



**TKI NIEUW GAS**  
Topsector Energie

# Innovatieagenda waterstof Update 2023



# Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
1	Inleiding	6
2	Innovatieopgave	10
3	Nederlandse innovatie-inzet	16
4	Voorgestelde prioriteiten	21
5	Samenhang	40
6	Stakeholders/actoren – samenwerking	41
7	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren	42
8	Communicatie, leren en disseminatie	42
Bijlage 1	Voortgang sinds innovatieagenda waterstof 2020	44
Bijlage 2	Pijlers en horizontale activiteiten in Strategic Research and Innovation Agenda	48
Bijlage 3	Waterstofprojecten 2012-2022: resultaten en behoeften voor vervolg	52
Bijlage 4	KPI's op programmaniveau en voor technologieën	54
Bijlage 5	Toelichting op overzicht Innovatieactiviteiten (figuur 3)	56

De ontwikkeling van waterstof als onderdeel van de energietransitie is een opgave van buitengewone proporties die wereldwijd door veel spelers tegelijkertijd wordt opgepakt; daarom is het nuttig om de waterstofontwikkelingen in Nederland in deze mondiale context te bezien.

Terugblikkend op de afgelopen drie jaren zijn enkele mijlpalen van belang. In 2019 is door de Topsector Energie een Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) gepubliceerd en in de maanden daarna verder uitgewerkt in 13 zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP's) voor de sectoren elektriciteitsopwekking, gebouwde omgeving, industrie, landbouw en mobiliteit. Waterstof is benoemd tot een doorsnijdend thema dat raakvlakken heeft met meerdere MMIP's. TKI Nieuw Gas treedt als coördinerend TKI voor de innovatie-activiteiten op dit gebied op.

Begin 2020 verscheen de eerste Innovatieagenda 'Waterstof voor de Energietransitie'. In maart 2020 volgde de Kabinetsvisie op waterstof. Medio 2021 is het werkplan van het Nationaal Waterstof Programma (NWP) opgesteld, waarin een aantal onderwerpen van de innovatieagenda is opgepakt en uitgewerkt. ECCM bracht eind 2021 haar Tweede Nationale Agenda uit die waterstof aan de chemie koppelt. Tevens werden in 2021 en 2022 twee aanvragen van het programma GroenvermogenNL in het Nationaal Groeifonds gehonoreerd met een werkbudget van € 838 miljoen. Vanwege de grote dynamiek rond de energietransitie, met een nieuw coalitieakkoord, de Europese Fit for 55- en RePowerEU-plannen, de Europese waterstofstrategie en de ervaringen van de afgelopen jaren met het missiegedreven innoveren, is de wens geuit om de MMIP's en doorsnijdende programma's sneller te herijken dan volgens de gebruikelijke systematiek van het Kennis en Innovatie Convenant (KIC), die eind 2023 pas zou vragen om een herijking.

**Dit rapport bevat een voorstel voor de invulling van de innovatieagenda waterstof voor de komende jaren. In deze samenvatting worden de belangrijkste onderdelen weergegeven volgens een zestal vragen:**

- 1 Welke waterstofinnovaties heeft Nederland nodig om te voldoen aan de Europese beleidsverplichtingen voor energie?
- 2 Welke waterstofinnovaties passen het best bij de kenmerken van Nederland als het gaat om ligging en infrastructuur?
- 3 Welke waterstofinnovaties passen bij de sterktes en ambities van de Nederlandse industrie en Nederlandse kennisinstellingen?
- 4 Welke innovatieprojecten zijn de afgelopen jaren in Nederland uitgevoerd, en welke onderwerpen zijn daarbij achtergebleven?
- 5 Welke waterstofinnovaties worden al door andere nationale en Europese programma's ondersteund en welke inzet is aanvullend nodig met Nederlandse instrumenten?
- 6 Op welke termijn is te verwachten dat de waterstofinnovaties bijdragen aan emissiereducties?

**Op basis van dit 'assessment' zijn 5 innovatieprioriteiten.**

- **Prioriteiten 1. en 2.** betreffen innovatievraagstukken die samenhangen met het grootschalig op gang brengen van **productie, import en gebruik van waterstof en waterstofhoudende energiedragers in de industrie**, met daarbij de **integratie** van deze ketens via de ontwikkeling van de benodigde **infrastructuur en opslag**. Voor de eigen waterstofproductie is offshore wind van

de Noordzee ideaal en de daarmee samenhangende systeemintegratie om productie en toepassing optimaal op elkaar te laten aansluiten is van groot belang. Zo wordt het offshore windpotentieel maximaal gebruikt, worden de voor Nederland belangrijke industrieclusters bediend en wordt de bestaande en nieuw te bouwen infrastructuur (havens, leidingen, (vaar)wegen, spoor, etc.) effectief ingezet zodat Nederland zich kan ontwikkelen tot Noordwest-Europese waterstof-hub.

- **Prioriteit 3** betreft de **verduurzaming van met name zwaar transport en mobiliteit** (wegtransport, grondverzet, transport over water en luchtvaart) evenals de benodigde vulpunten, om aan de nationale opgave voor duurzaam vervoer te voldoen, waarbij tegelijk de maakindustrie op dit terrein in stelling wordt gebracht.
- **De vierde prioriteit** heeft betrekking op de **decentrale, regionale ontwikkeling van waterstofproductie en -toepassing** waarmee lokaal waterstof beschikbaar komt voor bijvoorbeeld mobiliteit, de lokale industrie en de gebouwde omgeving. Tegelijkertijd wordt daarmee de uitrol van duurzame energieproductie, die door netcongestie wordt gehinderd, gefaciliteerd.
- **De vijfde prioriteit** richt zich op de **ontwikkeling van de maakindustrie in Nederland**, variërend van (de toelevering van technologie voor) elektrolyse, via de levering van componenten, tot de productie van bijvoorbeeld zware voertuigen. Dit draagt vooral regionaal bij aan het nationale verdienvermogen.
- Tot slot zijn doorsnijdende thema's zoals de **human capital agenda, digitalisering en de maatschappelijke impact** van belang en deze moeten integraal worden geadresseerd.



Hierna worden deze prioriteiten nader toegelicht; een uitwerking van de innovatievragen wordt gegeven in het hoofdstukken.

#### **PRIORITEIT 1:**

**Ontwikkeling van duurzame waterstofketens in de industrie, bestaande uit waterstofproductie met offshore wind, infrastructuur en opslag, en toepassing in de industrie voor energiedoelinden en als grondstof, met de benodigde systeemintegratie**

Het is noodzakelijk om gelijktijdig groene waterstofproductie uit elektrolyse en de toepassing ervan versneld te ontwikkelen zodat waterstof in 2030 fors kan bijdragen aan emissiereductiedoelen. Naast onshore productie van groene waterstof wordt offshore elektrolyse steeds belangrijker: gegeven de beperkte ruimte op land biedt dit voor ons land verreweg de beste mogelijkheden om op grote schaal groene waterstof te produceren. Het Kabinet heeft een innovatieprogramma aangekondigd voor de ontwikkeling van waterstof op zee met onderzoek en grootschalige demonstratieprojecten vóór 2030, die voorbereiden op GW-schaal projecten in de periode daarna.

Om schaalgrootte te bereiken heeft de ontwikkeling van duurzame waterstofketens gericht op gebruik in de industrie de hoogste prioriteit. Behalve vervanging van de huidige grote vraag naar grijze waterstof kan koolstofarme waterstof ook rechtstreeks aardgas vervangen, zoals bij de opwekking van hoge-temperatuurwarmte, en het biedt ook kansen voor het ontwikkelen van nieuwe chemische processen. De innovatieopgave aan de gebruikskant is om deze nieuwe industriële toepassingen van waterstof te ontwikkelen. Grootschalige transport- en opslaginfrastructuur is voorwaardelijk voor het verbinden van productie en gebruik. Hierbij komen vraagstukken met betrekking tot systeemintegratie aan bod (zoals integratie tussen wind op zee en elektrolyse, tussen verschillende energie-infrastructuren, de koppeling met eindgebruikers en de rol van seizoensopslag).

#### **PRIORITEIT 2:**

**Import van waterstofhoudende energiedragers, zoals derivaten en LOHC's, en waterstof in gasvormige en vloeibare vorm**

De tweede prioriteit is import van waterstof, in pure vorm als gas of vloeibaar, gebonden aan een drager (m.n. LOHC's of in poedervorm) of als waterstofderivaat (zoals ammoniak, methanol en synthetische brandstoffen). De vraag naar waterstof in Nederland en de haar omringende landen zal naar verwachting groter zijn dan de productiecapaciteit, en Nederland zal vanwege haar ligging een belangrijke rol spelen bij de import en doorvoer van duurzame energie en grondstoffen, net als nu voor fossiele grondstoffen. Op dit moment kiezen diverse landen die naar verwachting een grote waterstofvraag zullen hebben, hun posities. Vanwege de positie die Nederland met haar ligging, havens en infrastructuur kan innemen, is import en export/doorvoer een prominent thema voor de innovatieagenda. Dit thema is pas in de laatste jaren sterk opgekomen en er zijn nog de nodige vragen te beantwoorden over de vormen waarin waterstof het best geïmporteerd kan worden en wat dat betekent voor transportmiddelen, overslag en opslag, bewerking en integratie in het energiesysteem.

#### **PRIORITEIT 3:**

**Toepassing van waterstof in zwaar transport, zoals wegtransport, bouw en grondverzet, binnenvaart en kustvaart, en de luchtvaart**

De derde prioriteit is de toepassing van waterstof in zwaar transport (weg, bouw en grondverzet, binnenvaart en kustvaart, luchtvaart). Dit zijn sectoren waar Nederlandse bedrijven een sterke positie hebben, waar veel CO<sub>2</sub>-reductie is te behalen, en er bovendien andere drijfveren zijn om te innoveren zoals luchtkwaliteit en stikstofbeleid. Batterij-elektrische mobiliteit is voor veel toepassingen een geschikte en verkrijgbare oplossing. Bij mobiliteitstoepassingen waar zware ladingen en/of over grotere afstanden moeten worden vervoerd, en/of als elektrisch laden moeilijk planbaar is of te lang duurt of niet mogelijk is vanwege beperkingen in de infrastructuur, kan de inzet van waterstof een beter alternatief zijn om vergaande CO<sub>2</sub>-emissiereductie te bereiken. De innovatieopgave is om via demonstraties van overtuigende use-cases van uiteenlopende vervoerstoepassingen evenals mobiele werktuigen, schaalvoordelen voor waterstoflevering en tankvoorzieningen en daarmee verbetering van de TCO (total cost of ownership) te behalen.



#### **PRIORITEIT 4:**

##### **Decentrale productie en gebruik van waterstof in regio's waar netcongestie de uitrol van duurzame energieprojecten belemmert of waar lokale waterstofvraag efficiënt bediend kan worden**

De vierde prioriteit is regionale, decentrale productie en gebruik van waterstof. Naast grootschalige, centrale productie van waterstof kan regionale, decentrale waterstofproductie via elektrolyse helpen om enerzijds lokaal waterstof beschikbaar te krijgen voor bijvoorbeeld mobiliteit, regionale industrie (het verspreide 'zesde cluster') en de landbouw- en tuinbouwsector, anderzijds kan daarmee mogelijk netcongestie worden opgelost in gebieden waar de capaciteit voor inpassing van duurzame elektriciteit uit zonneparken en windmolens beperkt is. Conversie naar waterstof is daarbij één van meerdere opties. Er is behoefte aan onderzoek en pilots om uit te zoeken welke combinatie van hernieuwbare energie-aanbod (wind en zon) en opslag-/conversie-opties werken, bij welke schaalgrootte en onder welke randvoorwaarden. Ook hier is het realiseren van complete ketens (productie en infrastructuur en vraag) relevant. De slaagkans van dergelijke keteninnovaties is juist groter door regionale clustering in wat de EU 'hydrogen valleys' noemt. De gedachte is dat bij concentratie van allerlei waterstofprojecten in een beperkt gebied kruisverbanden gaan ontstaan, ecosystemen makkelijker groeien vanwege korte lijnen en kennis beter geborgd en verspreid wordt, dan als iedere stad een demo met tankstation en enkele auto's of woningen start.

#### **PRIORITEIT 5:**

##### **Ontwikkeling van technologieclusters voor waterstofcomponenten en ketens, gekoppeld met de maakindustrie**

De vijfde prioriteit is het (verder) ontwikkelen van diverse componenten en ondersteunende technieken voor de waardeketens, waarbij het innemen van een positie door de maakindustrie een drijfveer is. De voorgaande prioriteiten hebben vooral betrekking op het creëren van en aansluiten op hele waardeketens. Er spelen echter nog veel technische vragen in deze ketens die betrekking hebben op allerlei componenten die gebruikt worden en op verbindende aspecten, zoals veiligheid, meten van gaskwaliteit, sensortechnologie, materiaalonderzoek etc. Ook de (door)ontwikkeling van brandstofcellen en verbrandingsmotoren, gasturbines en branders is nodig ten behoeve van de voorgaande prioriteiten. Belangrijk is hierbij ook het valoriseren van de innovaties door de Nederlandse maakindustrie. Niet alleen voor waterstof maar ook voor de technologieën is een grote mate van zelfvoorzienendheid (zij het eerder op Europese dan Nederlandse schaal) noodzakelijk om niet volledig afhankelijk te zijn van landen buiten Europa.

##### **Human Capital Agenda, maatschappelijke impact en digitalisering**

Naast de voorgaande onderwerpen zijn er verschillende overkoepelende thema's, zoals Human Capital Agenda, maatschappelijke impact en digitalisering die een plek in de innovatieagenda hebben. Deze overkoepelende thema's worden ook in het Nationaal Waterstof Programma geadresseerd, zoals beleid, wet- en regelgeving, marktordening, veiligheid, maatschappelijke inbedding, waterstofmarkt en certificering. De ontwikkeling van een HCA-agenda voor waterstof is een prominent onderdeel van GroenvermogenNL. Deze onderwerpen zijn een integraal onderdeel van de hiervoor beschreven prioriteiten.



# 1 INLEIDING

De ontwikkeling van waterstof als onderdeel van de energietransitie is een opgave van buitengewone proporties. Dat geldt niet alleen voor Nederland, dat in een uitstekende uitgangspositie verkeert om succesvol te zijn bij de ontwikkeling en opschaling van waterstof, het is een wereldwijde opgave die door veel spelers tegelijkertijd wordt opgepakt. Daarom verdient het aanbeveling om de waterstofontwikkelingen in deze mondiale context te bezien.

In 2019 is een Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) gepubliceerd en in de maanden daarna verder uitgewerkt. De uitwerking heeft plaatsgevonden via 13 zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP's) voor de sectoren elektriciteitsopwekking, gebouwde omgeving, industrie, landbouw en mobiliteit. Waterstof is benoemd tot een doorsnijdend thema dat raakvlakken heeft met meerdere MMIP's omdat het voor vrijwel alle sectoren van het Klimaatakkoord van betekenis kan zijn. Tabel 1 geeft deze integraliteit weer. Vanwege dit doorsnijdende karakter heeft TKI Nieuw Gas in 2020 een Innovatieagenda 'Waterstof voor de Energietransitie' opgesteld. TKI Nieuw Gas treedt als coördinerend TKI voor de innovatieactiviteiten op het gebied van waterstof op. Zij doet dat in nauwe samenwerking met de missies en MMIP's van de Topsector Energie, inclusief de bijbehorende TKI's, en met andere topsectoren en hun TKI's. Daarmee is een stevig innovatiebouwwerk voor waterstof neergezet.

Met een nieuw coalitieakkoord, de Europese *Fit for 55*-plannen en de ervaringen van de afgelopen jaren met het missiegedreven innoveren, is er de wens om deze MMIP's sneller te herijken dan volgens de gebruikelijke systematiek van het Kennis en Innovatie Convenant (KIC), die eind 2023 pas zou vragen om herijking van de innovatieagenda's. Deze herijking is door TKI Nieuw Gas opgesteld op basis van de inzichten bij het TKI en de betrokkenheid bij een groot aantal voor waterstof relevante ontwikkelingen. Dit heeft geleid tot een conceptrapportage die aan de TKI's en doorsnijdende programma's

**Tabel 1: Relaties tussen de huidige missies, MMIP's en de innovatieketen van waterstof.**

	MMIP	Onderwerp in innovatieketen waterstof
Missie A Elektriciteits- productie	MMIP 1 Hernieuwbare elektriciteit op zee	Offshore productie van groene waterstof en systeemintegratie
	MMIP 2 Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving	Productie van groene waterstof met wind- en zonne-energie en systeemintegratie
Missie B Gebouwde omgeving	MMIP 3 Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving	Toepassing van waterstof in gebouwde omgeving en in kassen voor warmte en elektriciteit en voor levering van flexibiliteit
	MMIP 4 Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (incl. glastuinbouw)	
	MMIP 5 Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht	
Missie C Industrie	MMIP 6 Sluiting van industriële kringlopen	Met waterstof opwaarderen van rest- en afvalstromen tot producten voor de kringloop; koolstofarme H <sub>2</sub> uit industriële restgassen
	MMIP 7 CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem	Inzet waterstof voor hogetemperatuurwarmte
	MMIP 8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen	Productie van waterstof en inzet als grondstof in chemische processen
Missie D Vervoer	MMIP 9 Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit	Inzet van waterstof in mobiliteit en vervoer, plaatsing vulpunten
	MMIP 10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen	
Missie E Landbouw	MMIP 11 Klimaatneutrale productie food en non-food	Landbouw en tuinbouw als producenten en gebruikers van waterstof, onder andere voor landbouwmachines en in kassen, inclusief systeemintegratie
	MMIP 12 Land en water optimaal ingericht op gebruik en CO <sub>2</sub> -vastlegging en gebruik	
	MMIP13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem (systeemintegratie)	Waterstof voor regelbare flexibele elektriciteitsproductie, (alternatieve) infrastructuur, buffering en seizoensopslag, netstabilisatie (systeemintegratie)

van de Topsector Energie en aan enkele TKI's van andere topsectoren voor input en ter controle is voorgelegd. Alle input is verwerkt. Daarnaast is de conceptrapportage via LinkedIn breed verspreid en is om input gevraagd; het bericht is ruim 5500 keer bekeken en heeft tot enkele reacties geleid. Tot slot zijn de opmerkingen die door het ministerie van EZK en RVO zijn gemaakt verwerkt.

Het waterstofdomein is volop in beweging en ontwikkelingen volgen elkaar snel op. In Nederland is in maart 2020 de Kabinetsvisie op waterstof uitgebracht en medio 2021 is het werkplan van het Nationaal Waterstof Programma (NWP) opgesteld, waarin een aantal onderwerpen van de innovatieagenda is opgepakt en uitgewerkt. In 2021 en 2022 heeft het Kabinet in twee tranches in totaal 838 miljoen euro ter beschikking gesteld voor waterstofinnovatie in het programma GroenvermogenNL.<sup>1</sup> Verder heeft het Kabinet het startschot gegeven voor de gefaseerde aanleg van een landelijk waterstofleidingennetwerk dat in 2030 gereed moet zijn, heeft het Kabinet begin juli €1,3 miljard gereserveerd voor ondersteuning van groene waterstof in het kader van het Europese IPCEI-instrument, en hebben bedrijven investeringsbeslissingen genomen voor de eerste grootschalige elektrolysefabrieken in de honderden MW-schaal.

Voor Nederland is van groot belang wat op Europees niveau gebeurt, omdat Europese beleidskaders het Nederlandse beleid sterk bepalen, en ook omdat we de enorme opgave waar we voor staan niet alleen kunnen en willen realiseren. Een belangrijke stimulans voor gebruik van groene waterstof in de industrie en transportsector gaat uit van de herziening van de Renewable Energy Directive (RED) die de Europese Commissie heeft voorgesteld als onderdeel van het Fit for 55-pakket (European Green Deal). Het REDIII-voorstel bevat een gebruiksverplichting voor 'Renewable Fuels of Non-Biological Origin', hetgeen zal neerkomen op groene waterstof of afgeleide energiedragers.

De initiatieven ReFuel Aviation en ReFuel Maritime, eveneens onderdeel van Fit for 55, bevatten CO<sub>2</sub>-doelen voor de scheepvaartsector en een bijmengverplichting voor duurzame luchtvaartbrandstoffen waaronder synthetische kerosine. Andere Europese beleidsinitiatieven die van invloed zijn op waterstof zijn de herziening van de gasrichtlijn en -verordening (het Hydrogen and Decarbonisation Gas Package), en de aanscherping van emissienormen voor personen-, bestel- en vrachtauto's.

Het nieuwste initiatief van de Europese Commissie is de mededeling genaamd REPowerEU, gericht op sneller verbeteren van energievoorzieningszekerheid. Het ultieme

doel is om de Europese Unie in 2030 volledig onafhankelijk te maken van Russisch gas, olie en kolen. Versneld opschalen van de waterstofeconomie wordt hierin benoemd als één van de oplossingsrichtingen om gasgebruik te diversifiëren.

Voor onderzoek en innovatie speelt de Clean Hydrogen Joint Undertaking (CHJU), waarin veel Europese waterstofstakeholders samenwerken, een belangrijke rol. Begin 2022 heeft de CHJU (sinds 2022 de opvolger van de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking FCHJU) haar Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) 2021-2027 gepubliceerd. Deze agenda wordt als basis gebruikt voor de herijking van de innovatieagenda waterstof van de TSE, tezamen met de recente SRIA Green Hydrogen van de European Research Area (ERA). We gebruiken deze agenda's vanwege het gedegen karakter en het brede, internationale draagvlak in de markt als raamwerk, waarin we accenten plaatsen die voor Nederland relevant en belangrijk zijn. Daarmee bereiken we een goede 'alignment' met de relevante Europese activiteiten.

De veelheid en breedte van de genoemde beleidsinitiatieven onderstreept het belang van een integrale innovatieagenda voor waterstof, die al deze aspecten zal moeten adresseren en hier maximaal op zal moeten inspelen.

#### **Naast deze documenten zijn ook de volgende rapporten meegenomen:**

- De nationale agenda die de commissie Elektrochemische Conversie & Materialen (ECCM) eind 2021 heeft gepubliceerd, waar deze agenda goed op aansluit.
- Rapportage van TKI Nieuw Gas over waterstof voor missies en missieteams van de Topsector Energie (maart 2022), waarin recente ontwikkelingen zijn beschreven.

Tegen de achtergrond van genoemde beleidsontwikkelingen en gebruik makend van genoemde documenten is deze geactualiseerde innovatieagenda voor waterstof opgesteld.

#### **Innovatie**

Waterstof, vrijwel altijd van fossiele herkomst, is in de industrie een al lang en veelgebruikte grondstof, waarvoor een compleet systeem van technologie, infrastructuur, wet- en regelgeving en normen en standaarden is ontwikkeld. Om waterstof koolstofarm te produceren en in te zetten voor bestaande en nieuwe toepassingen, op grotere schaal en op veel meer plekken dan nu gebeurt, zijn veel innovaties nodig. In feite moet een heel nieuw (deel)systeem voor energie en grondstoffen worden opgetuigd. Dat maakt dat bijna alle

<sup>1</sup> Aan GroenvermogenNL-1 is in 2021 in totaal € 338 miljoen aan publieke middelen toegekend uit het nationale Groeifonds, waarvan € 73 miljoen direct en het resterende deel voorwaardelijk. In 2022 is aan GroenvermogenNL-2 € 500 miljoen aan publieke middelen toegekend, waarvan € 250 miljoen voorwaardelijk.



benodigde activiteiten met betrekking tot waterstof in meer of mindere mate als innovatie gezien kunnen worden, zij het in verschillende stadia van ontwikkeling ('Technology Readiness Levels' of TRL-niveaus). De innovatieagenda waterstof van 2020 richtte zich op die volle breedte.

