

HyDelta 2

WP1 – Projectcoördinatie

D1.3b – Openbaar eindrapport: mei 2022 t/m juli 2023

Status: draft

Document samenvatting

Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	Julio C. Garcia-Navarro
Verbonden aan	New Energy Coalition
E-mailadres	j.garcia@newenergycoalition.org

Document historie

Versie	Datum	Auteur	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	01-Aug-2023	Julio C. Garcia-Navarro	NEC	Eerste versie

Verspreidingsniveau

PU	Publiek	X
RE	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Project partners inclusief Expert Assessment Group Externe entiteit met wie een geheimhoudingsplicht bestaat 	

Document review

Partner	Naam

Inhoud

Document samenvatting.....	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	8
3. Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)	29
4. Spin-off binnen en buiten de sector	30
5. Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn 32	
6. Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn	36
7. Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie	36
8. Vermelding van de verkregen subsidie op de volgende manier.....	36

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

Referentienummer	TKI2022 HyDelta2
Projectnaam	HyDelta2
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) • [Hanze] Hanzehogeschool Groningen (Medeaanvrager) • [NBNL] Vereniging Netbeheer Nederland (cash cost-share contributor) • [GASUNIE] N.V. Nederlandse Gasunie (cash cost-share contributor)
Projectperiode	Mei 2022 t/m juli 2023

HyDelta Tweede Tranche (HyDelta 2) is een project dat plaatsvond tussen mei 2022 en juli 2023. 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, Hanzehogeschool Groningen 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.

HyDelta Tweede Tranche was een voortzetting van een project namens HyDelta Eerste Tranche (dec 2020 t/m april 2022). Het programma is verdeeld in 11 werkpakketten (WP's) waar verschillende onderzoeksvragen worden beantwoord door een samenwerking van onderzoeksbureau's en de Nederlandse gas netbeheerders. De tabel hieronder geeft een korte introductie van de werkpakketten van HyDelta 2.

Werkpakket	Titel volgens het projectvoorstel	Coordinator	Korte beschrijving
Projectcoördinatie			
WP1	Coördinatie & disseminatie	NEC	Coördinatie van het programma
De economische aspecten van waterstof in Nederland			
WP2	Modeling hydrogen market dynamics in	NEC	Het modelleren van de dynamiek van de waterstofmarkt in een geïntegreerd energiesysteem;

	an integrated energy system		
WP3	Risks, uncertainty, and collaboration in the hydrogen-based value chain	TNO	Het vergroten van het begrip met betrekking tot de effecten van risico, onzekerheid en samenwerking tussen actoren bij beslissingen met betrekking tot de inzet van flexibele stroom-naar-waterstof conversie in energiesystemen op verschillende niveau's;
WP4	Hydrogen blending and congestion management	NEC	c. ophelderen van het potentieel voor lokale waterstofproductie en -verbruik in gebieden in Nederland waar sprake is van congestie op het elektriciteitsnet, en welke factoren hier een cruciale rol spelen.
Waterstofveiligheid in het gasnetwerk			
WP5	Safe operations of the high-pressure transmission grid	Kiwa	Bepalen hoe operationele H2-pijpleidingen veilig kunnen worden bediend en onderhouden, bijvoorbeeld, kan hercompressie worden gebruikt? Is het mogelijk om af te fakkelen of af te blazen? Welke werkprocedures moeten worden gevolgd? Welke apparatuur is vereist?
WP6a	Safety of hydrogen in the distribution grid and built environment	DNV	Voer testen uit en ga verder met de ontwikkeling van een Kwantitatieve Risicoanalyse (QRA) om de risico's van lekkages van waterstof in de bebouwde omgeving in kaart te brengen en, indien nodig, aanbevelingen te geven voor het nemen van mitigatiemaatregelen.
WP6b.1	Safety and suitability of assets and working methods in the distribution grid and built environment	Kiwa	Bepaal welke aanpassingen aan het omhulsel (de behuizing) van tankstations nodig zijn voor veilige distributie van waterstof via tankstations: ventilatie, benodigde aanpassingen, enzovoort.
WP6b.2	Safety and suitability of using inflatable gas stoppers in the distribution grid to mitigate a hydrogen leak	Kiwa	Inzicht krijgen in de risico's die gepaard gaan met het gebruik van opblaasbare gasafsluiters voor het tijdelijk afsluiten van een waterstofgasleiding, inclusief eventuele aanvullende vereisten.
WP9	NOx mitigating strategies for	DNV	In kaart brengen van succesvol toegepaste NOx-reducerende strategieën en verhelder de

	hydrogen use in high temperature industries		basis voor ontwerpregels voor waterstofbranders die worden toegepast in processen bij hoge temperaturen om NOx-emissies te verminderen.
Waterstof en transportinfrastructuur			
WP7	Analysis of the conversion of a natural gas distribution network to hydrogen	TNO	Ontwikkeling van een plan voor de conversie van een aardgasdistributienetwerk naar een waterstofdistributienetwerk (van het gasontvangststation tot de gasinstallaties van klanten).
WP8	Analyzing digitalization in network management	TNO	Onderzoek hoe digitalisering (simulatie- en beslissingsondersteuningstools gecombineerd met speciale sensoren) kan bijdragen aan een effectieve overgang naar waterstofnetwerken.
Sociale aspecten van waterstof			
WP10	Social acceptance for hydrogen transport and storage	Hanze	Wat zijn de belangrijkste maatschappelijke uitdagingen voor de inzet van waterstoftransport/distributie, opslag en toepassing binnen de bebouwde omgeving in Nederland, en hoe kunnen deze uitdagingen worden overwonnen als onderdeel van de ontwikkelings- en implementatiestrategie?
WP11	Labor market and training implications of hydrogen	NEC	Een inventarisatie en overzicht van de benodigde (toekomstige) vaardigheden en beschikbare opleidingen om de vraag van opgeleide personeel te kunnen vullen bij de opkomende waterstofeconomie, om te dienen als een startpunt voor het ontwikkelen van aantrekkelijke en uitgebreide leerplannen om relevant personeel te trainen in waterstoftechnologieën en toepassingen.

