manieren om waterstof centraal of decentraal te produceren. De wijze waarop de waterstof wordt geproduceerd bepaalt de mate van duurzaamheid¹:



De productie van groene waterstof is nodig om zero-emissietransport van *well to wheel* mogelijk te maken. Waterstof kan groen worden geproduceerd middels elektrolyse waarbij waterstof wordt opgesplitst door middel van hernieuwbare elektriciteit. Een voorbeeld is het gebruik van groene stroom in chlooralkali elektrolyseproces. Waterstof kan zowel kleinschalige decentraal (kW) en grootschalig (MW-GW) centraal worden geproduceerd. De H₂-prijs wordt voor 80% tot 90% bepaald door de stroomprijs. Groene waterstof kent een hogere zuiverheid en kan direct goed worden toegepast, bijvoorbeeld in de brandstofcel van een voertuig. Grijs en blauwe waterstof kennen een lagere zuiverheid, tenzij het uit elektrolyse wordt geproduceerd. .



Blauwe waterstof kan eraan bijdragen dat waterstoftoepassingen in de industrie en mobiliteit zich verder ontwikkelen en dat er voor 2030 een grootschalige en open toegankelijke H₂-infrastructuur is gerealiseerd. Blauwe waterstof wordt centraal geproduceerd uit fossiele brandstoffen, net zoals de productie van grijs waterstof, maar waarbij de vrijgekomen CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Meestal lukt dit met 80% tot 90% van de uitstoot. Ook restwaterstof als bijproduct van industriële processen, zoals chlooralkali of cokesovengas, is blauwe waterstof.



Bij de afwezigheid van betaalbare blauwe of groene waterstof wordt nu grijs waterstof gebruikt voor de test- en opstartfase. Circa 95% van de waterstof die momenteel geproduceerd wordt is grijs en ontstaat uit fossiele brandstoffen (kolen, aardolie maar in NL voornamelijk uit aardgas). Voornamelijk wordt deze waterstof centraal in grote *refomers* (*Steam Methane Reforming, SMR*) geproduceerd. Dit is momenteel de goedkoopste manier, maar tevens het schadelijkst omdat er 7 à 8 kg CO₂ vrijkomt per kg H₂. In de toekomst zal het gebruik van grijs waterstof worden afgeschaald en ligt de focus op de productie van groene waterstof.



¹ WaterstofNet (2021). Hoe wordt het gemaakt? (bron 22, bijlage 5)

² Dit proces wordt ingezet voor de productie van kunststoffen zoals PVC.

Voorbeeldprojecten

Decentrale en centrale productie van waterstof

Wanneer u kiest voor de **decentrale productie** van waterstof dient u rekening te houden met de volgende aspecten:

- De benodigde installatie is complex.
- Elektrolyse kent relatief hoge investerings- en onderhoudskosten.
- Er zijn extra handelingen benodigd om de geproduceerde waterstof op hoge druk te zetten, zodat het geschikt is om te tanken.



Een elektrolyser op locatie¹, met een capaciteit van 0.75MW, zal 1.000 kilo groene waterstof per dag produceren, met behulp van ingekochte groene stroom. (bron 22, bijlage 5).

¹Bijvoorbeeld in Amsterdam:

<https://www.portofamsterdam.com/nl/ontdek/amsterdam-en-de-haven/wat-we-doen-voor-de-stad/groene-waterstof-katalysator-energietransitie>

Centrale productie van waterstof. Om alle waterstof groen te kunnen produceren, moeten er geïnvesteerd worden in de opschaling van hernieuwbare elektriciteit (zon- en windparken) en grootschalige elektrolyse (GW). Op dit moment zijn de grootste elektrolysesystemen rond de 1 MW. In Nederland zijn een aantal partijen, waaronder GasUnie en Shell, zijn aan het experimenteren met de productie van groene waterstof op grote schaal.



North2 zet voor 100% in op productie, opslag en transport van groene waterstof. Het doel is om de industrie en mobiliteitssector in 2030 te kunnen voorzien van 4 GW groene waterstof. Maar de ambitie reikt verder (bron 23, bijlage 5).



4. Vervolgstappen

Welke stappen kunt u als een afval- en reinigingsorganisatie nu zetten?

