

HyDelta

Openbaar eindrapport

Eindrapport: december 2020 t/m april 2022

Status: **definitief**

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topssector Energie uit de PPS-toeslag onder referentie nummer TKI2020-HyDelta.

Document samenvatting

Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	Julio C. Garcia-Navarro
Organisatie	New Energy Coalition
Emailadres	j.garcia@newenergycoalition.org

Document geschiedenis

Versie	Datum	Auteur	Organisatie	Documentwijzigingen
1	17-04-2023	Julio C. Garcia-Navarro	NEC	Eerste versie

Verspreidingsniveau

Verspreidingsniveau		
PU	Openbaar	X
R1	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board Externe entiteit gespecificeerd door het consortium (please specify) 	
R2	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board 	
R3	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group 	

Document goedkeuring

Partner	Name	Date

Inhoud

Document summary	2
1. Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen	4
2. Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing	5
3. Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie).....	27
4. Spin off binnen en buiten de sector	27
5. Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn	28
6. Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn;.....	32
7. Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie	32
8. Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier	32

1. Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen

Projectnummer	TKI2020-HyDelta
Projecttitel	HyDelta Eerste Tranche dec 2020 – Q1/Q2 2022
Penvoerder en medeaanvragers	<ul style="list-style-type: none"> • [NEC] Stichting New Energy Coalition (Penvoerder) • [DNV] DNV Netherlands BV (Medeaanvrager) • [KIWA] Kiwa Technology BV (Medeaanvrager) • [TNO] Nederlandse Organisatie Voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Medeaanvrager) • [NBNL] Vereniging Netbeheer Nederland (cash cost-share contributor) • [GASUNIE] N.V. Nederlandse Gasunie (cash cost-share contributor)
Projectperiode	December 2020 t/m april 2022

HyDelta Eerste Tranche is een project dat plaatsvond tussen december 2020 en april 2022. Het is een samenwerking tussen de Nederlandse gasindustrie, zowel de transmissie (d.w.z. hoge druk) netbeheerder (Gasunie) als de distributienetbeheerders (vertegenwoordigd door Netbeheer Nederland), en onderzoeksorganisaties in Nederland (TNO, DNV, Kiwa Technology en New Energy Coalition).

In de afgelopen jaren hebben discussies over het gebruik van waterstof als energiedrager voor groene energie de internationale aandacht getrokken. Waterstof heeft verschillende belangrijke voordelen ten opzichte van andere energiedragers:

- Verbranding van waterstof zorgt alleen voor waterdamp en is dus koolstofvrij.
- Waterstof kan worden gemaakt uit koolstofvrije bronnen: ofwel (groen of na koolstofcaptatie) gas of rechtstreeks met elektriciteit uit hernieuwbare energie in de vorm van water-elektrolyse.
- Waterstof is waarschijnlijk de eenvoudigste brandstof om te synthetiseren.
- Transport van waterstof kan (potentieel) worden gedaan met dezelfde assets als het transport van aardgas, waarvan een grote hoeveelheid infrastructuur bestaat en kan dienen als een potentiële ondersteuner van een waterstoftransportnetwerk op lokaal, nationaal en internationaal niveau.

Terwijl andere projecten, consortia en onderzoeksorganisaties actief werken aan het optimaliseren van de productie en consumptie van waterstof, is er weinig aandacht besteed aan het onderwerp van waterstof pijpleiding transport.

Een van de mogelijke toepassingen van waterstof is om het gebruik van aardgas in de gebouwde omgeving, d.w.z. huishoudens en (commerciële) gebouwen, te vervangen. Hiervoor ontwikkelen de Nederlandse Distributie Netbeheerders (RNB's) zogenaamde "waterstofpilots". Deze waterstofpilots zijn projecten die zijn verspreid over verschillende gemeenten in Nederland, waarbij verschillende groepen huizen die typisch aardgas verbruiken voor verwarming, in plaats daarvan worden voorzien van waterstof. Het doel van dergelijke pilotprojecten is om zoveel mogelijk ervaring op te doen met betrekking tot de veiligheid van het gebruik van het bestaande aardgas distributienetwerk om (pure) waterstof te leveren, met als einddoel het bewijzen van de veiligheid van waterstofverbruik in de

gebouwde omgeving en om deze projecten als pole bearers te gebruiken van een potentieel decarbonisatiepad voor de Nederlandse economie. Aangezien het transport van waterstof via pijpleidingen nergens ter wereld op grote schaal wordt uitgevoerd, willen de Nederlandse RNB's de meest kritieke aspecten ervan begrijpen, waarbij de nadruk ligt op de veiligheid en op de waterstofcompatibiliteit van het bestaande aardgas distributienetwerk.

Bovendien zijn de productiekosten van koolstofarm waterstof gekoppeld aan het potentieel van hernieuwbare energiebronnen (met name zonne- en (offshore) windenergie), waardoor waterstof de rol van energiedrager kan verwerven en landen met veel zonne- en windenergiebronnen deze kunnen benutten door waterstof te produceren en te exporteren. Tot op heden hebben landen met een hoog potentieel aan hernieuwbare energiebronnen hun hernieuwbare bronnen niet kunnen benutten vanwege de aanzienlijk hoge kosten van elektriciteitstransport, met name bij overzees energietransport. Recente studies hebben vroege indicaties gegeven dat het transport van hernieuwbare energie door "het verpakken in waterstof" aanzienlijk goedkoper is dan het transport van elektriciteit zelf.

Er zijn niet veel onderzoeken die zich richten op de complete waardeketen van waterstof (d.w.z. van productie tot consumptie), omdat de meeste onderzoeken tot nu toe zich hebben gericht op alleen de productie- of de consumptiekant van waterstof. Daarom kan het begrijpen van de (inter)nationale waterstofwaardeketens een vroegtijdige anticipatie mogelijk maken van hoe waterstof de energiemarkt zal betreden. Bijvoorbeeld, weten welke sectoren hun fossiele brandstofverbruik het meest kosteneffectief kunnen vervangen door waterstof, kan effectieve richtlijnen bieden voor toekomstige investeringen gericht op het transporteren van waterstof naar de afnemers die het waarschijnlijk als eerste zullen consumeren.

Vanwege de bovengenoemde redenen is het zeer waarschijnlijk dat de Nederlandse en Europese regeringen de consumptie van waterstof zullen stimuleren door verplichte consumptiedoelen vast te stellen, zoals deze nu bestaan voor andere energiedragers (bijvoorbeeld benzine, aardgas, etc.), gezien de voordelen van waterstof als energiedrager met een groot potentieel voor het decarboniseren van brandstofverbruik. Het begrijpen van de huidige praktijken rond bestaande verplichte consumptiedoelen kan leiden tot de ontwikkeling van consumptiedoelen voor waterstof, die kunnen helpen bij het versnellen van de waterstofeconomie op nationaal en internationaal niveau.

Het doel van HyDelta Eerste Tranche was het bestuderen van verschillende aspecten met betrekking tot:

1. Het transporteren van pure waterstof via de bestaande aardgasinfrastructuur in Nederland, met de nadruk op veiligheid en compatibiliteit van de geïnstalleerde activa.
2. De ontwikkeling van toekomstige waterstof waardeketens in Nederland, evenals de internationale waterstofhandelsroutes.
3. De mogelijke ontwikkeling van een verplicht consumptiesysteem voor low-carbon waterstof in Nederland.

2. Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

De volgende tabel laat zien wat de meest belangrijke resultaten zijn van het project, per werkpakket, zowel als de impact van deze resultaten:

WP	Impact van de resultaten	Samenvatting van de uitgangspunten en doelstellingen	Beschrijving van de behaalde resultaten
WP1A	<p>De activiteiten van het werkpakket dragen bij aan de veilige toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving. In het werkpakket zijn naast een grondige analyse van soortgelijk werk in het VK, een kwantitatief risicomodel ontwikkeld, zijn experimenten uitgevoerd naar het effect van ventilatie op de verspreiding van waterstof en zijn aanbevelingen gegeven voor mitigerende maatregelen in de pilots. Met deze activiteiten, is een verdere veilige toepassing van waterstof, op korte termijn vooral in pilotprojecten een stap dichterbij gekomen.</p>	<p>Om een inschatting te kunnen maken van de risico's bij het gebruik van waterstof in het distributienet en transportnet in vergelijking met het gebruik van aardgas, is het van belang de verschillen in kans en gevolg te weten. De kans heeft met name betrekking op de mogelijkheid dat een gevaarlijke situatie zich voordoet; de gevolgen kunnen worden uitgedrukt in schade die ontstaat bij een brand of explosie. Mitigerende maatregelen zijn er vervolgens op gericht om de kans op het ontstaan van een gevaarlijke situatie te verkleinen.</p> <p>In het Hydelta programma is daartoe het werkpakket 'Waterstof en Veiligheid' gedefinieerd waarin de hoofddoelstelling als volgt geformuleerd is:</p> <p>Risico's in kaart brengen omtrent het gedrag van waterstof bij lekkages in huizen en in het distributienet en aan de hand van de risico's beheersmaatregelen definiëren.</p> <p>Met behulp van (bestaande) risicomodellen kunnen kansen en gevolgen kwantitatief worden gemodelleerd voor zowel aardgas als waterstof. Om antwoord te geven op de doelstelling van het werkpakket wordt een model voor de Nederlandse situatie ontwikkeld. Daarnaast wordt experimenteel inzicht gezocht in de effectiviteit van mitigerende maatregelen en dan met name het effect van ventilatie op kleine lekkages.</p>	<p>In het werkpakket zijn de risico's van waterstof in het distributienet en huizen in kaart gebracht door middel van een kwantitatief risicomodel. Dit model is gebaseerd op soortgelijk werk uit het VK. De eerste rapportage beschrijft de onderzoeken in het VK en maakt een vertaalslag naar de Nederlandse situatie. In de tweede rapportage wordt deze vertaalslag geconcretiseerd in een eerste versie van een QRA model voor het Nederlandse distributienet. De uitkomst van die model is dat er een verhoogd risico wordt voorspeld bij een transitie van aardgas naar waterstof in het huidige distributienet. Opgemerkt wordt dat de risico's van het gasdistributienet in het algemeen heel laag zijn, om echter toch geen verhoogd risico te nemen zullen aanvullende veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden om vooral opbouw van hoge concentraties waterstof in gesloten ruimten te voorkomen. Het tweede deel van het werkpakket heeft daartoe gekeken naar het effect van ventilatie op kleine lekkages (tot 20 liter/uur). Geconcludeerd wordt dat deze lekkages, zelfs in zeer slecht geventileerde ruimtes, niet leiden tot concentraties nabij de onderste ontstekingswaarde. Odorisatie en het plaatsen van sensoren zullen deze lekkages voortijdig doen opmerken voordat gevaarlijke situaties ontstaan. Tenslotte wordt voor de in ontwikkeling zijnde pilots een lijst met</p>

aanbevelingen gegeven voor mitigerende maatregelen zodat deze pilots op een veilige manier additionele kennis rond het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving kunnen opdoen.

<p>WP1B</p> <p>In kaart brengen van invloedsfactoren die een beperkende rol zouden kunnen spelen bij het omzetten van de huidige gasstations (in de gasdistributie infrastructuur) naar waterstof. Door het opsplitsen van verschillende aandachtsgebieden voor gasstations kan per onderwerp bepaald worden wat de effecten zullen zijn van het toepassen van waterstof en welke aanpassingen gedaan of maatregelen genomen moeten gaan worden.</p>	<p>D1B.1 - Functioneren van gasstations met veerbelaste regelaars op waterstof – in een bestaand districtstation zijn een drietal veerbelaste regelaars getest op aardgas (200 mn³/h) en waterstof (600 mn³/h). Tevens is een HAS getest op aardgas (30 mn³/h) en waterstof (90 mn³/h).</p> <p>D1B.2 - Veiligheid bij werkzaamheden aan waterstofgasstations – voor verschillende scenario's van een gaslek tijdens werkzaamheden zijn berekeningen uitgevoerd om in kaart te brengen hoe een aardgas/ waterstof lekkage zich verspreidt en hoe dit de beheersmaatregelen beïnvloedt.</p> <p>D1B.3a - Ventilatie – in een 1/2m³ kast en een 4m³ kaststation zijn lekkages aardgas en waterstof aangebracht waarna de gasconcentratie in en rond deze behuizingen gemeten zijn.</p> <p>D1B.4 - Stoftransport met waterstof/ aardgas tbv gasfilters – in een transparante testopstelling is met lucht, aardgas en waterstof het gedrag van stof bestudeerd om de omstandigheden waaronder stoftransport plaatsvindt in kaart te brengen.</p> <p>D1B.3b - Werkplan Explosie – er is een plan opgesteld om testen te kunnen doen met aardgas en waterstof waarbij een realistische lekkage wordt gecreëerd in een behuizing. Aan de hand van de testen kan een risico analyse gemaakt worden van deze lekkages en de gevolgen bij een mogelijke ontsteking.</p>	<p>D1B.1 – Het geteste gasdrukregelstation met de geteste, veerbelaste regelaars ontworpen voor aardgas kunnen zonder aanpassingen worden toegepast voor waterstof. De gasdrukregelaars laten slechts geringe verschillen zien wanneer respectievelijk het medium aardgas of waterstof wordt toegepast en de resultaten van het meetprotocol vergeleken worden.</p> <p>D1B.2 – Voor het veilig in- en uitbedrijf nemen van gasstations (inclusief de drukvereffening na beveiligingsingreep) zijn volgende beheersmaatregelen noodzakelijk;</p> <p>Hanteer de beheersmaatregelen die beschreven zijn in de VWI's G-51, G-52, G-53 en G-54. Gebruik hierbij geschikte apparatuur voor de detectie van waterstofgas en geschikte anti-statische kleding.</p> <p>Implementeer aanvullend op de eisen voor afblaas/ affakkell installaties, zoals beschreven in de NEN 7244-7 de volgende maatregelen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bij zowel affakkelen als bij afblazen een waterstofvlamdover toepassen. • Zorg er voor dat er zich geen obstakels in de directe nabijheid van het uitstroompunt van de fakkell of afblaas bevinden. • Hanteer een afstand tussen uitstroompunt en mogelijke ontstekbronnen van 2 tot 3 groter dan bij aardgas. (indicatief 7 meter, praktijkonderzoek is nodig ter verificatie).
--	---	---

Vermijd gasuitstromingen direct op de installatie. Gebruik bij het volledig drukloos maken van de gasregelininstallatie een afblaas/affakel installatie.

D1B.3a – Voor het onderzoek naar de ventilatie van gasstations bij een lekkage zijn twee verschillende behuizingen (kast + kaststation) getest met aardgas en waterstof waarbij het volgende geconcludeerd kan worden.