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 (kwalitatieve omschrijving van hoe de uitgevoerde activiteiten bijdragen/hebben bijgedragen aan de missies en/of het realiseren van economische kansen)	**Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van de uitgevoerde activiteiten en de (eventueel) samenwerkende partijen	**Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing
<p>WP2</p>	<p>Twee deliverables zijn opgeleverd. De eerste deliverable geeft een overzicht van de belangrijkste regulatieve- en marktdrijfveren voor de ontwikkeling van elektrolyse capaciteit in Nederland. Daarbij is de impact van mogelijke marktfactoren op de benodigde subsidie-intensiteit gekwantificeerd. Ook is geïdentificeerd waar elektrolysecapaciteit te verwachten valt, en welke factoren bijdragen aan de bedrijfs- en systeemwaarde van elektrolyse locaties.</p> <p>De tweede deliverable beschrijft waarom elektrolyse zonder extra financiële prikkels geen oplossing zal vormen voor congestie en mogelijke vertragingen in uitbreiding van het elektriciteitsnet. Daarnaast is de impact van verschillende klantcombinaties van mogelijke toekomstige waterstof</p>	<p>Het uitgangspunt van het werkpakket was dat in de komende jaren grote ontwikkelingen rondom elektrolyse capaciteit en waterstof infrastructuur worden verwacht. Op basis daarvan zijn vijf onderzoeksvragen geformuleerd die van uiterst belang zijn voor de netbeheerders, beleidsmakers en andere stakeholders in de waardeketen om goed voorbereid te zijn:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Welke drijfveren bepalen hoeveel elektrolyse capaciteit we tot 2030 kunnen verwachten? 2. Waar kunnen we elektrolysecapaciteit verwachten en hoe is de locatie van invloed op de systeem en bedrijfswaarde van elektrolyse capaciteit? 3. Hoe zal elektrolyse capaciteit opereren en hoe kunnen netbeheerders dit beïnvloeden? 4. Kan elektrolysecapaciteit van waarde zijn als uitbreiding van het 	<p>Het werkpakket heeft twee deliverables opgeleverd. De eerste deliverable bevat de volgende informatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Een overzicht en gedetailleerde uitleg van de belangrijkste regulatieve- en marktdrijfveren voor elektrolysecapaciteit in Nederland. • Een kwantificering van de benodigde subsidie-intensiteit voor 4 of 8 GW elektrolysecapaciteit onder verschillende marktomstandigheden (inclusief de elektriciteit en waterstofprijzen). • Een overzicht van de geografische spreiding van de beoogde Nederlandse elektrolyseprojecten en hun capaciteiten. • Een overzicht en gedetailleerde uitleg welke factoren belangrijk zijn voor elektrolyse locaties, zowel vanuit systeemwaarde als bedrijfswaarde perspectief. • Geïdentificeerde drijfveren voor meer centrale en decentrale elektrolyse capaciteit, met daarbij beschrijvingen in welke regio's bepaalde relevante karakteristieken voorkomen. <p>De tweede deliverable bevat de volgende informatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inzicht in welke mate (marktprijs gedreven) electrolysers opereren tijdens de piekbelasting momenten van dat deel van het elektriciteitsnet. • Inzicht in welke mate het GOPACS systeem de operatie van electrolysers kan beïnvloeden, of dit congestie zal verminderen en welke alternatieven er zijn. • Hoe verschillende combinaties waterstofgebruikers in de toekomst de effectiviteit en omzet van grootschalige waterstof

distributienetten en grootschalige opslagen geïdentificeerd. De opgedane inzichten onderwerpen zijn erg relevant voor toekomstig beleid en betrokken stakeholders.

elektriciteitsnet vertraging oploopt?

5. Hoe zijn verschillende combinaties van eindgebruikers van invloed op de verdienmodellen van regionale netbeheerders en grootschalige opslag?

Vragen 1, 2 en 5 zijn beantwoord door NEC en vragen 3 en 4 zijn beantwoord door TNO. DNV had met name een ondersteunende rol in het werkpakket.

opslagcapaciteit beïnvloeden.

- Hoe verschillende combinaties waterstofgebruikers en andere relevante factoren toekomstige gasdistributietarieven kunnen beïnvloeden.

WP3

De werkzaamheden hebben aan een brede groep stakeholders (o.a., netbeheerders, private investeerders, beleidsmakers) duidelijk gemaakt dat er op dit moment veel risico's en onzekerheden in waardeketens voor groene waterstof bestaan, en dat samenwerking tussen partijen in die waardeketens cruciaal is om die risico's in kaart te brengen en te mitigeren. Ook zijn methodes ontwikkeld voor het gezamenlijk in kaart brengen van risico's.

In WP3 hebben we samen met onze stakeholders methodes gedefiniëerd en ontwikkeld die een analyse mogelijk maken van:

1. (Kwantificeerbare) risico's en (niet-quantificeerbare) onzekerheden voor marktpartijen, waaronder bijvoorbeeld OPEX-risico, prijsrisico, macro-economisch systeemrisico, beleidsrisico's, etc.
2. Onzekerheid en risico's voor beleidsmakers op verschillende niveaus, waaronder lokaal en nationaal
3. Behoeften aan en mechanismen voor het delen van opbrengsten tussen samenwerkende partijen in de waterstofwaardeketen, evenals het delen van risico's.

Hiervoor hebben we een mixed-methods benadering gebruikt, bestaande uit workshops met stakeholders, kwantitatieve modellering van energiesystemen en markten met een reeks modellen en kwalitatieve analyse. Deze methoden zijn ingezet om drie doelstellingen te behalen:

1. Vergroting van het inzicht in de impact die elektrolyse, waterstoftransport en -opslag en waterstofverbruik hebben op

Het belangrijkste behaalde resultaat is een typologie van risico's en onzekerheden in waardeketens voor groene waterstof, waarin een grote verscheidenheid aan risico's en onzekerheden zijn opgenomen. Deze risico's en onzekerheden zijn te classificeren in een kleiner aantal categorieën. Geen enkele stakeholder heeft zelf een volledig overzicht van alle risico's en onzekerheden in de waardeketen, ondanks het feit dat die risico's en onzekerheden vaak wel propageren naar de hele waardeketen. Samenwerking bij het identificeren van risico's en onzekerheden is dus nodig. Risico's en onzekerheden kunnen ook zelfden door individuele partijen worden gereduceerd of gemitigeerd. Ook daar is samenwerking nodig. Zonder verdere stappen zorgen de vele risico's en onzekerheden ervoor dat de opschaling van waardeketens voor groene waterstof langzamer gaat dan nodig. Ook de overheid heeft hierin een rol. Nederlandse overheidsinstanties moeten beleidsconcepten verkennen die (1) langdurige samenwerking in de waardeketen op gang brengen en (2) helpen bij het verminderen van onaanvaardbare onzekerheden zonder eigenaar, welke investeringen belemmeren

Risico's zijn niet gelijk verdeeld over waardeketens. Investerings in commerciële opslagcapaciteit zijn bijvoorbeeld veel gevoeliger voor bepaalde soorten risico's, waaronder het risico van lager dan geplande elektrolysecapaciteit, dan andere delen van de waardeketen. Hetzelfde geldt tot op zekere hoogte voor importfaciliteiten. Aangezien opslag een belangrijke bijdrage levert aan de betrouwbaarheid en leveringszekerheid van het systeem, kan samenwerking op het gebied van opslaginvesteringen specifiek van cruciaal belang zijn; bijvoorbeeld via mechanismen die nu in aardgassystemen worden gebruikt, waarbij netbeheerders opslagcapaciteit boeken en de kosten hiervan doorberekenen aan alle gebruikers.

stakeholders in het bredere energiesysteem.

2. Vergroting van het inzicht in de effecten van risico's, onzekerheid en samenwerking tussen actoren in waterstofketens.

3. Inzicht krijgen in mogelijke mismatch tussen individuele- en systeemwaarden en risico's voor de verschillende stakeholders in waardeketens voor groene waterstof.

Risico's in distributienetwerken zijn anders, en vaak groter, dan in transmissienetwerken. Lokale markten die niet verbonden zijn met nationale markten zijn moeilijk voorstelbaar zonder coördinatie. Alleen een grote hoeveelheid waterstofopslag kan vraag en aanbod lokaal in balans brengen als lokale stakeholders alleen hun eigen doelen nastreven. Lokale markten die verbonden zijn met een nationale waterstofmarkt zijn beter realiseerbaar, maar vanwege de grote risico's in distributienetwerken zal de grootschalige bouw van distributie-infrastructuur voor waterstof waarschijnlijk volgen op transmissie-infrastructuur, in plaats van voorop te lopen.