In 2021 is door een grote groep stakeholders het werkplan van het Nationaal Waterstof Programma (NWP) opgesteld. Dit vormde het vertrekpunt voor de uitwerking van een routekaart voor het NWP, die in november 2022 is gepresenteerd. De routekaart is een stappenplan voor de gefaseerde ontwikkeling van waterstofketens met per fase concrete acties, mijlpalen en doelen voor zowel overheid als het bedrijfsleven. Het NWP geeft inzicht in randvoorwaarden voor de inrichting van waterstofketens als energiedrager en grondstof, zoals beleid, instrumenten, veiligheid en wet- en regelgeving. Het opstellen van het NWP maakt het nu mogelijk om bij de actualisatie van de innovatieagenda waterstof een nauwere invulling van innovatieactiviteiten te hanteren: onderzoek en ontwikkeling, demonstratie en opschaling, ontwikkeling van het innovatie-ecosysteem, en monitoring en evaluatie van deze innovatieactiviteiten. De innovatieagenda waterstof sluit daarmee naadloos aan bij het NWP en zoekt hiermee permanente afstemming. De innovatieactiviteiten hebben verschillende tijdslijnen. Innovatie richt zich zowel op de korte(re) termijn (de demo's en implementatie) als op de middellange/ lange termijn (via

ontwikkeling van nieuwe concepten, prototypes en pilots). Om de beleidsdoelen voor 2030 te behalen is vooral inpassing van bestaande en (bijna) bewezen (TRL7-9)-technologie nodig. Technologie die momenteel wordt ontwikkeld en zich in de lagere TRL's bevindt (TRL<7) moet vooral zorgen voor doorgroei in de periode na 2030 richting 2050.

### Definities

Er worden veel benamingen gebruikt voor waterstof. In deze innovatieagenda worden in Nederland gangbare benamingen gebruikt, die als volgt aansluiten bij de definities die de Europese Commissie hanteert in o.a. de waterstofstrategie (tabel 2).

Koolstofarme waterstof omvat groene waterstof en blauwe waterstof; hoe hoog de koolstofintensiteit (dat wil zeggen: hoeveel CO<sub>2</sub> komt er vrij in de productieketen van de waterstof) mag zijn om als koolstofarm te gelden, is nog niet vastgesteld. De in de betreffende Delegated Act voorgestelde emissiereductie van tenminste 70% staat nauwelijks ter discussie maar wel de randvoorwaarden zoals additionaliteit, correlatie in de tijd en locatie in het netwerk. Andere 'kleuren' worden in de praktijk ook gehanteerd<sup>2</sup>. Dit zijn geen officiële benamingen en daarom behandelen we ze hier niet, bovendien is de verwachting dat de discussie in de toekomst vooral over de koolstofintensiteit van waterstof(ketens) gaat; de kleuren zijn niet onderscheidend genoeg.

**Tabel 2: Definities van soorten waterstof**

Definitie in Europese documenten		In deze agenda
Renewable hydrogen of Clean hydrogen	Waterstof geproduceerd door splitsing van watermoleculen (waterelektrolyse) met behulp van hernieuwbare elektriciteit, of uit biogas/duurzame biomassa via bijvoorbeeld <i>steam methane reforming</i> . Europa is voornemens om specifieke voorwaarden te stellen aan de wijze van productie van groene waterstof.	Groene waterstof (alleen waterelektrolyse met hernieuwbare energie)
Fossil-based hydrogen	Waterstofproductie uit fossiele grondstoffen, meestal aardgas dat wordt omgezet met steam methane reforming, maar het kan ook gaan om waterstofrijke restgassen uit industrieprocessen.	Grijze waterstof
Fossil-based hydrogen with carbon capture	Als voorgaand, met afvang en opslag van de vrijkomende CO <sub>2</sub> .	Blauwe waterstof (alleen aardgas + CCS)
Low-carbon hydrogen	Waterstof waarvan de gehele productieketen tot weinig netto CO <sub>2</sub> -emissies leidt.	Koolstofarme waterstof
Electricity-based hydrogen	Waterstof geproduceerd door splitsing van watermoleculen (waterelektrolyse), ongeacht de herkomst van de elektriciteit.	N.v.t.
Hydrogen-derived synthetic fuels	Diverse vloeibare en gasvormige brandstoffen die zijn vervaardigd uit o.a. waterstof en koolstof, zoals synthetische kerosine, benzine of methanol.	Synthetische brandstoffen
RFNBO	'Renewable Fuel of Non-Biological Origin', oftewel hernieuwbare brandstoffen of energiedragers die niet afkomstig zijn van biomassa	RFNBO

<sup>2</sup> Zoals geel voor waterstof uit zonneparken in de woestijn, en turquoise voor aardgas met molten metal pyrolyse, etcetera.





### 2.1 Terugblik op innovatieagenda waterstof 2020

Voor de innovatieagenda waterstof van 2020 is een aanpak geformuleerd met 5 onderdelen, weergegeven in tabel 3. De ambities uit het Klimaatakkoord waren (mede) bepalend voor de prioriteitstelling.

In bijlage 1 wordt een beschrijving gegeven van de huidige stand van zaken met betrekking tot deze thema's. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gapanalyse die in 2021 ten behoeve van het werkplan van het Nationaal Waterstof Programma is uitgevoerd. Dit betrof een inventarisatie van vraagstukken, belemmeringen en knelpunten voor waterstof. In het algemeen kan worden geconcludeerd dat op alle thema's acties in gang zijn gezet en goede voortgang is geboekt bij het realiseren van deze vijf onderdelen.

### 2.2 Internationale ontwikkelingen

Sinds het verschijnen van de innovatieagenda in 2020 heeft waterstof als energiedrager en chemische grondstof voor verduurzaming van de economie internationaal de wind veel sterker mee. Begin 2021 hadden meer dan 30 landen waterstof-roadmaps vastgesteld, had de industrie meer dan 200 waterstofprojecten en ambitieuze investeringsplannen

aangekondigd, en hadden overheden wereldwijd meer dan US\$70 miljard aan publieke financiering toegezegd. De leden van de Hydrogen Council, een wereldwijd initiatief van inmiddels ruim 130 bedrijven met gezamenlijk US\$6,8 biljoen aan marktkapitalisatie en meer dan 6,5 miljoen werknemers, zullen hun totale waterstofinvesteringen tot 2025 verzesvoudigen en tot 2030 met een factor 16 verhogen volgens *Hydrogen Insights 2021*. De update van 2022 bracht wel de kanttekening aan dat van tot 680 gegroeide grootschalige projecten met een gezamenlijke investeringsom van US\$240 miljard, pas voor 10% ervan een definitieve investeringsbeslissing is genomen. De *Global Hydrogen Review 2022* van het International Energy Agency bevestigt dit beeld<sup>3</sup>.

Volgens een analyse van verschillende scenariostudies door IRENA zal waterstof in 2050 12 tot 22% van het finale energiegebruik in de wereld uitmaken. De aandelen groene en blauwe waterstof verschillen maar groene waterstof heeft in de beschouwde scenario's de overhand.

De Europese en wereldwijde ambities voor productie en inzet van koolstofarme waterstof zijn sterk gegroeid, evenals die voor export en import. Dit komt door aangescherpte doelstellingen en beleid om klimaatdoelstellingen te

**Tabel 3: Samenvattend overzicht van innovatieagenda waterstof 2020**

	Thema	Timing (gereed)
<b>1</b>	<b>Van visie naar beleidsvorming</b>	
1a	Beleidsvisie waterstof	Begin 2020
1b	Studies voor programmaontwikkeling	Doorlopend
<b>2</b>	<b>Laten zien in grootschalige praktijkprojecten</b>	
2a	Realisatie grootschalige waterstofproductie op GW-schaal	2030
2b	Aanleg van een waterstofbackbone in Nederland en waterstofopslag	Rond 2030
2c	Inzet van stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof	2030
2d	Demonstratie van 3-5 pilots met waterstof in de gebouwde omgeving	2025
2e	Uitrol van mobiliteit op waterstof incl. vulpunten	2025
2f	Pilot- en demoprojecten waterstof in de industrie (valt deels onder 2A)	2025-2030
2g	Inpassing decentrale duurzame elektriciteitsproductie via waterstof	2025
2h	Ontwerp en aanleg testenergie-eiland	Voor 2030
<b>3</b>	<b>Creëren van de randvoorwaarden</b>	
	Diverse onderwerpen, uit te werken in de komende jaren (o.a. veiligheid, wet- en regelgeving, gaskwaliteit, standaardisatie)	2020-2021
<b>4</b>	<b>Onderzoek voor de langere termijn</b>	
	Middellange tot lange termijn R&D-agenda ten uitvoer brengen	2020-2030
<b>5</b>	<b>Ondersteunende en flankerende activiteiten</b>	
5a	Certificering van waterstof	2020-2021
5b	Internationale afstemming en samenwerking	doorlopend
5c	Divers: regionale samenwerking, HCA, Digitalisering, MVI etc.	doorlopend

<sup>3</sup> De IEA Hydrogen Projects Database bevat zelfs 900 waterstofprojecten, van uiteenlopende omvang.

<sup>4</sup> Volgens PBL, Klimaat- en Energieverkenning 2021.

<sup>5</sup> Volgens Hydrogen Insights 2021 is 65 GW elektrolyse nodig om de kosten van groene waterstof naar het niveau van grijze waterstof te brengen, oftewel minder dan de doelstelling van REPowerEU.

bereiken, om de transitie naar een nieuwe duurzame economie te maken, en om de afhankelijkheid van Russische fossiele grondstoffen te beëindigen (zie paragraaf 3.3). Het enthousiasme bij overheden en markt wordt gevoed door naar beneden bijgestelde kostprijsverwachtingen. De kosten van waterstofproductie zullen volgens *Hydrogen Insights* naar verwachting sneller afnemen dan eerder ingeschat, door snellere kostendaling van hernieuwbare elektriciteitsopwekking met wind en zon en door opgeschaalde industrialisatie van elektrolyserproductie. Elektrolyse op GW-schaal, gevoed uit gecombineerde wind- en zonneparken in regio's met optimale wind- en zoncondities, zal naar verwachting de goedkoopste waterstof opleveren.

Om waterstof kosteneffectief bij de gebruikerscentra te krijgen is een pijpleidingennetwerk nodig en aanvoer per schip over zee voor export/import. De transport- en distributiekosten hangen af van afstanden en benodigde opslag ter plekke. Grofweg zijn de transport- en distributiekosten even groot als de productiekosten van groene waterstof, maar ze zijn lager als productie en eindgebruik dichtbij elkaar plaatsvinden of als aardgasleidingen kunnen worden herbestemd. In welke vorm waterstof het best over lange afstanden kan worden vervoerd, hangt af van de herkomst, afstanden en gewenst eindgebruik. In pijpleidingen zal het in gasvorm gebeuren, over zee en vervolgens over de weg zijn verschillende alternatieven in onderzoek, zoals ammoniak, vloeibare waterstofdragers als 'liquid organic hydrogen carriers' (LOHC), en cryogene waterstof.

De Hydrogen Council heeft voor tientallen eindgebruikstoepassingen de kostenontwikkeling onderzocht. Kansrijke industrietoepassingen voor groene waterstof op grond van TCO (total cost of ownership/operation) zijn raffinaderijen, ammoniak- resp. kunstmestproductie en staalproductie, als een gematigde CO<sub>2</sub>-prijs wordt meegerekend (US\$ 45-50 per ton). Overigens zijn ook milieuwetgeving, consumentvraag en daarmee verbonden "groene premiums" en duurzaamheidseisen van kapitaalverstrekkers van invloed op te maken keuzes. In de transportsector is waterstof op grond van TCO kansrijk in zwaar wegvervoer, off-road toepassingen zoals mijnbouw, treinen op niet-geëlektrificeerde lijnen, scheepvaart (waterstof voor kleinere en ammoniak voor grote schepen) en luchtvaart (vloeibaar waterstof of synfuels). Voor scheepvaart en luchtvaart is een aanzienlijke CO<sub>2</sub>-prijs nodig om de inzet van waterstof en synfuels concurrerend te maken (resp. US\$ 85 en 200-250 per ton). Toepassingen in gebouwde omgeving en elektriciteitsopwekking vergen nog veel hogere CO<sub>2</sub>-prijzen om concurrerend te worden, maar worden toch ontwikkeld om deze sectoren volledig CO<sub>2</sub>-neutraal te helpen maken. In

augustus 2022 ligt de CO<sub>2</sub>-prijs reeds rond € 80-90 (tevens US\$ 80-90), maar een structureel (langdurig) hoge CO<sub>2</sub>-prijs is nodig om investeringen mogelijk te maken.

Er lijkt internationaal geen sprake meer van twijfel over nut en noodzaak van waterstof voor de energietransitie, maar er zijn wel (soms felle) discussies over de claim die waterstofproductie legt op hernieuwbare energie (meer opwekvermogen nodig dan bij eindgebruik als elektriciteit), over nut en noodzaak van blauwe waterstof (in het bijzonder nut en noodzaak van CO<sub>2</sub>-opslag), en over de beste toepassingen voor waterstof en de timing daarvan (rekening houdend met beschikbaarheid van concurrerende technieken in verschillende sectoren).

### 2.3 Ambities en doelen voor waterstof

Nederland heeft nog geen concrete doelstellingen voor waterstof geformuleerd, wel ambities in het Klimaatakkoord. De belangrijkste kwantitatieve ambitie is installatie van 3-4 GW elektrolyse in 2030, voorafgegaan door 500 MW in 2025. In de Routekaart waterstof van het Nationaal Waterstof Programma roept de sector het kabinet op om voor 2030 een doel voor productie van hernieuwbare waterstof vast te stellen van ten minste 6 GW en 600 MW in 2025, in combinatie met het daarvoor benodigde ondersteunend beleid. Als energiebronnen staat rond 2030 naar verwachting in totaal 21 GW offshore wind en 33 GW zon-PV<sup>4</sup> aan opwekcapaciteit ter beschikking; deze is echter niet gealloceerd aan waterstofproductie maar aan verduurzaming van de elektriciteitsbehoefte van alle sectoren en doeleinden. Daarom zal de opwekcapaciteit ook na 2030 moeten doorgroeien om voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar te hebben voor de productie van waterstof naast andere behoeften. Het Kabinet gaat volgens de Kamerbrief over windenergie op zee 2030-2050 onderzoeken hoe doorgroei naar ca. 50 GW in 2040 en ca. 70 GW in 2050, mede voor waterstofproductie, er uit kan zien.

Europa wilde volgens het economisch herstelplan *Next Generation EU* 6 GW elektrolyse in 2024 en 40 GW in 2030 realiseren, maar heeft in de communicatie REPowerEU het doel voor Europese groene waterstofproductie opgeschroefd tot 80 GW. Daarnaast moet door import het volume groene waterstof in Europa nogmaals verdubbelen (totaal 20,6 miljoen ton groene waterstof in 2030).<sup>5</sup>

De Nederlandse havens hebben de ambitie uitgesproken om van dit importvolume 5,5 miljoen ton voor hun rekening te nemen. REPowerEU is een aanzet tot concrete (wetgevende) initiatieven, die later in 2022 invulling krijgen. Of nationale verplichtingen voor binnenlandse productie van groene waterstof worden overwogen, is nog niet bekend. Voor transport van waterstof werken netbeheerders in bijna alle Europese landen samen aan een Europees waterstofnet.



Gasunie is begonnen met de aanleg van het waterstof-transportnet tussen de grote industrieclusters in Nederland, dat in de periode 2027-2030 gereed moet komen. De eerste zoutcaverne voor grootschalige waterstofopslag moet in 2026 gereed zijn, gevolgd door 3-4 zoutcavernes in latere jaren.

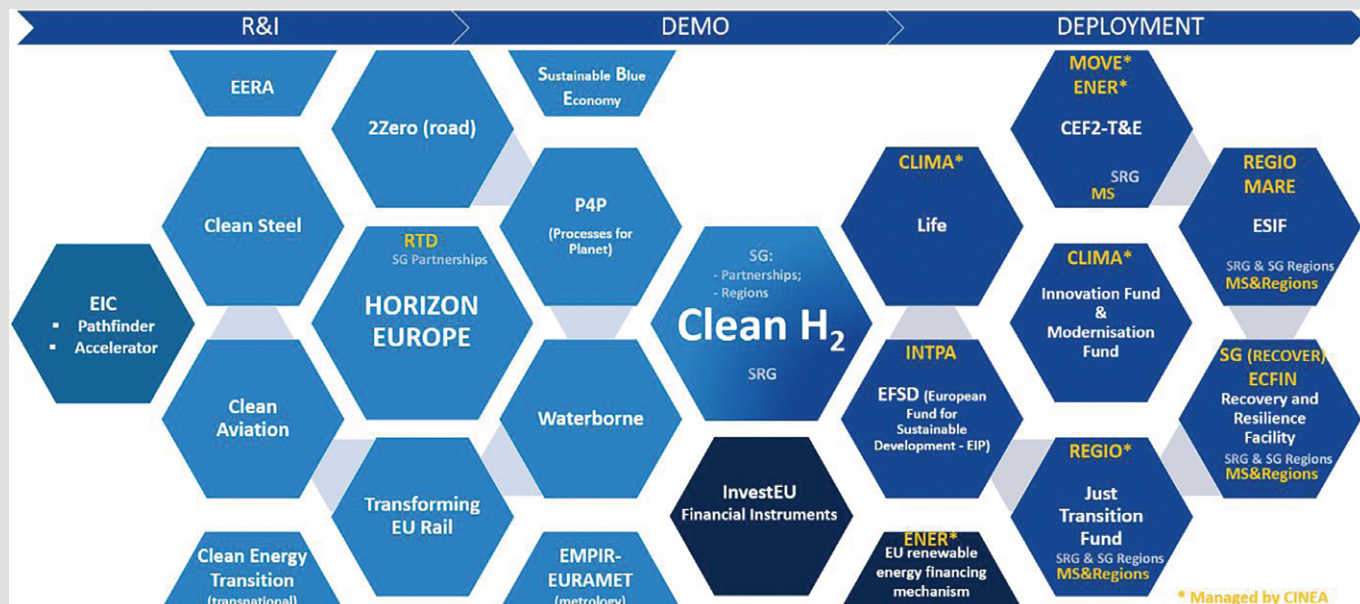
Wat betreft de toepassing van waterstof gaat het Europees beleid zorgen voor kwantitatieve doelen. De Europese Commissie heeft als onderdeel van het *Fit for 55*-pakket een herziening van de Renewable Energy Directive (RED) voorgesteld. Het REDIII-voorstel bevat een kwantitatieve gebruiksverplichting voor 'Renewable Fuels of Non-Biological Origin' (RFNBO) in de industrie en de transportsector (zie hoofdstuk 4). In mei 2022 is de *Delegated Act* ter consultatie gepubliceerd die duidelijkheid moet bieden over onder meer de eisen aan groene waterstof. Als resultaat van het eerder genoemde programma GroenvermogenNL is het de bedoeling om in 2026 3 of 4 maal 100 MW elektrolyse te realiseren om 45-60 kiloton groene waterstof te produceren voor duurzame chemie, staal en synthetische kerosine. Voor het Nationaal Waterstof Programma is vastgesteld dat er een potentieel is voor benutting van 2,5 miljoen ton waterstof in verschillende industrietakken in Nederland.

Voor de mobiliteitssector zijn in het Klimaatakkoord kwantitatieve doelen opgenomen, maar deze worden herzien voor het Actieprogramma Waterstof in Mobiliteit. Sinds het Klimaatakkoord is de aandacht in de markt als het om waterstof in mobiliteit gaat verschoven van personenauto's naar zwaar vervoer over weg, water en spoor, waaronder mobiele werktuigen en grondverzet. De industrie heeft een groot aantal projecten in voorbereiding om invulling aan deze ambities en doelen te geven. Uit het overzicht van waterstofprojecten van TKI Nieuw Gas blijkt dat het aantal waterstofprojecten in Nederland in een jaar tijd met meer dan een kwart is toegenomen. De trend is dat de nieuwe projecten steeds vaker gericht zijn op de concrete realisatie. Er zijn grote projecten aangekondigd zoals een 200 MW (later 400 MW) elektrolysefabriek in Rotterdam, en projecten op vergelijkbare schaal in Terneuzen en Amsterdam. Met dergelijke initiatieven zijn de ambities uit het Klimaatakkoord (500 MW elektrolyse in 2025 en 3-4 GW in 2030) en de Routekaart Waterstof (6 GW in 2030) haalbaar. Het ontwikkeltraject voor waterstof wordt samengevat in tabel 4. Doelen voor de periode 2030 tot 2050 zijn nog niet bepaald maar zullen een veelvoud bedragen van de doelen voor 2030. Deze doelen en ambities zijn van belang voor de inzet binnen de innovatieagenda voor waterstof.

**Tabel 4: Samenvatting ontwikkeltraject waterstof tot 2030 in getallen (Routekaart Waterstof)**

Thema	Tot 2025	Tot 2030 en daarna
Opschaling elektrolyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 600 MW gekoppeld aan hernieuwbare bronnen.</li> <li>• 10 elektrolyseprojecten op schaal &lt;20 MW tot &gt;100 MW voor verschillende (industriële) toepassingen en in verschillende regio's.</li> <li>• Investeringsbeslissingen genomen voor 2 GW elektrolysecapaciteit</li> </ul>	6 GW gekoppeld aan hernieuwbare bronnen
Import waterstof (derivaten)	0,2-0,3 miljoen ton via Nederlandse havens	5,5 miljoen ton via Nederlandse havens
Transport- en opslag-infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerste fase landelijk transportnet gereed</li> <li>• Opslag in eerste zoutcaverne gereed 2026</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landelijk transportnet gereed</li> <li>• Daarna capaciteit verhogen door compressie, extra leidingen, regionale netten</li> <li>• Aanvullende zoutcavernes gereed</li> </ul>
Toepassingen industrie	Conversie van waterstof voor duurzame chemie, staal, en kerosine uit 600 MW elektrolyse (o.a. via GroenvermogenNL)	34-98 PJ per jaar groene waterstof (dragers) in industrie in 2030, tevens koolstofarme waterstof uit industriële restgassen met CCS
Toepassingen mobiliteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 tankstations, incl. 10 voor zwaar vervoer</li> <li>• 10-15.000 personen- en bestelauto's en 500-800 zware voertuigen</li> <li>• 8 miljoen kg waterstof in wegmobiliteit</li> <li>• 5-15 schepen binnenvaart</li> <li>• Aandeel synthetische brandstoffen zeevaart en luchtvaart n.t.b.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 resp. 50 tankstations</li> <li>• 40-75.000 lichte voertuigen en 5-10.000 zware voertuigen</li> <li>• 71 miljoen kg in wegmobiliteit</li> <li>• 20-40 schepen binnenvaart</li> <li>• Idem</li> </ul>

**Figuur 1: Overzicht van EU-programma's en -fondsen ter ondersteuning van onderzoeks- en implementatieactiviteiten voor waterstof.**



## 2.4 Internationaal innoveren

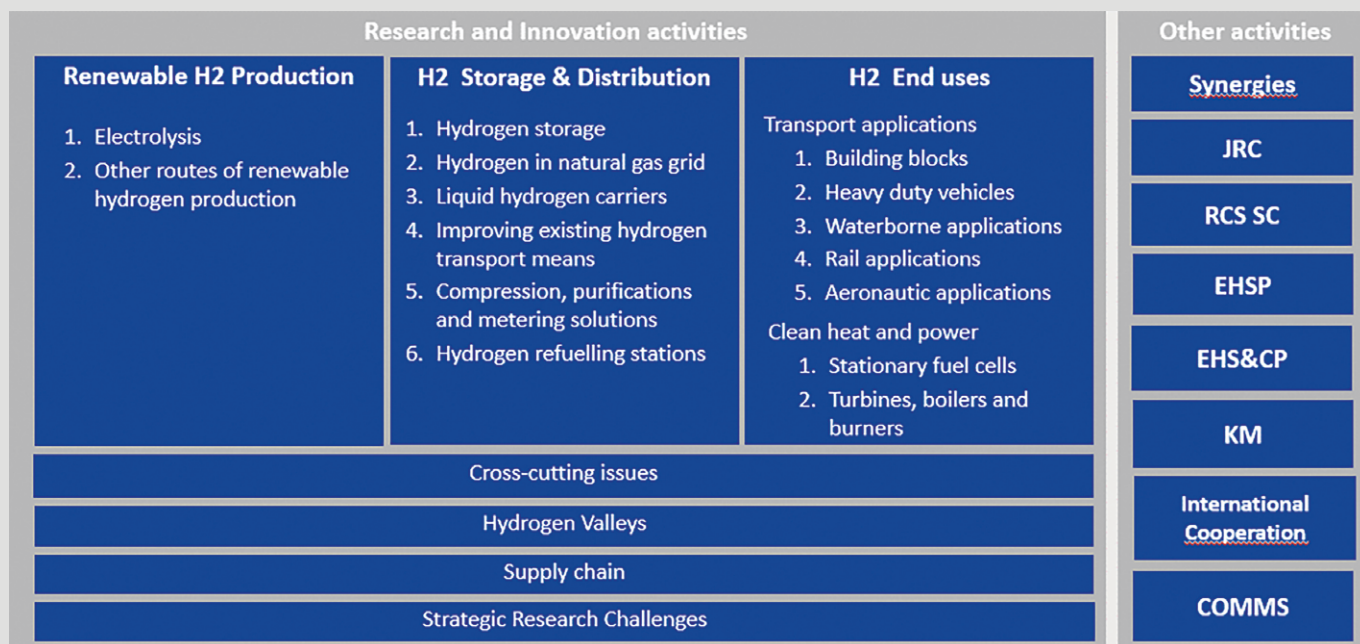
Binnen Europa is al jaren sprake van een sterke coördinatie van de innovatieactiviteiten voor waterstof. Het huidige gremium hiervoor is de Clean Hydrogen Joint Undertaking (CHJU), een publiek-privaat partnerschap binnen het kaderprogramma Horizon Europe voor onderzoek en innovatie. De CHJU is de voortzetting van de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertakings (FCH JU en FCH 2 JU) die actief waren binnen de kaderprogramma's FP7 en Horizon 2020. De CHJU krijgt de leiding over Europese onderzoeksactiviteiten met betrekking tot waterstof, en zal nauw samenwerken met andere Europese partnerschappen als het gaat om waterstoftoepassingen in de relevante sectoren.