Er kan bij zowel de kast als kaststation worden geconcludeerd dat waterstof vaker leidt tot een brandbaar mengsel bij de ventilatieopeningen dan aardgas. Dit blijkt vooral het geval bij de grootste lekdebieten ($\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$). Dit laatste is terug te leiden naar de combinatie van grotere lekdebieten en de ruimere ontstekingsgrenzen van waterstof in vergelijking met aardgas.

Het gedrag van een aardgas- of waterstoflekkage bleek verschillend voor de twee geteste behuizingen. Tevens is het opvallend dat voor beide behuizingen een andere relatie is vastgesteld wanneer de gasconcentraties in de kast worden vergeleken met de gasconcentratie aan de ventilatieopeningen. De hypothese was dat de concentratie bij de ventilatieopening lager of gelijk is aan de concentratie gemeten in de

behuizing. De hypothese bleek voor de 1/2m³ kast te kloppen, maar niet voor het kaststation. Voor het 4m³ kaststation is dit verband precies andersom. De gasconcentratie in de behuizing is gemiddeld hoger dan aan de ventilatieopeningen voor de 1/2m³ kast. Het gedrag omtrent de ventilatie van deze behuizingen verloopt anders.

Uit de onderzoeksvragen is naar voren gekomen dat de gekozen lekopening leidt tot aanzienlijke lekdebieten. De 1 mm² zou daarbij moeten worden beschouwd als een incident en niet als een reguliere lekkage/ storing. Naar de oorsprong van de definitie van deze lekopening is in samenspraak met de stuurgroep veel zoekwerk verricht, echter is de bron niet achterhaald. Dit laatste punt dient verder onderzocht te worden.

Tevens dient te worden opgemerkt dat de geteste behuizingen slechts een beperkte representatie zijn van de toegepaste behuizingen in NL. De volle breedte van het spectrum dient bij verder onderzoek goed in beeld gebracht te worden.

D1B.4 – In het onderzoek naar stoftransport in gasnetwerken is voor verschillende korrelgroottes de kritische snelheid (gedefinieerd als het omslagpunt waarbij een deeltje gaat meebewegen met de gasstroom) bepaald in lucht, aardgas en waterstof. Deze

kritische snelheid ligt voor waterstof een factor 1,2 tot 2,6 hoger dan bij aardgas. Echter, om dezelfde hoeveelheid energie te transporteren zal de verwachte snelheid voor waterstof een factor 3 hoger liggen. Door dit te combineren kan er dus initieel meer stoftransport worden verwacht wanneer de distributienetten worden overgezet van aardgas naar waterstof. Dit is dan ook de belangrijkste conclusie van het onderzoek. De grootste nuancering hierbij is dat dit afhangt van zowel de gemiddelde korrelgrootte als de dichtheid van het stof.

D1B.3b – Het doel van het werkplan explosie is om een routekaart te definiëren voor onderzoek om inzicht te verkrijgen in het verspreidingspatroon van aardgas en waterstof bij een lekkage in gasstations en inzicht in het risico (kans en effect) bij het toevoegen van een ontstekingsbron met voldoende ontsteekenergie.

Deze inzichten dienen te resulteren in een risicoanalyse waarbij een vergelijking gemaakt wordt tussen de situatie voor aardgas en waterstof. Dit doel wordt bereikt door antwoord te geven op onderstaande deelvragen.

Als onderdeel van een onderzoek van NBNL is door Kiwa reeds voor aanvang van HyDelta onderzoek gedaan naar de invloed van waterstof op zachte materialen in gasdrukregelstations. Deze literatuurstudie is

als NBNL rapport beschikbaar en toont aan dat zachte materialen zoals nu toegepast in gasdrukregelstations ook geschikt zijn voor de distributie van waterstof. Deze inbreng is een belangrijke bijdrage in het beantwoorden van onderzoeksvraag 207 binnen werkpakket 1B.

De activiteiten hebben zich gericht op hoofdleidingen, aansluitleidingen en binneninstallaties. De onderwerpen die zijn onderzocht hadden betrekking op veilig werken, beheersmaatregelen, waterstofkwaliteit, geschiktheid van componenten, het omschakelen van aardgas naar 100% waterstof en marktsamenwerking. De verkregen inzichten zijn al op korte termijn toepasbaar bij de uitvoering van pilot-projecten en verhogen de veiligheid bij de uitvoering hiervan.

WP1C

Uitgangspunten en doelstellingen van de samenwerkende partijen zijn;

- Vaststellen of het spoelen van een aardgasdistributieleiding met waterstof veilig kan worden uitgevoerd.
- Vaststellen of lekdichtheidseisen zoals toegepast bij aardgasdistributieleidingen ook toepasbaar zijn voor waterstof.
- Vaststellen in hoeverre het bestaande aardgasnet effect heeft op de kwaliteit van waterstof door desorptie van THT en door permeatie van zuurstof, stikstof en water.
- Vaststellen van de risico's in de situatie dat een huisdrukregelaar niet vervangen wordt bij een omzetting van aardgas naar waterstof.
- Vaststellen wat de risico's zijn bij huishoudelijke installaties na een ombouw van aardgas naar waterstof.
- Vaststellen wat de ontwikkelingen zijn op het gebied van waterstofcomponenten en waterstoftoestellen voor consumenten.

Behaalde resultaten:

- Rechtstreeks spoelen van aardgas met waterstof in distributieleidingen is technisch goed en veilig uitvoerbaar. De minimale spoelsnelheid is 0,4 m/s. De geadviseerde spoelsnelheid is 1,0 m/s .
- Bij aansluitleidingen zijn vier type lekkages getest. Op basis van de behaalde resultaten is een voorstel gedaan voor aanpassing van de dichtheidseis voor bestaande aansluitleidingen zoals opgenomen in NEN 7244-7.
- Door desorptie van THT en door permeatie van zuurstof, stikstof en water zal de kwaliteit van waterstof worden beïnvloed. Met het onderzoek zijn kentallen bepaald waarmee voor een specifiek net berekend kan worden in welke mate THT, zuurstof, stikstof en water in het waterstof terecht zullen komen. Voor de waterpermeatiemetingen aan PE-buizen blijkt langer doormeten noodzakelijk om de nauwkeurigheid te verhogen. Dit was niet mogelijk in de huidige periode van dit onderzoek.
- Bestaande drukregelaars die bestemd zijn voor aardgas blijken geen veiligheidsrisico's met zich mee te brengen bij het omschakelen naar waterstof. Na omschakeling naar waterstof zal een gasgebrekbeveiliging mogelijk wel sneller ingrijpen. Er is een beslisboom opgesteld die netbeheerders kunnen gebruiken bij de keuze voor het al dan niet vervangen van een huisdrukregelaar (met of zonder gasgebrekbeveiliging, met of zonder

bypass).

- De risico's bij een binneninstallatie bij de overschakeling van aardgas naar waterstof veranderen. De kans op een koolmonoxidevergiftiging daalt naar nul. De kans op letsel bij kleine gaslekkages (< 1 l/uur) blijft uiterst klein. De kans op letsel bij grote gaslekkages (> 10 l/uur) wordt groter bij de toepassing van waterstof. Om deze kans te verkleinen worden in het rapport mitigerende maatregelen benoemd.
- De verwachting bestaat dat componenten en gastoestellen bestemd voor huishoudelijke toepassingen én geschikt voor de toepassing op 100% waterstof na 2023 beschikbaar zullen zijn voor consumenten. CV-combistoestellen die worden ontwikkeld voor waterstof zijn niet geschikt voor het kortstondig functioneren op aardgas. Er worden CV-combistoestellen ontwikkeld die kunnen functioneren op aardgas en eenvoudig zijn om te bouwen naar de toepassing met waterstof.