Hiernaast zijn ook de in HyDelta 1 ontwikkelde factsheets voor waterstofketens geactualiseerd. Deze kunnen door stakeholders gebruikt worden voor verdere analyse, bijvoorbeeld van business cases.

WP4

It's expected that the results of the research will shed light on the importance of speeding up incentives for electricity grid flexibility techniques and resources such as electrolyzers and supply-side utility scale batteries for a better and efficient use of the e-grid for dealing with congestion. The stimulation for these new measures could definitely also play a role in emboldening the economic opportunities that these technologies could play and also stimulate their utilization. Seeing that there is no incentive at the moment for the utilization of these techniques it's hoped that the research results can vouch for and ensure new and appropriate incentives for setting up frameworks at a regional level. Ultimately these policy interventions can also economically stimulate these products and services.

Activities carried it out for the research involved gathering data for the model that we used to derive the results. This data was for example the CAPEX, OPEX, spatial footprint of certain P2G assets and electricity grid components. Congestion data was also utilized to see whether the proposed flexibility measures played a role in shaving peaks. Interview were also conducted with experts within the 6th industrial cluster to see how they are adapting to the potential that hydrogen can play for their industries. Input from the expert assessment group and also their contacts also helped in verifying our approaches and ideas.

Both deliverables investigated solutions for mitigating the prevalent and ongoing electricity grid congestion in the Netherlands from a regional perspective via the implementation of PtG systems (e.g., via electrolyzers) and other flexibility providing options such as utility scale batteries and curtailment techniques. It was shown that local PtG investments and subsequent hydrogen blending can be a first step towards local integration of electricity and gas systems. These investments can help by offering a solution for local e-grid congestion problems; enhancing the profitability of RES investments; and improving local security of supply conditions. They can also act as a stepping stone to synergistically serve an increasing number of end users besides local industry (e.g. mobility and the built environment); and may act as a dominant enabler of a decisive decarbonisation trend in the entire relevant area.

Results also clearly indicated that a mix of flexibility solutions can cost-effectively reduce electricity grid reinforcement needs and therefore societal costs, but only if cost-benefit analyses are systematically implemented and new legislation and regulatory measures are introduced supporting that the incentives to get to the optimal solution are implemented. These alternative options require alignment of stakeholders interests and a supportive legislative and regulatory framework.

Given the seriousness of the domestic e-grid congestion issues such developments are urgently needed (both for the distribution and transmission e-grid); in fact not having them in place can be seen as a serious obstacle for green hydrogen and battery investment, and a stimulus for growing undue e-grid congestion.

WP5

Gasunie heeft de opdracht gekregen een landelijk waterstof transport systeem te maken. Tijdens de bedrijfsvoering van dit netwerk moeten er soms aanpassingen en/of uitbreidingen gemaakt worden aan dit transportsysteem. Om dit veilig te doen dient er in sommige gevallen waterstof gecontroleerd uit het netwerk gehaald worden. Dit zal allereerst worden gedaan door druknivellering en daarna door hercompressie. Het restant aan waterstof dat dan nog in het transportnet aanwezig is zal via afblazen of affakkelen verwijderd moet te worden. De werkzaamheden moeten mogelijk anders uitgevoerd worden. Dit werkpakket geeft antwoord op de vraag in hoeverre aanpassingen nodig zijn

Om vast te stellen of hoge druk waterstofleidingen met behulp van afblazen en affakkelen drukloos gemaakt kunnen worden zijn er dertien specifiekere onderzoeksvragen geformuleerd. Deze zijn beantwoord door uitvoering van theoretisch en praktisch onderzoek. Het theoretisch onderzoek beschouwt de verschillen tussen afblazen en affakkelen in het algemeen en maakt een vergelijking tussen het affakkelen van aardgas en van waterstof. Daarnaast is er informatie vanuit de markt gehaald door het interviewen van een tweetal industriële grootverbruikers die bekend zijn met het affakkelen van waterstof. Tevens is er gesproken met twee leveranciers van fakkelinstallaties. Bij het praktisch onderzoek is de fakkelinstallatie beoordeeld op het gedrag bij directe ontsteking, het gedrag bij vertraagde ontsteking, de kans op vlaminslag. Onderhoud aan het hoge druk gastransportnet verandert mogelijk door introductie waterstof, doelstelling is om te komen tot overzicht van benodigde veranderingen.

De algehele conclusie is dat affakkelen de voorkeur heeft boven afblazen. Dit nadat uitbufferen en hercompressie heeft plaats gevonden. Met de gebruikte fakkelinstallatie is aangetoond dat het affakkelen van debieten in de orde grootte van 500, 2.500, 4.000 en 6.000 Nm³/h mogelijk is. Bij de uitgevoerde experimenten was er geen sprake van overmatige geluidsproductie of excessen in drukgolven. Het wordt aanbevolen om na te gaan in hoeverre de verkregen resultaten geëxtrapoleerd kunnen worden voor de toepassing van het affakkelen van grotere debieten en bij grotere diameters.

Met betrekking tot het uitvoeren van werkzaamheden is er een overzicht gemaakt van verschillende casussen waar de voor- en nadelen van verschillende secties van een transportpijpleiding waar onderhoud moet worden gedaan, en de respectievelijke keuze tussen affakkelen en afblazen in elke situatie

WP6A

De activiteiten van het werkpakket dragen bij aan de veilige toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving. In het werkpakket is een kwantitatief risicomodel ontwikkeld, en is het gevolg van kleine lekkages in een woning onder verschillende ventilatiegraden aangetoond. Beide activiteiten leiden tot een beter inzicht in de risico's van waterstof in de gebouwde omgeving. Met deze activiteiten, is een verdere veilige toepassing van waterstof, op korte termijn vooral in pilotprojecten een stap dichterbij gekomen.

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. In het Hydelta programma is daartoe het werkpakket 'Waterstof en Veiligheid' gedefinieerd waarin de hoofddoelstelling als volgt geformuleerd is:

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.

Met behulp van (bestaande) risicomodellen kunnen kansen en

De meetresultaten voor zowel waterstof als aardgas leiden tot de volgende bevindingen:

Binnen de meterkast

Bij een gasuitstroom in de meterkast van:

- 50 dm³/h of meer loopt de concentratie op tot meer dan 100% LEL als er geen ventilatie-roosters zijn aangebracht, maar tot minder dan 100% LEL als er wel roosters conform de norm zijn aangebracht.
- 100 dm³/h of meer is de eindconcentratie wel groter dan 100% LEL.

Buiten de meterkast in een slecht geventileerde ruimte

Bij een gasuitstroom in de meterkast van:

- Tot 100 dm³/h blijft de concentratie buiten de meterkast onder 100% LEL;
- 300 dm³/h stijgt de concentratie in een deel van de experimenten boven 100% LEL
- 1000 dm³/h bedraagt de eindconcentratie in alle gevallen meer dan 100% LEL.

Bij geforceerde ventilatie in de ruimte door afzuiging of inblazen van lucht (met een ventilatievoud van ongeveer 1/h) blijven de concentraties in de ruimte ook bij hogere uitstroom (tot 300 dm³/h) onder de LEL.