De financiële bijdrage van de Unie aan het programma bedraagt € 1 miljard, de particuliere leden dragen tenminste hetzelfde bedrag bij. In REPowerEU is aangekondigd dat de EU haar budgetbijdrage met nog eens € 200 miljoen verhoogt, specifiek voor het onderdeel Hydrogen Valleys. De reikwijdte van de onderzoeks- en innovatieactiviteiten van de CHJU is verschoven ten opzichte van de FCH 2 JU naar thema's die verband houden met de productie van groene waterstof via voornamelijk waterelektrolyse, en de distributie, opslag en eindgebruik-toepassingen van koolstofarme waterstof in moeilijk te decarboniseren ('hard to abate') sectoren waar weinig of geen alternatieven zijn voor waterstof. De CHJU ondersteunt alleen innovatie voor groene waterstofproductie, maar bij de onderzoeks-

en innovatieactiviteiten voor de distributie, opslag en eindgebruikstoepassingen worden grijze en blauwe waterstof niet uitgesloten.

De CHJU staat centraal in het innovatiebeleid voor waterstof, maar ook vanuit andere Europese programma's en fondsen worden onderzoeks- en implementatieactiviteiten voor waterstof ondersteund (figuur 1). Zo heeft het Europese Innovation Fund in 2022 drie grootschalige demonstraties van waterstofproductie in Nederland uitgekozen voor subsidie (Holland Hydrogen 1 Rotterdam, ELYgator Terneuzen en FUREC Chemelot). Opmerkelijk hierbij was dat in deze ronde geen waterstofprojecten in andere landen zijn gehonoreerd. Nederland heeft verder 25 projecten aangedragen voor de Europese status Important Project of Common European Interest (IPCEI). Hiermee kunnen waterstofprojecten een hoger aandeel nationale subsidie ontvangen dan volgens de reguliere staatssteunregels is toegestaan. In de eerste ronde, gericht op industrialisatie van technologie, heeft de Europese Commissie de IPCEI-status verleend aan het programma Hy2Tech met 35 partners uit 15 landen, dat hiermee een gezamenlijke subsidie van €5,4 miljard kan verwachten. De enige Nederlandse deelnemer is Nedstack, die een Fuel Cell Giga Factory voor de semi-geautomatiseerde fabricage van brandstofcellen in Arnhem beoogt en waarvan de subsidie inmiddels is toegekend. In de tweede ronde, die zich richtte op infrastructuur voor productie, opslag en transport van waterstof en op

**Figuur 2: Overzicht van het Clean Hydrogen Joint Undertaking R&I-programma.**



innovatieve toepassingen in de industrie, heeft de EC de IPCEI-status toegekend aan het programma Hy2Use met 29 partners uit 13 landen. Hy2Use kan hierdoor rekenen op een gezamenlijke subsidie van €5,2 miljard. Nederlandse deelnemers zijn Air Liquide (projecten CurtHyl en ELYgator), ENGIE, H2-Fifty, HyCC, Ørsted, Shell en Uniper. Deze Nederlandse projecten richten zich op infrastructuur, en niet op innovatieve toepassingen in de industrie. Het Rijk heeft €1,3 miljard budget vrijgemaakt voor groene waterstofprojecten, waarvan bijna € 800 miljoen voor de nieuwe regeling IPCEI Waterstof: Waterstofproductie door elektrolyse, die maximaal 100% van de onrendabele top van een project vergoedt. Alleen projecten van de IPCEI-shortlist komen hiervoor in aanmerking.

De innovatiedoelen van de CHJU komen voort uit de EU-waterstofstrategie en de beleidsontwikkelingen die bijdragen aan de uitvoering daarvan. De CHJU-partijen hebben een Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) 2021-2027 opgesteld, op grond waarvan de jaarlijkse oproep tot het indienen van projectvoorstellen wordt gedaan, het belangrijkste onderdeel van het CHJU-programma. In 2022 vond de eerste tenderronde plaats met een budget van €300 miljoen verdeeld over 41 onderwerpen. De onderzoeks- en innovatieacties die in de Strategic Research and Innovation Agenda worden beschreven zijn

onderverdeeld in de ‘pijlers’, ‘horizontale acties’ en ‘overige activiteiten’ die worden gepresenteerd in figuur 2.

De SRIA van de CHJU is een doorwrochte inventarisatie van de innovatiebehoefte door de industrie en onderzoeksinstituten. De belangrijkste wetenschappelijke prioriteiten en uitdagingen voor de verschillende pijlers en horizontale activiteiten volgens de SRIA zijn samengevat in bijlage 2. Voor elk onderwerp beschrijft de SRIA de rationale voor ondersteuning aan het thema, de stand der techniek (waaronder FCH 2 JU projecten), de doelstellingen, de R&D-prioriteiten per type actie, de te behalen technische prestaties van materialen, componenten, systemen en producten (KPI's volgens de SRIA), en de samenwerking met Joint Undertakings op andere terreinen. Wat opvalt is dat vanuit de CHJU zelf veel minder sterk op waterstof in de industrie wordt ingezet dan in Nederland, waar dit thema prominent op de agenda staat. Hier leunt de CHJU op de samenwerking met andere Joint Undertakings zoals Clean Steel en Processes4Planet (P4P). De ‘fit’ tussen de SRIA en de Nederlandse innovatieagenda waterstof is voor toepassing in de industrie zwak, zodat Nederland hier zelf actief zal moeten zijn, bijvoorbeeld in samenwerking met andere landen die zich hierop richten en via de genoemde Joint Undertakings voor industrie.



**Bij het vaststellen van de onderwerpen waarop de Nederlandse innovatie-inzet voor waterstof gericht moet worden, zijn de volgende vragen als leidraad gebruikt:**

- 1 Welke waterstofinnovaties heeft Nederland nodig om te voldoen aan de Europese beleidsverplichtingen voor energie?
- 2 Welke waterstofinnovaties passen het best bij de kenmerken van Nederland als het gaat om ligging en infrastructuur?
- 3 Welke waterstofinnovaties passen bij de sterktes en ambities van de Nederlandse industrie en Nederlandse kennisinstellingen?
- 4 Welke innovatieprojecten zijn de afgelopen jaren in Nederland uitgevoerd, en welke onderwerpen zijn daarbij achtergebleven?
- 5 Welke waterstofinnovaties worden al door andere nationale en Europese programma's ondersteund en welke inzet is aanvullend nodig met Nederlandse instrumenten?
- 6 Op welke termijn is te verwachten dat de waterstofinnovaties bijdragen aan emissiereducties?

#### **Ad 1: Innovaties voor het behalen van de Europese beleidsverplichtingen voor energie**

De Europese Commissie stelt bij de herziening van de Renewable Energy Directive (RED) een gebruiksverplichting voor 'Renewable Fuels of Non-Biological Origin' (RFNBO) voor. Groene waterstof uit waterelektrolyse met hernieuwbare elektriciteit valt hieronder, evenals synthetische brandstoffen die worden geproduceerd op basis van koolstofdioxide en groene waterstof, zoals synthetische methaan, diesel en kerosine ('synfuels'). Ook groene ammoniak geproduceerd op basis van stikstof en groene waterstof is een RFNBO. Om als RFNBO mee te kunnen tellen, moet het gebruik van waterstof, synfuels en groene ammoniak minimaal 70% reductie van broeikasgasemissies opleveren. Waterstof uit duurzame biomassa valt per definitie niet onder RFNBO.

#### **De voorgestelde REDIII-doelstellingen (die nog kunnen veranderen) zijn:**

- 50% van het eindgebruik van waterstof in de industrie voor energetische en niet-energetische doeleinden moet in 2030 RFNBO betreffen, en in 2035 moet dit 70% bedragen. Voor het bepalen van het percentage telt groene waterstof die wordt gebruikt in raffinaderijen alleen mee voor het aandeel niet-brandstofproducten (omstreeks 15%). Nog onduidelijk is of waterstof als bijproduct of onderdeel van restgassen zoals bij staalproductie meetelt voor de grondslag.

- Tenminste 2,6% van de energie in de transportsector moet in 2030 RFNBO betreffen. De transportsector omvat alle modaliteiten: weg- en railtransport, schep- en luchtvaart. Het gebruik van groene waterstof voor productie van conventionele brandstoffen en biobrandstoffen (o.a. Hydrogenated Vegetable Oil) telt hier mee. Deze waterstof telt niet mee voor de industriedoelstelling.
- Voor luchtvaart is er bovendien de verplichting dat in 2030 0,7% van de brandstoffen synthetische kerosine moet betreffen, oplopend tot 28% in 2050. Het Europees Parlement wil deze aandelen verhogen tot respectievelijk 2% en 85%.

Volgens een inschatting door TNO<sup>8</sup> bedraagt de RFNBO-opgave voor Nederland in 2030 op basis van de huidige situatie ongeveer 70-80 PJ, waarvan 40-50 PJ in de industrie en 30 PJ in transport. Afhankelijk van ontwikkelingen in de komende jaren kan dit oplopen tot ruim boven de 100 PJ. Ter vergelijking, het huidige (grijze) waterstofgebruik in Nederland wordt geschat op 180 PJ, inclusief de waterstof die vrijkomt als bijproduct of als onderdeel van restgassen. De bandbreedtes komen voort uit onzekerheden over de doelen waarover de lidstaten onderling en met het Europees Parlement en de Europese Commissie zullen onderhandelen.

De baseline van 180 PJ kan toenemen als de industrie overstapt op nieuwe processen met waterstof als grondstof of energiedrager, zoals productie van synthetische brandstoffen of waterstofverbranding voor hoge-temperatuurwarmte. Maar er kan ook sprake zijn van afname van de baseline als bijvoorbeeld de kunstmestproducenten overstappen op ammoniakimport of als bedrijven verhuizen naar landen met gunstiger omstandigheden om goedkoop waterstof te produceren.

Europa wil specifieke eisen stellen aan de productiewijze om waterstof hernieuwbaar te noemen. Het zou moeten gaan om productie via waterelektrolyse, waarbij de energiebron zon, wind of waterkracht betreft, de elektriciteit met een nieuwe (hoogstens 3 jaar ouder dan de elektrolyser), ongesubsidieerde installatie wordt opgewekt, in dezelfde geografische zone als de elektrolyser, en op uurbasis gelijktijdig met de benutting in de elektrolyser. Deze regels zijn bedoeld om elektrolyse met grijze stroom te ontmoedigen en alleen steun te geven aan echte verduurzaming. Het Europees Parlement heeft echter gestemd voor soepeler regels, zodat de Europese Commissie met een nieuw voorstel zal komen. Ongeacht de exacte opgave zal het REDIII-voorstel een enorme vraag naar groene waterstof(-dragers) creëren in de industrie en in de transportsector die moet worden ingevuld met binnenlandse productie of import. Het geeft



geen stimulans aan de toepassing van groene waterstof in de elektriciteitssector of gebouwde omgeving en niet aan de toepassing van blauwe waterstof. Voor de innovatieagenda waterstof betekent dit dat innovaties in groene waterstofketens gericht op toepassing in de industrie en in de transportsector (waaronder synthetische kerosine) prioriteit moeten hebben.

De behoefte aan innovaties voor blauwe waterstof zal, gegeven de onzekerheid over de beleidsmatige verankering daarvan, nog moeten worden gezien. Dat laat onverlet dat de toepassing van CCS op bestaande grijze waterstofproductie noodzakelijk zal zijn om de klimaatdoelstellingen te halen. Deze optie scharen we onder het CCS-domein (en niet onder het waterstofdomein) omdat het in de basis niet leidt tot additionele waterstofproductie maar alleen de CO<sub>2</sub>-emissie van de huidige fossiele productie reduceert.

Samengevat, vanuit de genoemde beleidspakketten wordt duidelijk dat Nederland op de terreinen groene waterstofproductie, toepassing in industrie en toepassing in transport (waaronder synthetische kerosine) moet innoveren om aan de (verwachte) doelstellingen te voldoen. Voor de doelen van 2030 zal voornamelijk grootschalige implementatie van (bijna) bewezen technologie noodzakelijk zijn. Integratie in bestaande industriële (infra)structuren is daarbij een van de uitdagingen. Om de doelen voor 2035 en verder te behalen is ook R&D naar nieuwe productie- en gebruikstechnieken voor groene waterstof van belang. Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

## **Ad 2: Innovaties passend bij Nederlandse ligging en infrastructuur**

Wil Nederland op grote schaal groene waterstof produceren om aan de Europese doelstellingen te kunnen voldoen, dan biedt offshore wind verreweg de beste mogelijkheden, zeker gegeven de beperkte ruimte op land. De elektrolysecapaciteit die in 2030 nodig is voor de

verschillende RFNBO-varianten die zijn beschouwd, varieert van 6 tot 11 GW (afhankelijk van het aantal vollasturen) bij een wind-op-zee-capaciteit die afhankelijk is van de mate van koppeling tussen windparken en waterstoffabrieken op basis van elektrolyse.<sup>7</sup> In maart jl. heeft Nederland het doel voor de totale geplande capaciteit voor energie van wind op zee verhoogd tot 21 GW. Het Kabinet gaat volgens de Kamerbrief over windenergie op zee 2030-2050 onderzoeken hoe doorgroei naar ca. 50 GW in 2040 en ca. 70 GW in 2050, mede voor waterstofproductie, er concreet uit kan zien en of dit ook daadwerkelijk haalbaar is, gezien de ecologische impact en andere gebruiksfuncties op de Noordzee. In het raamwerk van de North Seas Energy Cooperation hebben de Noordzeelanden aangekondigd de gezamenlijke offshore windcapaciteit uit te breiden tot 260 GW in 2050, mede voor de onshore en offshore productie van groene waterstof.

In de Kamerbrief kondigt het Kabinet aan om samen met marktpartijen, TKI's Wind op Zee en Nieuw Gas en het North Sea Energy Programme een innovatieprogramma op te zetten. Naast onderzoek en innovatie zal dit ondersteuning van concrete grootschaligere demonstratieprojecten kunnen omvatten, zoals een pilot van ca. 100MW als onderdeel van een gepland windpark uit de huidige routekaart windenergie op zee en mogelijk een zelfstandig project van ca. 500MW via een aparte waterstof-op-zee-tender.

Nieuwe groene productie- en vraagontwikkeling voor waterstof leiden tot volumes waardoor ook infrastructuur en opslag uitgerold kunnen worden. Behalve binnenlandse productie komt import van groene waterstof in aanmerking. De ligging van Nederland aan de Noordzee en als toegangspoort tot Noordwest-Europa, met zijn goed uitgeruste (diepzee)havens en gevestigde bedrijvigheid voor import en doorvoer van velerlei andere energievormen, biedt een goed uitgangspunt om in ons land elektrolysecapaciteit, waterstofimport- en doorvoerhubs in te richten.

De grote industrieclusters, Chemelot uitgezonderd, liggen

<sup>6</sup> TNO, Impact 'Fit for 55' voorstel voor herziening RED op de vraag naar groene waterstof in Nederland, TNO-rapport 2022 P10151, 8 februari 2022. Ook: CE Delft/TNO, 50% green hydrogen for Dutch industry. Analysis of consequences draft RED3, March 2022.

<sup>7</sup> Als de gehele opbrengst van een windpark wordt benut voor elektrolyse dan zijn de capaciteiten aan wind op zee en elektrolyse aan elkaar gelijk; stel 1 GW elektrolyse met 1 GW wind op zee. Het aantal vollasturen aan productie van elektrolyse is dan gelijk aan het aantal vollasturen aan opbrengst van het windpark; stel 4000 uur. Als slechts de helft van de opbrengst wordt benut dan is tweemaal zoveel capaciteit aan wind op zee nodig als aan elektrolyse; dit wordt dan 1 GW elektrolyse met 2 GW wind op zee. Bij benutting van de onderste helft (1 GW) van de opbrengstcurve (opbrengst gerangschikt in afnemende orde van grootte in plaats van chronologische weergave) van een windpark zijn echter meer vollasturen te maken waardoor minder capaciteit aan elektrolyse nodig is voor dezelfde productie. Stel dat met de onderste helft 25% meer vollasturen zijn te maken, dus 5000 uur. Dan kan met 0,8 GW elektrolyse dezelfde hoeveelheid waterstof worden geproduceerd als met 1 GW en 4000 vollasturen. Op deze manier is geen 2 GW wind op zee nodig maar 'slechts' 1,6 GW, waarbij wel moet worden bedacht dat er dan minder opbrengst aan elektriciteit overblijft voor overige directe elektrificatie, bijvoorbeeld e-boilers, warmtepompen en elektrische auto's.



ook in of bij deze havens, en alle clusters zijn onderling verbonden met diverse infrastructuren, waaronder een uitgebreid aardgasnet. Gasunie heeft in 2021 de opdracht gekregen om een deel van het aardgasnet om te bouwen tot een waterstoftransportnet die de industrieclusters (ook die in de buurlanden) verbindt met de elektrolysefabrieken, import- en doorvoerhubs, en grootschalige opslagfaciliteiten. In deze industrieclusters bestaat al een grote waterstofvraag. Samengevat liggen er qua innovatie uitdagingen en kansen bij de ontwikkeling van het offshore-windpotentieel in combinatie met waterstofproductie (op zee of op land) ten behoeve van de industrieclusters en zwaar transport, en voor het ontwikkelen van ontvangstterminals voor import en doorvoer van waterstof en waterstofdragers, met in beide gevallen daarbij de pijpleidingen, transportmiddelen zoals schepen, opslag, en de systeemintegratie in het geheel. Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

### **Ad 3: Innovaties passend bij sterktes en ambities van onze industrie en kennisinstellingen**

Het industrieel gebruik van groene waterstof wordt niet alleen door Europees beleid bevorderd, ook de industrie zelf ziet waterstof als een kans om te decarboniseren. In het Nationaal Waterstof Programma is op grond van de prognoses in de Cluster Energie Strategieën becijferd dat de verwachte 3-4 GW productie van groene waterstof in 2030 (volgens de oorspronkelijke Nederlandse waterstofstrategie, maar dit geldt ook voor de aanpassing naar 6 GW) in principe volledig benut kan worden in de industrie. In de resterende vraag zou dan kunnen worden voorzien door import. Dit betreft met name de sectoren chemie (chemische recycling, methanol, ammoniak, hydrogeneratie-processen), duurzame brandstoffen (synthetische brandstoffen en biobrandstoffen), productie van staal (direct gereduceerd ijzer, DRI) en hogetemperatuur-proceswarmte (fornuizen, ovens, WKK-opties). Veel bedrijven in deze sectoren zijn betrokken bij Nederlandse projecten voor grootschalige waterstofproductie.

Nederland heeft ook een sterke fossiele energiesector, een goed uitgangspunt voor blauwe waterstofproductie. Blauwe waterstof valt echter buiten het EU-beleid voor hernieuwbare energie en het is onduidelijk of en hoe blauwe waterstof in het landelijk beleid wordt geadresseerd.

Ambities voor gebruik van waterstof zijn er ook in de mobiliteit- en logistieke sector, die een transitie heeft ingezet naar nul-emissie. Sinds enkele jaren maken batterij-elektrische personen- en bestelauto's een sterke groei door, evenals OV-bussen. In overig zwaar vervoer, zoals vrachtwagens, binnenschepen en bouwmachines, waar de laadinfra voor grotere uitdagingen staat, zien veel betrokkenen de inzet van waterstof als een haalbaarder alternatief. Voor de komende jaren zijn er ambities

gedefinieerd die via Green Deals, convenanten, pilots en stimuleringsprogramma's bereikt moeten worden. Er zijn grootschalige demonstratieprojecten met vrachtwagens voorgesteld. Waterstof in de vorm van ammoniak of na omzetting tot e-fuels wordt gezien als kansrijke brandstoffen voor zeevaart resp. luchtvaart. De REDIII-verplichtingen helpen de markt hiervoor te scheppen.

Zwaar vervoer is tevens een terrein waar de Nederlandse maakindustrie een rol van betekenis speelt met fabrikanten als DAF, scheepswerven en reders, tankstationexploitanten en brandstofleveranciers. Er is in Nederland ook veel bedrijvigheid en kennis over alle vraagstukken rond transport, opslag en gebruik van diverse gassen, evenals de handel erin. Allerlei producenten van (high-tech) systemen en apparaten en de toelevering van (sub)-systemen/componenten/materialen zien kansen om mee te tellen bij de ontwikkeling van de toeleveringsketen van waterstoftechnologie in binnen- en buitenland.

Op het vlak van waterstofproductie heeft de Nederlandse maakindustrie nog geen positie verworven. Het elektrolysermakersplatform (EMP), waar ruim 40 bedrijven aan deelnemen, richt zich op het opzetten van toeleverende ketens voor waterstofproductie en in de toekomst op een eigen elektrolyse-industrie. Gezien de sterke positie van hightech-machinebouw is er een aantrekkelijk potentieel. ECCM bepleit de opbouw van een eigen elektrolyse-industrie rond innovatieve technologie in plaats van voor bestaande technologie de achterstand in te halen. Dat betekent wel dat de eerste elektrolyseprojecten in Nederland met buitenlandse technologie zullen worden gerealiseerd. De integratie van deze elektrolyzers in de industrie en de ontwikkeling van offshore-elektrolyse leunen wel weer op typische Nederlandse sterktes.

Voorts laten de initiatieven van ECCM en GroenvermogenNL zien dat Nederland een goede kennispositie heeft op het terrein van waterstoftechnologie, fundamentele processen die daaraan ten grondslag liggen en complexe processen en producten waar waterstof onderdeel van is. Van oudsher heeft Nederland een sterke gaskennispositie die goed toepasbaar is voor de ontwikkeling van waterstofketens in allerlei dimensies.