Als afval- en reinigingsorganisatie staat u de aankomende jaren voor een belangrijke opgave. Vanaf 1 januari 2030, of eerder waar mogelijk, zijn alle nieuw aan te schaffen reinigingsvoertuigen zero-emissie. Uw wagenpark is divers en bestaat o.a. uit vuilnis- en vrachtwagens, veegmachines, zware bedrijfsvoertuigen N2 en lichte bedrijfsvoertuigen N1. De inzet van voertuigen is verschillend en vraagt om een plan op maat. De eerder opgestelde handreiking 'Plan van Aanpak: Op weg naar een zero-emissiewagenpark.' helpt u op weg.¹ Naar verwachting zal de inzet van H₂-voertuigen onderdeel zijn van dit plan. De inzet van waterstof ligt voor de hand voor vuilnis- en vrachtwagens en veegmachines vanwege het hoge energieverbruik¹ per shift. Dit rapport helpt u bij het maken van de keuze: *Welke tankoplossing sluit aan bij mijn behoeften?*

Door het beantwoorden van de volgende vragen krijgt u inzicht in welke tankoplossing het beste bij uw situatie past

- Waar? Wordt er intern op eigen terrein of extern getankt?
 - *Hoe gebeurt het nu? En wilt u daar als organisatie aan vasthouden?*
 - *Is de werf geschikt voor eigen een tanklocatie? Is het terrein groot genoeg? Kan er voldaan worden aan de gestelde veiligheidseisen?*
 - *Is er binnen een acceptabele afstand (20-30 km) reeds een openbaar H₂-tankpunt gerealiseerd of wordt deze op korte termijn verwacht?*
- Wanneer? Welke vorm van tanken sluit het beste aan op de huidige operatie?
 - *Wordt er overdag of 's nachts getankt?*
 - *Welke snelheid van tanken is er gewenst? Is tanken in 1-4 uur (slow-fill) passend of is tanken in 5-15 minuten gewenst (fast-fill)?*
- Wie? Is het mogelijk om de investerings- of onderhoudskosten te delen met partijen als ov-bedrijven of transport- en distributieorganisaties?
 - *Is het mogelijk om provinciale, nationale of Europese subsidies aan te vragen?*
- Wat is de gewenste schaal? Is het een eerste kennismaking met waterstof of een opschaling?
 - *Hoeveel H₂-voertuigen worden er ingezet?*
 - *Welke type H₂-voertuigen worden er ingezet? Tanken deze op 350 of 700 bar?*

Na beantwoording van deze vragen³ en met behulp van dit rapport, kunt u als afval- en reinigingsorganisatie de eerste stap zetten.



¹ Dit rapport is te vinden op de website van Rijkswaterstaat (bron-7, bijlage 2)

² De opbouw van een huisvuilwagen en de veegapparatuur van veegmachine zorgt voor extra energievraag en daarmee voor een significante afname van de actieradius (kilometrage) en/of aantal draaiuren. Om voldoende energie aan boord te hebben, is waterstof als energiedrager een logische keuze.

³ Indien gewenst met ondersteuning door een gespecialiseerd adviesbureau of een leverancier,