<p>De toezichthouder Agentschap Telecom eist op grond van Europese regelgeving dat waterstofmeters met een MID toelating bij kleinverbruikers worden geïnstalleerd. Het afrekenen van m3 waterstof bij kleinverbruikers kan met de prototype meters volgens de hiervoor geldende eisen worden gerealiseerd.</p> <p>De procedures voor het metrologisch controleren van de waterstofmeters zijn met de huidige kennis van de waterstofmeters beschreven. Eventueel nieuw inzicht kan eenvoudig worden geïmplementeerd.</p>	<p>Netbeheer Nederland heeft een projectplan “Meten en Verrekenen Waterstof” (M&VH2) opgesteld. Het doel van dit plan is om in 2024 voldoende geschikte meters ontwikkeld te hebben en om inzicht te geven hoe de opschaling van waterstofmeters vanaf 2030 moet plaatsvinden. Het projectplan steunt op het voornemen van de zeven distributienetbeheerders om in 2024 ieder een eigen waterstofnet in bedrijf hebben.</p> <p>De samenwerkende partijen in dit project zijn Enexis, Stedin, Gastransportservices en Kiwa Technology.</p>	<p>De netbeheerders hebben inzicht gekregen in de verschillen tussen de stroming van waterstof en lucht in de meters. Hiermee kunnen zij met waterstof en lucht de waterstofmeters evalueren op hun metrologische prestatie.</p> <p>Door het ontbreken van een manier om een hoeveelheid waterstof herleidbaar te meten blijven waterstofmeters nog lastig te controleren. Het bouwen van een faciliteit om meters te controleren met waterstof kan bijdragen aan het verbeteren van de herleidbaarheid door regelmatige vergelijking van de meetresultaten met die van vergelijkbare meetsystemen elders.</p> <p>Op basis van de tekstvoorstellen in de rapportage kunnen de Nederlandse Netbeheerders de bestaande kwaliteitscontrole van aardgasmeters uitbreiden voor waterstofmeters.</p>
---	---	--

<p>De stroomsnelheid kan een beperking vormen bij de optimalisatie van de transport installaties. Voor aardgas wordt een limiet gewoonlijk op 20 m/s (72 km/u) gesteld, hoewel dit niet voor elk segment van het netwerk het geval is en op specifieke locaties hogere waarden kunnen worden bereikt. Indien dezelfde limiet zou worden toegepast op waterstof, kan dit een onnodig conservatieve beperking vormen voor de capaciteit van nieuwe en hergebruikte systemen om energie te vervoeren.</p> <p>WP1E</p>	<p>In deze studie wordt een overzicht gegeven van stromingsgeïnduceerde risicomechanismen voor intrusieve apparatuur, stromingsgeïnduceerde turbulentie, stromingsgeïnduceerde pulsaties, akoestisch geïnduceerde vibratie, stromingsgeïnduceerd geluid en erosie. Ook wordt de capaciteit vanuit het oogpunt van drukval gecontroleerd. Dit wordt gedaan door het Nederlandse hogedrukgastransportsysteem (GTS) via de RNB-systemen te scannen, tot aan het gasontvangstpunt bij de eindgebruiker. Er wordt een generieke benchmark tussen aardgas (G-gas) en waterstof gepresenteerd, waarbij wordt uitgegaan van een gelijke energietransportcapaciteit tussen de twee dragers, hetgeen de vraag oplevert of in de praktijk waterstof drie (3) keer sneller kan stromen dan aardgas. Het doel van de benchmark is om na te gaan of bij deze aanname een van de geanalyseerde verschijnselen het transport onder dergelijke omstandigheden belemmert. In andere woorden, of de toegestane stroomsnelheid voor waterstof groter kan zijn dan de waarde die traditioneel voor aardgas wordt gebruikt.</p> <p>De expertise van TNO in pulsatie- en trillingen van processinstallaties is in dit WP gecombineerd met de kennis van transport- en distributie- netbeheerders (Coteq, Enduris, Enexis, Gasunie en Stedin) over hun installaties.</p>	<p>Het belangrijkste resultaat van dit onderzoek is dat wanneer waterstof stroomt met dezelfde energieflex als aardgas (G-gas), de risiconiveaus, ten gevolge van deze verschijnselen, hetzelfde zijn als nu. Met andere woorden: als bij aardgastransport 20 m/s als vuistregel wordt gehanteerd voor de maximale stroomsnelheid in het netwerk, kan 60 m/s de vuistregel zijn voor waterstof, met enkele kanttekeningen. De pijpleidingen zijn geschikt vanuit het oogpunt van drukval geschikt voor een bedrijf met 60 m/s. Dit betekent dat in verkennende studies voor de ontwikkeling van waterstofnetwerken voor de pijpleidingen kan worden uitgegaan van een capaciteit om waterstof te vervoeren met hogere stroomsnelheden dan momenteel het geval is. Uitgaan van 20 m/s - zoals voor aardgas - kan derhalve als conservatief worden beschouwd.</p>
--	--	---

<p>WP1F</p> <p>Door het testen of afsluiters in het nationale transportnet geschikt zijn voor hergebruik in een waterstof netwerk, kunnen kosten bespaard worden en kan een waterstof netwerk eerder worden gerealiseerd.</p>	<p>Er zijn in totaal 19 afsluiters in het nationale gas transport net onderzocht op lekkages. Van deze 19 afsluiters zijn er in totaal 10 zowel met aardgas als met waterstof beproefd. De bedoeling was hierbij om een factor te vinden die beschrijft hoe groot een lek is met waterstof wanneer de lekhoeveelheid met aardgas bekend is. Daarnaast is gekeken of er, naast lekkage, andere belemmeringen zijn om afsluiters te hergebruiken in een waterstofnetwerk.</p>	<p>Van de 19 afsluiters die onderzocht zijn waren er twee afsluiters die een dusdanig lek hadden dat dit buiten de norm kwam. Bij een van deze twee was dit vooraf bekend en deze afsluiter stond al op de lijst om gerepareerd te worden. Van de 10 afsluiters die zowel met waterstof als met aardgas zijn beproefd, bleek er geen enkele uitwending lek. Omdat er geen lekkage gevonden is, was het ook niet mogelijk een empirische lekfactor te bepalen. Meer metingen zijn nodig om dit als nog te kunnen bepalen. Het resultaat dat wanneer er geen lekkage is gemeten met aardgas er ook geen lekkage gemeten kon worden met waterstof, is wat betreft het hergebruik van afsluiters positief te noemen. Daarbij zijn er geen overige punten gevonden die het mogelijke hergebruik van afsluiters in een waterstofnetwerk onmogelijk maken.</p>
---	---	---

De activiteiten hadden te maken met het gebruik van een odorant van waterstof, de veiligheid en noodzaak van een odorant voor waterstof en de toepassing en een controle op de werking en de eigenschappen van odoranten in waterstof. Omdat hier zeer weinig kennis over beschikbaar was, is de opbouw van deze kennis noodzakelijk om vertrouwen te krijgen in de toepassing van waterstof in de openbare ruimte en om de risico's van de distributie van waterstof vast te stellen om hiermee eventuele additionele veiligheidsmaatregelen op te stellen.

Al met al is een deel van de vragen over de toepassing en de veiligheid van waterstof in de gebouwde omgeving beantwoord, waardoor de uitrol wordt gefaciliteerd.

WP2

Uitgangspunten en doelstellingen van de samenwerkende partijen is het geven van antwoorden op de volgende onderzoeksvragen:
Hoe gedraagt odorant zich met waterstof, wat is de impact op gastoepassingen, wat is de perceptie van de van de geur door het publiek en wat is gegeven de resultaten van alle onderzoeken, het beste type odorant om toe te passen voor waterstof, gegeven de resultaten van alle onderzoeken?

Probleemstelling

- Is het voldoende bekend of odorant (THT) met waterstof door leidingmateriaal permeëert?
- Welke informatie kan worden verkregen omtrent de binding en interactie van odorant met waterstof in de bodem, in de lucht en in de leiding?
- Wat zijn de implicaties van het toevoegen van odorant voor het toepassen van brandstofcellen i.v.m. de minimaal benodigde gaskwaliteit?
- Wat is de invloed van odorant op gebruiksmateriaal?
- Welk odorant voor waterstof is het meest geschikt met inachtneming vooral van de herkenbaarheid voor het publiek maar ook met inachtneming van het gedrag in combinatie met waterstof en het effect op brandstofcellen en gebruikstoestellen?

Behaalde resultaten:

- Na een literatuuronderzoek zijn na een selectie op de eigenschappen van de odorant een drietal odoranten getest op het geurkarakter en het geurgedrag. De kandidaat-odorant 2-hexyn is uiteindelijk gekozen op grond van de goede geureigenschappen.
- Uit het onderzoek is gebleken dat er voor verbrandingsapparatuur, zoals CV- en warmwaterketels, keukenapparatuur, sierhaarden, buitenkachels en terrasverwarmers, en gasmotoren geen onoverkomelijke problemen zijn te verwachten bij toepassing van waterstof, dat is geodoriseerd met een zwavelhoudend odorant, zoals THT. De aanwezigheid van zwavel in waterstof leidt tot irreversibele schade aan de brandstofcel. Dit is een accumulerend proces, dat al optreedt bij zwavelconcentraties van 1 ppm (1,4 mg S/m³(n)).
- Alle geteste odoranten THT, Gasodor® S-Free en 2-hexyn, bleken stabiel gedrag te vertonen in een atmosfeer van 100 bar waterstof gedurende een testperiode van drie maanden waardoor ze gedurende langere tijd hun werking kunnen uitoefenen.
- Voor een gaslek van een mengsel van een odorant in waterstof geldt dat deze zich als één gaswolk gedraagt en dat geen ontmenging van de odorant en waterstof plaatsvindt. Voor wat betreft de verspreiding van gas in een ruimte en de ruikbaarheid van een gaslek geldt

dat odorisatie van waterstof even effectief is als odorisatie van aardgas.

- De ruikbaarheid van drie geteste odoranten in waterstof is even goed als die in aardgas.

Door een prioriteit toe te kennen aan normalisatie-onderwerpen voor waterstof in de aardgasinfrastructuur die speciaal voor Nederland van belang zijn, kan worden geanticipeerd op ontwikkelingen in het internationale normalisatieproces. Hierdoor kunnen nieuwe technieken voor waterstof sneller in de bestaande en nieuwe gasinfrastructuur worden geïntroduceerd. De typisch Nederlandse kenmerken van de aardgas-infrastructuur, onder andere de werkdruk, de toegepaste materialen, de technische uitvoering van de installaties en de verwachte samenstelling van het waterstof, die soms sterk afwijken ten opzichte van de overige lidstaten, blijven hierdoor intact.

WP3

Dit project moet enerzijds inzicht geven in de relevante (Europese) normalisatieontwikkelingen en de stand van zaken. Anderzijds moet dit voorstel schetsen welke waterstofkennis er t.a.v. normalisatie nog mist, hoe deze kennis ingebracht of ontwikkeld kan worden en op welke manier dat bijdraagt aan het borgen van de belangen uit de Nederlandse waterstof gasdistributiesector.

De samenwerkende partijen in de projectbegeleidingsgroep zijn Liander, Enexis, Gastransportservices, Stedin en Kiwa Technology.

In dit onderzoek zijn ruim zeventig onderwerpen uit de literatuur geïntroduceerd die betrekking hebben op waterstof in de gasinfrastructuur. Per onderwerp is bekeken wat de huidige bekende status is en welke actie in gang is gezet. Uit deze analyse blijken de gaps per onderwerp. Wanneer dit gecombineerd wordt met de prioritering wordt het duidelijk welke normen als eerste moeten worden geactualiseerd. Onderstaande onderwerpen zijn uit het onderzoek met prioriteit naar voren gekomen:

- Druktesten voor leidingen.
- Gashoeveelheidsmetingen.
- (Snelle) meting van gassamenstelling.
- Veiligheid, ATEX-classificatie en de eisen op het gebied van dichtheid en beproeving.
- Eisen aan de toelaatbare lekken van gas.

Naast deze onderwerpen van hoge prioriteit zijn er onderwerpen met een gemiddelde prioriteit geïdentificeerd. Deze onderwerpen hebben niet altijd betrekking op normalisatie, maar spelen bijvoorbeeld een rol bij de demonstratieprojecten die de netbeheerders aan het voorbereiden zijn.

<p>De potentiële vraag naar Mbo-geschoold technisch uitvoerend personeel voor de ombouw, onderhoud en exploitatie van het transport- en distributienet voor waterstof is inzichtelijk gemaakt. Daarnaast is het huidige opleidingsaanbod op mbo-niveau op het gebied van waterstof en praktijklocaties voor waar dit personeel moet worden opgeleid, geïnventariseerd.</p> <p>Uit dit onderzoek komen de volgende punten naar voren, dat, om de waterstof backbone en een waterstof distributienet daadwerkelijk te realiseren, de volgende punten noodzakelijk zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het ontwikkelen van een adequate mbo-opleiding op het gebied van waterstof in de sector infrastructuur en techniek. • Een eerste aanzet voor deze opleiding is in dit onderzoek ontwikkeld: de eindtermen voor de opleiding. • Het aantrekken van mbo-personeel en docenten om hen op te leiden. Er is schaarste op de arbeidsmarkt en dringend behoefte aan meer uitvoerenden en in de energie-infra. <p>WP4</p>	<p>Uitgangspunten + doelstelling</p> <p>D4.1: Het doel van deze sub-deliverable was om inzicht te krijgen in de potentiële arbeidsvraag naar mbo-technisch-geschoold personeel in de sector infrastructuur en distributie. Dit onderdeel is een literatuurstudie, waarbij openbaar beschikbare modelstudies en rapporten het vertrekpunt vormen.</p> <p>D4.2: Hierin is een inventarisatie opgenomen van het huidige opleidingsaanbod op mbo-niveau op het gebied van waterstof. De voornaamste input hiervoor komt van reguliere opleiders (ROC's), particuliere opleiders en vakscholen, en interne bedrijfsscholen.</p> <p>D4.3: Deze sub-deliverable is een gap-analyse waarbij de vraag naar mbo-geschoold uitvoerend personeel wordt vergeleken met de huidige mogelijkheden om dat personeel op te leiden. De basis hiervoor zijn de uitkomsten van sub-deliverables D4.1 en D4.2.</p> <p>D4.4: De sub-deliverable heeft als doel het huidige Mbo-opleidingsaanbod voor technisch geschoold personeel dat werkzaamheden uit moet voeren in en aan het waterstofnet te complementeren door de formulering van eindtermen. Met de opgeleverde eindtermen kunnen opleidingen of keuzedelen gemaakt worden die monteurs hiervoor opleiden. Hierbij wordt gesteund op vakkennis van de opleiders Kiwa Training en New Energy Coalition en de kennisdragers op onderwijsgebied/ interne bedrijfsscholen van regionale en landelijke Netbeheerders.</p>	<p>De eenmalige, additionele arbeidsvraag voor de realisatie van de hydrogen backbone wordt 573 FTE aan eenmalige arbeidsvraag voorzien, voor het ombouwen van het gasdistributienet is meer onzekerheid: 0-161 FTE, afhankelijk van de ontwikkelingen op de waterstofmarkt. Terugkerende arbeid is geschat op 3500 FTE (2050) en 7000 FTE (2050). Relevante onderzoeken tot in dit detail waren slechts in zeer beperkte mate te vinden, deze resultaten zijn gebaseerd op één rapport van CE Delft. Een lastig knelpunt is de onzekerheden in de ontwikkeling van de waterstofmarkt en de aannames die daarbij moeten worden genomen.</p> <p>Het personeel dat bovenstaande handelingen moet uitvoeren, zal daarvoor moeten worden opgeleid. De meeste van de momenteel beschikbare e-learnings, cursussen, workshops en masterclasses behandelen de basis van waterstof en waterstoftoepassingen en zijn voornamelijk bedoeld voor mbo+ en hbo-niveau. Daarnaast focust het beschikbare aanbod focust zich voornamelijk op het gebied van mobiliteit. Het beperkte aanbod aan waterstof opleidingen en de afwezigheid van een adequate opleiding voor mbo-geschoold technisch personeel in de sector infrastructuur en distributie is zorgelijk.</p>
---	--	---

De activiteiten begonnen met het verzamelen van literatuur rondom waterstof waardeketens welke als startpunt is gebruikt voor het onderzoek. Vervolgens is een techno-economisch model op modulaire wijze opgezet waardoor de kosten en volumes van een divers scala aan mogelijke waardeketens kon worden berekend. Samen met de input van experts, de input data en importkosten uit gerelateerd Werkpakket 7B is een selectie aan ketens opgesteld en geanalyseerd. Deze uitkomsten hebben inzichten gegeven in de meest kritieke kostencomponenten van verschillende ketens, de impact van verschillende waterstof bronnen (i.e. groen, blauw, import) en de onderlinge relaties tussen keuzes binnen verschillende waardeketens. Hieruit is een groot scala aan inzichten opgedaan die gedetailleerd zijn gerapporteerd in D7A.2 en waarvan de belangrijkste punten voor beleidsmakers zijn gereflecteerd in D7A.3.

WP7A

Het systematisch analyseren van de economische aspecten van een drietal waterstof gerelateerde waardeketens: een waardeketen gebaseerd op waterstof, maar met gedifferentieerde kwaliteitseisen (zuiverheid); een waardeketen gebaseerd op conversie naar methanol; een waardeketen gebaseerd op conversie naar ammonia. In alle gevallen zal voor de belangrijke onderdelen van de waardeketen (productie, conversie, transport, opslag, diverse toepassingen) afzonderlijk en in samenhang worden nagegaan welke de belangrijkste determinanten zijn van een acceptabele businesscase en welk verschil het maakt of de waterstof zelf wordt geproduceerd of wordt geïmporteerd uit regio's buiten de EU. Daarbij zal voor wat betreft de toepassingen het zwaartepunt liggen op grootschalige toepassingen in de industrie en voor wat betreft de componenten in de waardeketen op de transport- en de opslagcomponent en de mogelijke invloed van logistieke optimalisatie.

Het werkpakket heeft de volgende zaken opgeleverd:

- Overzicht van de relevante literatuur rondom waterstof waardeketens;
- Een techno-economisch waardeketen analyse model waarmee een groot scala aan denkbare waterstof waardeketens voor verschillende typen eindgebruikers geanalyseerd kunnen worden;
- Een apart leesbare bijlage met kwalitatieve achtergrondinformatie over de verwachte dynamieken in de markt die een rol zullen spelen bij het toepassen van waterstof als belangrijke energiedrager en grondstof;
- Een uitgebreide analyse van de uitkomsten en sensitiviteiten van de geselecteerde waardeketens in de studie;
- Reflectie op de uitkomsten en samenvatting van de belangrijkste inzichten en aanbevelingen gericht op beleidsmakers.

Daarmee is al met al met een brede, gestructureerde wijze gekeken naar de bronnen, infrastructuur en markten waarin waterstof en/of haar dragers een rol kunnen gaan spelen in de toekomst, en specifiek in een Nederlandse context. Vijf typen eindgebruik zijn geanalyseerd: ammoniak voor kunstmestproductie, methanol voor E-brandstoffen, hoge temperatuur warmtevraag in gedistribueerde industrie, de mobiliteit en de gebouwde omgeving. Er is uitgebreid beschreven wat de kostenverschillen met

duurzame en fossiele alternatieven zijn, welke factoren de competitiviteit van de ketens vergroot, welke kwalitatieve factoren in acht genomen moeten worden en welke mate van ondersteuning nodig is om ketens van de grond te krijgen. Een belangrijke bevinding is dat wanneer de hoge prijzen voor aardgas- en emissierechten structureel blijven, kosteninnovaties zoals verwacht worden bereikt en de keten op voldoende schaal wordt uitgerold, binnenlandse groene waterstofketens voor meerdere typen eindgebruik competitief kunnen zijn ten opzichte van het fossiele alternatief. Wanneer dit niet het geval is zal financiële ondersteuning nodig zijn. Daarnaast is ook coördinatie in de uitrol van ketens essentieel: zo kan de haalbaarheid significant vergroot worden door goede samenwerking tussen verschillende spelers. In de rapporten worden deze zaken nauwkeurig onder de aandacht gebracht.

WP7B Wij hebben heel veel meer kennis over mogelijke import van waterstof. Dit is van belang voor Nederland omdat de verwachting is dat de vraag naar waterstof groter zal zijn dan de productiecapaciteit die in onze land kan worden geïnstalleerd. Wij hebben ook aanbevelingen om sneller naar en grotere gebruik van waterstof te gaan.

Gezien de verscheidenheid aan waterstofimportketens die kunnen worden ontwikkeld richting Nederland en NW Europa, is het van belang om een grondig inzicht te hebben in de technologische en economische prestaties van deze importketens om strategische, beleids- en investeringsbeslissingen te kunnen nemen. De realisatie van schaalbare ketens voor waterstofimport is een uitdaging, aangezien de upstream-, midstream- en downstream-processen van de toekomst nog moeten worden ontwikkeld. Er blijven onzekerheden bestaan met betrekking tot (1) de betrokken proces- en technologiemixen, de (2) vereiste waterstofvolumes in de loop van de tijd, en de (3) afhankelijkheden tussen de importketenelementen van de waterstoftransporteur die moeten worden afgestemd om een efficiënte wereldwijde toeleveringsketen te waarborgen.

Het doel van dit onderzoek is het vergelijken van importketens naar Nederland vanuit technisch en logistiek perspectief, en het vergroten van het inzicht in de verwachte kostenontwikkeling van 2030 tot 2040 van geïmporteerde waterstof, ammoniak of methanol via vijf waterstofdrageropties: synthetische ammoniak, synthetische methanol, vloeibare waterstof, gecompriëerde waterstof en de vloeibare organische waterstofdrager methylcyclohexaan.

The objective of this study is to identify and compare import supply chains to the Netherlands from a technical and logistical perspective, and to increase the insight into the expected cost development from 2030 to 2040 of imported hydrogen, ammonia or methanol via five hydrogen carrier options: synthetic ammonia, synthetic methanol, liquid hydrogen, compressed hydrogen and the liquid organic hydrogen carrier methylcyclohexane. Insight 1: The cost ranges of the selected hydrogen carrier import countries is too large to distinguish the single most cost-effective import routes.

Insight 2: Technology-related costs and geographical factors are both dominant cost drivers of the levelized cost of imported hydrogen.

Insight 3: Supply chain efficiencies and load-following hydrogen production volumes illustrate the importance of maximizing the mass flows of molecules.

Insight 4: Current uncertainties in technology-specific costs lead to large spreads of cost estimates.

The conclusions connected to the organized innovation workshops are:

- 1 – Industrial clusters should pave the way
- 2 – Technology is available
- 3 – Business cases and large scale investments are waiting on clarity of regulations

De activiteiten begonnen met het verzamelen van literatuur en praktijkervaringen rondom verplicht bijmengen, zowel fysiek als administratief. Bijmengverplichtingen zijn bekend voor transport brandstoffen en elektriciteit, maar voor gassen waren deze op het moment van de start van dit werkpakket in Europa nog niet geïntroduceerd. In de deliverables is verder verdiept in zowel de fysieke als administratieve kant van bijmengverplichtingen voor duurzame gassen, en de belangrijkste hordes waar mee rekening moet worden gehouden tijdens de introductiefase. Concrete pilots zijn beschreven die een eerste opstap kunnen vormen naar de daadwerkelijke implementatie verplichte bijmenging van waterstof in Nederland.

WP8

Overall objective: to assess if and to what extent mandatory admixing policy regimes - either physical, or administrative admixing, or both - involving green hydrogen can effectively be introduced, and if so, how and what its impact can be on hydrogen certificate market conditions (volume and prices).

The research objective leads to the following research questions:

1. How does an up-to-date inventory of the various safety and grid integrity issues that may show themselves if mandatory physical admixing policies would be introduced look like?
2. An analysis of existing and considered admixing regimes in order to see how such policies are implemented, how effective they have been and how the related certificate markets have functioned.
3. Exploratory analysis of introducing hydrogen admixing policies via various experimental ways, based on concrete case studies both for virtual and physical admixing.
4. An economic analysis of the potential impact on hydrogen certificate volumes traded and their prices of different (e.g. in terms of admixing percentages, admixing regional scale, or gas admixtures accepted) policy regimes and their possible regulatory characteristics of mandatory hydrogen admixing at the regional, national and European scale.

Het doel van het werkpakket is behaald door de verschillende subdoelen uit te werken in de gerelateerde deliverables:

- D8.1: Een overzicht van de bekende kennis rondom fysieke en administratieve bijmenging.
- D8.2: Een assessment van vier bestaande vormen van vrijwillige en verplichte bijmenging, waaruit lessen zijn getrokken voor toekomstige regelingen m.b.t. waterstof.
- D8.3: Een beschrijving van drie kansrijke bijmengverplichtingen die los, of naast elkaar geïmplementeerd kunnen worden. Voor elk voorstel is een pilot beschreven om deze te demonstreren en eerste kinderziekten eruit te halen, alvorens de beslissing te maken om de regeling uit te rollen.
- D8.4: Een inventarisatie van de belangrijkste economisch- en marktgerelateerde risico's bij het implementeren van een bijmengverplichting, inclusief mogelijke maatregelen om deze zoveel mogelijk te beperken.

Voor het decarboniseren van de moleculen in het Nederlandse energiesysteem kan een administratieve bijmengverplichting een belangrijke rol spelen om de vraagzijde van de markt op gang te brengen. Voorwaarde voor administratieve bijmenging is dat ergens waterstof fysiek in het systeem gebracht zal worden, fysieke bijmenging is hiervoor één van de opties. De grootste voordelen van een bijmengverplichting is de acceleratie in

waterstofvraag en de compatibiliteit met marktprincipes. Echter moet een dergelijke regeling met gepaste voorzichtigheid worden ingevoerd, gezien negatieve effecten op de loer kunnen liggen. In D8.5 worden de belangrijkste aandachtspunten uiteengezet waarmee rekening moet worden gehouden bij politieke besluitvorming:

- De mate waarin administratieve en fysieke bijmenging wordt toegepast;
 - De mate van differentiatie die in het quotum wordt toegepast;
 - De eisen en ontwerpkeuzen van de certificaten en de markt;
 - De onzekerheid en volatiliteit van certificaatprijzen;
 - De mate en manier waarop geïmporteerde waterstof(dragers) worden geaccepteerd.
- Pilots kunnen een eerste stap zijn om de toepasbaarheid van bijmengverplichtingen in de praktijk te testen. Daarom worden de beschreven pilots voorgesteld als vervolgstap om de bijmengverplichting op succesvolle implementeerbaarheid te testen.

3. Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)

Het HyDelta Eerste Tranche-project draagt bij aan het versterken van de kennispositie van de Nederlandse gasindustrie als het gaat om zowel veiligheids- als economische aspecten van het transport van waterstof via het bestaande aardgasnetwerk. Het onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van dit project is tot nu toe ongekend geweest en heeft geleid tot versterking van de kennispositie van zowel GASUNIE als de Nederlandse regionale netbeheerders (RNB's). Zij gebruiken de resultaten van het HyDelta Eerste Tranche-project zowel voor de ontwikkeling van de Nederlandse waterstofbackbone als voor de succesvolle implementatie van waterstofpilotprojecten in de gebouwde omgeving.

4. Spin off binnen en buiten de sector

Het HyDelta Eerste Tranche project behandelde een breed scala aan onderwerpen; sommige onderwerpen werden in significant detail bekeken terwijl andere oppervlakkiger werden onderzocht. Bovendien brachten de inzichten die hierboven zijn beschreven ook verdere vragen met zich mee die beantwoord moeten worden voordat de exploitanten van het aardgasnetwerk in Nederland hun ambities volledig kunnen voortzetten om waterstof pijpleiding transportinfrastructuur te ontwikkelen. Op het moment van het schrijven van het rapport was de tweede fase van het HyDelta-programma (HyDelta Tweede Tranche) in volle gang, waar onderzoeksvragen werden behandeld die direct voortkwamen uit het onderzoek van de HyDelta Eerste Tranche, of vragen die daaruit voortkwamen, zoals:

- [Directe voortzetting van HyDelta Eerste Tranche] Locaties van elektrolyseurs voor optimale waterstofproductiekosten in Nederland
- [Vraag afgeleid van onderzoek HyDelta Eerste Tranche] Risico's en samenwerking over de waterstofwaardeketen
- [Vraag afgeleid van onderzoek HyDelta Eerste Tranche] Waterstofgebruik om aanbodcongestie in Nederland te verminderen
- [Directe voortzetting van HyDelta Eerste Tranche] Fakkelen en inbedrijfstelling van hogedruk waterstofpijpleidingen
- [Directe voortzetting van HyDelta Eerste Tranche] Vervolg van de kwantitatieve risicobeoordeling van waterstof distributie en -gebruik in de gebouwde omgeving
- [Directe voortzetting van HyDelta Eerste Tranche] Voortgezet onderzoek naar tankstations en hun werking onder waterstofatmosferen
- [Vraag afgeleid van onderzoek HyDelta Eerste Tranche] Werking van opblaasbare gasafsluiters om waterstoflekkage tijdens onderhoud en inbedrijfstelling te verminderen
- [Vraag afgeleid van onderzoek HyDelta Eerste Tranche] Conversieplan van waterstof distributie-infrastructuur, van planning tot conversie
- [Vraag afgeleid van onderzoek HyDelta Eerste Tranche] Digitalisering in waterstofnetwerkbeheer
- [Nieuwe onderzoeksvraag] Stand van zaken van waterstofgestookte branders
- [Nieuwe onderzoeksvraag] Publieke acceptatie van waterstoftransport

- [Directe voortzetting van HyDelta Eerste Tranche] Inventarisatie van benodigd personeel en opleidingsfaciliteiten voor HBO en WO onderwijsniveaus in Nederland.

5. Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

Het HyDelta Eerste Tranche project resulteerde in de publicatie van 37 rapporten, 4 samenvattingen vanuit openbare disseminatiewebinars en 1 samenvattend rapport, allemaal te vinden in een publiekelijk toegankelijk en gratis toegankelijk depot. Vanwege de enorme hoeveelheid kennis die gegenereerd is, is het moeilijk om al het onderzoek dat in dit project is gedaan in een paar zinnen samen te vatten. In plaats daarvan kan de lezer hieronder de locatie van alle rapporten van de HyDelta Eerste Tranche vinden:

DOI	Publicatie	Publicatiedatum	Totaal aantal downloads
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598257	D0.3 Summary of the references used in the HyDelta 1 project	2022-06-29	181
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598278	D1A.1 Insights from the Hy4Heat and H21 projects, translated to the Dutch situation	2022-10-06	173
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598306	D1A.2 Quantitative risk assessment, the effect of ventilation in small leaks and recommended risk-mitigating measures for hydrogen in the built environment in the Netherlands	2022-10-06	112
https://doi.org/10.5281/zenodo.6469610	D1B.1 Operation of gas stations with spring loaded regulators with hydrogen	2022-04-19	225
https://doi.org/10.5281/zenodo.6469665	D1B.2 Safety during maintenance works for hydrogen gasstations	2022-04-19	171
https://doi.org/10.5281/zenodo.6566428	D1B.3A Ventilation in gas stations	2022-10-06	104
https://doi.org/10.5281/zenodo.6541887	D1B.3B Preliminary work plan for explosion testing in gas stations	2022-10-06	113
https://doi.org/10.5281/zenodo.6483246	D1B.4 Dust transport properties of hydrogen and natural gas in filters of gas stations	2022-04-25	200
https://doi.org/10.5281/zenodo.5142227	D1C.1 Purging of natural gas pipelines with H2	2021-07-28	719
https://doi.org/10.5281/zenodo.5707274	D1C.1a Entry of air into a hydrogen pipeline in case of a pipe rupture	2021-11-17	457
https://doi.org/10.5281/zenodo.5901916	D1C.2 Tightness of distribution pipes	2022-01-25	505
https://doi.org/10.5281/zenodo.6405028	D1C.3 The influence of the existing natural gas distribution networks on the purity of hydrogen	2022-04-01	262
https://doi.org/10.5281/zenodo.5902013	D1C.4 Domestic pressure regulators	2022-01-25	299
https://doi.org/10.5281/zenodo.6566492	D1C.5 Risks involved in the use of hydrogen instead of natural gas	2022-10-06	120
https://doi.org/10.5281/zenodo.5902087	D1C.6 Development of 100%-hydrogen compatible domestic components (NL + EN version)	2022-01-25	350

https://doi.org/10.5281/zenodo.6424110	D1D.1 Hydrogen flow metering for the built environment	2022-04-08	219
https://doi.org/10.5281/zenodo.5901832	D1E.1 Impact of high speed hydrogen flow on system integrity and noise	2022-01-25	987
https://doi.org/10.5281/zenodo.6504399	D1F.1 Hydrogen compatibility of ball valves from the natural gas transmission grid	2022-04-29	292
https://doi.org/10.5281/zenodo.5561226	D2.1 Choice for a sulphur free odorant	2021-10-11	499
https://doi.org/10.5281/zenodo.5902156	D2.2 Influence of sulfur containing odorant on end use appliances	2022-01-25	253
https://doi.org/10.5281/zenodo.6504434	D2.3 Stability of odorants in hydrogen	2022-04-29	272
https://doi.org/10.5281/zenodo.6566516	D2.4 The risk of not odourising hydrogen	2022-10-06	84
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598332	D2.5 Advice on odorant choice for hydrogen	2022-10-06	125
https://doi.org/10.5281/zenodo.6382534	D3.1 Development of standards for hydrogen	2022-04-08	375
https://doi.org/10.5281/zenodo.6372781	D4.1 The requirements for technical personnel and advice for reinforcing education on the subject of hydrogen	2022-03-21	300
https://doi.org/10.5281/zenodo.5591961	D7A.1 Hydrogen value chain literature review	2021-10-22	270
https://doi.org/10.5281/zenodo.6477439	D7A.2 Techno-economic analysis of hydrogen value chains in the Netherlands: value chain design and results	2022-04-22	284
https://doi.org/10.5281/zenodo.6523338	D7A.3 Summary for policymakers: hydrogen value chains in the Netherlands	2022-05-06	162
https://doi.org/10.5281/zenodo.6469568	D7B.1 Factsheets H2 value chain elements	2022-04-19	203
https://doi.org/10.5281/zenodo.6469592	D7B.2 Supporting information factsheets H2 value chain	2022-04-19	140
https://doi.org/10.5281/zenodo.6514172	D7B.3 Cost analysis and comparison of different hydrogen carrier import chains and expected cost development	2022-05-03	1641

https://doi.org/10.5281/zenodo.6598362	D7B.4 A roadmap on transport and storage of hydrogen and hydrogen carriers for five sectors in the Dutch economy	2022-06-01	143
https://doi.org/10.5281/zenodo.5142246	D8.1 Admixing literature review	2021-07-28	1018
https://doi.org/10.5281/zenodo.5566781	D8.2 Assessment Admixing Schemes	2021-10-13	267
https://doi.org/10.5281/zenodo.6044858	D8.3 Pilots for introducing hydrogen blending quota	2022-02-11	129
https://doi.org/10.5281/zenodo.6420994	D8.4 Economic aspects of Mandatory Hydrogen Blending Quota Schemes	2022-04-07	99
https://doi.org/10.5281/zenodo.6425266	D8.5 Mandatory blending of hydrogen: summary for policy makers	2022-04-08	107
https://doi.org/10.5281/zenodo.5079094	HyDelta 1.0 First plenary progress meeting - 30-06-2021	2021-07-07	157
https://doi.org/10.5281/zenodo.5079069	HyDelta 1.0 Kick-off meeting - 19-01-2021	2021-07-07	124
https://doi.org/10.5281/zenodo.5779887	HyDelta 1.0 Second plenary progress meeting - 07-12-2021	2021-12-14	1204
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598381	HyDelta 1.0 Third plenary progress meeting - 17-06-2022	2022-06-27	353
https://doi.org/10.5281/zenodo.6598394	Summary report HyDelta 1	2022-10-06	236
	Totaal		13,934

6. Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn;

Dit rapport zal onderdeel worden van het samenvattende rapport van HyDelta 1 “summary report HyDelta 1”. Dit rapport is te vinden zonder betaling op de volgende website:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6598394>

7. Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie

- Julio Garcia-Navarro: j.garcia@newenergycoalition.org
- Catrinus Jepma: c.jepma@newenergycoalition.org

8. Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier

“Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.