Het QRA model laat zien, onder de gedane aannames, dat alle berekende plaatsgebonden risico's voor zowel aardgas als waterstof ver onder de 1x10⁻⁶ per jaar blijven en daarmee een zeer beperkt risico geven. De berekende risico's voor aardgas komen goed overeen met de (beperkt) beschikbare historische praktijk data. Voor waterstof blijkt het grootste deel van het plaatsgebonden risico veroorzaakt te worden door lekkages achter de meter (ongeveer 73%). Het overige deel wordt veroorzaakt door de hoofdleiding en aansluitleiding waarop de woning is aangesloten, maar ook nabijgelegen hoofdleiding delen geven een

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.

risico. Voor waterstof treedt een verschuiving op van het verminderde risico door CO vergiftiging en een verhoogd risico vanuit explosies. Het totale plaatsgebonden risico is bij de gekozen set van aannames en zonder aanvullende maatregelen bij waterstof daarbij lager dan voor aardgas en in beide gevallen ver onder de 1×10^{-6} .

WP6B-1

Dit vervolgonderzoek is belangrijk omdat de ventilatie een belangrijke maatregel is bij een onbedoelde gaslekkage. Ventilatie zorgt ervoor dat het gas wordt verdund en de kans op ontbranding of explosie wordt geminimaliseerd. Voor transitie naar waterstof, is het van belang om te weten of deze gasdrukregelstations met dezelfde typen behuizingen ook met toepassing van waterstof hetzelfde risico draagt.

Het doel van dit onderzoek is om verder inzicht te verkrijgen hoe waterstof zich gedraagt in bestaande behuizingen t.o.v. aardgas. Dat inzicht is verkregen door het vraagstuk vanuit verschillende invalshoeken te bekijken: praktijkmetingen en simulaties middels eindige elementen methode (CFD). Dit leverde interessante inzichten op die beleidsmakers helpen vast te stellen of, en welke maatregelen er verder genomen kunnen worden.

Als waterstof met gasdrukregelstations en de bestaande behuizingen wordt getransporteerd, dan is de verwachting dat bij een lekkage de concentraties in de behuizing hoger zijn dan met aardgas. In dit onderzoek is ook gekeken naar mogelijke aanpassingen en het effect ervan. Dat zijn aanpassingen die in principe in het veld uitgevoerd kunnen worden met de bestaande kasten. Zo kan onderventilatie worden toegevoegd door de behuizing enkele centimeters van de basis te lichten waardoor een sleuf aan de onderkant ontstaat. Daarnaast is het mogelijk om de dakrand enkele millimeters te verhogen door deze los te schroeven en terug te plaatsen met langere bouten met dikkere afstandhouders (o-ringen). Met deze praktisch, toepasbare modificaties is gekeken naar de effecten van deze ingrepen. Een overzicht van de effecten staat op Deliverable D6B.1 van dit werkpakket.

WP6B-2

Gasblazen zijn gemeengoed voor Nederlandse netbeheerders om tijdelijke onderbreking in aardgasnetten mogelijk te maken. Geschiktheid bij waterstof is onbekend. De onderzoeksvraag die in het rapport is behandeld is als volgt:
Zijn de gasblazen zoals ze nu worden toegepast in een aardgasdistributienet geschikt voor de toepassing in een waterstofdistributienet?
Met dit rapport is bijgedragen om werkzaamheden in het gasnet waar waterstof wordt gedistribueerd veilig uit te kunnen voeren.

In het huidige aardgasnet worden onder andere gasblazen gebruikt in geval van tijdelijke afsluitingen (incidenten of werkzaamheden aan het gasnet). Het is niet duidelijk of de huidige toepassing van gasblazen (procedures en middelen) ook op dezelfde kan gaan gelden voor waterstof. Dit met name vanwege de verschillen in de eigenschappen van aardgas en waterstof zoals dichtheid, brandbaarheidsgrenzen, verbrandingssnelheid en explosiekracht. Naast de ongewenste gevolgen zoals brand en explosie is een snellere verdringing van zuurstof ook een aspect waarmee rekening gehouden dient te worden. Uitgangspunt en doelstelling van dit werkpakket was als volgt: Zijn de gasblazen zoals ze nu worden toegepast in een aardgasdistributienet geschikt voor de toepassing in een waterstofdistributienet?

Gasblazen zoals ze nu worden toegepast in een aardgasdistributienet kunnen met inachtneming van aanvullende maatregelen ook worden toegepast in een waterstofdistributienet.
Bij reguliere werkzaamheden is er bij het plaatsen van gasblazen op een afstand van 1 meter vanaf een uitstroomopening geen verschil tussen een aardgas- en waterstofdistributienet. Een klein aardgaslek (< 0,2 m³/h) en een klein waterstoflek (<0,6 m³/h) nabij de blaas bleken te kunnen worden ontstoken. Hierdoor kan de blaas stuk gaan; dit was bij het aardgaslek ook het geval. Dit soort falen heeft zich tot nu toe in de praktijk slechts beperkt voorgedaan. Het voorkomen van de aanwezigheid van ontstekingsbronnen in de werkput is en blijft echter een belangrijk punt om dit falen bij aardgas én bij waterstof te voorkomen. Het nemen van enkele aanvullende maatregelen kunnen risico's verder verlagen.
Bij incidentbestrijding worden gasblazen op een veilige afstand geplaatst (o.a. afhankelijk van windrichting en daarmee samenhangende LEL grens) vanaf een uitstroomopening geplaatst. Bij deze praktijkproef is gekozen voor een afstand van 20 meter. Voor de toepassing in waterstofnetten, zijn de huidige blazen niet geschikt zonder dat er aanvullende maatregelen worden getroffen. Het is namelijk gebleken dat bij een beperkt lekdebiëet waterstof én ontsteking daarvan een blaas los kan schieten als gevolg van de heftige ontsteking.
Maatregelen om de risico's te verkleinen zijn onder andere het toepassen van een dubbele blaas (block & bleed), het geforceerd ventileren van de werkput en het meten van de gasconcentratie nabij het buiseind. De effectiviteit en inpasbaarheid van deze maatregelen zullen nader onderzocht dienen te worden. In dit rapport zijn aanbevelingen opgenomen voor fabrikanten van gasblazen, het College van Deskundigen Gastec QA en regionale netbeheerders.