Contact



Pilotenstraat 18-D
1059 CJ Amsterdam

 +31 6 11 12 57 63

 r.matton@evconsult.nl



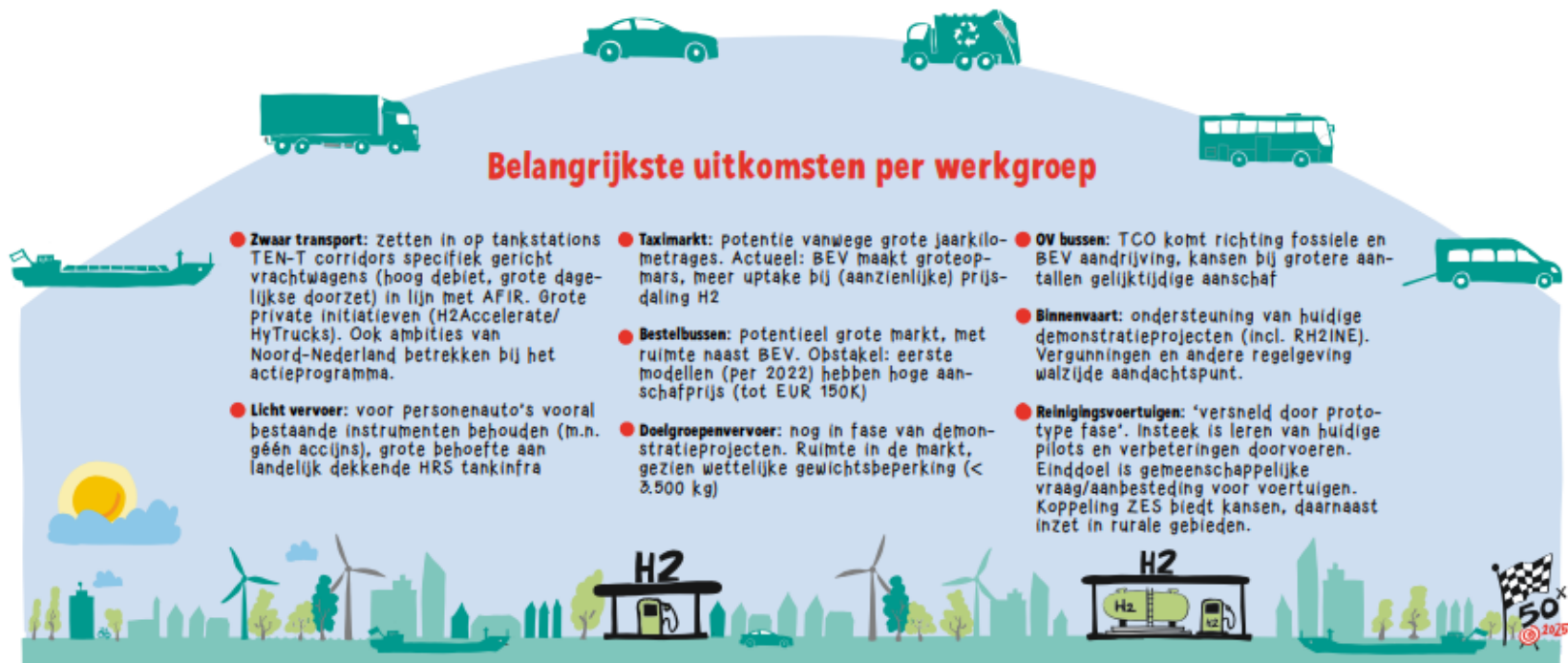
+31 6 15 66 29 23

m.reijm@evconsult.nl



Bijlage 1

Actieprogramma waterstof in mobiliteit



Bijlage 2

Technology Readiness Levels

Technology Readiness Levels (TRL) provided by the European Commission¹:

- **TRL 0 – Idea.** Unproven concept, no testing has been performed.
- **TRL 1 – Basic research.** Principles postulated and observed but no experimental proof available.
- **TRL 2 – Technology formulation.** Concept and application have been formulated.
- **TRL 3 – Applied research.** First laboratory test completed; proof of concept.
- **TRL 4 – Small scale prototype** built in a laboratory environment (“ugly” prototype).
- **TRL 5 – Large scale prototype** tested in intended environment.
- **TRL 6 – Prototype system** tested in intended environment close to expected performance.
- **TRL 7 – Demonstration system** operating in operational environment at pre-commercial scale.
- **TRL 8 – First of a kind commercial system.** Manufacturing issues solved.
- **TRL 9 – Full commercial application,** technology available for consumers.



¹European Commission (bron 24, bijlage 5)

Bijlage 3

Afkortingen

FCEV = Fuel Cell Electric Vehicles

BEV = Battery Electric Vehicles

Elektrolyse = een chemische reactie waarbij onder invloed van een elektrische stroom water wordt ontleed tot de eenvoudige moleculen waterstof (H₂) en zuurstof (O₂) en/of andere samengestelde stoffen.