Samengevat biedt de kennispositie van de Nederlandse industrie en kennisinstellingen bij uitstek kansen voor innovaties gericht op elektrolyzers voor groene waterstofproductie (waaronder voor offshore), toepassing van waterstof in de procesindustrie en zwaar vervoer (voertuigen, schepen en tankstations), en rond het transport en opslag van waterstof. Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

#### Ad 4: Eerdere innovatieprojecten

Sinds de oprichting van de Topsector Energie (2011/2012) is een heel scala aan waterstof-(gerelateerde) projecten uitgevoerd. Een evaluatie hiervan leidt tot de volgende conclusies met betrekking tot prioritering van de geactualiseerde innovatieagenda waterstof (zie bijlage 3).

- Focus leggen op ketenprojecten waarin productie en gebruik worden verbonden en infrastructuur wordt opgebouwd. Laaghangend fruit zijn projecten waarbij een firma de opwekking van hernieuwbare energie, waterstofproductie en gebruik ervan in een bestaand industrieproces in één hand heeft.
- Ondersteunen van opschaling van innovatieve Nederlandse elektrolyse-technologie (componenten en systemen) om de ontwikkeling van een nationale elektrolyse-industrie te bevorderen, evenals de inrichting van supply chains voor elektrolyse.
- Ondersteunen van realisatie van voorgenomen elektrolyse-demoprojecten op MW-schaal en leren over de projecten heen om de stap naar GW-schaal te maken.
- Ondersteunen van decentrale elektrolysecapaciteit bij wind- en zonneparken om lokaal netcongestie te verhelpen lost een urgent probleem op en levert ervaring op met systeemintegratie.
- Ondersteunen van R&D en demonstratie van branders en gasturbines op waterstof onder industriële praktijkomstandigheden.
- Ondersteunen van de stap van enkelstuks-pilots naar grootschaliger demonstratieprojecten met zwaar vervoertoepassingen (weg, water, rail, off-road).
- Er lopen veel activiteiten voor het onderwerp waterstof in de gebouwde omgeving, zodat het nu geen prioriteit in de innovatieagenda hoeft te krijgen.
- Ondersteunen van inzet en export van Nederlandse kennis en kunde van meet, regel- en sensortechnologie.
- Blijven bevorderen van samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen in de diverse innovatieprojecten.

De algemene conclusie op grond van de evaluaties is dat er al veel is geïnnoveerd in de diverse ondersteunde projecten, maar dat er nog meer samenhang en prioritering nodig is om de stap te maken naar effectieve implementatie van de opgebouwde kennis en kunde. Naar verwachting kan er door GroenvermogenNL, verschillende grotere MOOI-consortia, het Hydrohub-programma van ISPT en ECCM

meer lijn en focus in de aanpak worden gebracht. De basis is gelegd in de projecten van de afgelopen jaren, het is nu zaak om door te pakken via deze initiatieven.

Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

#### Ad 5: Innovaties in lopende nationale en Europese programma's

Een vraag bij de prioritering van innovatieonderwerpen is welke ontwikkelingen al ondersteund worden in nationale en internationale programma's, zoals de Clean Hydrogen Partnership met budgetten waar Nederland gebruik van kan maken, en welke inzet aanvullend nodig is met Nederlandse instrumenten. Ook belangrijk is de vraag of elders vergelijkbare activiteiten plaatsvinden waar gebruik van kan worden gemaakt of waarbij kan worden aangesloten om voldoende van te leren voor binnenlandse toepassing. De SRIA van de Clean Hydrogen JU dekt in principe alle thema's af die ook voor de Nederlandse waterstof(technologie)sector van belang zijn. De vertaalslag naar oproepen voor projectvoorstellen en de verdeling van budgetten over de diverse oproepen is nog niet gemaakt. Om deel uit te maken van internationale projectconsortia en in Brussel succesvol projectvoorstellen in te dienen, moeten aanvragers een forse inspanning plegen. Er is in de Europese programma's weinig ruimte voor eenvoudige projecten met een of slechts enkele partners uit een enkel land. Vaak worden slechts één of twee projecten op een onderwerp gehonoreerd en wordt geëist dat projecten voortbouwen op eerdere resultaten. Er is aanvullend behoefte aan meer toegankelijke subsidiemogelijkheden via Nederlandse programma's. De innovatieonderwerpen die in de SRIA zijn beschreven, met de bijbehorende KPI's als doelstellingen, kunnen hiervoor als leidraad gebruikt worden zodat Nederland goed aansluit bij de internationale stand der techniek en ambities.

Een thema dat de komende jaren nationaal ondersteund wordt is waterelektrolyse in combinatie met chemie via het programma GroenvermogenNL.<sup>8</sup> Dit programma wil met gerichte investeringen Nederland toonaangevend maken in de productie en distributie van groene waterstof voor gebruik als energiedrager en in de synthese van basischemicaliën. GroenvermogenNL koppelt deze investeringen aan de verbinding van sterke Nederlandse industriële clusters met de bestaande nationale brede kennisbasis, om zo de grondstofverwerkende industrie

<sup>8</sup> Het voorstel is ingediend door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, mede namens de deelnemende partijen Nobian, Shell, Air Liquide, DOW, VDL, OCI Nitrogen, BP, Yara, Orsted, Siemens, Avantium, Hygear, Hyet, TataSteel, Vattenfall, Zeeland Refinery, MTSA, Bosch, SkyNRG, FME, BASF, Port of Rotterdam, Port of Amsterdam, Smart Delta Resources (SDR), Chemelot, Brainport, kennispartijen (TNO/VoltaChem, AMCEL-UvA, EIRES-TU/e, e-Refinery-TUD, ARC CBBC (UU, TU/e, RUG), CEI-UT), en met steun van Urgenda, Natuur & Milieu, VEMW, VNCI, FME, Gasunie, ECCM en het Elektrolyser Makersplatform.



en geavanceerde hightech-maakindustrie een forse economische impuls te geven. GroenvermogenNL bestaat uit een geïntegreerde aanpak van R&D, kleinere demonstratieprojecten, de ontwikkeling van het menselijk kapitaal (HCA), en de opschaling van groene waterstofproductie met toepassing in waardeketenprojecten en de daarvoor benodigde systeeminnovatie. Dit laatste gebeurt door een tender uit te schrijven voor 3 tot 4 elektrolysefaciliteiten van minimaal 100 MW, gekoppeld aan toepassing in de chemie. Er is in totaal €838 miljoen aan publieke middelen toegekend, waarvan € 323 miljoen direct en de rest voorwaardelijk.

De elektrolyzers produceren direct groene waterstof, maar ze zijn ook essentieel om te leren hoe de opschaling van waterstof naar de uiteindelijk benodigde GW-schaal mogelijk is. Dankzij werkende faciliteiten kunnen innovatievragen worden beantwoord, zoals hoe kan worden omgegaan met wisselend aanbod van groene stroom en groene waterstof, en wat het effect daarvan is op processen verderop in de keten, zoals de chemie. Om ook ketenspecifieke innovatievraagstukken op hoog TRL-niveau rondom de grootschalige toepassing van de waterstof in waardeketens op te lossen, worden elektrolyserprojecten beoogd in verschillende industriële sectoren zoals chemie, synthetische kerosine, staal en kunstmest. Opschaling in specifieke ketens en daarmee het scheppen van een thuismarkt biedt ook kansen voor de maakindustrie. De bedoeling is om een toeleverende Nederlandse maakindustrie tot stand te brengen en daarmee een nieuw groen ecosysteem te realiseren waarin de sectoren energie, hightech en chemie nauw samenwerken. Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

#### **Ad 6: Timing van innovaties**

In het Nationaal Waterstof Programma is voor de ontwikkeling van groene waterstof en de energietransitie een aanpak voorgesteld waarin de grootschalige ontwikkeling van waterstof in industrieclusters en havens centraal staat. Het NWP geeft het grootschalige spoor prioriteit omdat groene productie- en vraagontwikkeling voor waterstof zal leiden tot volume waardoor ook infrastructuur en opslag uitgerold kunnen worden en de (Nederlandse) maakindustrie een interessante thuismarkt wordt geboden.

Daarnaast is er behoefte aan decentrale ontwikkeling van waterstof in de regio's. Dit spoor gaat over de demonstratie en uitbouw van waterstofproductie op decentraal niveau, gekoppeld aan lokale opwekking van duurzame elektriciteit uit zon en wind, voor de toepassing van waterstof in bijvoorbeeld zwaar transport en mobiliteit, het zogenaamde zesde cluster (industrie), de agro-sector en de gebouwde omgeving, waarbij lokaal ook congestieproblemen in de elektriciteitsinfrastructuur kunnen worden verminderd die

de doorontwikkeling van duurzame energieprojecten in de weg staan.

Naast de industrie is de ontwikkeling van zwaar transport over weg en water van belang, mede ingegeven door de toenemende verkrijgbaarheid van voer- en vaartuigen en vulpunten. Toepassingen in de transportsector profiteren ook van het grootschalige spoor omdat daar groene waterstof beschikbaar komt om te verdelen naar tankstations.

Toepassingen in elektriciteitscentrales en gebouwde omgeving zijn minder dringend dan in industrie en transport. Weliswaar is het waardevol om gasturbines door innovatie gereed te maken voor waterstof, grootschalige toepassing van waterstof in flexibele elektriciteitscentrales zal pas plaatsvinden als er een voldoende grote mismatch is tussen energievraag en fluctuerend aanbod van energie uit wind en zon, als er grote hoeveelheden laaggeprijsde koolstofarme en groene waterstof (als waterstof of in de vorm van andere waterstofhoudende moleculen) beschikbaar zijn voor gebruik in deze back-upcentrales, of als het beleid specifieke doelen voor stuurbare CO<sub>2</sub>-vrije opwekcapaciteit stelt. Evenzo is het zinvol om woningen en andere gebouwen door innovatie gereed te maken voor waterstof, maar grootschalige toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving is pas te verwachten als er voldoende groene waterstof beschikbaar is, via decentrale opwek of via een landelijk waterstoftransportnet met aftakkingen naar distributienetten.

Voor het behalen van de beleidsdoelen van 2030 zal voornamelijk grootschalige implementatie van (bijna) bewezen technologie noodzakelijk zijn (TRL 7-9). Om de doelen voor latere jaren te behalen is ook R&D naar en demonstratie van nieuwe productie- en gebruikstechnieken voor groene waterstof van belang (lagere TRL-niveaus). Conclusie is in ieder geval dat Nederland serieus aan de slag moet gaan en voortbouwen op wat bedrijven en kennisinstellingen in de afgelopen jaren in gang hebben gezet. Zie hoofdstuk 4 voor de uitwerking.

Op grond van het voorgaande komen we tot vijf prioriteiten voor de geactualiseerde innovatieagenda voor waterstof. De bijbehorende innovatieactiviteiten worden in tabellen 5-11 per prioriteit uitgewerkt. Er is hierbij bewust gekozen voor een hoger abstractieniveau dan van de 172 pagina's tellende Strategic Research and Innovation Agenda van de Clean Hydrogen Joint Undertaking.

**Prioriteit 1: Ontwikkeling van duurzame waterstofketens in de industrie, bestaande uit waterstofproductie met offshore wind, infrastructuur en opslag, en toepassing in de industrie voor energiedoelinden en als grondstof, met de benodigde systeemintegratie**

Het hoofddoel van de ontwikkeling en implementatie van groene waterstof als een energiedrager en grondstof voor energetische en niet-energetische toepassingen, is om de uitstoot van CO<sub>2</sub> drastisch te verlagen en significant bij te dragen aan de energietransitie, vooral in die toepassingen waar directe elektrificatie niet volstaat. Benutting van waterstof gemaakt door met elektriciteit water te splitsen is te beschouwen als indirecte elektrificatie. Evenzeer is de ontwikkeling van waterelektrolyse van belang om wereldwijd maximaal gebruik te maken van het potentieel aan energie uit zon en wind en via een geschikte vorm in o.a. Nederland beschikbaar te krijgen.

Het is noodzakelijk om waterstof versneld te ontwikkelen zodat het al in 2030 kan bijdragen aan de emissiereductiedoelstellingen, zoals gewenst in Europees en Nederlands beleid. Schaalgrootte is van groot belang om de bijdrage significant te laten zijn en om kostenreducties te bereiken. Dit kan vooral bereikt worden in de industrie, waar al een grote vraag naar (nu grijze) waterstof bestaat. Naast vervanging van waterstof uit aardgas, kan waterstof ook rechtstreeks aardgas vervangen, zoals bij de opwekking van hogetemperatuurwarmte. Grootschalige transport- en opslaginfrastructuur is voorwaardelijk voor het verbinden van productie en gebruik. Daarom heeft de ontwikkeling van duurzame waterstofketens gericht op gebruik in de industrie de hoogste prioriteit. Hierbij komen dan ook vraagstukken met betrekking tot systeemintegratie aan bod (zoals integratie tussen wind op zee en elektrolyse, tussen verschillende energie-infrastructuren, en de rol van seizoensopslag).

**Tabel 5: Innovatieactiviteiten prioriteit 1: Ontwikkeling van duurzame waterstofketens in de industrie, bestaande uit waterstofproductie met offshore wind, infrastructuur en opslag, en toepassing in de industrie voor energiedoelinden en als grondstof, met de benodigde systeemintegratie**

1a: Ontwikkeling en opschaling van grootschalige waterelektrolyse	
Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
1a. Grootschalige waterelektrolyse	<p>Voor Nederland biedt wind (en in de toekomst wellicht aangevuld met zon-PV) op de Noordzee het grootste productiepotentieel voor groene waterstof, naast levering van elektriciteit. Maximale benutting van dit potentieel is essentieel voor de energietransitie. In eerste instantie zal waterstofproductie plaatsvinden via <b>grootschalige elektrolyse op land</b> vlakbij de kust op plaatsen waar duurzame elektriciteit aanlandt en in de buurt van de industriële vraag (havens en industrieclusters). Hierbij is systeemintegratie cruciaal. Gezien de steeds groter wordende afstanden tussen windparken op zee en de kust is nader onderzoek naar de ontwikkeling van opties voor <b>offshore-elektrolyse</b> relevant. Er zijn verschillende elektrolysetechnologieën beschikbaar (alkalisch, PEM, SOE, AEM), op alle terreinen zijn inspanningen nodig omdat de verschillende technologieën allemaal hun eigen kenmerken hebben, in verschillende stadia van ontwikkeling zijn en er nog geen definitieve keuzes zijn gemaakt).</p> <p><b>Belangrijke innovatievragen en opgaven zijn o.a.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Welke technologie voor elektrolyse</b>, zoals PEM-elektrolyse, alkalische elektrolyse en SO-elektrolyse, moet men doorontwikkelen, afhankelijk van de doeleinden en operationele omstandigheden (bijvoorbeeld onshore/offshore)? Innovatie is nodig gericht op goedkopere en duurzamer materialen, waaronder vermindering en geleidelijke vermindering van kritische grondstoffen zoals platinagroepmetalen, op volledige recyclebaarheid, en op elektrolyse van zeewater en werking in reversibele modus. Er is behoefte aan een nieuwe generatie elektrolyzers qua kosten, efficiëntie, actieve materialen, levensduur, dynamisch gedrag voor koppeling met hernieuwbare energiebronnen, en aflevering van waterstof op hoge druk (bijv. 70 bar voor waterstofinjectie in het gasnet).</li> <li>• Kunnen <b>combinaties</b> van offshore wind- en zonneparken, energieopslag op zee en onshore of offshore elektrolyse leiden tot lagere productiekosten voor waterstof?</li> <li>• <b>Hoeveel extra</b> wind- en zonneparken zijn nodig en haalbaar om Nederland niet alleen te elektrificeren maar ook van voldoende waterstof te voorzien?</li> <li>• Hoe past grootschalige elektrolyse het best in een <b>industriële cluster</b>, gezien de aanwezige infrastructuren, afnemers en mogelijkheden voor integratie (o.a. warmte-integratie, benutting restwarmte, en benutting zuurstof)?</li> <li>• Kan Nederland een <b>industrie opbouwen</b> rond nieuwe elektrolysetechnieken door eind-gebruikers, technologieontwikkelaars, equipment engineers en maakindustrie bij elkaar te brengen via fieldlabs, Electrolysermakersplatform EMP, samen en parallel innoveren en standaardiseren, een effectieve governance en investeren in een internationale propositie van Nederland?</li> </ul> <p>De innovatieactiviteiten worden <b>op verschillende manieren ondersteund</b> (projecten en beleid) en daarmee kan Nederland in de komende jaren stappen zetten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrohub Innovatieprogramma o.l.v. ISPT: MW testcentrum, HyScaling (ontwikkeling electrolyzers), GW-design van elektrolyse, HyChain (ontwikkeling supply chains), veiligheidsprogramma voor elektrolyse, etc.</li> <li>• IPCEI-subsidieregeling: deze ondersteunt de realisatie van elektrolyseprojecten die in een eerder stadium zijn aangemeld.</li> <li>• GroenvermogenNL: via R&amp;D, pilots, opschaling en human capital wordt de optimalisatie van elektrolyse geadresseerd, projecten vanaf 100 MW worden ondersteund, gecombineerd met toepassing van deze waterstof in de chemie (zoals methanol en ammoniak), staal en synthetische kerosine, en er worden regionale learning communities opgezet.</li> <li>• Opschalingsinstrument: EZK bereidt een opschalingsinstrument voor dat zich richt op de ondersteuning van elektrolyse op een schaal tot 50 MW.</li> <li>• CHJU schrijft diverse projectentenders uit op het gebied van waterelektrolyse.</li> <li>• Er lopen nog diverse projecten met ondersteuning van TSE via RVO.</li> </ul>

Periode	TRL	Instrument	KPI's
<b>Onshore:</b>	5-8	GroenvermogenNL, MOOI-regelingen, Opschalingsregeling EZK, DEI+, HER+, Europese programma's zoals IPCEI (incl. Nederlandse invulling ervan), Innovation Fund, ECCM, PPS-toeslag, MIT-regeling	Stimulering overheid in Nederland en andere EU-landen in verhouding privaat/publiek: €/MW geïnstalleerd
2023 orde 10-20 MW	3-4 meer fundamentele programma's (o.a. GroenvermogenNL)		
2024 orde 50 MW			
2026 orde 100 MW		Nog te ontwikkelen RVO-regeling voor technologieverbetering (analoog of onder TSE-Industrie)	Totale funnel waterstof-projecten in Nederland, gespecificeerd naar projectfase, omvang, locatie, technologie, hoeveelheid productie, verwachte inzet van de waterstof
2030 orde 1 GW			
<b>Offshore:</b>		Aangekondigd innovatieprogramma voor waterstof op zee	Hoeveelheid additionele Wind Op Zee gealloceerd aan waterstof: GW of TWh
PosHYdon 2022 1 MW			
±2026 100 MW	Kostprijzdaling in €/MW, CAPEX en OPEX		
Voor 2030 500 MW			Ook de gedetailleerde, inhoudelijke KPI's van de SRIA zijn van belang.



## 1b: Ontwikkeling van infrastructuur om waterstof te distribueren tussen waterstofproductielocaties en de afname in de industrie(clusters)

Het Kabinet heeft Gasunie de opdracht gegeven om een **landelijk publiek** transportnet voor waterstof aan te leggen volgens de plannen die zijn ontwikkeld in de studie Hyway27. Het transportnet zal aansluiten op een Europees net (EHB: European Hydrogen Backbone). Er zal grotendeels gebruik gemaakt worden van bestaande aardgasleidingen, aangevuld met nieuwe waterstofleidingen waar nodig, zoals mogelijk de Delta Corridor buisleidingenbundel. Voor end-to-end productie en industrieel gebruik en decentrale energiesystemen is er aanvullend op het transportnet ook behoefte aan lagedruk-waterstofinfrastructuur. Hoe de aantakking van buiten de grote industrieclusters gelegen bedrijventerreinen op het transportnet verwezenlijkt kan worden vraagt nader onderzoek. In de toekomst wanneer offshore-elektrolyse wordt ontwikkeld, wordt ook **offshore-infrastructuur** relevant.

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
1b. Infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"><li>• De <b>geschiktheid van aardgasleidingen</b> voor waterstoftransport is aangetoond in Zeeuws-Vlaanderen. Het kader voor experimenten met lage-druk waterstofinfrastructuur in de gebouwde omgeving is recent vastgesteld.</li><li>• De <b>aanleg</b> van benodigde transportinfrastructuur om waterstofproductie en industrieel gebruik te verbinden is onderdeel van de grootschalige demonstraties door GroenvermogenNL. Het TKI ondersteunt een breed <b>veiligheidsprogramma</b> via haar PPS-toeslag, evenals het HyDelta-programma dat zich onder meer op veiligheid van infrastructurele activiteiten en waterstoftoepassingen richt.</li><li>• Aandacht is ook nodig voor <b>beveiliging</b> van infrastructuren (digitalisering; systematisch signaleren van kwetsbaarheden in het waterstofsysteem, adequate voorzorgs- en noodmaatregelen, brandweerstrategieën, cybersecurity). Er is een innovatiebehoefte in de randsystemen zoals goedkope, nauwkeurige <b>sensortechnologie, meet- en regelapparatuur</b>.</li><li>• De Clean Hydrogen JU wil diverse <b>technologieën voor infrastructuur</b> ondersteunen, zoals pijpleidingen zowel voor pure waterstof als voor waterstof gemengd met aardgas.</li><li>• Om waterstof uit toekomstige offshore elektrolyse naar de wal te brengen is de vraag of <b>bestaande gasleidingen</b> hiervoor geschikt zijn of gemaakt kunnen worden, of dat er <b>nieuwe leidingen</b> nodig zijn met andere materialen die bestand zijn tegen de elementen en wisselende drukken als gevolg van fluctuerende productie. Onderzoek en proefnemingen zijn hiervoor nodig.</li></ul>

## 1c: Ontwikkeling van grootschalige waterstofopslag

In een keten van productie, transport en toepassing van waterstof is (boven- en ondergrondse) **opslag** van belang om leveringszekerheid en een buffer te creëren. Opslag, variërend van kleinschalig (bijvoorbeeld bij tankstations) tot grootschalig (in zoutcavernes of gasvelden), zal een steeds grotere rol spelen om vraag, aanbod en beschikbaarheid goed te kunnen matchen. Er zijn nog veel onderzoeksvragen te beantwoorden over de haalbaarheid, technieken, opslagvormen, kosten en beste locaties voor opslag.

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
1c. Opslag	<ul style="list-style-type: none"><li>• Over waterstofopslag in <b>zoutcavernes</b> is al veel bekend en er worden ook testen uitgevoerd (project Hystock). Gasunie beoogt om in 2026 een eerste zoutcaverne commercieel gereed te hebben, waarna er meer moeten volgen. Voor <b>lege gasvelden</b> zijn er nog vragen over interactie van waterstof met gesteente en water in de ondergrond en effecten bij snel laden/ontladen. Kennis verkregen op basis van aardgasopslag volstaat niet.</li><li>• Een vraagstuk is ook <b>welke omvang en vorm van opslag</b> nodig is nabij industrieclusters om bedrijfszekerheid te garanderen in geval van verstoringen in leveringen per pijpleiding. Dit hangt samen met keuzes over de vorm waarin waterstof ingevoerd zal gaan worden.</li><li>• Vanuit de CHJU vindt onderzoek en ontwikkeling plaats naar <b>diverse opslagtechnologieën</b> voor zover mogelijk binnen de scope van het programma. Het betreft zowel bovengrondse opslag in verschillende soorten tanks, als ondergrondse opslag in zoutcavernes en gasvelden.</li><li>• Een ander aspect betreft de <b>wijze waarop waterstofketens worden ingevuld</b>. Bijvoorbeeld bij ammoniakimport lijkt opslag van waterstof in deze vorm in grote opslagtanks voor de hand liggend. Ook zijn er ontwikkelingen inzake de opslag in vaste vorm. Onderzoek zal zich op dit scala aan opties moeten richten.</li></ul>





Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2030 aanleg transport	6-8	<b>Innovatie:</b> PPS-toeslag, GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU	Aantal km waterstofleiding
2022-2026 pilots met regionale netten			Transportcapaciteit van leidingnet
2022-2026 pilots met offshore elektrolyse		<b>Implementatie:</b> financiering via staatsdeelneming (Gasunie/HTS)	Kosten aanleg en beheer per km

Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2026 voorbereiding eerste zoutcaverne	5-6	GroenvermogenNL, DEI+, MOOI-regeling, Clean Hydrogen JU	Aantal locaties voor grootschalige waterstofopslag,
2026- uitbouw capaciteit			opslagcapaciteit van deze faciliteiten
			Opslagcapaciteit bij industrie
			Snelheid van vullen en onttrekken
			Opex en Capex voor verschillende opslagvormen



## 1d: Ontwikkeling en opschaling van grootschalige toepassing van waterstof in de industrie

Gebruik van waterstof als **grondstof** voor de productie van een scala aan **chemische producten** (zoals ammoniak en methanol) is een belangrijke markt, maar ook de ontwikkeling van nieuwe ketens gericht op de productie van **groene staal en synthetische kerosine** is relevant en vergt nog veel onderzoek en innovatie. De grootschalige productie van hoge-temperatuurwarmte is ook een belangrijk thema, waarvoor het ontwikkelen en aanpassen van **branders** voor waterstof nodig is.

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
1d. Waterstofgebruik in industrie	<p>Voor de vervanging van grijze door koolstofarme waterstof in de procesindustrie spelen vooral vragen rond regelgeving (gebruiksverplichting), prijsontwikkeling en subsidies, zuiverheid, traceerbaarheid/certificering van groene waterstof, infrastructuurontwikkeling en veiligheid. De innovatiebehoefte is groter bij nieuwe industriële toepassingen van waterstof.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Nieuwe productieprocessen</b> op basis van waterstof (zoals synthetische kerosine, e-methanol of staalproductie) versneld marktrijp en 'proven' maken voor grootschalige inzet van technologie en gebruik van koolstofarme waterstof.</li><li>• <b>Regionale fieldlabs</b> en testbeds voor experimentele ontwikkeling in echte industriële omgevingen (&gt;TRL5, 10-100 kW), waar bedrijven en onderzoeksinstituten gezamenlijk nieuwe technologieën en systemen ontwikkelen, testen en demonstreren. Koppeling met MBO, HBO en WO om studenten direct op relevante onderwerpen op te leiden.</li><li>• <b>Herontwerp van chemische fabrieken en clusters</b> voor benutting van hernieuwbare energie en hernieuwbare grondstoffen; modelbased ontwerp en optimalisatie van interfaces, modules, modulegrootte, enz.</li><li>• Ontwikkelen van specifieke technologische <b>oplossingen voor de transitie</b> (bijvoorbeeld combinatie van batterijsystemen en infrastructuur met waterstofopslag); geschikt maken van industriële branders voor gebruik van (puur of bij aardgas gemengd) waterstof of ammoniak met <b>minimale uitstoot</b> van stikstofoxiden en lachgas.</li><li>• <b>Kennisdeling</b> over technische waterstoftoepassingen in de industriële productieprocessen.</li></ul>



Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2025 O&O en pilots	6-7	GroenvermogenNL, ECCM, MOOI-regeling, TSE-Industrie Onderzoek & Ontwikkeling, Innovation Fund, IPCEI, DEI+	Hoeveelheid (groene) waterstof afgenomen, per soort eindproduct
2025 eerste toepassingen koolstofarm waterstof in productie van ammoniak, methanol, staal, raffinage en petrochemie			Waterstofprijs voor eindgebruiker: €/kg
			Aandeel van waterstof in eindproductprijs
			Behaalde emissie-reductie: CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>x</sub>



**Prioriteit 2: Import van waterstofhoudende energiedragers, zoals derivaten en LOHC's, en waterstof in gasvormige en vloeibare vorm**

De tweede prioriteit is import van waterstof, in pure vorm als gas of vloeibaar, gebonden aan een drager (m.n. LOHC's of als poeder) of als waterstofderivaat (zoals ammoniak, methanol en synthetische brandstoffen). De vraag naar waterstof in Nederland en de haar omringende landen zal naar verwachting groter zijn dan de productiecapaciteit, en Nederland zal vanwege haar ligging een belangrijke rol spelen bij de import en doorvoer van duurzame energie en

grondstoffen net als voor fossiele energie en grondstoffen. Op dit moment kiezen diverse landen die naar verwachting een grote waterstofvraag zullen hebben, hun posities. Vanwege de positie die Nederland met haar ligging, havens en infrastructuur kan innemen, is import en export een prominent thema voor de innovatieagenda. Dit thema is pas in de laatste jaren sterk opgekomen en er zijn nog de nodige vragen te beantwoorden over de vormen waarin waterstof het best geïmporteerd kan worden en wat dat betekent voor transportmiddelen, overslag en opslag.

**Tabel 6: Innovatieactiviteiten prioriteit 2: Import van waterstofhoudende energiedragers, zoals derivaten en LOHC's, en waterstof in gasvormige en vloeibare vorm**

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
Import, doorvoer en export van waterstof en waterstofhoudende energiedragers	<p>Vraagstukken zijn onder meer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Welke importketens</b> zijn mogelijk, wat is de benodigde technologie en wat zijn hiervan de kosten, milieubelasting, veiligheid en sociale aspecten, waaronder de geografische/-politieke aspecten en de consequenties voor de toekomstige leveringszekerheid? Hoe verhoudt import zich tot eigenproductie en wat zijn de systeemimplicaties?</li> <li>• <b>Welke waterstofvorm</b> (gasvormige of vloeibare H<sub>2</sub>, ammoniak, methanol, e-LNG) past bij welke toepassing en logistieke keten, wat zijn de kosten van de alternatieven, en hoe richten we de infrastructuur in, rekening houdend met verschillende dragers en conversietechnieken? Hier ligt een sterke relatie met opslag en transport in tabel 5.</li> <li>• Wat zijn <b>toekomstige importvolumes</b> voor de energiedragers in de tijd gegeven de huidige volumes en de huidige en benodigde infrastructuur, en hoe kan deze import efficiënt worden georganiseerd?</li> <li>• <b>Hoe verhouden zich</b> uit oogpunt van kosten en energieleveringszekerheid: aanlanding via elektrakabels van offshore stroom voor waterstofproductie op land, waterstofproductie op zee en transport via pijpleidingen naar land, en productie van groene stroom rondom de evenaar en transport met schip naar Nederland?</li> <li>• Grootschalig transport van waterstofgas, ammoniak, methanol, en LNG is bekend en met hoge TRL beschikbaar. Andere waterstofvormen (vloeibaar H<sub>2</sub>, LOHC, poeders) hebben in bepaalde transport- en marktsituaties voordelen en bieden perspectief (technisch, financieel, veiligheid) voor overzees transport, maar zijn nog minder ver ontwikkeld. Hoe kan waterstof <b>energie-efficiënt, kosteneffectief en veilig</b> worden vervoerd, danwel gecombineerd met en weer gescheiden van waterstofdragers? Welke materialen en katalysatoren zijn hiervoor nodig, en hoe kan de hoeveelheid benodigde drager worden verminderd? Hoe kunnen deze technologieën verder worden ontwikkeld, beproefd en gestimuleerd?</li> <li>• Hoe kunnen we de <b>bestaande Nederlandse infrastructuur</b> (pijpleidingen, waterwegen, spoorwegen, havens, opslag e.d.) inzetten om de eindmarkten te bedienen en daarmee de kosten verlagen / stranded assets voorkomen?</li> <li>• Hoe kan een uniforme beoordeling van <b>veiligheidsaspecten</b> voor de diverse dragers (vergunningverlening) worden geborgd?</li> </ul> <p>Voortvloeiend uit het Nationaal Waterstof Programma is het <b>Sustainable Hydrogen Import Program for the Netherlands (SHIP.NL)</b> gestart. In dit kennisprogramma wordt kennis uitgewisseld rond importketens, wordt de ontwikkeling van voor import relevante technologieën en regelgeving in kaart gebracht en zal er aandacht zijn voor maatschappelijke en geopolitieke vraagstukken. Voor O&amp;O- en demoprojecten op het gebied van import die hieruit voortkomen staan verschillende regelingen ter beschikking.</p>

Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2025: stimulerings- en leerfase	7-9	Sustainable Hydrogen Import Programme SHIP.NL, MOOI-regeling, TSE Industrie Studies, DEI+, Clean Hydrogen JU	Aantal first-of-a-kind projecten, verschillende energiedragers
2025-2035: groeifase			Gerealiseerde importcapaciteit (ontvangstterminals, doorvoer), verschillende energiedragers
			Hoeveelheden groene waterstof ingevoerd, doorgevoerd, uitgevoerd, verschillende energiedragers
			Prijs van waterstof: €/kg



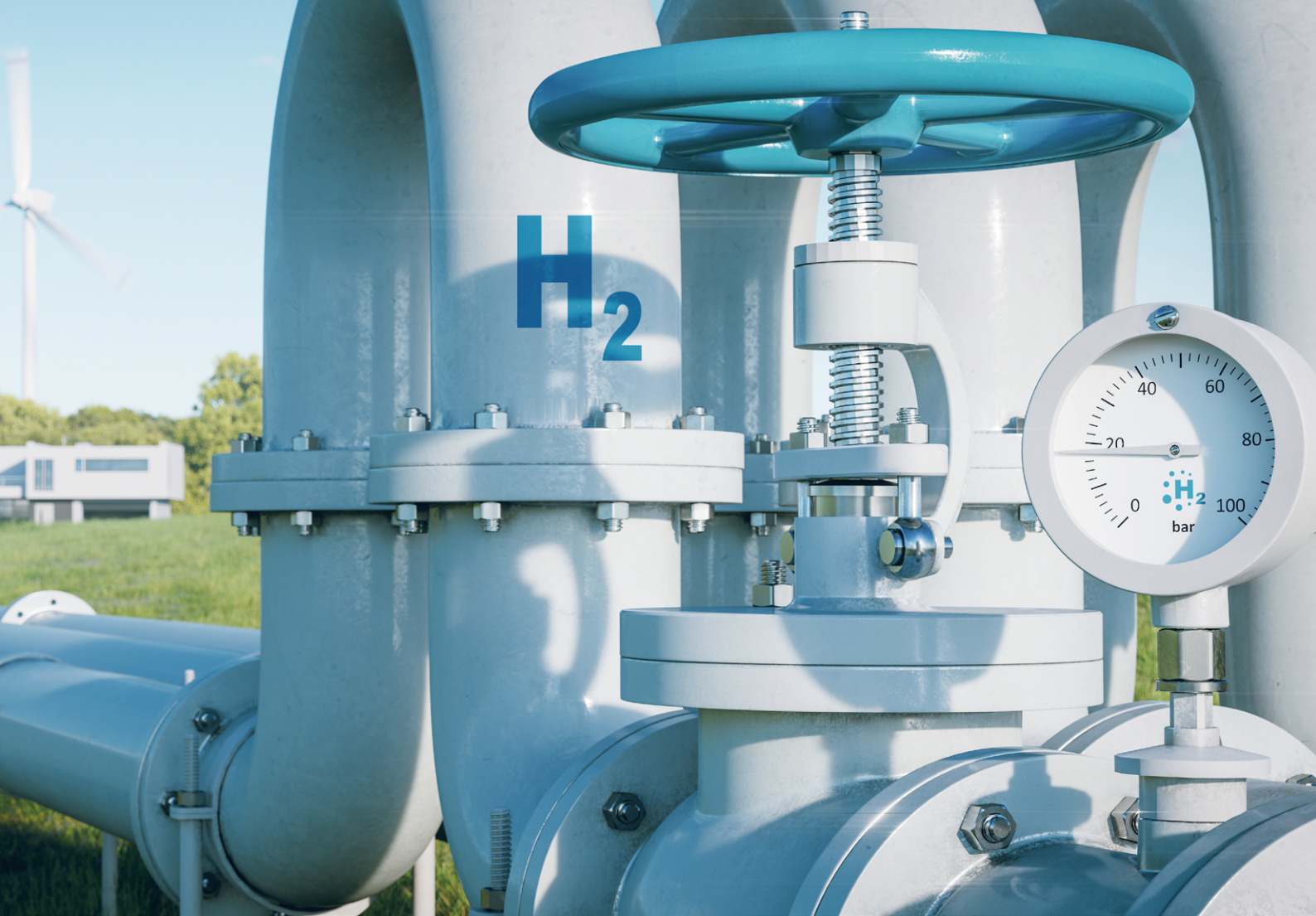
### Prioriteit 3: Toepassing van waterstof in zwaar transport, zoals wegtransport, bouw en grondverzet, binnenvaart en kustvaart, en de luchtvaart

De derde prioriteit is de toepassing van waterstof in zwaar transport (weg, bouw en grondverzet, binnenvaart en kustvaart, luchtvaart). Dit zijn sectoren waar Nederlandse bedrijven een sterke positie hebben, waar veel CO<sub>2</sub>-reductie is te behalen, en er bovendien andere drijfveren zijn om te innoveren zoals luchtkwaliteit en stikstofbeleid. Batterij-elektrische mobiliteit is voor veel toepassingen een geschikte en verkrijgbare oplossing. Bij mobiliteitstoepassingen waar zware ladingen en/of over grotere afstanden moeten worden vervoerd, en/of als elektrisch laden moeilijk planbaar is of te lang duurt, kan de inzet van waterstof een beter alternatief zijn om vergaande CO<sub>2</sub>-emissiereductie te bereiken. De innovatieopgave is om via demonstraties van overtuigende use-cases, schaalvoordelen voor waterstoflevering en tankvoorzieningen en daarmee verbetering van de TCO te behalen.



**Tabel 7: Innovatieactiviteiten prioriteit 3: Toepassing van waterstof in zwaar transport, zoals wegtransport, bouw en grondverzet, binnenvaart en kustvaart, en de luchtvaart**

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
Mobiliteit over weg, water en spoor	<p>In het Klimaatakkoord zijn ambities gedefinieerd die via Green Deals, convenanten, pilots en stimuleringsprogramma's bereikt moeten worden. In een afgesloten publiek-privaat convenant wordt aan randvoorwaarden voor marktontwikkeling van waterstof in wegvervoer gewerkt. Vraagbundeling en prijsverlaging groene waterstof moeten eerste business cases haalbaar maken en R&amp;D, prijsreductie van systemen en voer/vaartuigen aanzwengelen. Ingezette sporen zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grootschalige <b>demonstraties en vervolgens opschaling in zwaar wegvervoer</b> voor verschillende ritprofielen (pendel, binnenlandse distributie, corridors, internationaal, vuilniswagens, touringcars, rolstoelbusjes in doelgroepenvervoer), met vulpunten onderdeel van de projecten. Ondersteuning is beschikbaar via Clean Hydrogen JU.</li><li>• Ontwikkeling en inzet van <b>mobiele werktuigen</b> op waterstof stimuleren als onderdeel van bredere Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen en bijbehorende subsidieregeling.</li><li>• Ontwikkelen van aandrijfsystemen op waterstof voor <b>binnenvaart en zeevaart</b> en vergroten van het aantal initiatieven door inzet op aanvragen en uitvoering van EU-subsidieprojecten zoals RH2INE.</li><li>• Waterstof is niet alleen grondstof voor luchtvaartbrandstoffen als synthetische kerosine en Sustainable Aviation Fuel (zie 1d), maar kan ook in pure vorm worden toegepast in <b>luchtvaart</b>. Een Nederlands consortium richt zich op ontwikkeling van ombouwssystemen voor bestaande vliegtuigen (HAPP-project).</li><li>• Naast gebruik van waterstof in brandstofcellen worden ook kansen verkend voor waterstof in <b>verbrandingsmotoren</b> als tussenstap. Verhogen van energierendement is hier de uitdaging.</li></ul>



Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2025 kleinere pilots	7-8	DKTI, RDM, AanZET, SSEB, Clean Hydrogen JU, IPCEI	Aantal voertuigen op de weg / voertuigen op het water, gedifferentieerd naar soort
2025-2030 grootschalige pilots en implementatie			Aantal tankstations operationeel / in voorbereiding
			Hoeveelheid waterstof afgezet per modaliteit/ doelgroep (puur en/of in afgeleide producten)
			Behaalde emissie-reductie: well-to-wheel CO <sub>2</sub> , tank-to-wheel NO <sub>x</sub> , PM, SO <sub>x</sub>
			Kosten per km of draaiuur, TCO

**Prioriteit 4: Decentrale productie en gebruik van waterstof in regio's waar netcongestie de uitrol van duurzame energieprojecten belemmert of waar lokale waterstofvraag efficiënt bediend kan worden**

De vierde prioriteit is regionale, decentrale productie en gebruik van waterstof. Naast grootschalige, centrale productie van waterstof kan **regionale, decentrale waterstofproductie** via elektrolyse helpen om enerzijds lokaal waterstof beschikbaar te krijgen voor bijvoorbeeld mobiliteit, regionale industrie (het verspreide 'zesde cluster') en de land- en tuinbouwsector, anderzijds kan daarmee netcongestie worden opgelost in gebieden waar de capaciteit voor inpassing van duurzame elektriciteit uit zonneparken en windmolens beperkt is. Ook hier is het

realiseren van **complete ketens** (productie en infrastructuur en vraag) relevant. De slaagkans van dergelijke keteninnovaties is juist groter door regionale clustering in wat de EU 'Hydrogen Valleys' noemt, of in 'smart energy hubs' die verschillende energiedragers combineren. Een voorbeeld is het benutten van zowel waterstof als de restwarmte van elektrolyzers voor verwarming van kassen. De gedachte is dat bij concentratie van allerlei waterstofprojecten in een beperkt gebied kruisverbanden gaan ontstaan, ecosystemen makkelijker groeien vanwege korte lijnen en kennis beter geborgd en gedissemineerd wordt, dan als iedere stad een demo met tankstation en enkele auto's of woningen start. Dit vergroot de kansen op rendabele business cases.

**Tabel 8: Innovatieactiviteiten prioriteit 4: Decentrale productie en gebruik van waterstof in regio's waar netcongestie de uitrol van duurzame energieprojecten belemmert of waar lokale waterstofvraag efficiënt bediend kan worden**

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
Regionale decentrale productie en gebruik van waterstof	<p>De problemen met <b>congestie op het elektriciteitsnet</b> geven een impuls aan conversie van regionale wind- en zonenergie naar waterstof, die eveneens regionaal wordt benut voor mobiliteit, industrie en in de land- en tuinbouwsector. In verschillende regelingen zijn projecten ontwikkeld voor <b>decentrale productie en gebruik</b> van waterstof. Hierdoor zijn voorbeeldaanpakken beschikbaar voor dergelijke projecten, maar elke lokale situatie is anders zodat veelal maatwerkoplossingen nodig zijn. Het is nodig om door herhaling en opschaling ervaring op te doen welke aanpak in welk situatie het best werkt, op welke schaal, met welke eindgebruikers en welke configuratie van techniek.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deze decentrale projecten bieden vele partijen een mogelijkheid voor <b>laagdrempelige kennismaking</b> met waterstof, en lopen vooruit op de komst van een landelijke waterstofnet, dat te zijner tijd de decentrale projecten kan verbinden. Op afvalwaterzuiveringsinstallaties kan groene waterstof worden geproduceerd, waarbij zuurstof als bijproduct kan worden ingezet voor de zuivering. Brandstofcellen op waterstof kunnen fungeren als noodstroomaggregaat in bijvoorbeeld datacenters of als walstroomaggregaat in havens.</li> <li>• Dit is ook de gedachte achter de Europese '<b>hydrogen valleys</b>'. Dit zijn afgebakende geografisch gebieden, steden, regio's, haven- of industriegebieden waar verschillende waterstoftoepassingen worden gecombineerd en geïntegreerd in een ecosysteem. Het idee is om te laten zien hoe alle verschillende onderdelen van het gebruik van waterstof als energiedrager in een integrale systeembenadering passen. De regio Groningen kreeg als eerste financiële ondersteuning als Hydrogen Valley. Het concept is nu een prioriteit van het Clean Hydrogen JU voor het opschalen van waterstoftoepassingen door het creëren van onderling verbonden waterstofecosystemen in heel Europa.</li> <li>• In verschillende regio's wordt ook gewerkt aan realisatie van '<b>smart energy hubs</b>', slimme decentrale energie-infrastructuur die producenten van zon- en windenergie, waterstof en warmte samenbrengt, waardoor een betrouwbaar aanbod ontstaat op bedrijventerreinen, industrie- en glastuinbouwgebieden en tankstations.</li> </ul>





Periode	TRL	Instrument	KPI's
2022-2026	6-8	Clean Hydrogen JU, MOOI Elektriciteit, DKTI, regionale fondsen, DEI+	Hoeveelheid decentrale projecten in regio's
			Aantal betrokken bedrijven
			Hoeveelheid waterstof geproduceerd
			Waterstofprijs voor eindgebruiker: €/kg
		Mogelijke PPS Waterstof voor glastuinbouw	Hoeveelheid opgeloste knelpunten in elektriciteitsnet

### Prioriteit 5: Ontwikkeling van technologieclusters voor waterstofcomponenten en ketens, gekoppeld met de maakindustrie

De vijfde prioriteit is het (verder) ontwikkelen van diverse componenten en ondersteunende technieken voor de waardeketens, waarbij het innemen van een positie door de maakindustrie een drijfveer is. De voorgaande prioriteiten hebben vooral betrekking op het creëren van en aansluiten op hele waardeketens. Er spelen echter nog veel technische vragen in deze ketens die betrekking hebben op allerlei **componenten** die gebruikt worden en op **verbindende aspecten**, zoals veiligheid, meten van gaskwaliteit, sensortechnologie, materiaalonderzoek etc. Ook de ontwikkeling van aandrijfsystemen op basis van brandstofcellen en verbrandingsmotoren is hier onderdeel

van. Belangrijk is hierbij ook het valoriseren van de innovaties door de **Nederlandse maakindustrie**. Niet alleen voor waterstof maar ook voor de technologieën is een grote mate van zelfvoorzienendheid (zij het eerder op Europese dan Nederlandse schaal) noodzakelijk.

De recente Kamerbrief *Innovatie en impact* bevestigt dat bedrijven in de maakindustrie een cruciale rol vervullen bij kennisvalorisatie voor de Nederlandse economie en voor het versnellen van maatschappelijke transitie zoals de energietransitie. Dit vraagt volgens de kamerbrief om ruimte en ondersteuning voor innovatief ondernemerschap bij onderzoekers en ondernemers in mkb, de startups en de scale-ups.

**Tabel 9: Innovatieactiviteiten prioriteit 5: Ontwikkeling van technologieclusters voor waterstofcomponenten en ketens, gekoppeld met de maakindustrie**

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
Technologiecluster en maakindustrie	<p>Volgens onderzoek door FME kunnen Nederlandse maakbedrijven in vrijwel de <b>gehele waterstofwaardeketen</b> onderdelen en systemen produceren en onderhouden. Om sterk te staan op de exportmarkt is belangrijk om in Nederland toepassingen te testen en verbeteren.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Door in Nederland te produceren wordt ook een indirecte markt en werkgelegenheid gestimuleerd voor testen, keuren van apparaten, ondersteunende diensten etc. In de maakindustrie bestaat sterke <b>regionale dynamiek</b> (of kan ontstaan), zodat de coördinerende rol van bijv. de regionale ontwikkelingsmaatschappijen van belang is.</li><li>• De komende jaren zal, samen met maar ook in concurrentie met het buitenland, een <b>ecosysteem</b> vorm moeten krijgen van wetenschap, onderwijs, pilots, regelgeving en toepassingen, dat ertoe leidt dat menselijk kapitaal, grondstoffen, IP-bescherming en exportmogelijkheden in voldoende mate aanwezig zijn. Een betrouwbare toeleveringsketen opzetten is van groot belang om verstoringen van leveringen te voorkomen.</li><li>• Producenten van (high-tech) systemen en apparaten en toeleveranciers van (sub) systemen/componenten/materialen kunnen verschillende Europese, nationale en regionale <b>regelingen benutten</b> om een rol te spelen in de ontwikkeling van de toeleveringsketen van waterstoftechnologie in binnen- en buitenland. Veel gebeurt in de Clean Hydrogen JU, en het is belangrijk om de Nederlandse deelname te bevorderen.</li><li>• Er is met name veel aandacht voor de opbouw van een industrie voor <b>elektrolyzers</b>, zie hiervoor prioriteit 1a. Het is de bedoeling dat de opschalingsregeling van GVNL bijdraagt aan de rol die de Nederlandse maakindustrie kan spelen in de toekomstige markt voor waterstof.</li></ul>



Periode	TRL	Instrument	KPI's
doorlopend	5-7	TSE Industrie Onderzoek & Ontwikkeling, PPS-toeslag, IPCEI Waterstof: Technologie, MIT-regeling, regionale fondsen, Clean Hydrogen JU, IPCEI, GroenvermogenNL	<p>Aantal bedrijven met producten of diensten in de waterstof-waardeketen</p> <p>Omzet van bedrijven voor deze producten of diensten</p> <p>Exportwaarde van waterstofgerelateerde producten of diensten</p> <p>Werkgelegenheid door waterstofgerelateerde producten of diensten</p>

### Human Capital Agenda, maatschappelijke impact en digitalisering

Naast de inhoudelijke onderwerpen zijn er verschillende overkoepelende thema's, zoals Human Capital Agenda, maatschappelijke impact en digitalisering die een plek in de innovatieagenda moeten krijgen. Deze overkoepelende thema's worden ook in het Nationaal Waterstof Programma geadresseerd, zoals beleid, wet- en regelgeving, marktordening, veiligheid, maatschappelijke inbedding, waterstofmarkt en certificering. De ontwikkeling van een HCA-agenda is ook onderdeel van GroenvermogenNL.

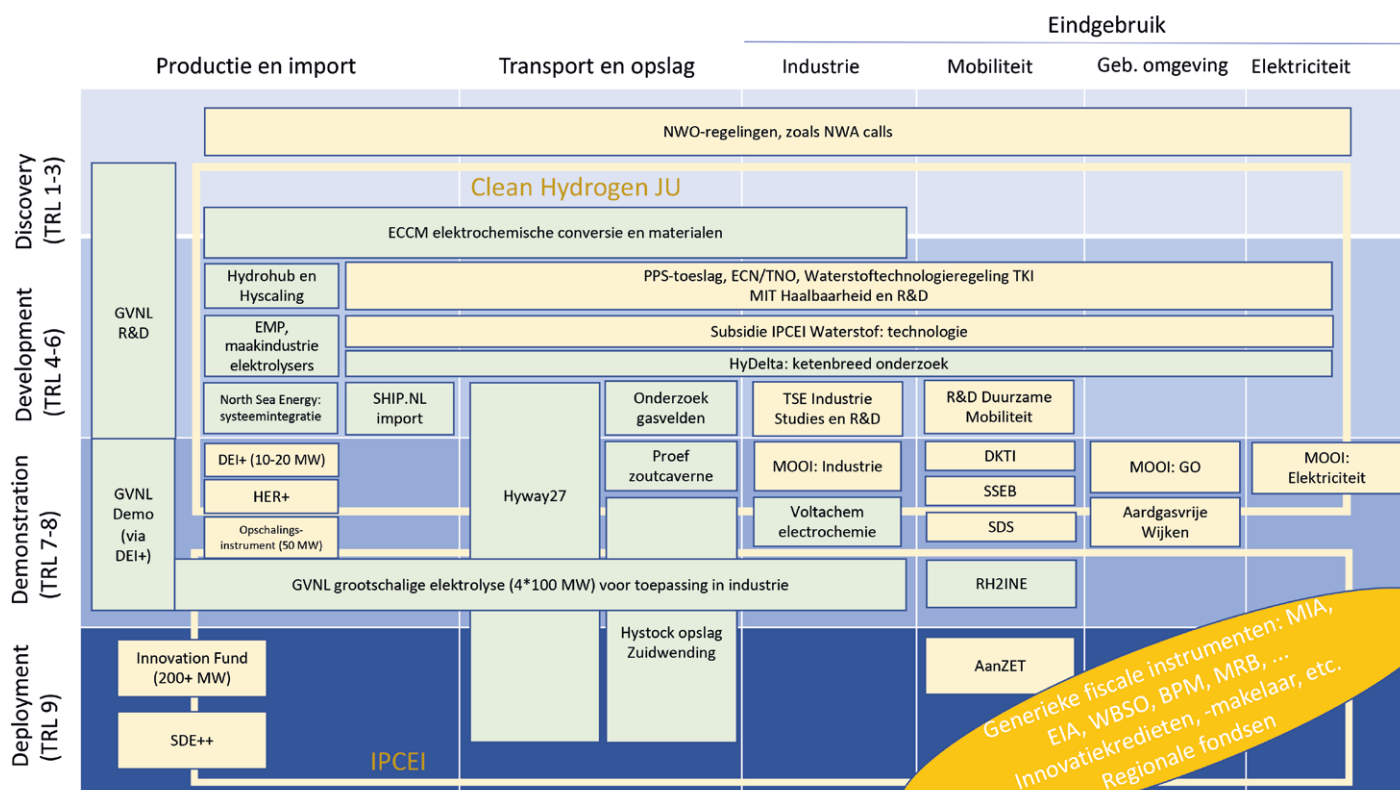
Figuur 3 geeft een overzicht van de genoemde innovatieactiviteiten in de waterstofketen op verschillende TRL-niveaus. Zowel subsidieregelingen waar de markt gebruik van kan maken, als huidige grotere programma's en projecten op het gebied van waterstof zijn weergegeven. Regelingen gericht op regionale economische ontwikkeling zoals EFRO (Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling) en Interreg (grensoverschrijdende regionale samenwerking)

zijn hier niet opgenomen om het figuur overzichtelijk te houden, maar zijn op (inter)regionaal niveau zeker belangrijk. Vanwege met name de financiering van GroenvermogenNL uit het Groeifonds en de budgetten die voor IPCEI zijn vrijgemaakt, is er in de basis vooralsnog ruim budget beschikbaar voor grotere R&D-projecten en grootschalige demonstratieprojecten. Ook via de MOOI-regeling zijn specifieke thema's te adresseren, zoals flexibilisering via MOOI SIGOHE en de relatie met de chemie via MOOI Industrie. Er bestaat behoefte aan een regeling zoals de TSE Industrie R&D die ruimte biedt aan kortere R&D-projecten die niet passen in de grote, langetermijn-regelingen zoals die van GroenvermogenNL en MOOI. Voorbeelden zijn projecten die sensoren ontwikkelen voor monitoring en kwaliteitsbewaking, projecten gericht op onderdelen van de BOP (Balance of Plant) van elektrolyzers of aanpassingen van branders. Met een inhoudelijke uitbreiding van deze TSE Industrie R&D kunnen dergelijke projecten ook ondersteuning krijgen omdat ze relevant zijn voor de grootschalige ontwikkelingen.

**Tabel 10: Innovatieactiviteiten doorsnijdende thema's Human Capital Agenda, MVI/acceptatie en Digitalisering.**

Onderwerp	Innovatieactiviteiten 2022-2026
Human Capital Agenda	Versterkte <b>samenwerking tussen bedrijfsleven en onderwijsinstellingen</b> gericht op: <ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeidsmarkt voor waterstof in kaart brengen: analyse van behoeften aan human capital bij bedrijven, gekwantificeerd in de tijd, welke soorten banen en welke vereiste kennis en vaardigheden, promotie van waterstof als werkveld bij studenten.</li> <li>Inrichten van regionale learning communities rond waterstof(technologieën) van onderwijs (MBO, HBO) en bedrijfsleven en ontwikkelen van onderwijsprogramma's gericht op waterstof(technologieën) voor MBO, HBO en WO. Benchmark met onderwijsprogramma's in andere landen. Uitwisseling met andere landen.</li> </ul>
MVI/acceptatie	Ontwikkeling van een binnen de sector breed gedeeld verhaal (" <b>narratief</b> ") over waterstof, dat ook vertaald moet worden voor het grotere publiek en dat projecten hun omgevingsmanagement conform de toekomstige Omgevingswet moeten vormgeven. Kennisoverdracht naar openbaar bestuur, vergunningsverlening, media, etc.
Digitalisering	Vanwege de vergaande <b>digitalisering en automatisering</b> van onze samenleving is het noodzakelijk om vanaf het begin rekening te houden met de gevolgen hiervan voor het waterstofsysteem, waaronder het omgaan met data en creëren van toegevoegde waarde daarmee, de impact op de HCA, cyber security etc. Dit thema dient nader te worden uitgewerkt.

**Figuur 3: Innovatieactiviteiten in de waterstofketen op verschillende TRL-niveaus. Geel: beschikbare subsidieregelingen, zowel specifiek voor waterstofinnovaties als breder voor energie-innovaties. Groen: huidige grotere programma's en projecten. Zie toelichting in bijlage 5.**



	Periode	TRL	Instrument	KPI's
	2022-2024 ontwikkeling	n.v.t.	GroenvermogenNL	Aantal learning communities
	Daarna doorlopend bijstellen		HCA strategie van Topsectoren	Aantal aangeboden cursussen en trainingen
				Aantal getrainde personen
	2022-2023		NWP, Topsectoren (diverse programma's), NWO	Kwalitatieve evaluatie van mate waarin verhaallijn wordt begrepen en geaccepteerd
	Doorlopend		NWO, Topsectoren (diverse programma's)	



**De volgende onderwerpen hebben vanuit innovatieoogpunt in de komende periode (2022-2024) een lagere prioriteit. Dat betekent niet dat ze onbelangrijk zijn, we hebben gemotiveerd waarom we tot deze keuzes gekomen zijn:**

- Productie van koolstofarme waterstof met aardgas (ook wel blauwe waterstof genoemd) en met industriële restgassen, waarbij de resterende CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen of hergebruikt. Er zijn grootschalige projecten in voorbereiding voor decarbonisatie van industriële restgassen via de waterstofroute zoals H-vision in Rotterdam en bij Dow Chemical in Zeeland. De potentiële emissiereductie hiervan is groot, maar de innovatiebehoefte ligt met name bij het geschikt maken van industriële branders voor gebruik van waterstof, zie 1d (tabel 5). Ook moet de benodigde CO<sub>2</sub>-transport en opslaginfrastructuur tot stand komen; over realisatie van project Porthos in Rotterdam is nog altijd geen besluit genomen. Decarbonisatie van restgassen en afvang van CO<sub>2</sub> bij bestaande productie van waterstof met aardgas hebben zeker nog meerwaarde uit oogpunt van emissiereductie. Opbouw van nieuwe capaciteit voor productie van koolstofarme waterstof met aardgas (decarbonisatie van aardgas vóór gebruik van het aardgas) ligt nu minder voor de hand, zowel vanwege de internationale prijsontwikkeling en geopolitieke lading van aardgas als vanwege de Europese regelgeving en waardering van blauwe waterstof. Er is wel een gebruiksverplichting voor groene waterstof in de industrie en transport voorgesteld, maar niet voor blauwe waterstof.
- Waterstofproductie uit niet-recyclebaar afval. Er is commercieel beschikbare technologie om dergelijk afval om te zetten naar waterstof en CO<sub>2</sub> en dit op te werken naar grond- of brandstoffen als methanol, ammoniak of andere synthetische brandstoffen. Verschillende projecten richten zich op het grootschalig toepassen van deze technologie, zoals FUREC op Chemelot dat vanaf 2027 huishoudelijk afval omzet naar waterstof. Omdat het gaat om beschikbare technologie krijgt dit geen prioriteit in deze innovatieagenda.
- Inzet van waterstof in backup-gascentrales. Er vindt innovatie plaats aan het geschikt voor waterstof maken van branders voor gasturbines. De volgende stap zou zijn om demonstraties uit te voeren, waarvoor grote hoeveelheden waterstof nodig zijn. Het betreft hier een beperkt aantal bedrijven in Nederland en het businessmodel voor deze optie is er nog niet omdat de onbalans in de opwek van wind- en zonne-energie nog niet groot genoeg is. Daarom wordt voorgesteld om de inzet op dit onderwerp nog niet als prioriteit te bestempelen.
- Inzet van waterstof in personenauto's met bijbehorende vulpunten. Het aantal vulpunten neemt gestaag toe en er zijn diverse bedrijven op de markt die technologie voor voertuigen en vulpunten aanbieden. Alhoewel hier nog zeker verbeteringen mogelijk zijn, lijkt dat nu niet het meest prioritaire thema voor innovatie in Nederland; de internationale auto-industrie en energiebedrijven blijven zich hier wel op richten. Incrementele verbeteringen kunnen in het technologieprogramma (prioriteit 5) een plek vinden.
- Inzet van waterstof in de gebouwde omgeving. Via het Programma Aardgasvrije Wijken en de Green Deal Waterstofwijken worden projecten in o.a. Stad aan 't Haringvliet en Hoogeveen ondersteund. Zij richten zich ook nadrukkelijk op het wegwerken van de huidige knelpunten. Er zijn ook diverse ontwikkelprojecten voor apparatuur gestart. Hoewel uit deze projecten waarschijnlijk diverse nieuwe onderzoeksvragen voort komen, is het onderwerp als geheel voorlopig voldoende afgedekt. Bredere toepassing wordt ook niet voorzien vóór 2030, zolang er geen distributienetten met voldoende waterstof beschikbaar zijn of er decentraal niet voldoende waterstof wordt geproduceerd.



## 5 SAMENHANG

De innovatieagenda waterstof streeft ernaar om als verbinder tussen de voor waterstof relevante Missies en MMIP's van de IKIA op te treden om gezamenlijk, integraal, doelgericht en efficiënt te kunnen innoveren.

De relatie tussen de geprioriteerde innovatiethema's en de verschillende Missies, MMIP's en grote onderzoeks- en innovatieprogramma's is weergegeven in tabel 11. In de afgelopen twee jaar zijn veel activiteiten op dit terrein ontplooid en hebben diverse activiteiten het licht gezien. De tabel geeft aan welke geprioriteerde thema's de innovatieagenda waterstof adresseert om de behoeften vanuit de verschillende MMIP's goed in te vullen.

Naast de verbindingen binnen de IKIA zijn er ook verschillende raakvlakken met andere topsectoren, zoals de Topsectoren Chemie, Water en HTSM. Deze verbindingen worden in tabel 12 kort benoemd, in de uitwerkingen van de verschillende MMIP's zijn uitgebreide beschrijvingen te vinden.

Een ander zeer relevant programma is het in de inleiding genoemde GroenvermogenNL. Met dit programma, evenals met ECCM dat hier nauw aan verbonden is, zal doorlopend inhoudelijk afstemming worden gezocht. Tot slot wordt deze innovatieagenda actief ingebracht in en afgestemd met het NWP, zowel binnen het thema innovatie waar het TKI aanspreekpunt voor is, alsmede bij de andere werkgroepen die zich op specifieke onderdelen van de keten richten.

**Tabel 11: Samenhang tussen geprioriteerde innovatiethema's voor waterstof met Missies, MMIP's en onderzoeks- en innovatieprogramma's.**

Geprioriteerde innovatiethema	Samenwerking (naast NWP)
<b>1</b> Duurzame waterstofketens voor de industrie	Missie C/MMIP 8, Missie A/MMIP 1, MMIP13, GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU, ECCM
a Grootschalige waterelektrolyse	Missie C/MMIP 8, Missie A/MMIP 1, GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU, ECCM
b Infrastructuur	HyDelta, GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU
c Opslag	HyDelta, GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU
d Toepassing in de industrie	Missie C/MMIP 8, GroenvermogenNL, Joint Undertakings
<b>2</b> Import van waterstof	SHIP.NL (NWP), GroenvermogenNL, Clean Hydrogen JU
<b>3</b> Toepassing in de zware mobiliteit	Missie D/MMIP 9, Clean Hydrogen JU
<b>4</b> Technologiecluster & maakindustrie	GroenvermogenNL, Elektrolysermakersplatform, Clean Hydrogen JU
<b>5</b> Regionale productie	Missie D, Missie E, MMIP 13, Clean Hydrogen JU

Missies: A. Elektriciteitsopwekking; B. Gebouwde omgeving; C. Industrie; D. Mobiliteit; E. Landbouw

Relevante MMIP's: 1. Duurzame elektriciteitsopwekking op zee; 7. CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem; 8. Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen; 9. Aandrijving en energiedragers in mobiliteit; 13. Robuust en geïntegreerd energiesysteem.

**Tabel 12: Indicatief overzicht van raakvlakken van de innovatieagenda met andere topsectoren.**

Thema waterstof:	Samenwerking met:	Onderwerpen:
In de chemische industrie (MMIP 6-8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Chemie</li> <li>• TS Agro &amp; Food</li> <li>• TS HTSM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rol waterstof in circulariteit</li> <li>• Rol waterstof in circulariteit, biologische productie</li> <li>• Materialenonderzoek in relatie tot waterstof</li> </ul>
In de gebouwde omgeving (MMIP 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Creatieve Industrie</li> </ul>	Maatschappelijke inbedding, consumentengedrag etc.
In mobiliteit en transport (MMIP 9-10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Logistiek</li> <li>• TS Water</li> <li>• TS HTSM</li> </ul>	Toepassing in transport en vervoer, plaatsing vulpunten, materialenonderzoek
In de landbouw (MMIP 11-12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Agro &amp; Food</li> </ul>	Productie van waterstof en toepassing in de landbouw
In de maakindustrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS HTSM</li> </ul>	Nieuwe materialen t.b.v. productie (elektrolyse) en toepassing (brandstofcellen)
In de glastuinbouw	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Tuinbouw en Uitgangsmaterialen</li> </ul>	Inzet waterstof in kassen voor elektriciteit en warmte en voor levering van flexibiliteit
In de watersector	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TS Water</li> <li>• TKI Watertechnologie</li> </ul>	Water voor waterstofproductie (waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit, concentraatmanagement)





Het innovatiesysteem voor waterstof heeft zich in de afgelopen jaren sterk ontwikkeld. Vanwege de verschillende toepassingsgebieden voor waterstof is die ontwikkeling veel breder dan in het verleden. Er zijn meerdere platforms en consortia actief die zich organiseren en plannen en projecten ontwikkelen om waterstof in de industrie, mobiliteit en transport, en gebouwde omgeving te introduceren, zij het met een verschillende mate van concreetheid (rijp en groen door elkaar). Voorbeelden zijn H2Platform, NWBA, ECCM, GroenvermogenNL, HydDelta, Electrolyser Makers Platform, Voltachem, ISPT en andere (zie toelichting in bijlage 5). Een breed scala aan actoren sluit zich aan bij de ecosystemen rond waterstof. Grote bedrijven, het MKB, netbeheerders, kennisinstellingen, regionale organisaties, gemeenten en provincies, ministeries en maatschappelijke organisaties tonen belangstelling voor waterstofontwikkelingen en zijn bereid om actief en ook financieel te participeren. Volgens een inventarisatie uit 2019 in opdracht van RVO/EZK en FME van de maakindustrie in Nederland op het gebied van waterstof en de mogelijkheden om deze te versterken, ontplooiën meer dan 250 bedrijven en organisaties waterstofactiviteiten en willen op dit terrein innoveren. In de innovatietenders werken veel verschillende partijen samen aan innovaties; in de jaren 2012 – 2021 namen 276 verschillende organisaties deel in een of meer subsidieprojecten van Topsector Energie of de DKTI-regeling. Het betreft veelal samenwerkingsprojecten tussen bedrijven (MKB én grote bedrijven) en kennisinstellingen. Vaak ontstaan er duurzame relaties waardoor (delen van) consortia gezamenlijk vervolgprijzen uitvoeren. Het recente [projectenoverzicht](#) van TKI Nieuw Gas beschrijft 165 waterstofprojecten in Nederland. Via de Cross-Sectorale Werkgroep Waterstof werd het brede scala aan stakeholders betrokken bij het opstellen van het werkplan voor het Nationaal Waterstof Programma. Ook zijn er veel regionale plannen gemaakt, zoals in Noord-Nederland, Zuid-Holland, Limburg, Gelderland, de Noordzeekanaalzone en de Zeeuwse Delta (SDR), die beschrijven welke rol waterstof in deze regio's kan spelen. En op Europees niveau zijn veel stakeholders, waaronder Nederlandse, verenigd in Hydrogen Europe, waarvan meer dan 300 bedrijven en meer dan 30 nationale associaties lid zijn. Hydrogen Europe is ook de industriepartner van de Clean Hydrogen Partnership. Kortom, rond waterstofinnovaties wordt in veel netwerken, platforms en programma's – zowel nationaal, regionaal als Europees – samenwerking gezocht en gevonden. Dat zich in relatief korte tijd een brede groep aan belangstellenden heeft gevormd, die bereid zijn om actief mee te doen, is geen garantie voor succes, maar het betekent wel dat de startpositie voor deze potentieel brede ontwikkeling op z'n minst goed is; deze spelers zijn immers nodig om aan succesvolle waterstofketens te bouwen.

De ontwikkeling van waterstof loopt nationaal en internationaal voorspoedig. Het lijkt erop dat de eerste serieuze investeringen op schaal 'los' beginnen te komen waardoor er meer zekerheid is voor initiatiefnemers van projecten, leveranciers van de benodigde technologie en de vraagkant van groene waterstof. Deze investeringen zorgen er ook voor dat er in de toekomst serieuze kostprijsreducties behaald worden en dat de technologie via opschaling en innovatie efficiënter wordt. Beleidsmatig gezien neemt de ondersteuning voor waterstof ook toe, zoals blijkt uit de beschikbaarheid van diverse serieuze, grootschalige instrumenten (DEI+, IPCEI, Innovation Fund, Opschalingsregeling, GroenvermogenNL, etc). Aanbod van en vraag naar groene waterstof begint goed bij elkaar te komen waardoor het momentum groeit, en dit resulteert in serieuze projecten. GroenvermogenNL en de regeling IPCEI: Waterstofproductie door elektrolyse zijn vanwege de enorme budgetten (beide ruim € 800 miljoen publieke financiering, nog privaat aan te vullen) zeer bepalende programma's. Internationaal wordt Nederland gezien als een voorlopend land waar waterstof een goede voedingsbodem heeft, niet alleen via eigen productie maar ook voor de import van groene waterstof uit verschillende regio's in de wereld. Wat aandacht verdient is de rol die waterstof in het energie- en grondstoffsysteem vervult, hoe waterstof samenhangt met overige onderdelen van dat systeem en hoe deze elkaar beïnvloeden. Zo is de ontwikkeling van

meer productie van duurzame elektriciteit uit met name offshore-wind, maar ook via zon-pv, uitermate belangrijk voor de productie van groene waterstof. Import van groene waterstof begint op gang te komen volgens verscheidene recent aangekondigde plannen. Hoe deze ontwikkelingen optimaal geïntegreerd kunnen worden is nog onbekend. De daarmee samenhangende veiligheidsaspecten, zoals die van waterstof maar ook van afgeleide energiedragers als ammoniak, dienen daarbij zorgvuldig te worden opgepakt zodat incidenten voorkomen worden.

Aan de hand van concrete projecten ontstaat de mogelijkheid om gericht naar burgers over waterstof te communiceren. Dat is van belang omdat waterstof zich de maatschappij in beweegt, daar waar het vroeger een ontwikkeling was die zich achter de hekken van fabrieksterreinen afspeelde. Vanwege de grote behoefte aan automatisering en digitalisering worden ook zaken als cyber security zeer relevant. Hier zullen serieuze stappen gezet moeten worden. Ook HCA is van belang, gegeven de krapte op de arbeidsmarkt en de grote behoefte aan goed geschoold personeel. Via GroenvermogenNL is een groot HCA-programma (omvang ca. € 50 miljoen) in ontwikkeling om de behoefte voor waterstof in te vullen. Tot slot is de huidige krapte op de markt wat betreft producten (grondstoffen) en diensten een serieuze bedreiging die tot hoge prijzen en lange levertijden leidt. Nederland zal nu snel moeten handelen om vooraan te staan bij de grote leveranciers.

Voor de Topsector is communicatie een belangrijk onderwerp waarvoor de website, nieuwsbrieven, social media en netwerkbijeenkomsten volop worden ingezet. Er is veel respons bij de doelgroep op deze uitingen. Via bijeenkomsten in samenwerking met andere gremia (RVO, regionale organisaties, branches/platforms) wordt aan

informatieoverdracht, kennisdisseminatie en het faciliteren van leren gewerkt. Ook is voorzien dat er een nauwe samenwerking wordt opgezet met GroenvermogenNL omdat de activiteiten goed op elkaar aansluiten. Vanuit het waterstofprogramma zijn er relaties met alle relevante gremia waar regelmatig overleg en activiteiten mee plaatsvinden.



# Voortgang sinds innovatieagenda waterstof 2020

De innovatieagenda waterstof werd in de loop van 2019 opgesteld en begin 2020 uitgebracht. Drie jaar later is de stand van zaken met betrekking tot de bovengenoemde onderdelen als volgt. Voor deze beschrijving is gebruik gemaakt van de gapanalyse die in 2021 ten behoeve van het werkplan van het Nationaal Waterstof Programma is uitgevoerd. Dit betrof een inventarisatie van vraagstukken, belemmeringen en knelpunten voor waterstof.

## Voortgang sinds innovatieagenda waterstof 2020

1a. In 2021 is de **Kabinetsvisie op waterstof** uitgebracht, waarin is uiteengezet hoe het beleid voor de komende jaren tot stand zal komen. Dit is opgevolgd door kamerbrieven over **marktordening en marktontwikkeling van waterstof**. Ook heeft het Rijk het initiatief genomen om een **Nationaal Waterstof Programma (NWP)** tot stand te laten brengen vanuit een **Cross-Sectorale Werkgroep Waterstof** met een brede vertegenwoordiging van sector-, branche- en maatschappelijke organisaties. In november 2022 is de routekaart voor het NWP gepresenteerd. Nieuwe subsidieregelingen, zoals de opschalingsregeling en IPCEI zijn gelanceerd, evenals de middelen die via GroenvermogenNL beschikbaar komen.

1b. **Studies voor programmaontwikkeling** zijn onder meer uitgevoerd naar opschalingsinstrumentarium voor elektrolyse, ordening van de waterstofmarkt, ontwikkeling van waterstofinfrastructuur HyWay27, zie verder), de **Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050** en diverse rapporten die inzicht geven in de ontwikkeling, opschaling en kosten van waterstof en import.

2a en 2f. Er zit nog een groot gat tussen de huidige situatie met enkele MW elektrolysecapaciteit en beoogde **grootschalige waterstofproductie op GW-schaal**. De vele plannen voor grote elektrolysefabrieken tellen op tot bijna 10 GW tot 2030, maar investeringsbeslissingen zijn pas recent genomen vanwege diverse knelpunten.

Markten voor koolstofarme waterstof zijn nog niet of nauwelijks ontwikkeld en er bestaan nog geen volledige waardeketens van koolstofarme waterstof die noodzakelijk zijn om markten goed te laten functioneren. Vraagontwikkeling van koolstofarme waterstof in de industrie en schaalvergroting is gewenst om ketens te laten werken en kosten te reduceren. Er is een groot potentieel om grijze waterstof, waarvan in Nederland jaarlijks 180 PJ wordt gebruikt, te verduurzamen.

Voor de productie van grote hoeveelheden groene waterstof is er momenteel onvoldoende duurzame elektriciteit beschikbaar. Voor blauwe waterstof geldt dat de technologie nog niet in volledige ketens (inclusief carbon capture and storage - CCS) op schaal is gedemonstreerd, maar de eerste grootschalige CCS-projecten (Porthos) zijn in voorbereiding. Publiek-private en regionale samenwerking moet in de komende jaren worden versterkt om productie en aanlanding van duurzame elektriciteit, productie van waterstof en de vraag naar waterstof (inter)-regionaal optimaal op elkaar af te stemmen. Hiervoor zullen de ministeries, provincies, gemeenten en regionale spelers met elkaar samenwerken (verder) aangaan, o.a. in het NWP.

Het kostprijsverschil van koolstofarme waterstof met waterstof geproduceerd uit aardgas en het ontbreken van een waardering voor koolstofarme producten door downstream-klienten is momenteel een belangrijk knelpunt voor industriële grootverbruikers, terwijl het instrumentarium daarvoor (bijv. subsidies en verplichtingen) nog niet beschikbaar is of een onvoldoende hoge prijs kent (bijv. het emissiehandelssysteem EU-ETS) om voldoende stimulerend te zijn. In brede zin geldt dat beleidskader, wetgeving, stimuleringsinstrumenten en marktordening nog in ontwikkeling zijn, zowel op nationaal als op Europees niveau.

Voor ondersteuning van elektrolyseprojecten heeft het kabinet een opschalingsinstrument elektrolyse aangekondigd: een subsidieregeling met een budget van € 250 miljoen voor de eerste projecten. Daarnaast zijn er middelen beschikbaar via de energie-innovatieregelingen voor pilots en onderzoek, en is de SDE++ open voor elektrolyseprojecten. Het Groeifondsproject GroenvermogenNL geeft een extra impuls voor waterstofpilots, onderzoek en scholing, en GroenvermogenNL zal ondersteuning bieden aan 3-4 elektrolyseprojecten op een schaal van 100 MW (beide projectvoorstellen zijn deels voorwaardelijk toegekend).

- 2b. Een **open access en verbindende infrastructuur** tussen potentiële markten, grootschalige productie, import en opslag is nog niet beschikbaar en verbindingen naar de belangrijke vraagmarkten, zoals Duitsland en België, zijn nog niet gereed. Hier wordt in de komende jaren hard aan gewerkt na het besluit van het kabinet om Gasunie de opdracht te geven om een waterstoftransportnet aan te leggen. De blauwdruk hiervoor is ontwikkeld in het project HyWay27, en Nederland is het eerste land dat een landelijk waterstofnet aan zal leggen. Gasnetbeheerders werken ook in Europees verband aan een waterstof-pijpleidingennet. Dit zal grootschalige import naar en doorvoer binnen Europa mogelijk maken. Import van waterstof is sterk gestegen op de politieke agenda. In de innovatieagenda waterstof 2020 kreeg het nog weinig aandacht, maar het is een prominent onderdeel van het NWP. Vrijwel alle havens hebben ambities om een waterstofhub te worden. Daaraan gerelateerd wordt de wijze waarop waterstof grootschalig getransporteerd kan worden, zoals vloeibaar, als ammoniak of gebonden aan organische componenten (liquid organic hydrogen carriers) bestudeerd. De kennis over grootschalige waterstofopslag is vergroot door het project HyStock dat de geschiktheid van zoutcavernes voor waterstof demonstreert, met het oog op het inrichten van een eerste caveerne voor dat doel in 2026.
- 2c. De inzet van **stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof** is een van de mogelijkheden om bij een tekortschietend aanbod van wind- en zonnestroom in variabele elektriciteitsvraag te voorzien. Dit wordt naar verwachting pas na 2030 nodig omdat de onbalans dan steeds groter wordt en er voldoende waterstof beschikbaar is om gasturbines op te laten draaien. Om daarop voorbereid te zijn is het zinvol om de komende jaren de nu in ontwikkeling zijnde technologie van voor waterstofturbines te gaan toepassen in pilot- en demonstratieprojecten.
- 2d. De beoogde demonstratie van **waterstof in de gebouwde omgeving** is in gang, mede dankzij het Programma Aardgasvrije Wijken. Er is bij veel gemeenten, energiecoöperaties en woningbouwcoöperaties belangstelling voor waterstof voor verwarming van woningen en andere gebouwen, zodat er sprake is van al meer pilots dan het in de innovatieagenda voorgestelde aantal. Aan de andere kant zijn er ook zorgen dat de aandacht voor waterstof ten koste gaat van andere, sneller te realiseren verduurzamingsopties. Er geldt een breed scala aan uitdagingen die overwonnen moeten worden, waaronder prijs en beschikbaarheid van waterstof, en wet- en regelgeving, veiligheidsaspecten en de juiste afweging van waterstof binnen de beschikbare en haalbare alternatieven. Het is verstandig om de resultaten van de gestarte pilots af te wachten en in samenhang te evalueren alvorens nieuwe projecten te starten en op te schalen. De Green Deal Waterstofwijken ondersteunt de projecten.



## Voortgang sinds innovatieagenda waterstof 2020

- 2e. Toepassingen van **waterstof in transport en mobiliteit** komen langzaam tot ontwikkeling omdat ze worden gehinderd door de hoge prijsstelling van waterstof, de beschikbare technologie en wet- en regelgeving. De ontwikkeling van het aantal vulpunten en het aantal voertuigen is uit balans: er zijn te weinig voertuigen om de uitbreiding van het tankstationsnetwerk te ondersteunen. Eind 2021 is het Actieplan waterstof in mobiliteit gelanceerd dat hier verandering in moet brengen. De aandacht is in de afgelopen jaren verschoven van personenauto's op waterstof, die het eerst beschikbaar waren maar ingehaald zijn door batterij-elektrische auto's, naar zwaar vervoer op waterstof, zoals vrachtwagens, zwaar bouwmaterieel en binnenvaart. Met name voor vrachtwagens zijn grote demonstratieprojecten aangekondigd zoals HyTrucks, H2Accelerate en RH2INE. De markt vraag wordt aangewakkerd doordat er steeds meer beleid komt voor emissievrije zones en aanbestedingen met zero-emissie eisen.
- 2g. Decentrale waterstofproductie is een manier in gebieden met onvoldoende capaciteit van het elektriciteitsnet toch **hernieuwbare energie-opwek in te passen**. Overschotten aan elektriciteit of het hele opwekvolume worden dan lokaal benut voor waterelektrolyse, en de waterstof kan lokaal worden ingezet voor industrie, mobiliteit of verwarming van gebouwen. Netbeheerders werken hierbij samen met initiatiefnemers voor zonneparken of windmolens. Projecten zoals Hysolar en SinneWetterstof zijn gestart om hier ervaring mee op te doen.
- 2h. De aandacht voor **offshore waterstofproductie** is groeiend, zowel in Nederland als in andere Europese kustlanden. In het project POSHYDON wordt elektrolyse onder Noordzee-omstandigheden beproefd op een werkend booreiland. Op termijn zou offshore waterstofproductie grootschalig kunnen plaatsvinden op speciaal aangelegde energie-eilanden in de Noordzee (North Sea Wind Power Hub), met herbestemde aardgasleidingen voor het transport naar de wal. Hier wordt aan gerekend in het North Sea Energy-programma, en Denemarken en Duitsland onderzoeken dit ook. Afstemming tussen de Noordzeelanden is nodig om dit voor elkaar te krijgen.
3. **Randvoorwaarden voor de marktontwikkeling** van waterstof zijn in kaart gebracht voor het werkplan van het NWP. De benodigde standaarden en eisen met betrekking tot veiligheid zijn in ontwikkeling; in veel gevallen is er nog onvoldoende overzicht en inzicht in veiligheidsaspecten van waterstof in de publieke ruimte en in veiligheidsaspecten rond grootschalige waterelektrolyse. Daardoor is vergunningverlening momenteel lastig. Onder meer in het Waterstof Veiligheid Innovatieprogramma en HyDelta wordt gewerkt aan kennisontwikkeling en verspreiding over veiligheid. Een andere randvoorwaarde is maatschappelijke acceptatie. Het is nog onbekend wat de belangstelling en houding is van burgers wanneer zij in het dagelijkse leven met waterstof te maken krijgen. Er is behoefte aan een maatschappelijk narratief om hen te informeren over en mee te nemen in de ontwikkeling en toepassing van waterstof als onderdeel van het energiesysteem. De ontwikkeling hiervan en ook de andere voorwaarden worden geadresseerd in het NWP.
4. **R&D voor de middellange en lange termijn** vindt plaats via de ECCM-agenda, TSE/TKI-tenders, NWO, en de Clean Hydrogen Joint Undertaking. Hoewel waterstof nu al gedemonstreerd en in sommige gevallen geïmplementeerd wordt, zijn op veel terreinen innovaties noodzakelijk om bijvoorbeeld (productie)-technologie, kosten en robuustheid te verbeteren of om nieuwe processen en producten te ontwikkelen, zoals in de staalindustrie, voor specifieke chemische processen, de productie van synthetische brandstoffen en de benodigde aanpassingen van huidige elektriciteitscentrales voor CO<sub>2</sub>-vrije productie uit waterstof. Ook zijn innovaties op het niet-technologische terrein nodig om inzicht te krijgen in onder andere de ontwikkelingen op het systemische, maatschappelijke, economische en juridische vlak.

- 5a. **Certificering** van de herkomst en milieuprestatie van waterstof is een voorwaarde voor marktontwikkeling. Klanten moeten ervan op aan kunnen dat ze krijgen waarvoor ze betalen. De certificering van waterstof is nog in ontwikkeling, evenals de doorvertaling ervan in het beleid (zoals REDII en III). De certificeringsinstantie voor hernieuwbaar gas *Vertogas* is hierbij betrokken, evenals het initiatief *HyXchange* dat een waterstofhandelsbeurs ontwikkelt. In april 2022 nam de minister van EZK het eerste certificaat voor groene waterstof in ontvangst.
- 5b. **Internationale afstemming en samenwerking** over waterstof wordt steeds belangrijker. Waterstof ontwikkelt zich internationaal sterk maar tempo, schaal en prijsontwikkeling zijn nog niet precies bekend. Importketens voor waterstof zijn nog niet ontwikkeld; zowel de productie in herkomstlanden als transport- en ontvangstfaciliteiten ontbreken. Omdat het geopolitieke energielandschap in de komende jaren ingrijpend zal veranderen, is versterking van de relaties en samenwerking met potentieel kansrijke landen nodig.
- 5c. Het benodigd **menselijk kapitaal (Human Capital Agenda)** is nog onvoldoende beschikbaar. Dit geldt over de hele breedte van waterstofketens (en de bredere energietransitie) voor alle facetten; de behoefte aan goed opgeleide mensen is op alle terreinen groot en samenwerking met opleiders en omscholvers om deze uitdaging op te pakken is noodzakelijk. *De Human Capital Agenda GroenvermogenNL* is inmiddels gereed. Het krijgt ook aandacht in het NWP, evenals onderwerpen als regionale samenwerking, Digitalisering, en MVI.



# Pijlers en horizontale activiteiten in Strategic Research and Innovation Agenda

## Pijlers

### Pijler 1: Groene waterstofproductie

Er zijn verdere verbeteringen nodig, met name om kosten te verlagen en efficiëntie te verhogen, voor een verscheidenheid aan routes voor hernieuwbare waterstofproductie. De nadruk ligt op elektrolyse, en in mindere mate is er aandacht voor routes die gebruik maken van direct zonlicht, zoals thermische dissociatie van water met behulp van geconcentreerde zonne-energie of door middel van fotokatalyse, of van biomassa/biogas of andere biologische routes. Waterelektrolyse is de belangrijkste technologie die wordt ondersteund en omvat zowel typen met een hoge TRL - Alkaline Electrolysis (AEL), Proton Exchange Membrane Electrolysis (PEMEL), Solid Oxide Electrolysis (SOEL) - als minder volwassen typen - Anion Exchange Membrane Electrolysis (AEMEL) en Proton Conducting Ceramic Electrolysis (PCCEL).

Er wordt gezocht naar samenwerking met de Clean Steel en Processes4Planet (P4P) partnerschappen voor grootschalige demonstraties van waterelektrolyse in de staal-, cement-, ammonia- en petro-chemische industrie, en met specifieke financieringsprogramma's van de lidstaten, zoals de National Recovery and Resiliency Plans (NRRP) en Important Projects of Common European Interest (IPCEI).

### Pijler 2: Waterstofopslag en -distributie

Volgens de EU-waterstofstrategie is het essentieel dat waterstof een intrinsiek onderdeel wordt van een geïntegreerd energiesysteem. Waterstof moet ingezet worden voor dag- en/of seizoensopslag met bufferfuncties, waardoor de leveringszekerheid op middellange termijn wordt vergroot. De strategie roept op tot ontwikkeling van een EU-brede logistieke infrastructuur om waterstof te vervoeren van gebieden met groot hernieuwbaar opwekpotentieel naar gebruikscentra in heel Europa.

De CHJU wil diverse technologieën onderzoeken en ondersteunen die kunnen dienen als bouwstenen van een EU-brede logistieke infrastructuur. Dit betreft bovengrondse opslag in verschillende soorten tanks, ondergrondse opslag in zoutcavernes en gasvelden, en pijpleidingen voor waterstoftransport, zowel voor pure waterstof als voor waterstof gemengd met aardgas.

Om grootschalig waterstof naar Europa te importeren vanuit overzeese gebieden wordt R&D naar vloeibare waterstofdragers als cryogeen waterstof, liquid organic hydrogen carriers (LOHC) en ammonia ondersteund, evenals transportmiddelen voor weg- en scheepsvervoer van waterstof. Ook onderzoek naar techniekverbetering voor compressie, zuivering en bemeting van waterstof wordt geadresseerd, en de verbetering van waterstoftankstations (betrouwbaarheid, energieconsumptie, kosten, geschiktheid voor zwaar vervoer).

Voor zogeheten 'flagship actions' wordt gekeken naar synergie met de Connecting Europe Facility (CEF) voor investeringen in energie-infrastructuur, met name grensoverschrijdende verbindingen, en voor waterstoftankstations. Ook is er mogelijke samenwerking met het Processes4Planet (P4P) partnerschap, dat eveneens werkt aan ammonia, methanol en LOHC als waterstofdragers en aan zuivering van waterstof en extractie uit waterstof-aardgasmengstromen.



### Pijler 3: Eindgebruikstoepassingen

#### Pijler 3.1 Toepassing van waterstof voor mobiliteit en transport

De techniekontwikkeling tot nu toe is onvoldoende om te voldoen aan de ambitieuze emissiereducties in het transport. Een aantal technologieroutes moet verder worden verbeterd, vooral om kosten te verlagen en levensduur te verhogen, zodat ze concurrerend worden met bestaande technologieën. De CHJU legt de nadruk op:

- Verbetering van de belangrijkste technologische bouwstenen voor toepassing in uiteenlopende transporttoepassingen, waaronder brandstofcelstacks en waterstoftanks;
- Aanpassing van brandstofcelssystemen van stadsbussen en personenauto's voor gebruik in zwaar wegtransport en touringcars voor lange afstanden;
- Produceren van componenten voor spoorgoederentoeepassingen en rangeer locomotieven;
- Aanpassing van brandstofcelcomponenten voor scheepvaart en volgende generaties ontwikkelen op basis van lessen uit de eerste demonstraties;
- Ontwikkelen van voor de luchtvaart geschikte tanks en brandstofceltechnologieën.

De ontwikkelings- en demonstratieactiviteiten moeten de basis leggen voor een grootschaliger uitrolprogramma voor zwaar vervoer op waterstof rond 2025. De inzet hiervan zal gelijktijdig moeten worden ontwikkeld met het netwerk van tankstations dat een dergelijke vloot moet ondersteunen. Behalve van doorbraken op het gebied van onderzoek en innovatie, is het concurrentievermogen van waterstoftechnologieën ook sterk afhankelijk van productievolumes van voertuigen en onderdelen en van de prijs en beschikbaarheid van waterstof als brandstof. Daarom zijn acties gericht op het stimuleren van een brede uitrol van waterstofvoertuigen in heel Europa met behulp van innovatieve business modellen even belangrijk als onderzoeks- en innovatieacties om de totale eigendomskosten (TCO) van de voertuigen te verlagen.

Als flagship actions stelt de CHJU de grootschalige uitrol van zwaar wegvervoer en van treinen op niet-geëlektrificeerde lijnen voor, evenals de ontwikkeling van waterstofhubs in havens, waar gebruik van waterstof voor havenlogistiek, zwaar wegvervoer, scheepvaart en industrie samenkomt. Zie ook het concept van Hydrogen Valleys.

Er wordt samenwerking beoogd met de partnerschappen Towards Zero Emission Road Transport (2ZERO) voor wegvervoer, Zero Emission Waterborne Transport Partnership (ZEWTP) voor scheepvaart, Europe's Rail partnership voor spoorvoertuigen, de Clean Aviation partnership voor vliegen op waterstof, en P4P als het gaat om industrieel waterstofgebruik in havens. Verder is er synergie met financierings-instrumenten van de Connecting Europe Facility.

#### Pijler 3.2: Toepassing van waterstof voor schone warmte en stroom

Met waterstof kunnen de sectoren energieopwekking en verwarming betrouwbaar en onafhankelijk van weers- of seizoensomstandigheden koolstofarm worden. Het algemene doel van deze pijler is om Europese spelers in de toeleveringsketen te ondersteunen bij het ontwikkelen van een portfolio van oplossingen die schone, hernieuwbare en flexibele warmte- en stroomopwekking bieden voor alle behoeften van eindgebruikers en voor alle systeemgroottes; van huishoudens tot grootschalige elektriciteitscentrales.

Het programma ondersteunt specifiek de technologieën stationaire brandstofcellen met name in wkk-toepassingen (tot 10 MWe schaal) en gasturbines (vanaf 50 MWe), boilers en branders. De nadruk ligt op gebruik van 100% waterstof, maar er worden ook innovaties ondersteund voor oplossingen die tijdens de transitiefase werken op aardgas-waterstofmengstromen in het gasnet.

Als flagship actions kiest de CHJU voor de uitrol van waterstofbrandstofcellen voor lage/middelhoge warmte en kracht in de industrie en andere grootschalige toepassingen. Er kan worden samengewerkt met P4P voor wat industriële toepassingen betreft, en met het Built4People (B4P) European partnership en Horizon Europe's Cluster 5 Climate, Energy and Mobility, Destination 4 on Buildings and Industrial Facilities in Energy Transition.

### Horizontale activiteiten

#### 1. Doorsnijdende activiteiten

De commercialisering van waterstoftechnologieën brengt systemische ('horizontale') uitdagingen met zich mee die moeten worden aangepakt om in het komende decennium in de hele EU een waterstofecosysteem van aanzienlijke omvang op gang te brengen. Doorsnijdende activiteiten zijn geclusterd rond drie aandachtsgebieden: Duurzaamheid; Onderwijs en bewustmaking van het publiek; en Veiligheid, normgelateerd onderzoek en regelgeving, normen en standaarden.

#### 2. Hydrogen Valleys

Een Hydrogen Valley is een afgebakend geografisch gebied, stad, regio, haven- of industriegebied waar verschillende waterstoftoepassingen worden gecombineerd en geïntegreerd in een ecosysteem. Het idee is om te laten zien hoe alle verschillende onderdelen van het gebruik van waterstof als energiedrager in een integrale systeembenadering passen. Dit concept is in de FCH 2 JU geïntroduceerd en leidde tot ondersteuning van de regio Groningen als Hydrogen Valley. Het concept is nu één van de belangrijkste prioriteiten van de industrie en de Europese Commissie voor het opschalen van waterstoftoepassingen door het creëren van onderling verbonden waterstofecosystemen in heel Europa.

#### 3. Waterstoftoeleveringsketens

De Europese Commissie merkt waterstoftechnologieën en -systemen aan als een opkomende strategische waardeketen voor Europa. De CHJU plant een reeks acties voor het versterken van de toeleveringsketen van waterstoftechnologieën, van de verwerking van de grondstoffen tot gespecialiseerde materialen (bijv. elektrokatalysatoren), productie van componenten en integratie van subsystemen tot systemen. De bredere waardeketenbenadering omvat ook het scheppen van banen, toegevoegde waarde voor de economie en het concurrentievermogen van de industrie.

#### 4. Strategische onderzoeksuitdagingen

Om te zorgen voor een continue kennisopbouw uit onderzoek in een vroeg stadium, zullen de bovenstaande acties worden aangevuld met multidisciplinair onderzoek, waarbij expertise op verschillende technologieschaal (materialen, component, cel, stack en systeem) wordt verzameld. Alle kennis moet zodanig worden gecombineerd dat uitgebreide interpretaties mogelijk zijn. Voor deze voorgestelde aanpak, vanuit een langetermijnvisie en alle activiteiten van de CHJU bestrijkend, dienen de benodigde capaciteiten en expertise van Europese onderzoeks- en technologieorganisaties te worden samengebracht.

### Overige activiteiten

Synergie met andere Europese partnerschappen, fondsen en programma's

Regelgeving, codes en normen

Veiligheid

Duurzaamheid en circulariteit

Kennisbeheer

MKB

Internationale samenwerking

Communicatie

Voor elk innovatieonderwerp en op programmaniveau bevat de SRIA een uitgebreide lijst Key Performance Indicators (KPI's), evenals op programmaniveau. De KPI's hebben betrekking op technische prestaties en kosten (kapitaalkosten, gebruiks- en onderhoudskosten) in de tijd (state of the art 2020, en doelen 2024 en 2030). De KPI's op programmaniveau zijn samengevat in bijlage 5, en hier wordt ook een voorbeeld gegeven van de KPI's voor de innovatieonderwerpen. Het voorstel is om deze KPI's ook toe te passen voor de innovatieagenda waterstof en waar nodig of gewenst aan te vullen.



# Waterstofprojecten 2012-2022: resultaten en behoeften voor vervolg

Sinds de oprichting van de Topsector Energie (2011/2012) is een heel scala aan waterstof-(gerelateerde) projecten gehonoreerd. TKI Nieuw Gas heeft in 2020 een innovatieanalyse waterstofprojecten laten uitvoeren van 107 projecten uit de periode 2012-2019, waaronder ook DKTI-projecten in de mobiliteitsector. In de periode 2020-2021 zijn nog eens 29 waterstof-(gerelateerde) projecten toegekend in de subsidieprogramma's van de Topsector Energie en RVO. Op basis van deze projecten en rekening houdend met ontwikkelingen in het waterstofdomein, kunnen de volgende conclusies worden getrokken voor de prioriteiten van de geactualiseerde innovatieagenda waterstof.

## 1. Van specifieke technologie naar ketens

In de afgelopen 10 jaar is de focus in de projecten verschoven van projecten over een specifiek onderdeel, zoals een brander, tankstation of sensoren, naar (meer) geïntegreerde projecten waarbij de productie en toepassing van waterstof wordt gekoppeld aan de elektriciteitsproductie uit wind (grootschalige projecten) en zon-pv (regionaal/ lokaal, kleinere projecten).

**> De innovatieagenda dient deze tendens naar ketenprojecten te versterken.**

## 2. Onderzoek naar waterelektrolyse op kleinere schaal

In veel projecten wordt waterelektrolyse ontwikkeld op 0,1-1 MW-schaal met de focus op verbetering van de technologie, zoals betere efficiëntie, minder materialengebruik, hogere flexibiliteit bij op- en afregelen, en productietechnologie (manufacturing). Het betreft vaak relatief kleine bedrijven en startups, die soms worden overgenomen door grotere spelers. Er worden ook testfaciliteiten voor waterelektrolyse ontwikkeld zoals het Faraday-lab van TNO en het MW-testcenter bij EnTranCe. De projecten betreffen met name PEM-elektrolyse, waar de onderzoekbehoefte groter is dan bij alkalische elektrolyse die commercieel beschikbaar is. Op lager TRL-niveau wordt ook gewerkt aan Solid Oxide-elektrolyse.

**> Door ondersteuning aan opschaling van innovatieve Nederlandse elektrolysertechnologie kan de innovatieagenda de ontwikkeling van een nationale elektrolyserindustrie bevorderen.**

## 3. Demo's op MW-schaal en opschaling naar GW-schaal

Enkele projecten richten zich op de realisatie van waterelektrolyse op een schaal van 10-20 MW, waarbij het Djewels-project van Nobian/HyCC in Delfzijl het dichtst bij realisatie lijkt te staan. Een groot consortium onder leiding van ISPT heeft een ontwerp gemaakt voor elektrolyse op GW-schaal. Er zijn diverse projecten aangekondigd, variërend van 10-20 MW tot 250 MW, die in de komende jaren tot stand zouden moeten komen.

**> Ondersteuning aan realisatie van deze projecten en leren over de projecten heen is een onderwerp voor de innovatieagenda.**

## 4. Ketenprojecten op lokale schaal

Enkele projecten gaan over de mogelijkheden om lokaal netcongestie te verhelpen door de inzet van elektrolyzers bij zonne- of windparken. De geproduceerde waterstof wordt voor verschillende doeleinden ingezet (mobiliteit, gebouwverwarming, kleine industrie, landbouw). Ook de opslag van waterstof wordt hierbij meegenomen, zowel lokaal als op grote schaal. Er is veel interesse voor deze onderwerpen bij netbeheerders, regionale overheden en initiatiefnemers voor wind- en zonneparken.

**> Waterstof kan hier een urgent probleem oplossen en tegelijk helpen ervaring op te doen met systeemintegratie en daarom verdient dit onderwerp prioriteit te krijgen in de innovatieagenda.**

## 5. Veel aandacht voor toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving

Op dit onderwerp zijn er veel projecten al geweest of in uitvoering. Het betreft onder andere de ontwikkeling van HR-verwarmingsketels op aardgas die naar waterstof worden omgebouwd of speciaal voor waterstof worden ontwikkeld, eventueel gecombineerd met warmtepompen (hybride installaties). Er zijn verschillende demonstratieprojecten waarbij waterstof in woningen wordt toegepast in een beschermde omgeving (zoals in The Green Village in Delft) en in de praktijk (bijvoorbeeld Rozenburg). Daarnaast worden projecten op grote schaal voorbereid in Stad aan 't Haringvliet en in Hoogeveen, waarbij het de bedoeling is dat dorpen of wijken worden omgebouwd naar waterstof. Deze ontwikkeling bevindt zich nog in de test-/demofase.

**> Omdat er al veel activiteiten lopen voor het onderwerp waterstof in gebouwde omgeving hoeft het voor de komende jaren geen hoge prioriteit in de innovatieagenda te krijgen.**

## 6. Toepassing van waterstof in mobiliteit en vervoer

Het gebruik van waterstof in de transportsector is het verst ontwikkeld van alle nieuwe toepassingen voor waterstof als energiedrager. Veel projecten betroffen de ontwikkeling en realisatie van tankstations voor in het buitenland ontwikkelde personenauto's. Onderzoek richt zich nu vooral op verbetering van de tankstations en de integratie met lokale opwekking van waterstof. Bij voertuigen lag de focus in de projecten vooral op de ontwikkeling en demonstratie van specialties die nog niet af-fabriek op waterstof worden geleverd, zoals trucks, vuilniswagens, veegwagens en kolkenzuigers. De laatste twee jaren ging het meer om voertuigen voor de bouw en het grondverzet en de toepassing in schepen, o.a. gedreven door de stikstofproblematiek.

**> De innovatieagenda dient nu de stap van enkelstuks-pilots naar grootschaliger demonstratieprojecten met zwaar vervoertoepassingen te ondersteunen.**

## 7. Toepassing van waterstof in de industrie

Projecten die zich op de toepassing van waterstof in de industrie richten zijn nog relatief schaars en betroffen vooral haalbaarheidsstudies. Waarschijnlijk kan koolstofarme waterstof met weinig benodigde procesaanpassingen grijze waterstof vervangen. Meer aandacht is nodig voor de aanpassing van in de industrie gebruikte branders voor waterstof (inzet als brandstof) en het effect op de productkwaliteit, bijvoorbeeld in de glas- en keramische industrie.

**> De innovatieagenda dient R&D en demonstratie van branders op waterstof onder industriële praktijkomstandigheden te ondersteunen.**

## 8. Aandacht voor meten, regelen en sensortechnologie

Er is in veel projecten aandacht voor het meten en regelen van waterstofkwaliteit en -flows, inclusief de ontwikkeling van sensortechnologie hiervoor. Ook de SBIR-regelingen van enkele jaren geleden hebben goede projecten op dit terrein voortgebracht.

**> De innovatieagenda dient export van Nederlandse kennis en kunde van meet, regel- en sensortechnologie te ondersteunen.**

## 9. Goede samenwerking in publiek gefinancierde projecten

Er wordt in de meeste projecten goed samengewerkt, vooral tussen bedrijven (MKB én grote bedrijven) en kennisinstellingen. Het HBO is de laatste jaren steeds vaker goed betrokken bij projecten. Ook ontstaan er duurzame relaties waardoor (delen van) consortia gezamenlijk vervolprojecten uitvoeren. Overigens is het niet duidelijk of deze samenwerking autonoom is of gedreven wordt door de eisen die subsidieprogramma's stellen. Waarschijnlijk is het een mix van beide effecten.

**> De innovatieagenda dient de samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen te blijven bevorderen.**



# KPI's op programmaniveau en voor technologieën

KPI'S VOLGENS DE STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION AGENDA VAN HET CLEAN HYDROGEN PARTNERSHIP

	KPI	Eenheid	Base-line	2023	2025	2027
1a	Projecten met toepassingen in industrie en zwaar vervoer	% van budget	2,5	15	30	40
1b	Projecten met KPI's of doelen voor duurzaamheid, recycling, circulariteit	% van budget	<1	5	10	15
2	Projecten met TRL tot 3 bij aanvang	% van budget	10	10	10	10
3	Projecten met beoogde TRL 7 aan het eind	aantal	43	20	40	60
4	Projecten gericht op opleiding, training en vaardigheden	aantal	4	2	4	6
5	Monitoring van technologische voortgang	--	Kwalitatieve evaluatie			
6	Ondersteuning van EC in acties voor marktintroering waterstof	--	Kwalitatieve beschrijving			
7	Milieu-impact en duurzaamheid	n.t.b.*	n.t.b.*			
8a	Kapitaalkosten electrolysers	€/kW	n.t.b.*			
8b	Kapitaalkosten van zware vervoertoepassingen	€/kW	n.t.b.*			
9	Projecten met cofinanciering uit andere JU's EU-programma's	aantal	5	5	10	20
10	Publieke perceptie van waterstoftechnologieën	--	Kwalitatieve evaluatie			
11	Training van personen	aantal	4.163	1.000	3.000	6.000
12	Patenten en publicaties (cumulatief)	aantal	12/189	17/100	20/250	25/450
13	Projecten die meer dan een onderdeel van de waardeketen beslaan	% van budget	15	10	15	25
14	Verwachte vermeden emissies	Mton CO <sub>2eq</sub>	n.t.b.*			
15	Geïnstalleerde capaciteit electrolysers	GW	1	4	6	10
16	Gebruik van groene waterstof in de EU-markt	Mt	0,155	0,7	1	2
17	Waterstofprijs voor eindgebruiker	€/kg	8	6,5	5,5	4,5
18	Omvang van de waterstoftechnologiesector	--	Kwalitatieve beschrijving			

\* Voor sommige KPI's moeten de methodologie en bijbehorende doelen nog bepaald worden.

De SRIA bevat ook KPI's voor de prestaties van verschillende technologieën. Hier volgt een voorbeeld voor alkaline elektrolyse.

	Parameter	Unit	SoA	Targets	
			2020	2024	2030
1	Electricity consumption @ nominal capacity	kWh/kg	50	49	48
2	Capital cost	€/(kg/d)	1,250	1,000	800
		€/kW	600	48	400
3	O&M cost	€/(kg/d)/y	50	43	35
4	Hot idle ramp time	sec	60	30	10
5	Cold start ramp time	sec	3,600	900	300
6	Degradation	%/1,000h	0.12	0.11	0.1
7	Current density	A/cm <sup>2</sup>	0.6	0.7	1.0
8	Use of critical raw materials as catalysts	mg/W	0.6	0.3	0.0

**De SRIA geeft op vergelijkbare wijze KPI's voor:**

- Elektrolyse: Proton Exchange Membrane, Solid Oxide, Anion Exchange Membrane, flexibele inzet van elektrolyzers
- Waterstofproductie uit biogas, biologische waterstofproductie, met zonnethermie, via vergassing van afval/biomassa
- Waterstofopslag, ondergronds en bovengronds
- Waterstofdragers
- Waterstoftransport door pijpleidingen, over de weg of per schip
- Waterstofcompressie en -zuivering
- Waterstoftankstations
- Brandstofceltechnologie en aan-boord-opslag voor zware wegvoertuigen, schepen, treinen, luchtvaart
- Stationaire brandstofcellen: Solid Oxide, Proton Exchange Membrane
- Turbines
- Recyclingprocessen
- Opleiding en public awareness
- Veiligheid, normgerelateerde onderzoeken, regulering, normen en standaarden

# Toelichting op overzicht Innovatieactiviteiten (figuur 3)

## Instrumenten voor ondersteuning van waterstofinnovaties

Voor bedrijven en kennisinstellingen die willen innoveren in de waterstofketen stelt de overheid verschillende instrumenten ter beschikking. Dit gaat zowel om specifiek op waterstof gerichte regelingen als om regelingen voor energie-innovaties waaronder waterstof. Het kan gaan om een enkele schakel in de waterstofketen of om keteninnovaties. De instrumenten zijn doorgaans bedoeld voor bepaalde fasen in de ontwikkeling (TRL-niveau's).

- Fundamenteel onderzoek wordt ondersteund met de programma's van NWO.
- Voor projecten die zich op de haalbaarheid van een innovatief pilot- of demonstratieproject richten, is de regeling Topsector Energiestudies Industrie beschikbaar.
- Voor R&D projecten die kosteneffectief CO<sub>2</sub>-emissies in de industrie kunnen reduceren in 2030 is de TSE industrie-regeling (Topsector Energie Industrie).
- Specifiek voor het MKB is de MIT-regeling (Innovatiestimulering Regio en Topsectoren) beschikbaar voor haalbaarheidsprojecten en R&D-ondersteuning.
- Samenwerking tussen een bedrijf en een onderzoeksinstelling voor onderzoek en ontwikkeling wordt bevorderd met Publiek-Private Samenwerking programmatoeslag (PPS-toeslag). In 2021 is langs deze weg de subsidieregeling waterstoftechnologie ingericht.
- De nationale subsidie IPCEI Waterstof: Technologie geeft subsidie voor onderzoek of ontwikkeling van vernieuwende producten en diensten met waterstoftechnologie. De regeling stond alleen open voor aanvragers waarvan het project eerder was aangeboden ter pre-notificatie voor de IPCEI Waterstof technologiegolf bij de Europese Commissie. Met de Europese status Important Project of Common European Interest (IPCEI) kunnen waterstofprojecten een hoger aandeel nationale subsidie ontvangen dan volgens de reguliere staatssteunregels is toegestaan.
- Voor praktijkexperimenten, pilots en demo's is o.a. de DEI+-regeling (Demonstratie Energie- en klimaatinnovatie) van toepassing. Deze is momenteel geschikt voor elektrolyseprojecten tussen 10 en 20 MW.
- De Europese Clean Hydrogen Joint Undertaking ondersteunt onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van waterstoftechnologie in de hele waterstofketen. De eerste tenderronde met een budget van €300 miljoen voor 41 onderwerpen is op 31 maart jl. gestart.
- De HER+-regeling (Hernieuwbare Energietransitie) is bedoeld voor projecten die leiden tot CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 en besparen op de toekomstige uitgaven aan subsidies overeenkomstig het Besluit stimulering duurzame energietransitie (SDE++).
- Het Opschalingsinstrument elektrolyse zal zich richten op demonstratieprojecten met een omvang van 50 MW.
- Het Innovation Fund is een financieringsprogramma van de Europese Commissie voor de grootschalige demonstratie van koolstofarme technologie. In de ronde van 2022 zijn drie grote waterstofprojecten in Nederland gehonoreerd.
- De SDE++-regeling (Stimulering duurzame energieproductie en klimaattransitie) ondersteunt de inzet van technieken voor hernieuwbare energieopwekking en andere CO<sub>2</sub>-reducerende technieken.
- De MOOI-regeling (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie) is bedoeld voor industrieel en experimenteel onderzoek. De regeling ondersteunt integrale oplossingen die bijdragen aan de klimaatdoelen en richt zich op projecten voor Industrie, Gebouwde omgeving en Elektriciteit.
- De eenmalige subsidieregeling R&D Mobiliteitssectoren (RDM 2021) ondersteunt meerdere onderzoek- en ontwikkelingsprojecten gericht op de toepassing van waterstof in wegvervoer en scheepvaart.
- De DKTI-regeling (Demonstratie Klimaattechnologieën en -innovaties in Transport) ondersteunt projecten die zich op mobiliteit en transport richten.
- Ondersteuning voor bouwen of verbouwen van een schip bij het toepassen van duurzaamheid bevorderende innovaties geeft de SDS-regeling (Subsidie Duurzame Scheepsbouw).



- De Aanschafregeling Zero Emissie Trucks (AanZET) biedt subsidie voor de aanschaf van elektrische en waterstofvrachtwagens.
- De Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB) ondersteunt de aanschaf van uitstootvrije bouwmaschinen (waaronder op waterstof), ombouw van bestaande bouwwerktuigen en zeegaande bouwvaartuigen, en innovatie om emissieloze bouwmaschinen en de daarvoor benodigde laad- en tankinfrastructuur te verbeteren.
- Het Programma Aardgasvrije Wijken bevordert wijkgerichte aanpakken om de energievoorziening zonder aardgas te organiseren, en ondersteunt onder meer projecten met waterstof voor gebouwde omgeving.
- Er zijn ook subsidiemogelijkheden voor waterstof in de regionale en grensoverschrijdende programma's zoals het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO) en Interreg, waar koolstofarme economie en innovatie door MKB prominente thema's zijn.

Voor financiering van innovatie heeft het Rijk ook een algemeen instrumentarium, zoals:
<b>Fiscaal</b>
Innovatieregeling Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk (WBSO)
Energie-investeringsaftrek voor ondernemers (EIA)
Milieu-investeringsaftrek (MIA) en de Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil) (MIA/Vamil)
<b>Kredieten</b>
Innovatiekrediet
Groeifaciliteit
Vroegfasefinanciering (VFF)
<b>Garanties voor leningen bij banken</b>
Garantie Ondernemingsfinanciering (GO) voor (middel)grote ondernemingen
Borgstelling MKB-kredieten (BMKB)
<b>Investeringen</b>
Seed-capital-fondsen voor technostarters
Regionale ontwikkelingsmaatschappijen (ROM)

TKI Nieuw Gas biedt MKB-ondernemers de mogelijkheid om gebruik te maken van subsidie voor de inzet van een innovatiemakelaar.



### Programma's en projecten voor waterstoffinnovatie

Figuur 3 bevat ook een aantal grote programma's en projecten, opgezet door georganiseerde samenwerkingsverbanden die aan verschillende of alle aspecten van waterstofketen werken. Deze worden bijvoorbeeld gefinancierd via een specifieke subsidieregeling of maken gebruik van meerdere regelingen, of het gaat om een overheidsopdracht. Deze lijst is niet uitputtend.

- Het programma *GroenvermogenNL* (Nationaal Groeifonds) bestaat uit meerdere delen: een R&D-programma (TRL2-6) dat loopt via NWO; een demonstratieprogramma (TRL7/8), dat loopt via DEI+ in 2022 (30 miljoen), en mogelijk in 2023 via een aangepast regeling (70 miljoen); en een grootschalig demoprogramma van elektrolyse met toepassing in de chemie (500 miljoen). Het instrument moet nog worden gekozen (mogelijk DEI+ of een nieuw instrument). Ook wordt aandacht besteed aan ontwikkeling van menselijk kapitaal waaronder scholing.
- *HyDelta* is een landelijk onderzoeksprogramma over het veilig inpassen van waterstof in de bestaande infrastructuur voor gastransport en distributie. Het samenwerkingsprogramma heeft als doel om belemmeringen voor innovatieve waterstofprojecten en experimenten met waterstoftransport en -distributie weg te nemen en bij te dragen aan de beleidsontwikkeling voor waterstof.
- De adviescommissie voor *ElektroChemische Conversie & Materialen (ECCM)* adviseert sinds 2017 de Nederlandse overheid om de overgang te kunnen maken naar een CO<sub>2</sub>-neutrale industrie gebaseerd op intermitterende duurzame energieopwekking, -opslag en -conversie. De commissie is ingesteld door de topsectoren HTSM, Energie en Chemie, met steun van het ministerie van EZK, het ministerie van OCW, NWO en TNO.
- Het programma *Sustainable Hydrogen Import Program Netherlands (SHIPNL)* richt zich op kennisuitwisseling tussen ketenpartijen over waterstofimport. Het doel is om versnelling te brengen in de realisatie van H<sub>2</sub>-importketens door kennisvragen te beantwoorden over technologie, veiligheid en beleid, en samenwerkingsverbanden tot stand te brengen.
- Het *North Sea Energy* programma onderzoekt met ruim 30 (inter)nationale partijen hoe het potentieel van de Noordzee met een integrale aanpak benut kan worden voor een klimaatneutraal energiesysteem. Het programma onderzoekt de voordelen van slimme koppelingen tussen de verschillende energiefuncties op de Noordzee, zowel oude (olie- en gaswinning) als nieuwe (hernieuwbare energie, waaronder waterstof).
- In het project *Hyway27* is uitgewerkt hoe het bestaande aardgasnet kan worden ingezet voor het transport van waterstof. Deelnemende partijen waren de ministeries van EZK en Financiën, Gasunie, TenneT, Havenbedrijf Rotterdam, en NetbeheerNederland. Op grond van de bevindingen heeft het Kabinet aan Gasunie de opdracht gegeven om gefaseerd een landelijk waterstofnetwerk te gaan ontwikkelen.
- Het project *HyStock* is gericht op de ontwikkeling van een grootschalige waterstofopslag in de provincie Groningen waar 4 zoutcavernes kunnen worden ontwikkeld. Eerst vindt een demonstratie plaats van opslag in een van de zoutcavernes. Het transportnet van Gasunie zal de ondergrondse opslag fysiek verbinden met de vraag en aanbod van waterstof, in eerste instantie in Noord-Nederland en vervolgens in industrieclusters elders in Nederland.
- Het *Elektrolyser Makersplatform NL* wil in Nederland de productie van elektrolyzers of componenten daarvoor ontwikkelen en opschalen. Er wordt een interactieve community gecreëerd, waarin de proces- en maakindustrie, kennisinstellingen, overheid en de energiesector samenwerken.
- Het *Hydrohub*-programma richt zich op het mogelijk maken van betaalbare grootschalige waterstofproductie door elektrolyse. Het *Hydrohub MegaWatt Test Center* test en verbetert nieuwe technieken om de elektrolyzers productiever en goedkoper te maken. Het *GigaWatt-deelprogramma* verkent hoe een fabriek waar duizend elektrolyzers samenwerken het beste ontworpen en gebouwd kan worden. Het *Hyscaling*-project beoogt om de 'levelized costs' van waterstof met 25-30% te verlagen ten opzichte van de huidige state-of-the-art technologie.
- *VoltaChem* is een industriegedreven Shared Innovation Programme voor de elektrificatie van de chemische industrie. Het programma verbindt de elektriciteitssector, apparatenbouw en chemie met het oog op het gebruik van hernieuwbare energie in de chemische industrie voor de productie van warmte, waterstof en chemicaliën.
- Het doel van het Nederlands-Duitse programma *RH2INE* is om waterstof snel en veilig toegankelijk te maken voor internationaal transport van goederen langs de Rijn-Alphen corridor. *RH2INE* wil in 2024 12 binnenvaartschepen op waterstof laten varen op de corridor Rotterdam, Duisburg en Keulen met minimaal 3 waterstofvulstations. Dit is een eerste stap naar een zero-emissie transportcorridor in 2050, het uiteindelijke doel.
- Het project *HyTrucks* is een grootschalig demoproject met (±150) waterstof-aangedreven vrachtwagens dat met Nederlandse deelname is ingediend bij de CHJU. Een ander Europees initiatief met waterstofvrachtwagens is *H2Accelerate*, waarin OEM's en tankstationexploitanten samenwerken.





**TKI NIEUW GAS**

Topsector Energie