WP7

Voor de (voorbereiding op) grootschalige ombouw van bestaande gasdistributienetten naar (vrijwel zuivere) waterstof hebben beheerders van gasdistributienetten behoefte aan een generiek ombouwplan dat is gebaseerd op alle ervaringen en inzichten die tot nu toe zijn opgedaan (in pilot- en onderzoeksprojecten en studies). Het generieke ombouw plan biedt inzichten in technische en organisatorische aspecten van de ombouw. Het generieke ombouwplan kan door netbeheerders als model worden gebruikt bij het ombouwen van het bestaande aardgasdistributienet naar waterstof. Hierbij is ervan uitgegaan dat (nagenoeg) zuivere waterstof beschikbaar is en zoveel mogelijk gebruik kan worden gemaakt van bestaande assets. Omdat elke gebied en het daarin gelegen gasdistributienet uniek is, zal het generieke ombouwplan aangepast moeten worden aan de specifieke kenmerken van het lokale gasdistributienet. Het ontwikkelde generieke ombouwplan heeft betrekking op

In werkpakket 7 van HyDelta 2 “Ombouw van aardgasdistributienetten naar waterstof” is een generiek ombouwplan ontwikkeld voor de grootschalige ombouw van bestaande gasdistributienetten naar nagenoeg zuivere waterstof. Dit model ombouwplan is gebaseerd op ervaringen en inzichten die zijn opgedaan in waterstofprojecten en ombouwstudies in Nederland en in het buitenland. Om in meer detail te begrijpen wat er allemaal bij een ombouwplan komt kijken zijn daarnaast voor dit project twee case studies uitgewerkt. Het model ombouwplan bevat een beschrijving van ruim 50 uit te voeren activiteiten, opgedeeld in 3 fasen en in totaal 7 stappen. Ten opzichte van de al bestaande ombouwplannen heeft de vernieuwing betrekking op onder meer een gedetailleerde uitwerking van activiteiten, een uitgewerkte tijdsplanning, beschrijving van taken en verantwoordelijkheden en een communicatieplan.

Het generieke ombouwplan is ontwikkeld in nauwe samenwerking met de netbeheerders. Het ombouwplan is gebaseerd op ervaringen en inzichten die zijn verkregen in bestaande projecten en pilots. In nieuwe ombouwprojecten zal het generieke ombouwplan door netbeheerders worden gebruikt, waarbij het generieke ombouwplan een basis biedt voor een uniforme werkwijze. Het generieke ombouwplan zal verder worden ontwikkeld op basis van ervaringen met nieuwe (pilot- en demonstratie) projecten. Deze studie heeft ook geresulteerd in een aantal aanbevelingen voor het verder verbeteren van de werkwijze en toe te passen technieken bij de ombouw van gasdistributienetten naar waterstof.

de ombouw van het gasdistributienet vanaf het waterstofinvoedingstation tot en met de gasinstallaties bij de eindgebruikers in huis. In de tijd start het ombouwplan bij de beslissing om in een geselecteerd gebied waterstof te gaan distribueren en loopt tot en met de fysieke ombouw van het gasdistributienet en aangesloten eindgebruikerstoepassingen. In het ombouwplan wordt er mee rekening gehouden dat omliggende gebieden nog enige tijd van aardgas voorzien blijven.

WP8

De roadmap voor digitalisering van gasnetwerken geeft aan welke componenten cruciaal zijn voor het goed kunnen ontwerpen en operationeel bedrijven van (toekomstige) gasnetwerken. Primair voor waterstof, maar ook toepasbaar voor andere hernieuwbare gasnetwerken, zoals groengas. Dit geeft een handreiking voor het doen van de juiste en tijdige investeringen in simulatie tools, meetinstrumenten en besturingssystemen voor het gasnetwerk. Het gebruik van deze tools leidt tot besparing in CAPEX en OPEX, zoals het bepalen van het optimale aantal meetinstrumenten (voor flow, druk en gaskwaliteit) én de locatie waar deze instrumenten geplaatst moeten worden. Dit is aangetoond aan de hand van een realistisch scenario, waarbij extra invoed punten zijn gesimuleerd in een complex (waterstof) distributienet waarin zowel huishoudelijke als industriële eindgebruikers zijn aangesloten. Voor dit scenario is geconcludeerd dat twee meetpunten voor druk en flow voldoende zijn om optimaal inzicht te krijgen in de

Bij overschakeling van aardgas naar hernieuwbare gasen zoals waterstof zullen er uitdagingen optreden in de leveringszekerheid. Dit onderzoek richt zich op de fysieke aspecten van het netwerk: capaciteit en kwaliteit van het gas. De uitdagingen zullen optreden bij het ontwerp, tijdens de transitieperiode en in de operationele periode van het waterstof netwerk. Het onderzoek richt zich op de distributienetwerken en daarbij is nauw samengewerkt met de regionale netwerk bedrijven Alliander, Stedin, Enexis en Rendo. Onderzoekresultaten zijn besproken met gastransportbedrijf Gasunie, als een benchmark. De doelstelling van het onderzoek is om in kaart te brengen hoe digitalisering - in de vorm van simulatie, monitoring en besturing van het gasnetwerk – kan bijdragen in een effectieve transitie naar waterstof netwerken. Waarbij de leveringszekerheid blijft gewaarborgd. Hierbij zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

De roadmap voor digitalisering van gasnetwerken geeft aan welke componenten cruciaal zijn voor het goed kunnen ontwerpen en operationeel bedrijven van (toekomstige) gasnetwerken. Primair voor waterstof, maar ook toepasbaar voor andere hernieuwbare gasnetwerken, zoals groengas. Het scenario 'strategische plaatsing van sensoren' voor druk- en flowsensoren in het gebied Kapelle is uitgewerkt en gekwantificeerd. Op dit netwerk zijn verschillende scenario's toegepast, gebruikmakend van TNO's dynamische gasnet simulator Aurora: toevoegen van nieuwe invoedlocaties voor elektrolyzers met een dynamisch profiel, het toevoegen van grote verbruikers, reductie van het aantal leidingen en het effect van nieuwe invoed locaties. De simulatietool is gebruikt om de optimale locaties te vinden in termen van druk en stroming binnen de aanvaardbare limieten. In alle scenario's is het aantal (flow- en druk)sensoren en hun locatie bepaald om de onzekerheid in flow en druk in het hele netwerk te minimaliseren. De verschillende scenario's tonen de noodzaak aan van een dynamische simulator die in staat is om flows en drukken in het netwerk te berekenen in het geval van een dynamische vraag- en aanbodsituatie. Alleen een tool zal niet voldoende zijn om volledig inzicht te krijgen, vanwege onzekerheden in de invoergegevens voor het netwerk. Daarnaast is (beperkte) monitoring noodzakelijk. Het voordeel van een simulatietool om het aantal en de locatie van sensoren te onderzoeken. Verder is inzicht in het gedrag van het netwerk essentieel voor de verwachte toename van het aantal gedecentraliseerde waterstofleveranciers (zowel van zonne- / windenergie als van overcapaciteit van het elektriciteitsnet) en het vermogen van de DSO's om de druk in het distributienetwerk te regelen en te beheren. Alles overziend, kunnen we een conclusie trekken over de

dynamische capaciteit van het netwerk.

1. Hoe kan digitalisering bijdragen aan een effectieve transitie naar waterstof netwerken?
2. Hoe kan digitalisering bijdragen in een kosten-effectieve afbouw van het netwerk (indien de capaciteit dit toelaat).
3. Wat zijn de meest interessante digitaliseringstechnologieën die ontwikkeld moeten worden in de komende vier jaar?
4. Gebaseerd op de huidige expertise en data: Hoe zien de toekomstige vraag- en aanbodprofielen eruit, wat betekent dit voor de drukken en flows in het netwerk en welke maatregelen moeten worden genomen om de leveringszekerheid te blijven garanderen?
5. Hoe is de trade-off tussen de mate van monitoring (aantal sensoren) en geavanceerde simulatietools?

toegevoegde waarde van digitalisering van het gasnet. Het gasnet staat momenteel voor verschillende brede uitdagingen die kunnen worden geholpen door digitale technologieën. Huidige standaardoperaties zoals onderhoudsplanning en leveringszekerheid kunnen profiteren van digitalisering, door de DSO's in staat te stellen betere beslissingen te nemen en passende investeringen te doen. Digitalisering zorgt voor nauwkeuriger en real-time inzicht en een combinatie van een robuust rekenmodel en online data van een beperkt aantal sensoren zorgt voor voldoende inzicht. Bovendien maakt digitalisering scenarioanalyse mogelijk en creëert het meer kansen voor hernieuwbare gassen in het gasnet.

WP9

Om waterstof als brandstof in de industrie een economisch succes te maken moeten lage NOx emissies gegarandeerd worden. Binnen dit project zijn ontwerp regels voor lowNOx branders opgesteld. Daarnaast zijn drie waterstof branderconcepten gemaakt met als doel om de NOx emissie bij waterstofverbranding laag te houden en optimale verbranding te realiseren. De branders kunnen in bestaande hoge temperatuurovens toe worden gepast waardoor de CAPEX kosten gering zijn. Het is aan te bevelen om de branderconcepten te realiseren en te testen zodat op korte termijn lowNOx branders beschikbaar zijn voor de hoge temperatuurindustrie.

De doelstelling van het project is te komen tot ontwerpregels voor lowNOx branders voor de hoge temperatuurindustrie. Om tot ontwerpregels te komen is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Het literatuuronderzoek omvat de volgende werkzaamheden:

- Inventarisatie van verschillende brandertechnologieën die worden gebruikt in de hoge temperatuurindustrie
- Bepaling van de fundamentele verbrandings- en stromingseigenschappen van aardgas en waterstof: Hoe ontstaat NOx bij de verbranding van aardgas en waterstof?
- Onderzoek naar de verschillen tussen de NOx-emissies van aardgas- en waterstofverbranding voor verschillende industriële hoge temperatuurbranders: Wat veroorzaakt deze verschillen in NOx-emissies?
- Het geven van een overzicht van succesvol toegepaste NOx-reducerende maatregelen voor aardgasbranders en, indien beschikbaar, NOx-reducerende maatregelen voor waterstofbranders voor hoge temperatuursprocessen.

Uit het uitgevoerde literatuuronderzoek en simulaties blijkt dat toevoegen van waterstof aan aardgas leidt tot een hogere vlamtemperatuur, bredere ontvlambaarheidsgrenzen, snellere diffusie en hogere verbrandingssnelheid. Als gevolg hiervan komt de vlam bij toevoeging van waterstof dichter bij de branderkop te staan, wat leidt tot een lagere interne rookgasrecirculatie en (nog) hogere vlamtemperaturen. Voor het overgrote deel van de in de literatuur beschreven branders leidt waterstof toevoeging aan aardgas tot een verhoging van de NOx-emissie. De NOx-mitigerende maatregelen die geïdentificeerd zijn in de literatuur laten zien dat het verminderen van de verblijftijd, (lokale) temperatuur en de zuurstofconcentratie effectieve maatregelen zijn om de NOx-emissie te verminderen tot het huidige of zelfs lagere niveau.

Simulaties laten zien dat er ongeveer 16% rookgas in het H₂/luchtmengsel aanwezig moet zijn om bij een oventemperatuur van 1000 °C dezelfde NOx-waarden te krijgen als voor methaan. Bovendien tonen simulaties aan dat verbranding onder brandstofrijke omstandigheden resulteert in lage NOx-vorming. De berekende NOx-vorming bij waterstof verbranding ligt in hetzelfde bereik als bij methaanverbranding in het geval dat de equivalentieverhouding hoger is dan $j=1.2$. Op basis van de uitkomsten van deze studie zijn drie verschillende conceptuele branderontwerpen voorgesteld; 1) een pijp-in-pijpbrander, 2) een swirlbrander en 3) een getrapte verbrandingsontwerp. Alle drie de branderuitvoeringen zijn voorzien van een venturi om interne rookgasrecirculatie te bevorderen. De ontwerpparameters van de brander, zoals de diameter van de brandstof- en luchtinlaat, de diameter van de venturi en de luchtdruk die nodig is om voldoende rookgasrecirculatie en/of trapverbranding te creëren om de vorming van NOx te onderdrukken, zijn berekend met behulp van

De inzichten en berekeningen moeten leiden tot ontwerpregels voor lowNOx branders.

het ontwikkelde jet-model.

Het is aan te bevelen om de brander zodanig te construeren dat de branderkoppen flexibel verwisseld kunnen worden en om de brander te testen in een (semi)-industriële oven. Tijdens deze testen wordt het effect van verschillende branderkoppen en branderconfiguraties op de NOx-emissie bestudeerd. De hierbij verkregen informatie zal worden gebruikt om de optimale configuratie te creëren. Daarnaast zullen de test resultaten waardevolle inzichten opleveren voor het ontwerp van waterstofbranders voor diverse industriële toepassingen.

WP10

De uitgevoerde activiteiten hebben bijgedragen aan kennis over en praktische aanbevelingen omtrent de waterstofontwikkeling in Nederland op het sociaal-maatschappelijk vlak. Het onderzoek is in de breedte verkennend geweest en betreft zowel literatuuronderzoek, interviews met nationale stakeholders als veldonderzoek. Het veldonderzoek bestond uit vragenlijsten en interviews met lokale stakeholders, bewoners en omwonenden.

Door deze insteek is er een gedegen indruk gekregen van de best practices en geleerde lessen omtrent het implementeren van waterstofprojecten. Deze inzichten zijn vervolgens gedeeld en bediscussieerd in meerdere cocreatie-sessies met zowel nationale als lokale stakeholders. Praktisch gezien vormt de opgedane kennis input voor mogelijke stappen die kunnen worden gezet om communicatie- en risicobeheerstrategieën te ontwikkelen om opschaling van dergelijke projecten mogelijk te

De onderzoeksvraag van WP10 was: Wat zijn de belangrijkste maatschappelijke uitdagingen voor het transport, de opslag en toepassing van waterstof binnen de gebouwde omgeving in Nederland, en hoe kan er met deze uitdagingen worden omgegaan? De uitgangspunten van de onderzoeksactiviteiten omvatten daarom de focus op sociaal-maatschappelijke processen binnen de implementatie van waterstof in de gebouwde omgeving in Nederland. Hierbij hebben steeds de perspectieven van verschillende nationale en lokale stakeholders centraal gestaan. De doelstelling was om inzicht te krijgen in de sociaal-maatschappelijke acceptatie van waterstof, en daarmee de maatschappelijke uitdagingen voor implementatie. Op basis van de verschillende activiteiten zijn de belangrijkste maatschappelijke risico's in kaart gebracht en hier zijn drie strategieën voor risicobeheer voorgesteld. Het gaat daarbij om het ontwikkelen van concrete acties en stappen die bijdragen aan maatschappelijke

De resultaten opgedaan in dit werkpakket omvatten de bevinding dat publieke perceptie van waterstof positief is, maar dat dit kritischer wordt als het gaat om lokale implementatie. Ook hebben mensen over het algemeen weinig kennis over waterstof en de rol die het kan spelen bij het verduurzamen van ons energiesysteem. Deze punten blijken zowel uit het literatuuronderzoek als de nationale stakeholder interviews en het lokale veldonderzoek. Hieruit volgt ook het belang van communicatiestrategieën: er is in de waterstofpilots veel aan communicatie gedaan maar dit is meestal nog niet volgens een bepaalde strategie gedaan. Ook bleek dat betrokken partijen in de waterstofpilots álle rollen op zich nemen. Dit vraagt veel aandacht en tijdens de cocreatie sessies was men zich ervan bewust dat de huidige methodiek niet toepasbaar is bij een opschaling. Er zal daarom moeten worden nagedacht over de rolverdeling en het beleggen van verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid.

Daarnaast bleek uit de cocreatie-sessies het belang van toegankelijke en transparante communicatie en een langetermijnvisie bijvoorbeeld omtrent de rol die waterstof kan spelen in het verduurzamen van ons energiesysteem. Gebaseerd op deze visie kan bepaald worden welke informatie belangrijk is voor verschillende doelgroepen om kennis te verhogen en algemeen draagvlak te verkrijgen. Het gaat om centraal-verstreekte, doelgroep-gerichte en toegankelijke informatie, als onderdeel van geïntegreerde communicatiestrategieën. Deze bevindingen zijn ook terug te vinden in de infographic.

Als de focus voor het implementeren van waterstof verschuift naar de industrie, zien wij als mogelijk knelpunt dat maatschappelijk draagvlak in het geheel niet wordt meegenomen. Dit kan een risico zijn in de toekomst.

maken. Dit is ook verder
uitgewerkt in een infographic.

inbedding, zowel voor de
relevante stakeholders binnen
waterstofprojecten, als voor de
maatschappij als geheel.

WP11

This research was aimed at making an inventory of the expected demand for trained personnel in the Dutch HBO, WO and post-graduate levels, in particular for them to work in the hydrogen (transport) infrastructures that are being developed in the Netherlands and, in general, in the future Dutch hydrogen economy.

Understanding the number of vacancies needed, as well as the type of skills required by the (future) Dutch hydrogen industry, can ensure that the current problem of labor market shortages is prevented before it becomes a problem that delays the ambitious plans of the Dutch government to roll out hydrogen infrastructure in the coming years.

The outcomes of this work can help develop educational and training facilities all around the Netherlands, where education institutions can start developing and refining training curricula and teaching facilities. With such preparations in place well before the hydrogen economy scales up

As the Dutch government and organizations continue to implement plans for the production and use of hydrogen in the ongoing energy transition, there is an expected surge in demand for human capital with hydrogen-related skills at applied universities (HBO), universities (WO), and postgraduate levels. While it's true that some of these skills can be transferred from existing sectors such as natural gas network operators and renewable energy developers, the scale of the government's plans to rollout hydrogen at large scale means that a mismatch between the supply and demand of specialized personnel across various disciplines is likely to arise.

The goal of this study was to qualitatively examine the skills and competences needed for trained personnel in the HBO (applied sciences education), WO (scientific education), and postgraduate education (retraining of professionals) levels in the Netherlands, in order to work in the hydrogen transport sector; this was done with a focus

In this work, we present an estimation of the number of trained personnel that will be needed in the hydrogen transport industry in the Netherlands, where we found that between 1,800 and 4,700 full time jobs could be required in 2030 for the construction of hydrogen distribution systems or work in commissioning hydrogen transport to the built environment, and between 4,200 and 12,500 full time jobs could be made available to work in the operation and maintenance of such networks. These values are heavily dependent on the degree of uptake of hydrogen in the built environment.

Moreover, we carried out a series of interviews with stakeholders in the hydrogen industry in the Netherlands, and we identified the most important hard skills that are needed by trained personnel in the hydrogen industry. The interviews and analysis revealed that engineering skills, across various disciplines, were the most frequently mentioned.

Next to the stakeholder interviews, we analyzed the current job postings on a popular job posting website, where we identified 40 job postings that are specifically recruiting hydrogen professionals. We proceeded to carry out an analysis regarding the most common hard and soft skills requested by the job postings, as well as the levels of education needed to fulfil those vacancies. We found that most of the vacancies are looking for engineers with either a Bachelor's Degree (that can also be understood as HBO training) or a Master's Degree (WO training) in engineering disciplines, with Chemical engineering being the most frequently asked (followed by mechanical and electrical engineering).

We finalized this work by providing a series of recommendations for different stakeholders (educators, industry and government) on how to enhance hydrogen in the existing curricula and what

significantly in the Netherlands (which is expected to take off in the last years of this decade i.e., towards 2030), the labor market will increase its chances of being able to meet the demand for trained personnel in hydrogen with supply of graduates as well as re-trained professionals with the necessary knowledge to execute the required activities regarding e.g., hydrogen project development, execution, management, research, etc.

on the skills and training needed for the gas network operation sector.

The research was carried out by New Energy Coalition, a network organization with research activities in topics about hydrogen and the energy transition. Furthermore, New Energy Coalition also develops and executes training programs for professionals and university students, in different areas of the energy transition.

The Expert Assessment Group of this research was comprised by representatives from Dutch network operators Gasunie, Stedin, and Alliander, and the results were reviewed by the Supervisory Group of HyDelta.

practices could ensue that sufficient trained personnel in the area of hydrogen are made available in the following years to fulfil the expected rise in job openings in the energy transition and hydrogen in particular, thereby preventing potential gridlocks caused by a lack of specialized personnel.

This work can serve as a basis for different educational institutions in the Netherlands to start asking themselves if it makes sense for them to start developing training programs for HBO, WO and post-graduate levels, considering the findings in this report regarding the expected market demand for professionals in the area of hydrogen in the near future.

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

Het HyDelta Tweede 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 Tweede Tranche-project zowel voor de ontwikkeling van de Nederlandse waterstofbackbone (Dutch Hydrogen Backbone) als voor de succesvolle implementatie van waterstofpilotprojecten in de gebouwde omgeving.

4. Spin-off binnen en buiten de sector

Het HyDelta Tweede 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 de nationale waterstof transportinfrastructuur te ontwikkelen. Op het moment van het schrijven van het rapport was het opstellen van het projectplan van de derde fase van het HyDelta-programma (HyDelta Derde Tranche) in volle gang, waar het uit te voeren onderzoek een nauwe relatie heeft met de resultaten van zowel HyDelta Tweede Tranche als HyDelta Eerste Tranche. De tabel hieronder laat de werkpakketten zien van HyDelta Derde Tranche en wat relatie ze met HyDelta Tweede Tranche hebben.

Werkpakket	Titel	Coördinator	Relatie met HyDelta 2
WP0: Projectcoördinatie			
WP0	Coordination	NEC	Projectcoördinatie hoort altijd bij zo een project
WP1: Asset Management			
WP1a	Asset Management – Quality assurance for local hydrogen purity specification (exit and entry)	DNV	Vraag afgeleid van vorig onderzoek
WP1b	Asset Management – Repurposing offshore infrastructure	DNV	Vraag afgeleid van vorig onderzoek
WP2: Economy & Society			
WP2a	Economy and Society – Standalone hydrogen areas in the Netherlands	NEC	Directe voortzetting
WP2b	Economy and Society – Risk governance and societal embeddedness	TNO	Directe voortzetting
WP3: NOx & emissions			
WP3a	NOx and emissions – Greenhouse potential of direct H2 emissions out of grids	Kiwa/TNO	Vraag afgeleid van vorig onderzoek
WP3b	NOx and emissions – NH3 direct utilization and conversion to hydrogen	TNO	Vraag afgeleid van vorig onderzoek
WP4: Value Chain & System Development			

WP4a	Value Chain and System Development – Standardization of hydrogen metrics	Kiwa/TNO	Nieuwe onderzoeksvraag
WP4b	Value Chain and System Development – Digitalization: decentralized hydrogen feed-in	TNO	Directe voortzetting
WP4c	Value Chain and System Development – Hydrogen component manufacturing readiness and spatial requirements	TNO	Vraag afgeleid van vorig onderzoek
WP5: Technology & Safety in the Hydrogen Network			
WP5a	Technology & Safety – QRA and purging	DNV	Directe voortzetting
WP5b	Technology & Safety – Hydrogen Leakages and control measures	Kiwa	Directe voortzetting
WP5c	Technology & Safety – Gas stoppers (gasblazen)	Kiwa	Directe voortzetting
WP5d	Technology & Safety – Permeation	Kiwa	Directe voortzetting
WP5e	Technology & Safety – Dust and ventilation	Kiwa	Directe voortzetting

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

Het HyDelta Tweede Tranche project resulteerde in de publicatie van 29 rapporten, 4 samenvattingen vanuit openbare disseminatiewebinars en dit publieke rapport, allemaal te vinden in een publiekelijk toegankelijk en gratis toegankelijk depot (<https://hydelta.nl/hydelta-2-0>). 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 Tweede Tranche vinden:

DOI from Zenodo (Cite all versions)	Deliverable title	Publication date	Total downloads
https://doi.org/10.5281/zenodo.7997216	D2.1 Drivers of renewable hydrogen production in the Dutch integrated energy system	2023-06-02	86
https://doi.org/10.5281/zenodo.8153970	D2.2 Hydrogen in the energy system: value for energy transport infrastructure and its users	2023-07-17	33
https://doi.org/10.5281/zenodo.7516478	D3.1 Case studies of interest regarding risks and uncertainty in the hydrogen value chain	2023-01-09	180
https://doi.org/10.5281/zenodo.7907222	D3.2 Individual and system risks in hydrogen value chains: methodology and case studies	2023-05-08	158
https://doi.org/10.5281/zenodo.8134658	D3.3 Individual and system uncertainties in hydrogen value chain developments	2023-07-11	60
https://doi.org/10.5281/zenodo.8123743	D3.4 Technical analysis of hydrogen supply chains – factsheets (update 2023)	2023-07-07	60
https://doi.org/10.5281/zenodo.7405420	D4.1 Introducing hydrogen in decentral end-user areas to deal with e-grid congestion in the Netherlands	2022-12-06	242
https://doi.org/10.5281/zenodo.8123334	D4.2 Cost-benefit analysis of various short-term supply-side E-grid flexibility options in local areas in comparison to conventional grid-expansion techniques	2023-07-07	60
https://doi.org/10.5281/zenodo.8123378	D4.3 Report on the main policy implications of the potential of hydrogen for regional electricity grid congestion mitigation	2023-07-07	63
https://doi.org/10.5281/zenodo.8153986	D5.1 Venting and flaring of hydrogen in a high-pressure transmission network	2023-07-17	59
https://doi.org/10.5281/zenodo.8154119	D5.2 Report on safe isolation, depressuring, and evacuating of high-pressure hydrogen pipelines and installations for maintenance purposes	2023-07-17	60
https://doi.org/10.5281/zenodo.8154317	D6A.1 Outflow experiment results: concentration build-up at leakages between 50 - 1000 dm ³ /h	2023-07-17	29
https://doi.org/10.5281/zenodo.8069169	D6A.2 & D6A.3 Quantitative Risk Assessment of the distribution grid and built environment in the Netherlands: application and case studies	2023-06-22	86
https://doi.org/10.5281/zenodo.8189651	D6A.4 General recommendations: applicability of QRA tools, detection of hydrogen fires, effectiveness of odorisation, and effect of hydrogen permeation	2023-08-09	0

https://doi.org/10.5281/zenodo.8164498	D6B.1A & D6B.1B Inventory, modeling and experiments related to ventilation in different types of pressure reducing stations in the distribution (low pressure) grid in the Netherlands, in natural gas and hydrogen atmospheres	2023-07-19	31
https://doi.org/10.5281/zenodo.7889396	D6B.2A & D6B.2B Report on ignition scenarios and experiments during the use of inflatable gas stoppers to mitigate natural gas and hydrogen leaks in the low pressure gas distribution grid	2023-05-03	241
https://doi.org/10.5281/zenodo.8171441	D7.1 Inventory of relevant aspects for conversion of gas distribution networks to hydrogen	2023-07-21	30
https://doi.org/10.5281/zenodo.8171514	D7.2 Concept of a conversion plan of a natural gas distribution network to hydrogen	2023-07-21	49
https://doi.org/10.5281/zenodo.7501854	D8.1 & D8.2 State of the art technologies in the current gas grid and gap definition with the future hydrogen grid	2023-01-03	449
https://doi.org/10.5281/zenodo.8016454	D8.3 & D8.4 Simulation of selected cases for digitalisation in a Dutch hydrogen distribution network	2023-06-08	125
https://doi.org/10.5281/zenodo.7956518	D9.1 & D9.2 Literature research on low NOx hydrogen burners and developing design rules for low NOx burners	2023-05-22	88
https://doi.org/10.5281/zenodo.7494526	D10.1 Overview from the literature / studies on societal support for new energy technologies and hydrogen in particular	2022-12-30	104
https://doi.org/10.5281/zenodo.7795566	D10.2 Stakeholder perspectives on the societal embeddedness of the development and deployment of hydrogen technologies in the Netherlands	2023-04-03	63
https://doi.org/10.5281/zenodo.7828082	D10.3 Case study report with best practices regarding risk governance and societal embeddedness of innovative energy technologies	2023-04-14	64
https://doi.org/10.5281/zenodo.8068926	D10.4 Synthesis: Towards societal risk governance strategies	2023-06-22	36
https://doi.org/10.5281/zenodo.8191790	D11.1 The future requirements for HBO, WO and postgraduate personnel in the hydrogen industry	2023-08-09	0
https://doi.org/10.5281/zenodo.7304548	HyDelta 2.0 Webinar Economic aspects of the hydrogen system - 03-11-2022	2022-11-08	164

https://doi.org/10.5281/zenodo.7428739	HyDelta 2.0 Webinar Hydrogen and transport assets - 29-11-2022	2022-12-12	114
https://doi.org/10.5281/zenodo.7317935	HyDelta 2.0 Webinar Hydrogen safety in the gas grid - 15-11-2022	2022-11-15	187
https://doi.org/10.5281/zenodo.7428773	HyDelta 2.0 Webinar social aspects of hydrogen - 08-12-2022	2022-12-12	80
https://doi.org/10.5281/zenodo.8189705	Openbaar Eindrapport HyDelta 2 (dit document)	2023-09-22	0
-			
		Cumulative downloads	3001

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

Dit rapport is te vinden zonder betaling op de volgende website:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8189705>

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.