Bijlage 4

Geïnterviewde partijen

Partij	Naam	Datum
Gemeente Meerlanden	Ben Hogerwerf	14-10-2021
WaterstofNet	Stefan Neis	19-10-2021
Actieprogramma Waterstof in Mobiliteit	Fabian Benschop	19-10-2021
Orangegas	Siep Bouma	21-10-2021
Blink – Afval & Reiniging	Mark Vaal	26-10-2021
Holthausen Energy Points	Aldwin Oechies	28-10-2021
Gemeente Utrecht	Henk Pierik, Karel Werdler	28-10-2021
Shell	Lisa Montanari, Lisanne Geerlings	28-10-2021
Everfuel	Wouter van der Laak	04-11-2021
Avalex	Robin Nijman	04-11-2021
Gemeente Breda	Patrick Visser, Petra van Breugel	11-11-2021
Twinning Energy	Wim Peels	16-11-2021
TotalEnergies/Pitpoint	Oskar Voorsmit ¹	18-11-2021



Bijlage 5

Bronvermelding

Bronvermeldingen:

- Voorblad rapport: <https://www.missieh2.nl/nieuws/eerste-openbare-groene-tankstation-voor-waterstof-in-groningen/>
- Bron-1: <https://www.waterstofnet.eu/nl/projecten/infrastructuur/mobiel-waterstof-tankstation-waterstofregio-2-o>
- Bron-2: <https://www.portofamsterdam.com/nl/ontdek/amsterdam-en-de-haven/klimaatneutraal/waterstof-tanken>
- Bron-3: https://h2rijders.nl/blogs/bestel-een-toyota-mirai-inclusief-je-eigen-tankstation?language_content_entity=nl
- Bron-4: <https://www.pitpointcleanfuels.com/news/pitpoint-acquires-hydrogen-refueling-station-antwerp/>
- Bron-5: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/directive_en
- Bron-6: <https://rwsduurzamemobiliteit.nl/publicaties/convenant-duurzame-voertuigen-brandstoffen/>
- Bron-7: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_654163_31/
- Bron 8: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/jaarplannen/2021/07/07/werkplan-nationaal-waterstof-programma-2022-2025>
- Bron-9: <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/dkti-transport>
- Bron-10: <https://www.benefic.eu/nl/>
- Bron-11: <https://h2benelux.eu/>
- Bron 12: https://h2-mobility.de/wp-content/uploads/sites/2/2021/08/H2-MOBILITY_Overview-Hydrogen-Refuelling-For-Heavy-Duty-Vehicles_2021-08-10.pdf
- Bron-13: https://opwegmetwaterstof.nl/wp-content/uploads/2020/03/WVIP_uniforme_vergunningverlening_rapport_23_03_2020_F-1.pdf
- Bron 14: <https://www.rvo.nl/initiatieven/dkti-tenders/h2rent-waterstof-reinigingstrucks>
- Bron 15: <https://iiplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/veiligheidsvoorschriften-tankens-opslaan-waterstof/>
- Bron 16: <https://allesoverwaterstof.nl/waterstof-veegmachine-door-utrechtse-straten/>
- Bron 17: <https://www.hivemobility.nl/project/waterstofbussen-en-waterstof-tankstations/>
- Bron 18: <https://twinningenergy.nl>
- Bron 19: <https://www.waterstofnet.eu/nl/waterstof/hoe-verloopt-opslag-en-distributie>
- Bron 20: <https://www.hysolar.nl/nieuws/hysolar-opent-waterstof-tankstation-in-nieuwegein/>
- Bron 21: <https://www.gasunie.nl/en/projects/hydrogen-backbone>
- Bron 21: <https://www.waterstofnet.eu/nl/waterstof/hoe-wordt-het-gemaakt>
- Bron 22: <https://www.change.inc/industrie/amsterdamse-haven-wordt-waterstofgebied-eerste-waterstof-tankstation-is-een-feit-33175>
- Bron 23: <https://www.north2.eu/>
- Bron 24: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2016_2017/annexes/h2020-wp1617-annex-g-trl_en.pdf



Bijlage 6

Convenant Duurzame Voertuigen en Brandstoffen Reinigingsbranche

Begin 2019 is mede om die reden het 'Convenant Duurzame Voertuigen en Brandstoffen Reinigingsbranche' opgesteld. Met de ondertekening van dit convenant committeren overheden, reinigingsdiensten en marktpartijen zich aan het doel om vanaf 1 januari 2030 alleen nog zero-emissie-reinigingsvoertuigen aan te schaffen. Om dit einddoel te halen zijn er een aantal tussendoelen geformuleerd. De ondertekenaars hebben het volgende afgesproken:

