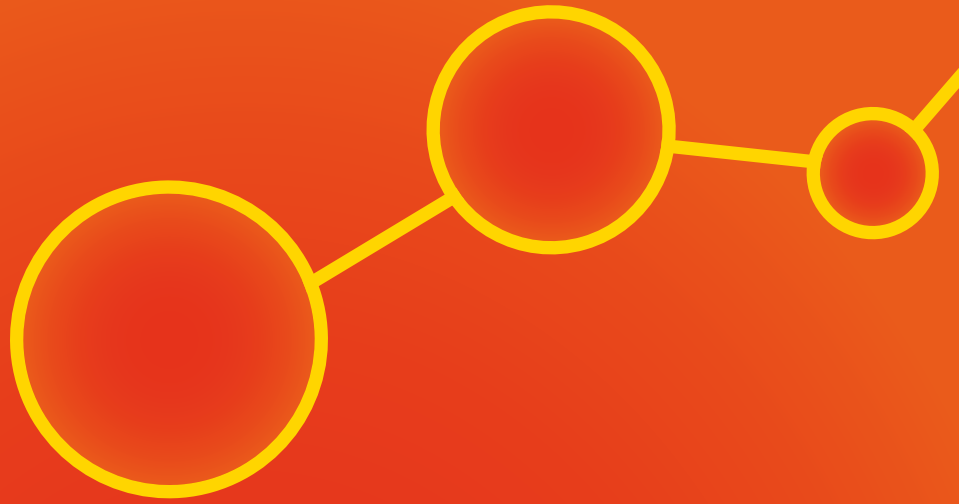


**TKI NIEUW GAS**  
Topsector Energie

Een programmatische aanpak voor innovaties op het thema waterstof  
in Nederland voor de periode 2020 - 2030

# Waterstof voor de energietransitie

Jörg Gigler, Marcel Weeda, Remco Hoogma, Jort de Boer



# Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1   Inleiding: een meerjarige programmatische aanpak voor waterstof als verbindende schakel tussen sectoren en regio's	16
2   Waterstof: robuust element in de energietransitie	22
3   Beschouwing van het innovatiesysteem van waterstof	30
4   Innovatiebehoefte voor waterstof	36
5   Niet-technologische thema's in de programmatische aanpak voor waterstof	76
6   Prioriteitstelling in de programmatische aanpak voor waterstof	86
Referenties	105
Bijlages	106
Bijlage A: Expertise en faciliteiten voor waterstofonderzoek in Nederland	107
Bijlage B: Sleuteltechnologie elektrolyse	108
Bijlage C: Overzicht van waterstofprojecten (stand najaar 2019)	113
Bijlage D: Normalisatie van waterstof in de industriële en gebouwde omgeving	142
Bijlage E: Samenstelling Kernteam Waterstof	145



# Samenvatting

## Inleiding

### Waterstof is een robuust element in de energietransitie

Waterstof staat wereldwijd enorm in de belangstelling. Ook in Nederland worden bijna wekelijks nieuwe waterstofinitiatieven aangekondigd. Naast brede energetische en non-energetische toepassingen van waterstof in de sectoren vervoer, industrie en gebouwde omgeving, richt de aandacht zich mede op de brede systeemrol die waterstof kan vervullen in het energiesysteem. Dit betreft de rol als flexibel opslag- en transportmedium voor het variabele aanbod van elektriciteit dat is opgewekt met hernieuwbare energiebronnen (met name wind en zon) en de intermediaire functie die waterstof kan vervullen tussen de elektriciteitssector en de gassector. Hierdoor vergroot waterstof de mogelijkheden voor benutting en inzet van wind- en zonne-energie, en neemt daarmee een goede positie in naast andere verduurzamingsopties, zoals energiebesparing, elektrificatie (anders dan waterstof), de inzet van biomassa en op biomassa gebaseerde energiedragers, het gebruik van geothermie, en de inzet van fossiele energiedragers, gecombineerd met hergebruik en opslag van CO<sub>2</sub>.

### De programmatische aanpak creëert een gezamenlijk speelveld voor waterstof

Om in te spelen op de ontwikkelingen rond waterstof in Nederland en de daaruit voortvloeiende innovatiebehoefte, wordt een Meerjarige Programmatische Aanpak voor Waterstof (MPAW) voorgesteld met de volgende doelstellingen:

- Creëren van een gezamenlijke, sector-overschrijdende aanpak voor innovaties om waterstof in verschillende sectoren succesvol te kunnen ontwikkelen, demonstreren, implementeren en opschalen en daarmee te laten bijdragen aan het Klimaatakkoord;
- Versnellen van de implementatie zodat waterstof in 2030 substantieel qua omvang is;
- Benutten van synergievoordelen door thema's in samenhang te adresseren, zoals veiligheid, human capital agenda en maatschappelijke acceptatie;
- Nederland internationaal profileren als interessante 'proeftuin' voor waterstof, inclusief etaleren van onze kennispositie en bedrijvigheid op dit terrein.

### Een programmatische én adaptieve aanpak die inspeelt op de dynamiek in de praktijk

Deze programmatische aanpak voor waterstof is geen star document of een routeplanner die exact aangeeft hoe we zo snel mogelijk op de gewenste bestemming komen. De grote dynamiek die waterstof momenteel kenmerkt, zowel nationaal als internationaal en door innovatie- en waardeketens heen, vereist een adaptieve aanpak zodat snel en flexibel kan worden bijgestuurd als ontwikkelingen daartoe aanleiding geven. Vanwege deze dynamiek is de aanpak voor de komende 3-5 jaar veel concreter en robuuster dan voor de periode daarna. Structureel evalueren en, indien nodig, bijstellen van de koers is noodzakelijk om zo doelgericht en kosteneffectief mogelijk de grote CO<sub>2</sub>- en stikstofreductieopgave en verduurzamingsopgave waar we voor staan te kunnen realiseren.

## Klimaatakkoord, topsectorenbeleid en bedrijvigheid leiden tot een programmatische aanpak

De aanleiding voor deze programmatische aanpak is drieledig. Ten eerste het Klimaatakkoord dat sinds 2018 is voorbereid en op 28 juni 2019 is gepresenteerd. Hierin is een prominente rol voor waterstof in verschillende sectoren van ons energiesysteem voorzien, en als versterking van het 'systeem' als geheel. In de kabinetsbrief behorend bij de Klimaatakkoord wordt een "ambitieuw waterstofprogramma, gericht op onderzoek, pilots en demonstratieprojecten, infrastructuur en brede waterstoftoepassingen" aangekondigd om dit te realiseren. Het grote belang dat in het Klimaatakkoord aan waterstof wordt gehecht, vraagt om een brede programmatische aanpak. Overigens is tijdens het opstellen van deze aanpak een extra argument voor een emissievrije energievoorziening overduidelijk geworden, namelijk de stikstofcrisis die de bouw- en landbouwsectoren ernstig in de knel brengt. Ten tweede, in samenhang met het voorgaande, is in maart 2019 een Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) gepubliceerd en in de maanden daarna uitgewerkt. De uitwerking heeft plaatsgevonden via 13 zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP's) voor de sectoren elektriciteitsopwekking, gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit en landbouw. Waterstof is een doorsnijdend thema dat raakvlakken heeft met meerdere MMIP's omdat het – potentieel – voor vrijwel alle sectoren van het Klimaatakkoord van betekenis is. Vanwege dit doorsnijdende karakter is een integrale programmatische aanpak voor waterstof noodzakelijk. Ten derde is de bedrijvigheid rond het thema waterstof van belang die in een stroomversnelling is geraakt, zoals blijkt uit een heel scala aan studies, bedrijven, (onderzoek)consortia en initiatieven die met waterstof aan de slag (willen) gaan. Initiatiefnemers hebben behoefte aan een aanpak die duidelijke lijnen naar de toekomst uitzet zodat de functies die waterstof kan vervullen zo efficiënt en succesvol mogelijk ontwikkeld kunnen worden.

## Proces en coördinatie

### Waterstof als overkoepelend thema dat meerdere sectoren van het Klimaatakkoord bedient

Voor de aansturing en uitwerking van deze programmatische aanpak is een kernteam gevormd dat verantwoordelijk was voor het eindresultaat en het proces daar naartoe. Het kernteam heeft consultatiedocumenten opgesteld die als basis dienden voor de raadpleging van een brede groep stakeholders. Zij zijn via persoonlijke gesprekken, workshops en mailupdates geconsulteerd. Deze inrichting van het proces bood iedereen de mogelijkheid om actief bij te dragen waardoor de programmatische aanpak een breed draagvlak heeft. Voor de coördinatie van de meerjarige, programmatische aanpak voor waterstof ligt het initiatief bij de Topsector Energie als coördinerende topsector voor de maatschappelijke uitdaging 'Energietransitie en duurzaamheid'. Voor de vijf sectoren elektriciteitsopwekking, gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit en landbouw zijn zogenaamde missieteams ingesteld voor de inhoudelijke sturing. Voor waterstof geldt dat het een overkoepelend thema is vanwege de raakvlakken met vrijwel alle missies en MMIP's. Daarom wordt een aparte stuurgroep ingericht waarin de betrokken sectoren en missies vertegenwoordigd zijn, aangevuld met vertegenwoordigers van bedrijven, overheden en kennisinstellingen. De stuurgroep valt onder de governance zoals die voor de vijf missies is opgesteld. Het TKI Nieuw Gas van de Topsector Energie is verantwoordelijk voor de coördinatie van deze stuurgroep waterstof. In de komende tijd wordt de governance nader uitgewerkt.

## Programmatische aanpak

### Een structuur in 5 onderdelen

De meerjarige, programmatische aanpak voor waterstof is uitgewerkt in 5 onderdelen die met elkaar verbonden zijn:

#### 1 Van visie naar beleidsvorming

Hier staat visievorming en programma-ontwikkeling centraal, gericht op het verkennen van de opties voor realisatie van de energietransitie, de functies die waterstof hierbij kan vervullen en de benodigde beleidsondersteuning en marktordening.

#### 2 Laten zien in praktijkprojecten (pilots, demo's en implementatie)

Dit deel gaat over praktijkprojecten met waterstof die in de periode 2025-2030 gereed moeten zijn voor brede implementatie en daarom op korte termijn verkend en gedemonstreerd moeten worden. Deze projecten dienen meerdere doelen, zoals versnelde introductie van op waterstof gebaseerde oplossingen, organiseren van integrale waterstofketens, testen en ontwikkelen van business cases, en werken aan maatschappelijke inbedding via praktijkvoorbeelden die geschikt zijn voor toekomstige opschaling. Korte(re) termijn R&D-vragen maken hiervan onderdeel uit.

#### 3 Creëren van de randvoorwaarden

Diverse overkoepelende thema's moeten in samenhang geadresseerd en opgepakt worden zodat synergievoordelen worden benut en activiteiten snel en efficiënt kunnen worden uitgevoerd zodat (mogelijke) knelpunten worden opgelost. De focus ligt op thema's die op de korte tot middellange termijn urgent zijn, zoals wet- en regelgeving, veiligheid en risicobeheersing, standaardisatie en de behoefte aan infrastructuur.

#### 4 Onderzoek voor de langere termijn

Hierbij staat onderzoek en ontwikkeling (lagere TRL's) centraal ten behoeve van oplossingen voor de langere termijn die in de periode richting en na 2030 betekenisvol kunnen worden en/of richting 2050 robuuste elementen zijn voor het realiseren van de energietransitie. Een goed voorbeeld is de co-elektrolyse van water en kooldioxide tot een syngas dat kan dienen als basis voor productie van klimaatneutrale chemische producten en materialen (kunststoffen) en synthetische brandstoffen.

#### 5 Ondersteunende en flankerende activiteiten

Dit betreft activiteiten die zijn gericht op het wegwerken van belemmeringen en het adresseren van onderwerpen die van belang zijn om waterstof te ontwikkelen en op te schalen, zoals voorlichting, human capital agenda, digitalisering, inbedding in de regio's en internationale samenwerking.

Voor deze onderdelen zijn prioritaire activiteiten benoemd die in de komende jaren nodig zijn om de ambities van het klimaatakkoord te kunnen realiseren en om waterstof tot wasdom te brengen. Ze worden hierna achtereenvolgens behandeld.

## **1 Van visie naar beleidsvorming**

Voor een succesvolle implementatie en opschaling van waterstof zijn een duidelijke beleidsvisie en inzicht in scenario's en -analyses onontbeerlijk.

### **1A. Beleidsvisie waterstof**

Het opstellen van een beleidsvisie voor waterstof door de overheid dient de gewenste duidelijkheid te geven voor de stimulering van waterstof en brede implementatie richting 2030. Er is behoefte aan een stabiel langetermijnbeleid, zoals voor de fiscale behandeling van waterstof voor mobiele en stationaire toepassingen (accijns en energiebelasting) en ondersteuning van de operationele kosten van de productie van waterstof via - bijvoorbeeld - een productiesubsidie. Daarmee is het mogelijk om business cases van projecten te bepalen. Ook is zekerheid gewenst voor het opschalingstraject om de investeringskosten voor de technologie daadwerkelijk omlaag te kunnen krijgen. Ook al ligt hier primair een taak voor de overheid, consultatie van en met stakeholders is gewenst om inzicht te krijgen in hun plannen en wensen.

### **1B. Studies en analyses voor programmaontwikkeling**

Het is van belang om inzichtelijk te maken welke ontwikkelingen op waterstof van invloed zijn en hoe waterstof zich verhoudt tot alternatieven in nationaal en Europees opzicht via scenario-analyses. Daardoor wordt duidelijk waar waterstof het meest wenselijk is en op welke termijn. Ook is de relatie met de (additionele) productie van duurzame elektriciteit, de positie van blauwe waterstof (incl. de CCS-optie) en de mogelijkheden van import van belang. Inzicht in de werking en toepasbaarheid van nieuwe marktmodellen helpt om beleid te beoordelen en vorm te geven.

## **2 Laten zien in grootschalige praktijkprojecten**

Op basis van het Klimaatakkoord en de consultatie voor deze programmatische aanpak komen de volgende prioritaire praktijkprojecten naar voren waarvoor onder stakeholders een breed draagvlak bestaat en die robuust zijn voor de energietransitie. De jaartallen en schaalgroottes zijn indicatief en ambitieus maar, gegeven de snelheid van de internationale ontwikkelingen en de noodzaak om snel tot CO<sub>2</sub>-emissiereductie te komen, is het wenselijk om de lat hoog te leggen. Voor veel van deze projecten geldt dat onderlinge combinaties mogelijk en zinvol zijn. Dat is om meerdere redenen van belang: samenwerking, coördinatie en clustering (zowel lokaal en regionaal, als nationaal en internationaal) versnelt de kennisontwikkeling en vergroot het draagvlak, leidt tot gedeelde infrastructuur en schaalvoordelen, en vergroot de kansen op effectief beleid en voldoende financieringsmogelijkheden.

Voor deze grootschalige praktijkprojecten is het gewenst om in de komende maanden ontwikkelplannen uit te werken waarin staat wat er wanneer zou moeten gebeuren en gerealiseerd zou moeten zijn, wat daarvoor nog nodig is op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, welke knelpunten (zoals wet- en regelgeving, vergunningen, veiligheid,



beschikbaarheid subsidies) aangepakt moeten worden en hoe het financieringsplan eruit ziet. Reeds gesignaleerde knelpunten en knelpunten die aan het licht komen bij ontwikkeling van deze projecten vormen de basis van een onderzoeksagenda voor de korte termijn.

Tevens is het van belang om inzichtelijk te hebben welke consortia gevormd kunnen worden om de ontwikkelplannen uit te voeren, zoals diverse consortia die in regio's actief zijn waaronder het HEAVENN-consortium in Noord-Nederland, het projectconsortium rondom H-Vision in Rotterdam en de initiatiefnemers in Stad aan het Haringvliet. De opgave is om focus te houden op 'grote blokken' waar sterke consortia zich aan willen verbinden.

## **2A. Realisatie van grootschalige productie van waterstof op GW-schaal in 2030**

Meerdere initiatiefnemers hebben plannen gelanceerd voor een groeitraject naar 3-4 GW in 2030, via een opschalingsroute die loopt van de eerste installaties van 20 MW die nu in voorbereiding zijn via projecten van 50, 100 en 250 MW naar deze GW-schaal. De beoogde technologie hiervoor is elektrolyse. Het ligt voor de hand om de opschaling vorm te geven in samenhang met toepassingen waar al een grote vraag naar waterstof is (bestaande industriële toepassingen), of die tot een grote behoefte aan waterstof kunnen leiden, zoals nieuwe industriële toepassingen en vervanging van aardgas door hernieuwbaar gas. Indien de cumulatieve opschaling in de richting gaat van vele honderden MW en GW-schaal, dan zal dit nadrukkelijk moeten worden beschouwd in relatie tot extra inspanningen voor realisatie van duurzame elektriciteitsproductie om daadwerkelijk CO<sub>2</sub>-emissiereductie te bereiken in Nederland. Hiervoor is een programmatische aanpak nodig die industrie en overheden (nationaal en internationaal) samen kunnen uitwerken om het gewenste groeitraject te verwezenlijken. Naast groene waterstof is 'blauwe' waterstof een optie om op relatief korte termijn grote hoeveelheden klimaatneutrale waterstof beschikbaar te hebben, bijvoorbeeld voor de industrie en de flexibele opwekking van elektriciteit. Het eerste initiatief op dit gebied is het H2Magnum project van Vattenfall, Gasunie en Equinor in de Eemshaven. Daarnaast bestaat in de Rotterdamse haven een ambitieus plan (H-vision) voor de productie van blauwe waterstof uit aardgas.

## **2B. Aanleg van een 'waterstof-backbone' die de grote industrieclusters in Nederland verbindt rond 2030, inclusief grootschalige ondergrondse waterstofopslag**

Als waterstof op grote schaal wordt geproduceerd, is de realisatie van een waterstof-infrastructuur noodzakelijk om de verschillende productie- en gebruikscusters van groene en blauwe waterstof te kunnen voorzien. Dit betreft het creëren van een 'waterstof-backbone' op nationaal niveau, waarmee de opslag van waterstof (bijvoorbeeld in gasvelden en aquifers) rechtstreeks is verbonden, alsmede waterstof in distributienetten voor de gebouwde omgeving en andere lokale toepassingen. Daarnaast is grootschalige, ondergrondse waterstofopslag in zoutcavernes van belang om voldoende waterstof beschikbaar te hebben en om een buffer te creëren tussen productie en gebruik. Natuurlijk zal de noodzaak van infrastructuur voor transport en opslag afhangen van de productie en vraag naar waterstof, maar dit zou niet de beperkende factor moeten zijn.

## 2C. Inzet van stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof in 2030

Om voldoende klimaatneutrale elektriciteit en de benodigde flexibiliteit en piekvermogen beschikbaar te hebben in een steeds meer door variabel vermogen (wind en zon) gedomineerd elektriciteitssysteem, is de realisatie van naar waterstof omgebouwde gas- en mogelijk kolencentrales nodig. Een goed voorbeeld hiervan is de Magnum-centrale in de Eemshaven waarvoor de ombouw naar waterstof onderzocht wordt. Uiteindelijk zijn deze stuurbare centrales, en eventueel decentrale varianten daarvan, ook nodig om richting 2050 een geheel CO<sub>2</sub>-emissievrije elektriciteitsproductie te verwezenlijken voor het aanvullen van tekorten aan aanbod van wind en zon als overige flexibiliteitsopties niet toereikend of duurder zijn.

## 2D. Demonstratie van 3-5 pilots met waterstof in de gebouwde omgeving, uiterlijk in 2025

Voor de gebouwde omgeving bestaan diverse verduurzamingsopties. De toepassing van groene waterstof is, naast groen gas, aantrekkelijk in woningen en wijken waar andere opties zoals warmtenetten en elektrificatie niet haalbaar zijn. Om de gewenste verduurzaming in de gebouwde omgeving te bereiken, is het van belang om voor deze opties op de korte termijn uit te zoeken, te testen en te demonstren hoe waterstof toegepast zou kunnen worden. Voorbeelden zijn in welke situaties en op welk schaalniveau (blok, buurt, wijk, etc.) waterstof in de gebouwde omgeving (bestaande bouw) het beste kan worden ingepast, inclusief onderzoek naar wat er in de regelgeving moet worden aangepast om dit mogelijk te maken.

Daarnaast is de ontwikkeling van een aantal representatieve praktijkprojecten in diverse configuraties (diverse type situaties, aandeel waterstof en eindtoepassingen) nodig om brede ervaring op te doen en de condities vast te kunnen stellen waaronder ombouw, toepassing en eventuele verdere uitrol na 2030 effectief, efficiënt en veilig kan plaatsvinden. Dit betreft:

- Bijmengen in een bestaande situatie, bijvoorbeeld samen met decentrale productie;
- Toepassing van 100% waterstof in een bestaande wijk;
- Toepassing in individuele woningen;
- Toepassing in collectieve warmtesystemen (gestapelde bouw en regionale netten).

## 2E. Uitrol van mobiliteit op waterstof, inclusief de benodigde vulpunten in 2025

Veel van de benodigde technologie (zoals voor auto's en tankstations) is reeds beschikbaar maar heeft op onderdelen- en systeemniveau verbetering en optimalisatie. De ambities die in het Klimaatakkoord voor 2025 zijn geformuleerd, zijn 50 vulpunten bij openbare tankstations, 15.000 brandstofcelauto's en bestelbusjes, 3.000 zware brandstofcelvoertuigen op de weg in 2025 (zoals bussen, trucks en vuilniswagens), inclusief vulpunten, en 10-20 demo's met waterstof in binnenvaartschepen. Voorgesteld wordt om aan deze doelstellingen toe te voegen: 10-20 demo's met mobiele werktuigen in de bouw, landbouw, industrie en havens.

## 2F. Start van pilot- en demonstratieprojecten met nieuwe toepassingen van waterstof in de industrie in de periode 2025-2030

Naast de huidige, grootschalige toepassing van waterstof in de industrie zijn er diverse mogelijkheden om groene en blauwe waterstof in te zetten voor de energiebehoefte ter vervanging van aardgas en vloeibare brandstoffen en voor de productie van grondstoffen en producten. Deze projecten liggen in het verlengde van '2A. Realisatie van grootschalige productie van waterstof op GW-schaal in 2030' (waar de productie van waterstof is benoemd) omdat de behoefte aan waterstof voor deze toepassingen in potentie groot is. Omdat de financiële haalbaarheid in de industrie vanuit internationaal concurrentie-oogpunt zeer belangrijk is, wordt hier vooral ingezet op pilot- en demoprojecten; opschaling en doorgroei naar grootschalige toepassing zal waarschijnlijk later volgen. Voorbeelden zijn:

- Levering van waterstof uit een 20 MW water-elektrolysefabriek in Delfzijl aan BioMCN voor de productie van groene methanol;
- Inzet van waterstof uit een 100 MW elektrolysefabriek voor productie van brandstoffen en/of basischemicaliën met de koolmonoxide (CO) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>) in de restgassen van de cokes- en staalproductie bij TATA;
- Inzet van elektrolyse-waterstof voor de raffinage van frituurvet tot duurzame kerosine en biopropaan in het SkyNRG-initiatief;
- Productie van groene methanol op basis van waterstof en syngas geproduceerd door vergassing van afval (o.a. Enerkem en Nouryon);
- Productie van synthetische kerosine in het Noordzeekanaalgebied op basis van groene waterstof in Port of Amsterdam.

## 2G. Inpassing van decentrale duurzame elektriciteit via waterstof in 2025 door realisatie van pilot- en demonstratieprojecten

Op verscheidene plaatsen zijn er beperkingen in de netcapaciteit waardoor de inpassing van decentrale duurzame elektriciteit uit zon en wind niet (altijd) mogelijk is. Hierdoor komen projecten niet of zeer langzaam van de grond. Het is gewenst om in de komende jaren (periode tot 2025) pilot- en demonstratieprojecten op te zetten over de mogelijkheden van water-elektrolyse in relatie tot inpassing van decentrale duurzame elektriciteitsopwekking en het ontlasten van knelpunten in het elektriciteitsnet. Daarbij is lokaal een koppeling mogelijk met waterstofvulpunten of de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving, zoals bijmenging van waterstof in het (lokale of regionale) aardgasnet.

## 2H. Ontwerp en aanleg van een 'test-energie-eiland' gecombineerd met offshore wind en waterstofproductie voor 2030

Vanwege het grote belang van offshore wind als basis voor de toekomstige elektriciteitsproductie ('Green Powerhouse Noordzee') en de verwachte uitdagingen en knelpunten wat betreft transport en aanlanding van deze elektriciteit, is het gewenst om op beperkte schaal en onder realistische omstandigheden het complete systeem voor 'windwaterstof' op zee te testen, inclusief de benodigde infrastructuur zoals offshore-waterstofleidingen. Daarmee kan ervaring worden opgedaan hoe deze optie in de toekomst op een efficiënte en betrouwbare manier kan

worden toegepast. Er zijn reeds plannen in ontwikkeling voor meerdere grote 'energie-eilanden' in de Noordzee waar waterstof geproduceerd zou kunnen worden met elektriciteit uit wind.

### **3 Creëren van de randvoorwaarden**

Dit onderdeel gaat over onderwerpen die van cruciaal belang zijn voor de grootschalige uitrol van waterstof. Voorbeelden zijn wet- en regelgeving, veiligheid, standaardisatie, geschiktheid en aanpassing van aardgasinfrastructuur voor transport en distributie van waterstof, gaskwaliteit (inclusief bijmenging waterstof in aardgas), import van waterstof en systeemintegratie van de (offshore) elektriciteitsproductie. Sommige van deze onderwerpen komen (noodzakelijkerwijs) aan bod bij praktijkprojecten, andere bevinden zich nog in een 'studiefase' waarbij afwegingen moeten worden gemaakt wat de beste opties zijn, op welke manier die toegepast kunnen worden, wat de kosten zijn en op welke termijn dat moet gebeuren.

### **4 Onderzoek voor de langere termijn**

Dit onderdeel richt zich op het lange(re) termijn onderzoek dat nodig is om waterstof in de volle breedte en voor een scala aan toepassingen te kunnen ontwikkelen. De scheiding tussen onderzoek voor de lange termijn (na 2030) en voor de periode tot 2030 is niet altijd heel scherp. Sommige resultaten zijn al eerder nodig, maar vergen meer fundamentele oplossingen waar meer tijd voor nodig is. Voorts zal deze behoefte ook afhangen van de snelheid waarmee waterstof op de kortere termijn tot ontwikkeling komt.

Voor de meer fundamentele en technologische onderzoeksbehoeften wordt onder andere naar de industrie-MMIP's 6 (Circulariteit) en 8 (Elektrificatie) verwezen die de onderzoekthema's in relatie tot waterstof uitgebreid in kaart hebben gebracht. Ook het ECCM-programma bevat een uitgebreide beschrijving van onderzoekthema's inclusief prioriteiten. Tevens zijn binnen dit programma al diverse projecten gestart. Het is overigens wenselijk om een sterke relatie te leggen tussen de onderzoeksthema's en kansen voor de Nederlandse (maak)industrie.

R&D-vragen die op de korte(re) termijn spelen zullen snel en effectief opgepakt moeten worden om waterstofprojecten te kunnen uitvoeren en opschalen. De verwachting is dat ook de praktijkprojecten direct tot onderzoeksvragen zullen leiden. Het is wenselijk om deze interactie te organiseren bij uitvragen van projectvoorstellen en waar mogelijk te combineren met de praktijkprojecten. Waterstof bevindt zich pas in de beginfase van de ontwikkeling en er zijn nog veel technische verbeteringen en optimalisaties mogelijk wat betreft productie en toepassing.

## **5** Ondersteunende en flankerende activiteiten

Hierbij gaat het over onderwerpen van randvoorwaardelijke aard die nodig zijn om waterstofprojecten succesvol te kunnen ontwikkelen, zoals certificering, ontwikkeling en toepassing van meetmethoden, maatschappelijke inbedding, de rol en betrokkenheid van regio's, digitalisering en de human capital agenda. Veel van de onderwerpen die onder dit thema vallen kunnen showstoppers zijn voor implementatie. Daarom zouden deze activiteiten bij uitstek in praktijkprojecten aan bod kunnen komen. Toekomstige (subsidie)projecten zullen gestimuleerd worden om deze thema's integraal mee te nemen.

### **5A. Certificering van waterstof**

Ontwikkelen en toepassen van een uniform Europees systeem voor Garanties van Oorsprong voor (groene) waterstof, certificaten voor groene waterstof en waterstof met een lage fossiele-koolstof impact.

### **5B. Internationale afstemming en samenwerking**

Op het gebied van ontwikkeling en harmonisatie van normen en standaarden voor waterstoftechnologie en -toepassingen is aan te bevelen dat Nederland ervoor kiest om hier strategisch mee om te gaan en doelgericht experts inzet in belangrijke werkgroepen zodat Nederland vertegenwoordigd is en actief meestuurt.

### **5C. Divers: regionale samenwerking, HCA, Digitalisering, MVI etc.**

Er zijn verschillende niet-technologische thema's die van belang en medebepalend zijn voor een succesvolle ontwikkeling en opschaling van waterstof. Deze vragen doorlopend aandacht in relatie met de overige activiteiten. Het gaat om thema's als regionale samenwerking, human capital agenda, digitalisering, en maatschappelijke innovaties.

# Samenvattend overzicht

## De ontwikkeling van waterstof vergt grote investeringen van alle stakeholders

Onderstaande tabel geeft een samenvattend overzicht van de 5 onderdelen van de aanpak, inclusief timing en een eerste, zeer globale indicatie van de verwachte budgetbehoefte. Dit overzicht dient nadrukkelijk ter indicatie omdat een exacte inschatting nog niet te maken is. Voor een deel van deze onderdelen geldt dat ze al in de betreffende MMIP's zijn benoemd, geprioriteerd en gebudgetteerd. Er zal continu afstemming met deze MMIP's plaatsvinden om de ontwikkeling van waterstof optimaal te kunnen faciliteren.

Thema	Timing (wanneer gereed)	Geschat budget (M€)
<b>1 Van visie naar beleidsvorming</b>		
<b>1A.</b> Beleidsvisie waterstof	Begin 2020	Geen
<b>1B.</b> Studies voor programmaontwikkeling	Doorlopend	Jaarlijks 0,2-0,5
<b>2 Laten zien in grootschalige praktijkprojecten</b>		
<b>2A.</b> Realisatie grootschalige waterstofproductie op GW-schaal	2030	1.000+
<b>2B.</b> Aanleg van een waterstofbackbone in Nederland en waterstofopslag	Rond 2030	Deels publiek
<b>2C.</b> Inzet van stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof	2030	250+
<b>2D.</b> Demonstratie van 3-5 pilots met waterstof in de gebouwde omgeving	2025	10-20
<b>2E.</b> Uitrol van mobiliteit op waterstof incl. vulpunten	2025	10-20
<b>2F.</b> Pilot- en demoprojecten waterstof in de industrie (valt deels onder 2A)	2025-2030	50-100
<b>2G.</b> Inpassing decentrale duurzame elektriciteitsproductie via waterstof	2025	10-20
<b>2H.</b> Ontwerp en aanleg testenergie-eiland	Voor 2030	100+
<b>3 Creëren van de randvoorwaarden</b>		
Diverse onderwerpen, uit te werken in de komende jaren (o.a. veiligheid, wet- en regelgeving, gaskwaliteit, standaardisatie)	2020-2021	10-20
<b>4 Onderzoek voor de langere termijn</b>		
Middellange tot lange termijn R&D-agenda ten uitvoer brengen	2020-2030	Jaarlijks 5-10
<b>5 Ondersteunende en flankerende activiteiten</b>		
<b>5A.</b> Certificering van waterstof	2020-2021	Beperkt
<b>5B.</b> Internationale afstemming en samenwerking	Doorlopend	Beperkt
<b>5C.</b> Divers: regionale samenwerking, HCA, Digitalisering, MVI etc.	Doorlopend	Beperkt
<b>TOTAAL</b> (zeer globale schatting voor de periode 2020-2030)		<b>Ordegrootte</b> <b>1.500 - 2.000</b>





# Hoofdstuk 1



# 1 | Inleiding: een meerjarige programmatische aanpak voor waterstof als verbindende schakel tussen sectoren en regio's

## 1.1 Aanleiding

In maart 2019 is de Integrale Kennis- en Innovatieagenda voor Klimaat en Energie (IKIA)<sup>1</sup> gepubliceerd. Deze IKIA beschrijft de innovatiebehoefte voor alle sectoren van het Klimaatakkoord en door de hele innovatieketen heen om de doelstellingen van 49% CO<sub>2</sub>-emissiereductie in 2030 en (vrijwel) 100% CO<sub>2</sub>-emissiereductie in 2050 te bereiken. De innovatiebehoefte is in 13 zogenaamde MMIP's (Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's) beschreven die in de eerste helft van 2019 verder zijn uitgewerkt. Deze MMIP's zijn, in navolging van het Klimaatakkoord, 'sectoraal' georiënteerd en beschrijven de benodigde innovaties voor de sectoren elektriciteitsopwekking (MMIP 1+2), gebouwde omgeving (MMIP 3-5), industrie (MMIP 6-8), mobiliteit en transport (MMIP 9+10) en landbouw en natuur (MMIP 11+12). Er is een overkoepelend MMIP (13) voor systeemintegratie dat de verbindende, overkoepelende thema's op dit terrein beschrijft. De Topsector Energie is primair verantwoordelijk voor de coördinatie van deze IKIA; op deelonderwerpen wordt echter samengewerkt met andere topsectoren, zoals Chemie, HTSM (High Tech Systems & Materials), Logistiek en Agro & Food.

Sinds enkele jaren groeit de bedrijvigheid rond het thema waterstof,<sup>2</sup> zoals blijkt uit een heel scala aan studies, consortia en initiatieven die met waterstof aan de slag (willen) gaan.<sup>3</sup> Deze activiteiten zijn gericht op specifieke sectoren, zoals de inzet van waterstof als energiedrager in de industrie, mobiliteit en transport, gebouwde omgeving en elektriciteitsopwekking, en als duurzame bouwsteen in combinatie met (groene) CO<sub>2</sub> ter vervanging van aardolie voor de productie van synthetische brandstoffen en chemische producten en materialen. Tegelijkertijd zijn de activiteiten ook nadrukkelijk sectoroverschrijdend, zoals de productie van waterstof, infrastructurele thema's, flexibiliteit en allerlei vormen van opslag.

---

1 Rapport 'Innoveren met een missie'. Zie [www.klimaatakkoord.nl/themas/kennis--en-innovatieagenda](http://www.klimaatakkoord.nl/themas/kennis--en-innovatieagenda).

2 Het thema waterstof is een overkoepelend begrip waarmee wordt bedoeld de inzet van waterstof als energiedrager, waterstof geproduceerd op basis van hernieuwbare bronnen en i.c.m. CCS, en hernieuwbare waterstof als bouwsteen voor duurzame chemie en synthetische brandstoffen.

3 Voorbeelden: Groene Waterstofcoalitie, Groene Waterstofeconomie in Noord-Nederland, idem in de Provincie Zuid-Holland, waterstofplannen SDR, H-vision, MW-testcentrum (Hydrohub), GW-plan, HyChain, diverse initiatieven voor elektrolyzers van 10-250 MW. Zie bijlage van dit rapport voor een overzicht.

Op 28 juni 2019 is het Klimaatakkoord gepresenteerd.<sup>4</sup> Het Klimaatakkoord voorziet een prominente rol voor waterstof in de verschillende hiervoor genoemde sectoren en als versterking van het ‘systeem’ (zie tabel 1). In de kabinetsbrief behorend bij de Klimaatakkoord wordt een “ambitieuw waterstofprogramma, gericht op onderzoek, pilots en demonstratieprojecten, infrastructuur en brede waterstoftoepassingen” aangekondigd om dit te realiseren. Het grote belang dat in het Klimaatakkoord aan waterstof wordt gehecht, vraagt om een brede programmatische aanpak voor waterstof, inclusief een integraal innovatieprogramma. Vanwege de sectorale benadering van het Klimaatakkoord en de IKIA bestaat het risico van versnippering van de innovatiebehoeften en -activiteiten binnen het waterstofdomein omdat ze mogelijk onvoldoende of niet op elkaar zijn afgestemd of onvoldoende gebruik maken van synergievoordelen die te behalen zijn bij een gezamenlijke programmering. Ook daarom is een integrale programmatische aanpak hard nodig.

**Tabel 1 | Verwijzingen naar waterstof in het Klimaatakkoord**

Sector	Doel (Wat?)	Aanpak (Hoe?)
Industrie	Installatie van 3-4 GW elektrolyse in 2030 (500 MW in 2025) Reductie investeringskosten elektrolyse met 65% tussen nu en 2030	Waterstofprogramma met €30-40 mln/jaar voor pilots en demo's vanuit het Rijk Onderzoek naar opname in SDE+(+), aanwending EU-fondsen, betrekken financiële sector zoals InvestNL
Elektriciteit-opwekking	Voor flexibiliteit van elektriciteitssysteem, ontwikkeling CO <sub>2</sub> -vrije regelbare productie, mogelijk tot 17 TWh in 2030, waarvoor CO <sub>2</sub> -vrije waterstof een optie is Ontwikkeling Green Powerhouse Noordzee (tot 60 GW in 2050) met deels conversie naar waterstof	Tijdige aanpassing en aanleg van (waterstof)-infrastructuur die industrieclusters koppelt Vaststellen van een brede Rijkvisie op marktordening en energietransitie, met aanpassing van wettelijke kaders uiterlijk 2021 Ontwikkeling (EU) waterstofcertificaten
Mobiliteit en Transport	In 2025 50 tankstations, 15.000 brandstofcelauto's en 3000 zware voertuigen; in 2030 300.000 brandstofcelauto's Reductie investeringskosten tankstations met gemiddeld 10% per jaar Bijdrage waterstof aan tenminste 150 emissievrije binnenvaartschepen in 2030	Convenant stimulering waterstofmobiliteit met stakeholders Fiscale stimulering en aanwending EU-fondsen Overheid als <i>launching customer</i> (Duurzaam Inkopen), zowel Rijk als decentrale overheden Nul-emissie zones voor stadslogistiek in 30-40 grootste gemeenten Bestuursakkoord Zero Emissie Busvervoer Green deal zeevaart, binnenvaart en havens
Gebouwde Omgeving	Voor 2030 duidelijk hebben hoe waterstof kan bijdragen aan realiseren van het doel voor 2050, mogelijk voor gebouwen en wijken die moeilijk op andere wijze te verduurzamen zijn	Ruimte creëren in wet en regelgeving en in wijkgerichte aanpakken voor pilots en demo's in de komende jaren

4 Klimaatakkoord, 28 juni 2018, zie [www.minezk.nl](http://www.minezk.nl), zoekterm Klimaatakkoord.

De Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof (MPAW) adresseert vanuit een gezamenlijk perspectief een breed gedragen aanpak op het terrein van waterstof die de benodigde innovaties benoemt, organiseert en de uitvoering faciliteert. Voorts beoogt het programma de synergievoordelen optimaal te benutten om waterstof versneld te kunnen ontwikkelen en opschalen. Daarmee sluit de programmatische aanpak direct aan bij het aangekondigde waterstofprogramma. De programmatische aanpak voor waterstof is in goede samenwerking met de MMIP-teams en de verschillende betrokken sectoren ontwikkeld.<sup>5</sup> Doelen, aanpak en gewenste resultaten worden hierna toegelicht.

## 1.2 Doelstellingen

De doelstellingen van de Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof zijn als volgt:

- Creëren van een gezamenlijke, sector-overschrijdende aanpak voor innovaties om de vervanging van fossiele-koolstofhoudende brandstoffen door duurzame en/of klimaatneutrale waterstof in verschillende sectoren succesvol te kunnen ontwikkelen, demonstreren, implementeren en opschalen en daarmee te laten bijdragen aan de realisatie van de doelen van het Klimaatakkoord;
- Versnellen van de implementatie van waterstof als energiedrager/brandstof in onze energiehuishouding, zodat het in 2030 substantieel qua omvang is, en de verduurzaming van de toepassing van waterstof als grondstof;
- Maximaal benutten van synergievoordelen bij de ontwikkeling van waterstof als één van de centrale energiedragers in het energiesysteem door overlappende thema's te identificeren en in samenhang te adresseren, bijvoorbeeld op het gebied van productie, transport, distributie en opslag. Deze synergievoordelen kunnen van economische aard zijn (kostenbesparingen, gezamenlijke inkoop), maar ook het gezamenlijk ontwikkelen en demonstreren (bundeling van innovatiekracht) zodat de implementatie en opschaling van waterstof versneld kan worden is er onderdeel van;
- Eigenaarschap creëren voor overkoepelende thema's waar alle sectoren baat bij kunnen hebben, zoals institutionele aspecten die te maken hebben met veiligheid, maatschappelijke acceptatie, digitalisering, de *human capital* agenda en beleidsaspecten;
- In gezamenlijkheid, o.a. in samenwerking met de regio's, internationaal een sterk beeld neerzetten van Nederland als interessante 'proeftuin' en locatie voor activiteiten gerelateerd aan de ontwikkeling van waterstof als een van de centrale energiedragers in het energiesysteem, inclusief etaleren van onze kennispositie en bedrijvigheid op dit terrein.

Het resultaat is een programmatische aanpak voor waterstof die een effectief en kostenefficiënt traject schetst voor het benodigde onderzoek, demonstratie, implementatie en opschaling van waterstof in diverse sectoren in 2030 en 2050. Het programma biedt een meerjarige aanpak voor de komende jaren met als centraal doel om de implementatie van waterstof richting 2030 te versnellen, de benodigde opschaling te bereiken en de innovatieopgaven voor de korte (periode tot 2025), middellange (tot 2030) en lange termijn (tot 2050) te benoemen en tot uitvoering te brengen.

---

5 Waterstof komt in verschillende MMIP's terug, zoals in 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 13.

## 1.3 Aanpak

De Topsector Energie heeft in maart 2018 een Routekaart Waterstof uitgebracht.<sup>6</sup> Dit was een gezamenlijke actie van de ministeries van EZK en I&W in samenwerking met een grote groep stakeholders afkomstig van de industrie/bedrijven, kennisinstellingen, overheden en maatschappelijke organisaties. In de routekaart zijn eerste innovatiebehoeften geïnventariseerd voor de thema's kracht en licht, lage-temperatuur warmte, hoge-temperatuur warmte, en mobiliteit en transport. De programmatische aanpak voor waterstof (MPAW) maakt de slag van deze routekaart naar de IKIA en het Klimaatakkoord.

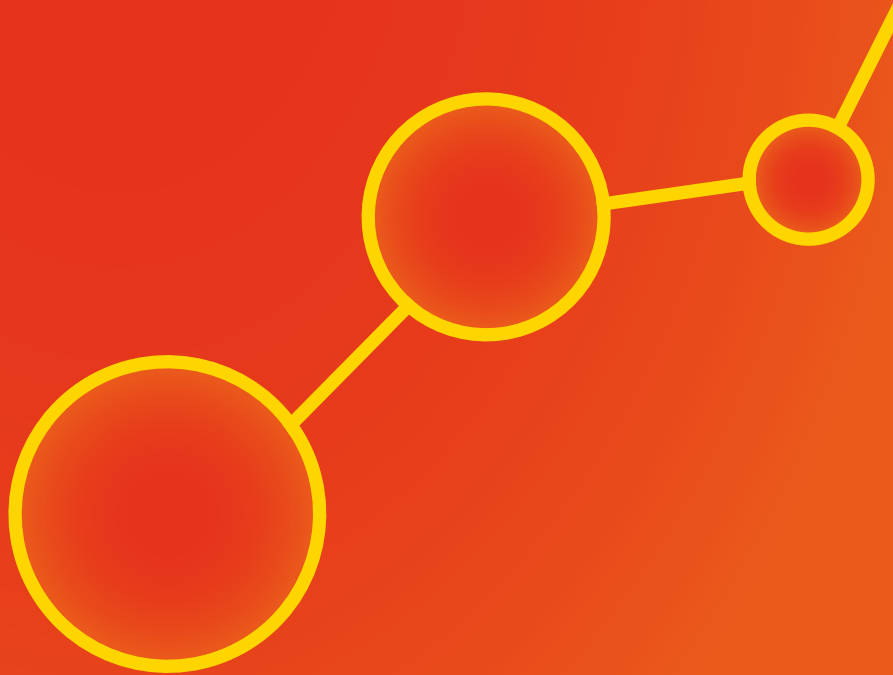
Voor het samenstellen van de MPAW is een kernteam ingesteld (zie bijlage E voor de samenstelling) dat verantwoordelijk was voor het eindresultaat en het proces dat als volgt was ingericht:

- Het kernteam heeft enkele consultatiedocumenten opgesteld die als basis dienden voor gesprekken en workshops met stakeholders;
- Er hebben 'aanbiedrondes' plaatsgevonden vanuit het kernteam waarbij de innovatiebehoeften zijn aangeboden aan o.a. de MMIP-teams die in een eerder stadium onder de waterstof-community zijn geïnventariseerd;
- Er hebben 'ophaalrondes' plaatsgevonden die vanuit het kernteam zijn georganiseerd voor de verschillende MMIP-uitwerkteams om hun innovatiebehoeften op te halen en te verwerken in het programma;
- Het kernteam heeft generieke workshops rond specifieke thema's georganiseerd om input af te stemmen, zoals het H2Platform over mobiliteit en transport, en met de industrie (via MMIP 8);
- Er heeft een brede consultatieworkshop plaatsgevonden (juli 2019) om het eindconcept te bespreken en prioriteiten te stellen. Alle documentatie is ook via de website van de Topsector Energie voor consultatie aangeboden om een groot bereik te realiseren;
- In september 2019 heeft nogmaals een open, brede consultatie via mail en de website van de TSE plaatsgevonden onder de waterstof-community.

Alle documenten die in dit kader zijn geschreven, zijn steeds openbaar en beschikbaar geweest voor alle stakeholders. De inrichting van het proces heeft ervoor gezorgd dat iedereen actief heeft kunnen bijdragen waardoor de programmatische aanpak een breed draagvlak heeft.

---

6 Routekaart Waterstof: [www.topsectorenergie.nl](http://www.topsectorenergie.nl), TKI Nieuw Gas, zoekterm 'routekaart waterstof'





# Hoofdstuk 2

## 2 | Waterstof: robuust element in de energietransitie

### 2.1 Maatschappelijke opgaven zijn leidend

Om grote klimaatverandering met negatieve impact als gevolg van opwarming van de aarde zoveel mogelijk te kunnen beperken, is drastische reductie van de uitstoot van broeikasgassen op korte termijn nodig. Dit vergt grote aanpassingen en veranderingen in de energievoorziening en het gebruik van fossiele grondstoffen voor de chemische industrie. Naast deze klimaatopgave zijn er andere maatschappelijke opgaven die hier nauw mee samenhangen; enerzijds vanuit oogpunt van leefbaarheid, anderzijds vanwege de ingrijpende veranderingen die de klimaatopgave vergt. Deze opgaven hebben te maken met onder meer:

- een schone leefomgeving, waarbij emissies naar lucht, bodem en water minimaal zijn;
- een veilige leefomgeving met minimale risico's verbonden met het gebruik van energie en grondstoffen;
- een hoog niveau van ruimtelijke kwaliteit met minimale impact op de omgeving;
- een inclusieve energietransitie met behoud van hoogwaardige werkgelegenheid en verdienvermogen binnen onze economie, inclusief een goed opgeleide beroepsbevolking.

Vertaald naar de directe leefomgeving zijn er vier belangrijke sectoren waar deze maatschappelijke opgaven zich manifesteren:

- de industrie, die schoon en veilig moet produceren tegen zo laag mogelijke emissies en tegelijkertijd bijdraagt aan maatschappelijke welvaart;
- de gebouwde omgeving, die leefbaar moet zijn met minimale emissies tegen acceptabele kosten;
- de energiesector, zoals de elektriciteitsproductie die duurzaam, betrouwbaar (inclusief flexibel) en betaalbaar moet zijn, en de conversie van primaire naar secundaire energiedragers, zoals raffinaderijen, die klimaatneutraal moet worden;
- mobiliteit en transport, die schoon, stil en zuinig dient te zijn maar bij voorkeur geen beperkingen oplegt aan de bewegingsvrijheid.

Samen vormen deze sectoren het 'systeem' waarbinnen waterstof een rol kan spelen.

## 2.2 Blijvende behoefte aan moleculen in een duurzaam systeem

Reductie van de energievraag, gebruik van energie van hernieuwbare bronnen en elektrificatie vormen belangrijke ingrediënten om de emissiereductiedoelen te kunnen bereiken. Maar naast een hoge mate van elektrificatie zal er in een duurzame energievoorziening ook een blijvende en aanzienlijke behoefte zijn aan vloeibare en gasvormige energiedragers. Schattingen voor het aandeel van deze blijvende behoefte aan moleculen lopen uiteen, maar liggen in de ordegrootte 40-60% in 2050 (nu ca. 80%).

Vloeibare en gasvormige energiedragers blijven nodig als brandstoffen voor toepassingen waar elektriciteit (eventueel opgeslagen in batterijen) niet toereikend of inefficiënt is. Hierbij kan onder andere worden gedacht aan brandstof voor de luchtvaart en scheepvaart, wegverkeer met zware, energie-intensieve en veeleisende inzetpatronen, en productie van hoge-temperatuur warmte in diverse industriële processen. Daarnaast blijven moleculen nodig in de procesindustrie voor synthese van chemische producten en materialen. Waterstof is al een belangrijk basiselement in de chemische industrie en zal naar verwachting steeds belangrijker worden; op termijn moeten immers alle chemische producten en materialen die nu worden geproduceerd op basis van fossiele koolwaterstoffen (steenkool, aardolie en aardgas) worden vervangen door duurzame en/of circulaire varianten. Tot slot zijn vloeibare en gasvormige energiedragers nodig voor grootschalige opslag en transport van energie om vraag en aanbod van energie overal en altijd met elkaar in evenwicht te kunnen brengen.

## 2.3 Rollen van duurzame waterstof

Om voor de aanzienlijke behoefte aan vloeibare en gasvormige energiedragers niet alleen afhankelijk te zijn van de schaarse, alternatieve bron duurzame biomassa, is het cruciaal om voor deze opgave ook gebruik te kunnen maken van de ruim beschikbare hernieuwbare energiebronnen zon en wind. Dit is onder meer mogelijk door de productie van waterstof uit water via elektrolyse met behulp van duurzame elektriciteit afkomstig van zon en wind. Hierbij wordt elektrische energie die is opgewekt met zonne- en windenergie omgezet in chemische energie die in waterstof is vastgelegd.

Deze waterstof kan direct worden ingezet als brandstof voor de vervanging van aardgas (productie van warmte voor verwarming of elektriciteit in gascentrales) of voor de productie van elektriciteit aan boord van brandstofcel-elektrische apparaten en voertuigen. Indirecte inzet vindt plaats door waterstof te gebruiken in combinatie met duurzame vormen van koolstof voor de productie van synthetische vloeibare brandstoffen en chemicaliën, zoals vervangers van fossiele kerosine. En waterstof vormt met koolstof en stikstof de basis voor vrijwel alle chemische producten en materialen.

Waterstof levert dus niet alleen de mogelijkheid om duurzame elektriciteit van zon en wind grootschalig op te slaan en het weer te gebruiken voor elektriciteitsproductie in periodes met onvoldoende aanbod uit zon en wind, of voor *off-grid* elektriciteitstoepassingen zoals elektrisch aangedreven voertuigen. Het biedt de mogelijkheid om zonne- en windenergie ook



te gebruiken voor de verduurzaming van het moleculen-deel van het energiesysteem en de grondstoffen voor de chemische industrie. Daarmee kan veel grootschaliger gebruik worden gemaakt van zonne- en windenergie dan wanneer deze bronnen alleen worden aangewend voor verduurzaming van de productie van elektriciteit. De mogelijkheid die waterstof biedt voor grootschalige opslag van energie zorgt voor een belangrijke mate van ontkoppeling tussen de vraag naar energie en het variabele aanbod daarvan uit zon en wind. Bijkomend voordeel van waterstof, en energiedragers op basis van waterstof zoals methaan, ammoniak en methanol, is dat het relatief eenvoudig in grote hoeveelheden en over grote afstanden te transporteren is via pijpleidingen en tankers. Daardoor wordt het ook mogelijk om duurzame energie te importeren uit veraf gelegen gebieden met grote potentiëlen en gunstigere condities voor de productie van duurzame elektriciteit tegen lagere kosten dan bijvoorbeeld in Nederland.

Met de mogelijkheden voor opslag, de transporteerbaarheid, de uitwisselbaarheid met elektriciteit en de brede mogelijkheden voor toepassing, is waterstof een grote bron van flexibiliteit voor het energiesysteem op centraal en decentraal niveau. De regelbaarheid van elektrolyzers voor de productie van waterstof biedt daarbij een belangrijke mate van flexibiliteit (regelbaar vermogen voor positieve en negatieve *demand response*) om het variabele aanbod van elektriciteit uit zon en wind gecontroleerd in te kunnen passen, en de stabiliteit van het elektriciteitssysteem te ondersteunen. Alles bij elkaar bieden deze componenten uitzicht op een duurzaam energiesysteem dat in de toekomst in belangrijke mate kan worden gebaseerd op zon, wind en water. Een alternatief is de directe productie van waterstof met behulp van zonne-energie, dus zonder tussenkomst van elektriciteit. Deze optie heeft als beperking dat het geen bijdrage levert aan invulling van de flexibiliteitsbehoefte in het elektriciteitssysteem,<sup>7</sup> maar het draagt wel bij aan flexibiliteit van het energiesysteem.

Waterstof heeft dus een belangrijke toegevoegde waarde voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie, als klimaatneutrale brandstof en grondstof en voor systeemoplossingen als flexibiliteit, transport en opslag. Deze rollen worden breed erkend, zoals uit diverse publicaties van de Hydrogen Council, het IEA, de Europese Commissie en studies van Gasunie en TenneT blijkt.<sup>8</sup> Figuur 1 is een goede illustratie van deze functies.

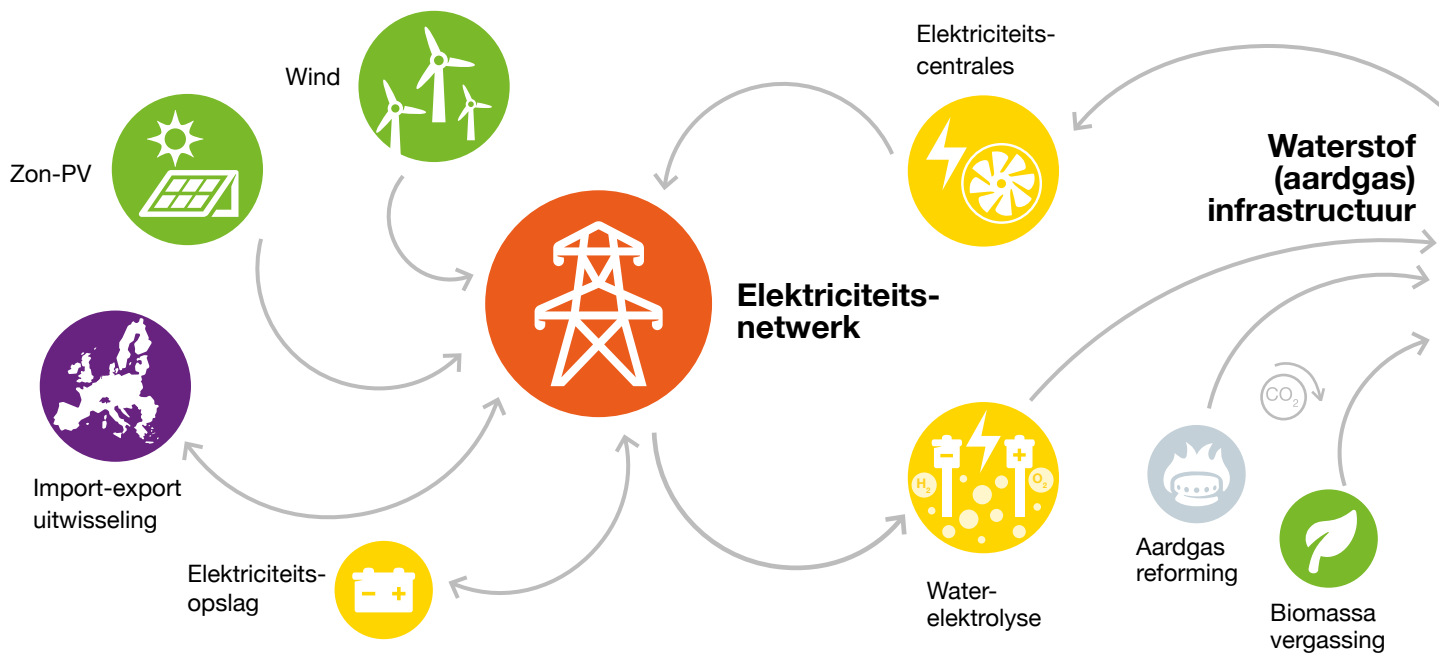
---

7 In zekere zin reduceert deze optie de mogelijkheden voor elektrolyse als bron van flexibiliteit voor het elektriciteitssysteem (er is minder ruimte voor productie van waterstof via elektrolyse).

8 Voorbeelden van goede rapporten zijn: [ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final\\_draft\\_asset\\_study\\_12.05.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final_draft_asset_study_12.05.pdf); [ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_analysis\\_in\\_support\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf); [www.iea.org/hydrogen2019/](https://www.iea.org/hydrogen2019/); [http://hydrogencouncil.com/study-how-hydrogen-empowers/](https://hydrogencouncil.com/study-how-hydrogen-empowers/); [www.klimaatkoord.nl/documenten/publicaties/2019/02/22/tennet-gasunie-infrastructuur-outlook-2050](https://www.klimaatkoord.nl/documenten/publicaties/2019/02/22/tennet-gasunie-infrastructuur-outlook-2050)

**Figuur 1 | Schematische weergave van de functies die waterstof kan vervullen**

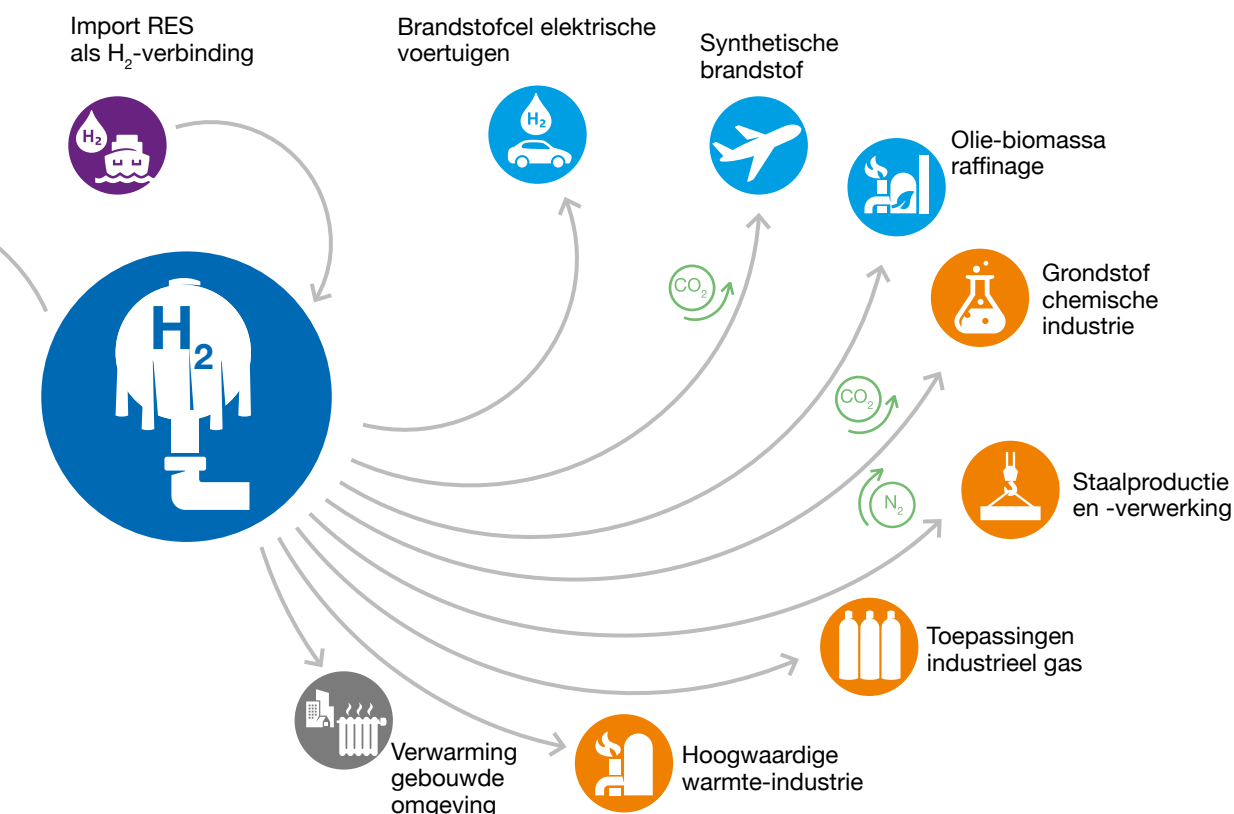
(bron: Routekaart Waterstof).



## 2.4 Transitie en de rol van groene en blauwe waterstof<sup>9</sup>

De productie van groene of duurzame waterstof uit water via elektrolyse staat of valt met de beschikbaarheid van duurzame elektriciteit. De uitbouw van het vermogen aan duurzame elektriciteit kost tijd en ondanks gestage groei zal er naar verwachting op korte termijn onvoldoende duurzame elektriciteit beschikbaar komen om van duurzame waterstof een grote bijdrage te kunnen verwachten aan het halen van de doelen voor emissiereductie van broeikasgassen in 2030. De mogelijkheden van groene waterstof kunnen wellicht wel bijdragen aan een versnelling van de uitrol van wind op zee rond 2030 omdat de benutting van de elektriciteit via waterstof niet of veel minder afhankelijk is van de uitbreiding van de transmissiecapaciteit van het hoogspanningsnet op land. Conversie naar waterstof kan plaatsvinden bij aanlanding aan de kust en op termijn zelfs op zee, gecombineerd met het transport van waterstof via bestaande of nieuwe pijpleidingen waardoor de transport- en systeemkosten kunnen worden gereduceerd.

<sup>9</sup> Definities: Groene waterstof is waterstof opgewekt met hernieuwbare elektriciteit of uit duurzame biomassa. Blauwe waterstof is waterstof opgewekt met fossiele brandstoffen waarbij CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en hergebruikt of opgeslagen. Grijs waterstof is waterstof van fossiele oorsprong zonder afvang en hergebruik of opslag van CO<sub>2</sub>.



Blauwe waterstof is te gebruiken als opstap naar groene waterstof. De vergaande emissiereductie die al nodig is voor 2030 lijkt lastig te realiseren zonder gebruik te maken van afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS). Daarbij ligt er een keuze tussen *end-of-pipe post-combustion* CCS (het afvangen van CO<sub>2</sub> na inzet van fossiele energie) en brongerichte *pre-combustion* CCS. Bij deze laatste vorm vindt decarbonisatie van fossiele energiedragers plaats voordat deze worden ingezet voor energiedoeleinden; na decarbonisatie blijft blauwe waterstof over. Daarmee is deze vorm 'toekomstgericht' dan post-combustion CCS. Er kan relatief snel een grote emissiereductie worden bereikt, terwijl het er tegelijkertijd toe leidt dat delen van het energiesysteem 'alvast' aangepast worden voor de grootschalige inzet van waterstof. Hiermee kan een vliegende start gemaakt worden met de transitie naar het eindbeeld groene, duurzame waterstof.

Overigens is het goed om op te merken dat er verschillend wordt gedacht over de inzet van blauwe waterstof als wegbereider voor groene waterstof. Sommige stakeholders zijn van mening dat het mogelijk is om relatief snel (voor 2030) over grote hoeveelheden groene waterstof te kunnen beschikken door de bijbehorende technologie snel op te schalen of grote hoeveelheden groene waterstof te importeren waardoor blauwe waterstof overbodig is.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Ter oriëntatie: 1 GW wind op zee levert een hoeveelheid elektriciteit waarmee ordegrrootte 10 PJ waterstof kan worden geproduceerd. In Nederland wordt ongeveer 100 PJ waterstof ingezet in de industrie. Voor 2030 wordt op het ogenblik voorzien dat er 11,5 GW wind op zee zal zijn.

Anderen vinden toepassing van CCS-technologie een *lock-in* van fossiele energiedragers in de energietransitie die onnodig veel geld kost. Het is niet de bedoeling om deze discussie hier te slechten, wel om de innovatiebehoeften te benoemen.<sup>11</sup> Voor de afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> wordt de innovatiebehoefte niet in de Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof behandeld; daarvoor wordt verwezen naar de innovatieagenda voor CCS<sup>12</sup> (onder MMIP 6 van de sectortafel industrie). Bij de prioritering van de innovatieactiviteiten in de komende jaren moet nadrukkelijk rekening worden gehouden met (maatschappelijke) discussies over deze blauwe route en de innovatievragen die dit oproept, evenals de bereidheid van stakeholders om op dit terrein te innoveren en te investeren.

### Productie van grijze, blauwe en groene waterstof

De productie van waterstof op basis van aardgas voor industriële, non-energetische toepassingen is een standaard, grootschalig en vergaand geoptimaliseerd proces. Voor deze toepassing ligt de uitdaging bij decarbonisatie van de huidige productie, en vervanging van de huidige productie door groene waterstof. Decarbonisatie kan plaatsvinden door afvang van CO<sub>2</sub> dat daarna ondergronds wordt opgeslagen (CCS). CO<sub>2</sub>-afvang (zonder opslag) is ook een standaardproces dat al grootschalig in de industrie wordt toegepast op plekken waar behoefte is aan geconcentreerde CO<sub>2</sub>-stromen, zoals voor de productie van ureum en van koolzuur voor frisdranken. De kosten hiervan worden doorberekend in de kosten van producten. Bij energetische inzet van aardgas leidt CO<sub>2</sub>-afvang echter tot hogere kosten in vergelijking met de situatie zonder CO<sub>2</sub>-afvang. Om dit zo veel mogelijk te kunnen beperken is er behoefte aan optimalisatie van bestaande, en ontwikkeling van nieuwe, efficiëntere en goedkopere CO<sub>2</sub>-afvangprocessen.

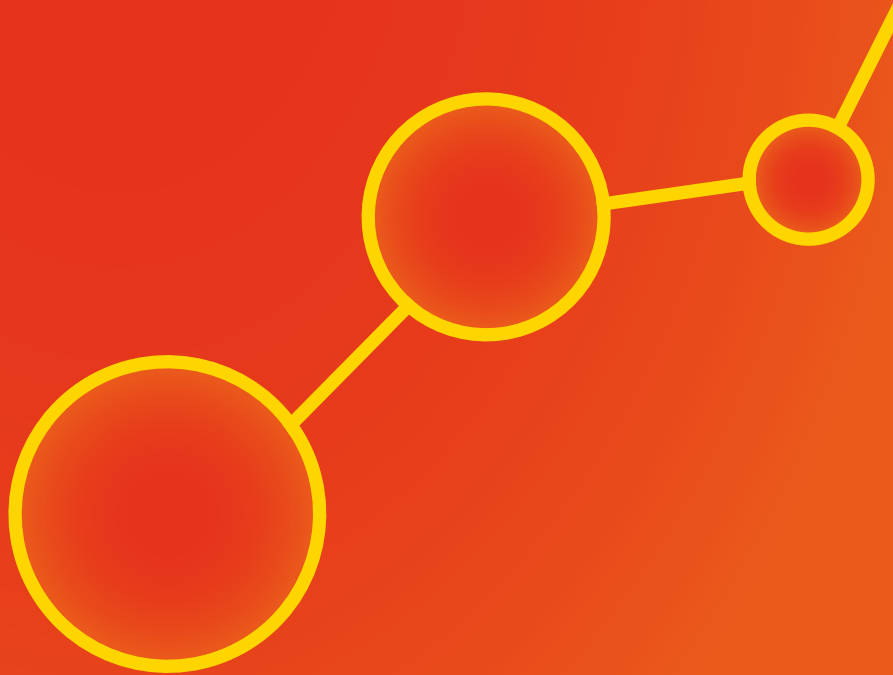
Onderzoek naar CO<sub>2</sub>-afvang wordt behandeld als CCS-onderwerp. Dit omvat aandacht voor zowel *post-combustion*, *oxy-fuel*, als *pre-combustion* afvangconcepten. Afvang bij de productie van waterstof is in feite een *pre-combustion* proces. Aardgas wordt dan eerst van koolstof ontdaan voordat het als waterstof wordt gebruikt. Dit kan non-energetisch als industrieel gas en voor chemische conversies (huidige situatie) of energetisch voor *combustion*.<sup>13</sup> In dat laatste geval wordt er gesproken van blauwe waterstof.

Voor de productie van duurzame waterstof is er een aantal alternatieven. Elektrolyse van water met behulp van duurzame elektriciteit is de voornaamste optie. Andere opties zijn *reforming* van biogas of groen gas, vergassing van duurzame biomassa en afval, en superkritische watervergassing van biomassa-reststromen. In al deze laatste gevallen speelt naast waterstof ook (duurzame) koolstof een rol. Vanwege de te verwachten toekomstige vraag naar duurzame koolstof voor chemische producten en materialen en voor duurzame synthetische vloeibare brandstoffen, is biomassa waarschijnlijk relevanter voor de productie van duurzaam syngas dan voor productie van waterstof alleen. De focus voor waterstofproductie ligt daarom in de MPAW (vooralsnog) bij elektrolyse.

11 In dit kader wordt naar de 'CCS Fact Finding-studie' verwezen die ten behoeve van de discussie in het klimaatakkoord is opgesteld door een aparte werkgroep. De notitie is te vinden op [www.klimaatakkoord.nl](http://www.klimaatakkoord.nl).

12 In dit programma wordt ook aandacht besteed aan *Direct Air Capture*, de directe winning van CO<sub>2</sub> uit de lucht, dus niet opgevangen vanuit een chemisch proces.

13 Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen thermochemische conversie van waterstof met zuurstof via branders voor productie van hoge of lage temperatuur warmte, elektriciteit, of een combinatie daarvan (wkk), en elektrochemische conversie van waterstof met zuurstof in brandstofcellen waarbij elektriciteit het primaire product is.





# Hoofdstuk 3

## 3 | Beschouwing van het innovatiesysteem van waterstof

Waterstof staat sinds enkele jaren (opnieuw) in de belangstelling. Een belangrijk verschil met voorgaande perioden waarin er aandacht was voor waterstof, is dat deze nu niet beperkt blijft tot de toepassing als brandstof voor brandstofcel-elektrische voertuigen. De aandacht richt zich nu op de veel bredere systeemrol die waterstof kan vervullen in het energiesysteem als flexibel opslag- en transportmedium voor variabel aanbod van elektriciteit van hernieuwbare energiebronnen (met name wind en zon) met een grote diversiteit aan energetische en non-energetische toepassingen (zie Figuur 1) die niet of lastig zijn te elektrificeren.

Het innovatiesysteem voor waterstof is sterk in ontwikkeling en vanwege de verschillende rollen voor waterstof is die ontwikkeling veel breder dan in het verleden. Er zijn meerdere consortia bezig om zich te organiseren en om plannen te ontwikkelen om waterstof in mobiliteit en transport, industrie en gebouwde omgeving te introduceren, met een verschillende mate van concreetheid (rijp en groen door elkaar).<sup>14</sup> Een recente inventarisatie in opdracht van RVO/EZK en FME naar de maakindustrie in Nederland op het gebied van waterstof en de mogelijkheden om deze te versterken, bracht aan het licht dat meer dan 250 bedrijven en organisaties waterstofactiviteiten ontplooiën en dat er goede economische kansen voor deze partijen zijn.<sup>15</sup> Ook zijn er veel regionale plannen gemaakt, zoals in Noord-Nederland, Zuid-Holland, Limburg, Gelderland, de Noordzeekanaalzone en de Zeeuwse Delta (SDR), waarin beschreven wordt welke rol waterstof in de toekomst kan spelen. In de innovatietenders die op verzoek van de Topsector Energie op het gebied van waterstof door RVO zijn uitgevoerd, zijn veel verschillende partijen bezig om gezamenlijk te innoveren. Wat opvalt is dat zich een breed scala aan actoren aansluit 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. Dat zich in relatief korte tijd een brede groep aan belangstellenden heeft gevormd, die bereid is om actief mee te doen, is nog 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.

Alle consortia lopen tegen (innovatie)opgaven aan die geslecht moeten worden om waterstof succesvol te kunnen toepassen. Om deze opgaven goed te kunnen duiden, wordt er in de MPAW voor gekozen om de keten van productie tot en met eindtoepassing als raamwerk te nemen. In Figuur 2 is een schematisch overzicht weergegeven, inclusief de doelen waarvoor waterstof kan worden ingezet.

<sup>14</sup> Een inmiddels deels verouderde Inventarisatie Waterstofinitiatieven (stand december 2017) is te vinden op: [www.topsectorenergie.nl](http://www.topsectorenergie.nl), TKI Nieuw Gas, zoekterm 'routekaart waterstof'.

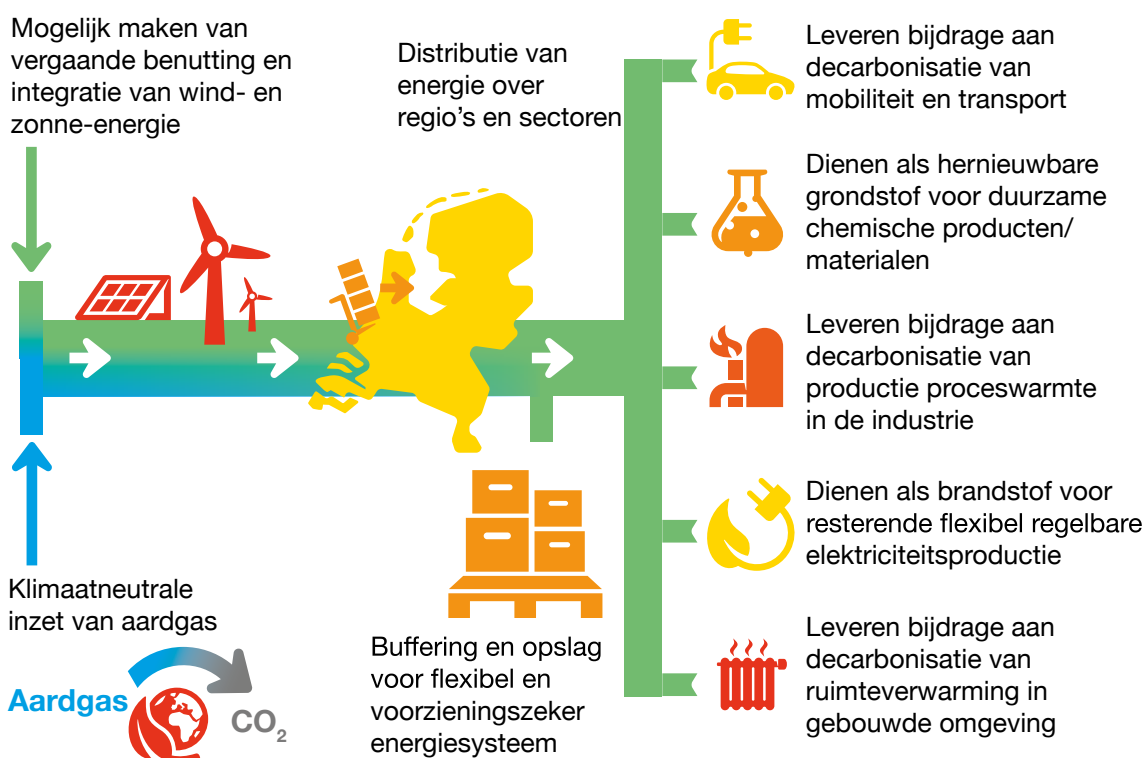
<sup>15</sup> Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie (Perspectief voor duurzame groei door waterstof). Rapport van Ekinetix en Stratelligence in opdracht van RVO/EZK. Publicatie najaar 2019.

In de waterstofketen onderscheiden we de volgende onderdelen:

- Productie van waterstof: de productie van groene en blauwe waterstof vallen hieronder, via verschillende processen zoals elektrolyse van water en reforming (SMR, ATR, pyrolyse van aardgas etc.) en vergassing van fossiele en op biomassa gebaseerde koolwaterstoffen.
- Opslag, transport en distributie van waterstof, zoals grootschalige ondergrondse opslag in gasvelden, cavernes en aquifers, alsmede kleinschalige opslag in tanks en cilinders, bijvoorbeeld bij vulpunten van waterstof, en het transport van waterstof via (aardgas)leidingen, in schepen, over het spoor en over de weg, als gecomprimeerd gasvormig waterstof, als vloeibaar waterstof, of waterstof gebonden aan een drager.
- Toepassingen: hier gaat het om toepassing van waterstof als energiedrager (brandstof) voor de productie van proceswarmte in de industrie, voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving, voor productie van elektriciteit aan boord van brandstofcel-elektrische voertuigen in mobiliteit en transport, en voor de productie van elektriciteit in flexibele, regelbare gascentrales of in stationaire of mobiele productie-eenheden op basis van brandstofcellen of *dedicated* waterstofverbrandingsmotoren. Waterstof kan ook worden ingezet als grondstof voor de productie van brandstoffen en chemicaliën; de processen hiervoor zoals methanolsynthese en Fisher-Tropsch-synthese vallen buiten het waterstofprogramma en zijn onderdeel van MMIP 6 (Sluiting van industriële ketens) en 8 (Elektrificatie en radicaal vernieuwende processen).

Deze ketens kennen ook overkoepelende thema's die geadresseerd moeten worden, zoals veiligheid, waterstofkwaliteit, import etc. Deze thema's worden meegenomen in de programmatische aanpak.

**Figuur 2 | Schematische weergave van de waterstofketen(s) van productie, via transport en distributie, naar toepassing voor diverse doeleinden** (bron: Routekaart Waterstof, 2018).





**Tabel 2 | Relaties tussen de innovatieketen van waterstof en de MMIP's van de IKIA.**

Onderwerp in de innovatieketen	Relatie met MMIP
Productie van blauwe en groene waterstof	MMIP 1 Duurzame elektriciteitsopwekking op zee MMIP 6 Circulariteit, incl. CCS MMIP 8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen
Buffering, transport, distributie en (seizoen)opslag voor een flexibel en voorzieningszeker energiesysteem	MMIP 1 Duurzame elektriciteitsopwekking op zee MMIP 2 Duurzame elektriciteitsopwekking op land MMIP 5 Energiesysteem gebouwde omgeving in evenwicht MMIP 13 Robuust en geïntegreerd energiesysteem
Decarbonisatie van mobiliteit en transport	MMIP 9 Aandrijving en energiedragers in mobiliteit
Hernieuwbare grondstof voor chemie	MMIP 6 Circulariteit MMIP 8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen
Verduurzaming warmteproductie industrie	MMIP 7 CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem
Regelbare flexibele elektriciteitsproductie	MMIP 13 Robuust en geïntegreerd energiesysteem
Verduurzaming verwarming gebouwde omgeving	MMIP 4 Duurzame warmte/koude in de gebouwde omgeving MMIP 5 Energiesysteem gebouwde omgeving in evenwicht

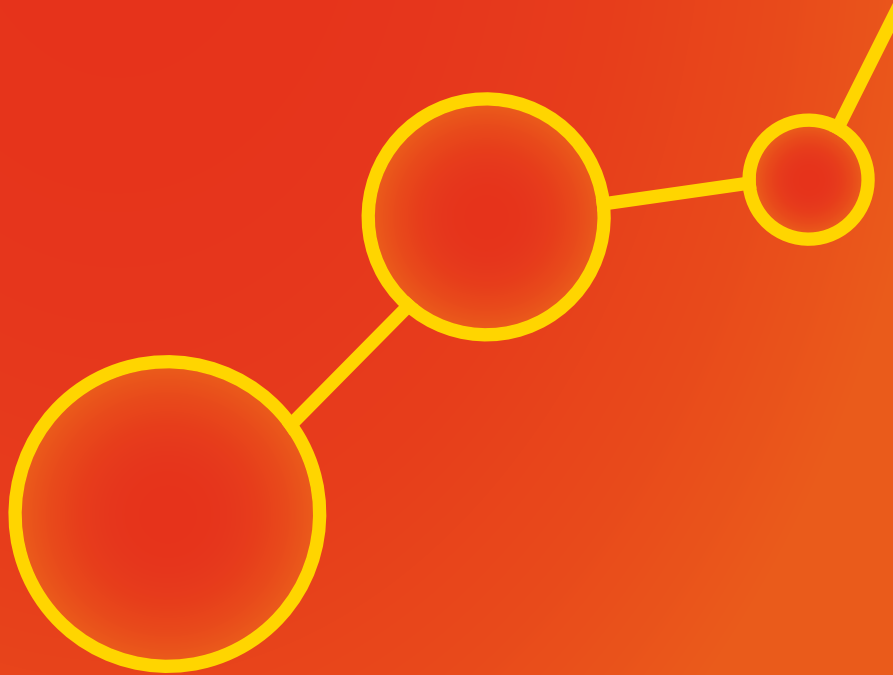
De programmatisch aanpak voor waterstof streeft ernaar om als verbinder tussen de voor waterstof relevante MMIP's van de IKIA op te treden om gezamenlijk, doelgericht en efficiënt te kunnen innoveren. Het vervult de rol van 'satéprikkers' voor waterstof door alle MMIP's heen en voegt deze samen tot een integrale programmatische aanpak. De relatie tussen de waterstofketens van Figuur 2 en de verschillende MMIP's is globaal weergegeven in tabel 2. De tabel geeft aan welke onderwerpen het waterstofprogramma dient te adresseren 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 3 kort benoemd, in de uitwerkingen van de verschillende MMIP's zijn uitgebreide beschrijvingen te vinden.

**Tabel 3 | Indicatief overzicht van raakvlakken van de MPAW met andere topsectoren.**

<b>Thema waterstof:</b>	<b>Samenwerking met:</b>	<b>Onderwerpen:</b>
In de chemische industrie (MMIP 6-8)	TS Chemie TS Agro & Food TS HTSM	Rol waterstof in circulariteit Rol waterstof in circulariteit, biologische productie Materialenonderzoek i.r.t. waterstof
In de gebouwde omgeving (MMIP 4)	TS Creatieve Industrie	Maatschappelijke inbedding, consumentengedrag etc.
In mobiliteit en transport (MMIP 9-10)	TS Logistiek TS Water TS HTSM	Toepassing in transport en vervoer, plaatsing vulpunten, materialenonderzoek
In de maakindustrie	TS HTSM	Nieuwe materialen t.b.v. productie (elektrolyse) en toepassing (brandstofcellen)

De 'governance' inzake de uitvoering van de IKIA en de coördinatie van de MPAW wordt op missieniveau belegd, ofwel per sector uit het Klimaatakkoord. Hierbinnen is waterstof een zogenaamd 'gedeeld thema' waar vrijwel alle missies bij betrokken zijn. Dit zal in de governance tot uiting komen via een sterke verbinding met elk van de missies. Dat doet ook recht aan het integrale karakter van de programmatische aanpak. De invulling van de governance van de MPAW wordt in de komende maanden geconcretiseerd.





# Hoofdstuk 4

# 4 | Innovatiebehoefte voor waterstof

## 4.1 Doel en bijdrage van het programma

Dit hoofdstuk beschrijft de innovatieopgaven voor waterstof over de hele keten van productie, opslag, transport en distributie tot en met eindgebruik, inclusief de systeemfunctie van waterstof:

- Bij productie worden groene waterstof (via o.a. elektrolyse) en blauwe waterstof behandeld.
- Opslag, transport en distributie omvatten een grote diversiteit aan onderwerpen gerelateerd aan alle elementen die onderdeel uitmaken van een opslag- en pijpleidinginfrastructuur voor waterstof, alsook een infrastructuur voor distributie of aflevering van waterstof aan mobiliteit en transporttoepassingen. Hierbij wordt rekening gehouden met de verschillende vormen waarin waterstof getransporteerd, gedistribueerd en opgeslagen kan worden.
- Brandstofcellen, branders en gasturbines zijn de voornaamste technologieën voor eindgebruikstoepassingen en daar liggen innovatieopgaven in het ontwikkelen, implementeren en testen van systemen. Voor brandstofcellensystemen gaat het hierbij met name om concrete toepassingen zoals bussen, trucks en schepen.

Deze onderdelen worden op hoofdlijnen toegelicht; per onderdeel wordt geschetst waar de behoeften liggen met de bedoeling om een redelijk compleet beeld te verkrijgen op welke terreinen activiteiten zich zouden moeten richten (longlist). Vervolgens worden in hoofdstuk 6 de prioriteiten benoemd die in samenwerking met stakeholders zijn bepaald (shortlist).

Voor de Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof is de maatschappelijke uitdaging 'Energietransitie en duurzaamheid' zoals gedefinieerd in het topsectorenbeleid leidend. Deze maatschappelijke uitdaging is rechtstreeks aan het Klimaatakkoord gekoppeld. Daarom geeft de MPAW ook mede invulling aan de doelstellingen en ambities die voor 2030 (-49%) en 2050 (volledig klimaatneutraal en circulair) geformuleerd zijn.

De focus van de MPAW is om in de komende vijf tot tien jaar bij te dragen aan realisatie van het Klimaatakkoord door:

- in opschaalbare praktijkprojecten (pilots, demonstratie- en implementatieprojecten, opschaling) te demonstreren hoe waterstof in 2030 in de praktijk kan bijdragen aan realisatie van de doelen en op weg daarnaartoe opgeschaald kan worden in specifieke toepassingen;
- daarmee de maatschappij te laten zien wat waterstof is, om haar kennis te laten nemen van het thema en haar mee te krijgen (zien is geloven), en om te ontdekken welke wensen en eisen maatschappelijke actoren stellen aan deze innovaties;
- het creëren van gunstige omstandigheden voor implementatie en opschaling van waterstof door het wegnemen van knelpunten op technisch, economisch, maatschappelijk en institutioneel vlak;
- het ontwikkelen van kennis, producten en diensten die in de toekomst (2030 en 2050) nodig zijn om waterstof een robuuste bijdrage te laten leveren;

- het adresseren en oppakken van onderwerpen die overstijgend/doorsnijdend zijn en waarvoor een gezamenlijke aanpak synergievoordelen oplevert, zoals infrastructuur, import, opslag en veiligheid, inclusief visievorming voor de energietransitie en vragen die daaromtrent leven;
- ervoor te zorgen dat er zo effectief en efficiënt mogelijk in gezamenlijkheid wordt geïnnoveerd (samenwerken, informeren, realiseren, faciliteren) met het oog op de schaarse middelen en de behoefte om de energietransitie daadwerkelijk te realiseren.

De programmatische aanpak beoogt een integrale innovatieagenda te formuleren die ondersteunend en aanvullend is aan de innovatieopgaven in de verschillende MMIP's. Om die functie zo goed mogelijk in te vullen, geeft het overzicht in tabel 4 weer wat de relatie is met de verschillende innovatieopgaven die er op hoofdlijnen per MMIP liggen. Hierbij wordt alleen de functie toegelicht, een uitgebreide toelichting en achterliggende thema's is te vinden in de uitwerking van de innovatieketens voor waterstof.

**Tabel 4 | Relatie tussen de MPAW en de uitdagingen in diverse MMIP's van de IKIA.**

MMIP	Wisselwerking tussen de MPAW en de MMIP's
1. Duurzame elektriciteitsproductie offshore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibiliteit om vraag en aanbod te matchen via inzet van elektrolyzers</li> <li>• Alternatieve infrastructuur bieden (leidingen i.p.v. kabels)</li> <li>• Creatie van nieuwe markten (van elektronen naar moleculen)</li> <li>• Buffering en opslag om vraag en aanbod continu te kunnen matchen en om periodes zonder duurzame productie te kunnen overbruggen (lange termijn richting 2040 – 2050)</li> </ul>
2. Duurzame elektriciteitsproductie op land	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibiliteit om vraag en aanbod te matchen via inzet van elektrolyzers</li> <li>• Buffering en opslag om vraag en aanbod continu te kunnen matchen en om periodes zonder variabele productie te kunnen overbruggen</li> </ul>
3. Energierenovaties in de gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen</li> </ul>
4. Warmte/koude in de gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productie van duurzame warmte/koude in de gebouwde omgeving</li> <li>• Mogelijkheden voor bijmengen (mogelijk al ruim voor 2030) en pure waterstof (vooral na 2030)</li> </ul>
5. Energie in de gebouwde omgeving in evenwicht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondersteunen van inpassing decentrale duurzame energie door ontlasten van knelpunten in het elektriciteitsnetwerk in combinatie met lokale/regionale waterstoftoepassingen (bijvoorbeeld bijmengen in het gasnet en vulpunten op tankstations)</li> </ul>
6. Circulariteit in de industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grondstof voor de productie van hernieuwbare/duurzame chemische producten en materialen</li> </ul>
7. Warmte in de industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productie van hoge-temperatuur warmte</li> </ul>
8. Elektrificatie van de industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grondstof voor een scala aan chemische producten</li> <li>• Grondstof voor transportbrandstoffen</li> </ul>
9. Aandrijving en energiedragers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inzet als transportbrandstof (direct in brandstofcellen en als basisbestanddeel voor de productie van synthetische brandstoffen)</li> </ul>

**Tabel 4 | Relatie tussen de MPAW en de uitdagingen in diverse MMIP's van de IKIA.**

MMIP	Wisselwerking tussen de MPAW en de MMIP's
10. Doelmatig vervoer	• Geen
11. Productie food / non-food	• Geen
12. Land en water	• Geen
13. Systeemintegratie	• Infrastructuurbehoeften, inclusief grootschalige opslag van energie • Marktmechanismen, modellen en data

Om de beschikbare innovatiemiddelen zo efficiënt mogelijk te kunnen inzetten, en om maximaal gebruik te maken van potentiële synergievoordelen, is het van belang dat goede keuzes worden gemaakt over waar de programmatische aanpak zich in de komende jaren op richt. Bij het bepalen van die keuzes (hoofdstuk 6) is het van belang om de volgende elementen in ogenschouw te nemen:

- A. *Opschalingsperspectief*: past de optie of de ontwikkeling in de visie over de toekomstige rol van waterstof en kan deze worden opgeschaald en betekenisvol worden voor realisatie van de energietransitie? Onderdeel hiervan zijn ook de mogelijkheden om innovaties relatief snel beschikbaar te hebben (welke TRL-niveaus kunnen doorlopen worden, zijn kosten snel genoeg te reduceren). Zie kader.
- B. *Timing*: op welke termijn is te verwachten dat de optie een betekenisvolle bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van waterstof en de energietransitie?
- C. *Innovatie-ecosysteem*: is er sprake van een brede groep stakeholders die betrokken is of belang heeft bij de ontwikkeling en bereid is om actief deel te nemen?
- D. *Huidige activiteit*: zijn/waren er reeds activiteiten op dit gebied, of zijn er op kortere termijn activiteiten te verwachten, gewenst of noodzakelijk om voortgang op dit onderwerp te kunnen boeken?
- E. *Economische positie*: heeft Nederland de kans om met betreffende ontwikkeling een economische positie te verwerven, bijvoorbeeld vanwege de huidige kennispositie, producten en diensten? Dit kan door Nederlandse maakindustrie te activeren en ondersteunen om capaciteit op te bouwen op het thema waterstof, of door internationale bedrijven te verleiden zich in Nederland te vestigen met waterstof-gerelateerde bedrijvigheid.
- F. *Internationale ontwikkeling en samenwerking*: worden de ontwikkelingen ook gestimuleerd in internationale programma's zoals FCH JU met budgetten waar Nederland gebruik van kan maken en vinden elders vergelijkbare activiteiten plaats waar gebruik van kan worden gemaakt of waarbij kan worden aangesloten om voldoende van te leren voor binnenlandse toepassing?

Bij deze elementen is geen indicator opgenomen voor de mate van CO<sub>2</sub>-, stikstof- en andere emissiereducties. De vooronderstelling is namelijk dat de inzet van waterstof als alternatief voor fossiele-koolstofhoudende energiedragers uiteindelijk tot volledige emissiereductie zal leiden, anders heeft de ontwikkeling van waterstof weinig nut.<sup>16</sup> Het einddoel is namelijk de

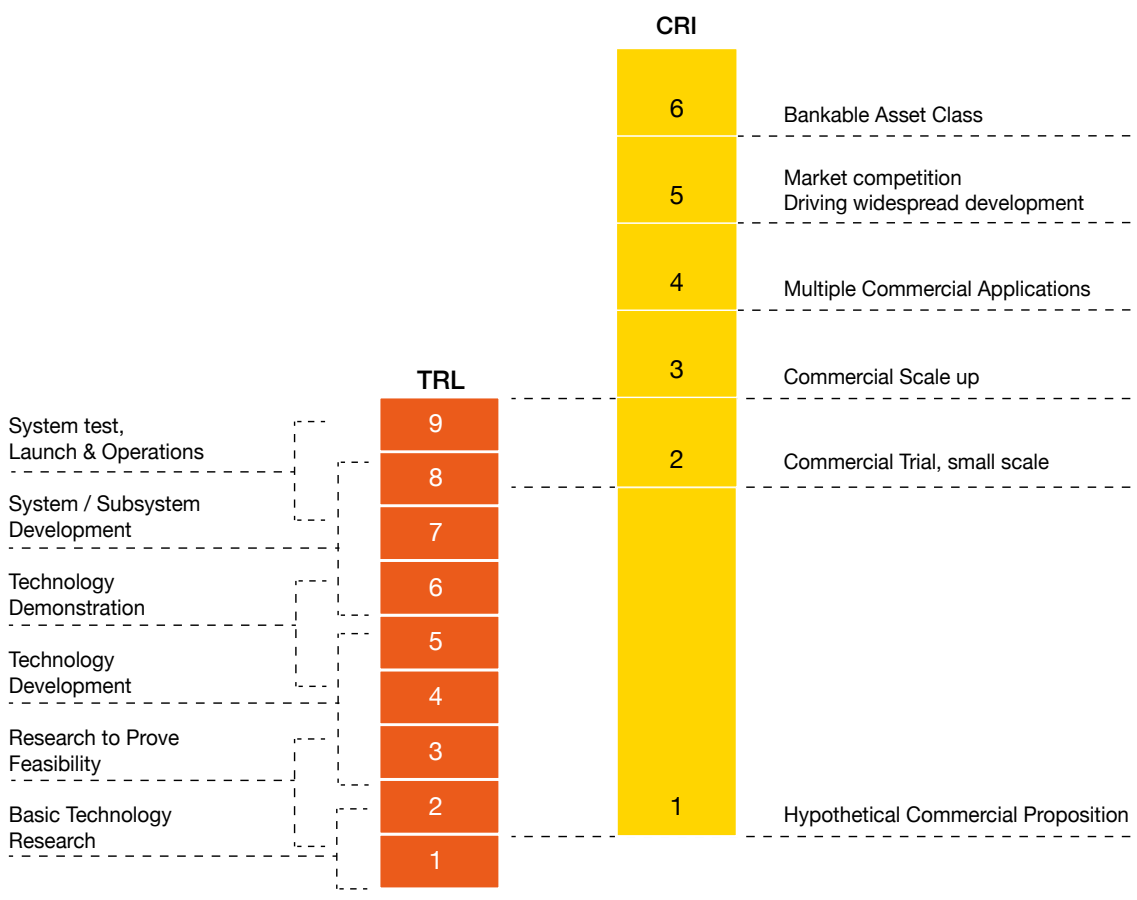
<sup>16</sup> Van bron tot eindgebruik bekeken reduceert de toepassing van waterstof niet in alle gevallen vanaf het eerste moment CO<sub>2</sub> en andere emissies omdat de emissiefactor van de elektriciteit die nodig is voor elektrolyse slechts geleidelijk daalt naarmate er meer hernieuwbare opwekkingscapaciteit van elektriciteit komt.

inzet van groene waterstof. Er worden in principe geen activiteiten op het gebied van fossiele waterstofproductie ondersteund. Voor de toepassing van waterstof is dit wel mogelijk vanwege het hiervoor geschetste perspectief van groene waterstof.

### Technological Readiness Levels en Commercial Readiness Index

Om de mate van ontwikkeling van een technologie aan te geven wordt vaak gebruik gemaakt van 'Technological Readiness Levels' (TRL's). TRL 1 staat voor technologie aan het begin van de ontwikkeling (fundamenteel onderzoek), TRL 9 voor technologie die technisch en commercieel gereed is. TRL 9 wil echter niet zeggen dat commercialisatie dan vanzelf gaat. Er is ook een 'Commercial Readiness Index' (CRI) ontwikkeld, die aangeeft in hoeverre de markt ontvankelijk is voor grootschalige toepassing van de technologie. Hier spelen met name ook omgevingsfactoren in het energiesysteem een belangrijke rol. Onderstaande figuur laat dit zien. De implicatie voor de MPAW is dat innovatie niet klaar is als TRL 9 is bereikt. Bij het doorlopen van de CRI-fasen, op weg naar volledig commerciële producten, is doorslaggevend voor investeringsbeslissingen in de markt hoe zich beleid en wet- en regelgeving ontwikkelen.

**Figuur 3 | Relatie tussen TRL en CRI (bron: Australian Renewable Energy Agency 2014).**

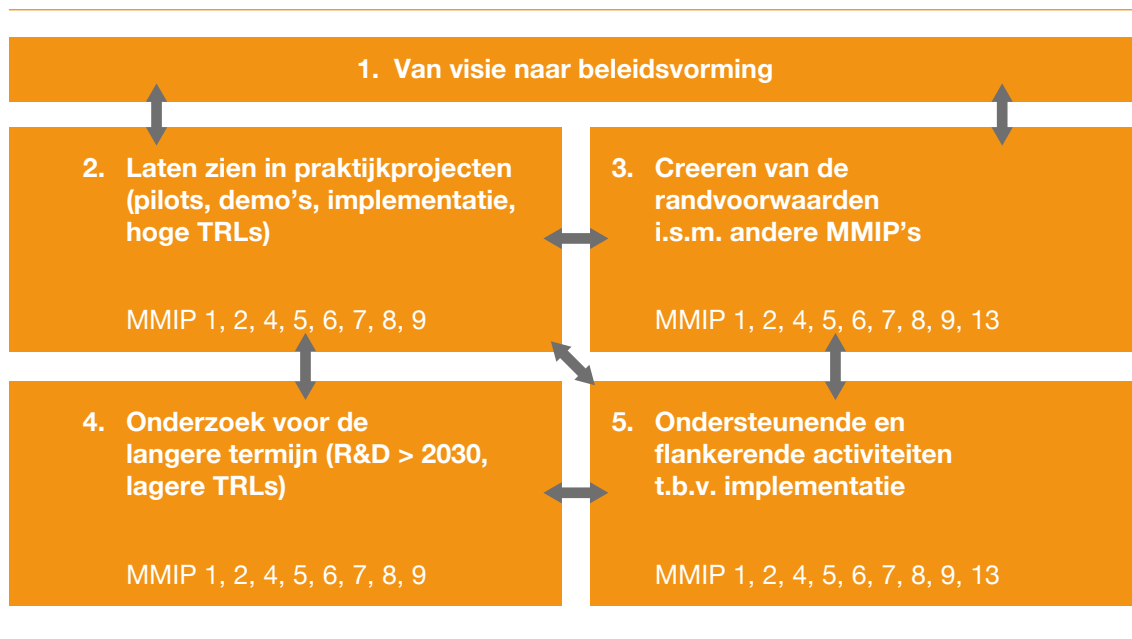




## 4.2 Inhoudelijke aanpak en uitwerking van het programma

De programmatische aanpak van de MPAW is gebaseerd op vijf onderdelen die onderling verbonden zijn. Figuur 4 geeft deze onderdelen en de samenhang schetsmatig weer. Ook zijn de verbindingen met relevante MMIP's geschetst. Deze vijf onderdelen worden hierna verder uitgewerkt.

**Figuur 4 | Schetsmatige weergave van de opbouw en samenhang van het Meerjarig Innovatieprogramma Waterstof en de verbindingen met de MMIP's uit de IKIA.**



### 1. Van visie naar beleidsvorming

In dit overkoepelende onderdeel staat visievorming centraal, gericht op het verkennen van de verschillende opties voor de energietransitie en de functies die waterstof hierin kan spelen qua aard en omvang. Het is van belang dat het thema waterstof in relatie tot andere verduurzamingsopties wordt gepositioneerd zodat duidelijk is waar de grootste toegevoegde waarde ligt, mede vanuit het oogpunt dat alle alternatieven uiteindelijk schaars zijn. Via modelmatige analyses van het energie- en grondstoffensysteem kan inzichtelijk worden gemaakt welke functies waterstof kan vervullen, op welke termijn dat nodig en haalbaar is en hoe dat het beste/snelste gerealiseerd kan worden. Te denken valt aan integrale energiesysteemanalyses, well-to-wheel en energieketenanalyses, levenscyclusanalyses, analyses omtrent energieleveringszekerheid, en *levelised* en *marginal cost* berekeningen waarbij voor alle technologieën en opties een gestandaardiseerde methodiek met uniforme financiële parameters wordt gehanteerd zodat resultaten onderling vergelijkbaar worden (zoals bij de systematiek voor SDE+(+)).

Deze activiteiten moeten leiden tot goede analyses die helpen om onderbouwde keuzes te kunnen maken over de bijdrage die allerlei verduurzamingsopties kunnen leveren en waar de ontwikkeling van waterstof (productie en toepassingen) gewenst en haalbaar is. Daardoor draagt deze informatie bij aan de visievorming over waterstof. Samenwerking met MMIP 13 (Robuust, geïntegreerd energiesysteem), dat zich op de modelmatige kant richt en betrouwbare data wil genereren, is van belang om inzicht te krijgen in kansrijke oplossingen voor de vele systeemvragen. Verder is binnen de visievorming ruimte voor ‘programma-eigen’ analyses, ten behoeve van bijvoorbeeld de verkenning van nieuwe waterstofopties die zich aandienen, voor specifieke transitie- en infrastructuurscenario’s voor waterstof, en voor monitoring van de voortgang van het programma en internationale ontwikkelingen op het gebied van waterstof en waterstoftechnologieën. Alle analyses en inzichten kunnen ook helpen om de programmering regelmatig bij te stellen. Belangrijke vraagstukken zijn in Tabel 5 weergegeven.

**Tabel 5 | Vraagstukken voor visievorming over waterstof.**

<b>Business en marktmodellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke businessmodellen en marktmodellen gaan straks werken en wat betekent dat voor de productie en toepassing van waterstof? Welk beleid is nodig voor een optimale ondersteuning? Welke marktmodellen faciliteren (in de gebouwde omgeving) individuele keuzes van bewoners? Denk aan aanpassing van allocatie &amp; verrekening van duurzame gassen op basis van gassamenstelling (individuele levering; hoe zit het qua fysieke en contractuele scheiding).</li> <li>• Hoe kunnen voordelen van verschillende diensten vergoed en verrekend worden? Denk aan (waterstof)opslag; demand side response en onbalansoptimalisering. Welke afzetmogelijkheden zijn er voor nevenproducten van elektrolyse, zoals zuurstof, warmte en (soms) CO<sub>2</sub>?</li> <li>• Hoe kan een (internationale) trading hub of marktplaats voor waterstof worden ingericht?</li> </ul>
<b>Rol in energiesysteem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke rol kan waterstof spelen voor het leveren van systeemflexibiliteit, transport- en opslagcapaciteit voor energie, waar concurreert het mee en wat is de toegevoegde waarde van waterstof (en afgeleiden daarvan) ten opzichte van de alternatieven?<sup>17</sup></li> </ul>
<b>Technologie-analyses</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke technologieën zijn favoriet volgens techno-economische en maatschappelijke kosten-baten-analyse? Dit heeft betrekking op in principe alle schakels in de keten.</li> <li>• Waar zit bij elke technologie de verbeterpotentie, waaronder kostendaling (CAPEX-daling, OPEX-daling, efficiencystijging) met name in de duurste delen van de waterstofketen?</li> <li>• Welke kostenmethodiek (targetkosten, CO<sub>2</sub>-prijs, MKBA/intrinsieke kosten) moet men toepassen gezien de hogere prijs van groene waterstof?</li> </ul>
<b>Transitie-management</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoe kan de transitie naar de grootschalige inzet van waterstof het meest (kosten)-effectief georganiseerd worden, met gefaseerde en gebalanceerde om- en opbouw van infrastructuur, productie en -toepassingen enerzijds en afbouw van het huidige (aardgas)systeem anderzijds?</li> <li>• Hoe kan deze transitie worden gestimuleerd? Welke rolverdeling is er daarbij tussen verschillende partijen om ‘concurrentie’ te voorkomen en de ontwikkeling zoveel mogelijk te versnellen (wie mag/moet/wil wat)?</li> </ul>

<sup>17</sup> Bijvoorbeeld: voor flexibele regelbare nul-emissie elektriciteitscentrales zijn meerdere opties denkbaar: ombouwen van kolencentrales tot centrales op houtsnippers, nieuwe nucleaire centrales, aardgascentrales uitgerust met CCS of gascentrales op waterstof.

**Tabel 5 | Vraagstukken voor visievorming over waterstof.**

<b>Institutionele belemmeringen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke institutionele aspecten spelen er op korte termijn die opgelost dienen te worden om implementatie mogelijk te maken, zoals wet- en regelgeving, rol en taken van netbeheerders, certificering van groene waterstof, gaswet en marktordening?</li> </ul>
<b>Locatiekeuze productie en opslag</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Op welke plekken kan grootschalige waterstofproductie het best plaatsvinden? Wat is de optimale schaal? Wat zijn voor- en nadelen van on- en offshore productie? Kunnen zeehavens de rol van hubs voor waterstof vervullen?</li> <li>• Zijn de functies grootschalige productie, grootschalige opslag (strategische voorraad) en grootschalige inzet van waterstof voor synthetische brandstoffen (e-fuels) te combineren?</li> </ul>
<b>Rol van import</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is de rol die import van groene waterstof speelt in de toekomst? Wat is de timing van ontwikkeling van deze importketen, rekening houdend met doorvoer naar omliggende landen? In welke vorm(en) kan waterstof dan het best worden getransporteerd, opgeslagen en gebruikt?</li> <li>• Welke kansen zijn er voor groene waterstofproductie in emerging economies en export naar Nederland/Europa? Welke implicaties heeft dat?</li> </ul>
<b>Rol van blauwe waterstof</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat is de rol die blauwe waterstof kan spelen in relatie tot groene waterstof, inclusief aspecten van timing/fasering, capaciteit, beschikbare voorraden en kostenperspectief/-verhouding tussen groen en blauw? Hoe ziet een transitie zonder en met 'blauw' er uit? Welke rol speelt grijze waterstof in deze transitie? Kan hiervoor een toetsingskader voor projecten worden ontwikkeld?</li> <li>• Hoe kunnen regionale 'groene' waterstofvisies (o.a. Noord- en Zuid-Holland, Noord-Nederland) en 'blauwe' initiatieven zoals H-vision, H2Magnum en waterstofbackbone worden geïntegreerd (stysteemstudie)?</li> </ul>
<b>Rol van infrastructuur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke rol kan/dient de bestaande (gas)infrastructuur te vervullen bij distributie van waterstof, zoals bijmenging van waterstof in aardgas of de ontwikkeling van on- en offshore infrastructuur voor transport van waterstof?</li> <li>• Hoe valt de kostenvergelijking uit van greenfield offshore elektriciteitskabels versus waterstofpijpleidingen ten behoeve van wind op zee?</li> <li>• Wat is uit oogpunt van kosten, energie-efficiency en decentrale beschikbaarheid de optimale opslaginfrastructuur voor Nederland (metastudie op gedane en lopende onderzoeken)?</li> </ul>
<b>Langetermijnopgaven</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welke overige langetermijnopgaven zijn er voor waterstof, los van de R&amp;D-behoefte?</li> </ul>

Door deze onderwerpen nader te verkennen, wordt meer inzicht verkregen in de thematiek, kunnen risico's beter worden ingeschat en worden de gewenste ontwikkelrichtingen van waterstof duidelijk. Dat helpt om in de komende jaren goed onderbouwde keuzes te maken en de gewenste versnelling te bereiken. Er is hierbij een wisselwerking met praktijkprojecten (zie hierna): om aanscherping te krijgen van de visies die er nu zijn moeten we leren van de praktijk. Werkt de toepassing van waterstof ook echt zoals we denken, of is het toch lastiger, of misschien zelfs wel beter? Visies dienen dan op basis van de praktijk te worden aangescherpt.

Een deel van de werkzaamheden die worden voorgesteld is reeds gestart, zoals de importstudies in het kader van de Hychain-projectenreeks van een groot IPST-consortium, of studies naar grootschalige waterstofinzet voor de gebouwde omgeving in het Verenigd Koninkrijk. Daarom wordt uit oogpunt van efficiency aanbevolen om goed bij bestaand werk aan te sluiten (inclusief internationale samenwerking en uitwisseling), resultaten uit dat werk te gebruiken en weloverwogen besluiten te nemen over nut en noodzaak van nieuwe studies, onderzoek en projecten.

## 2. Laten zien in praktijkprojecten

In dit onderdeel ligt de focus op praktijkprojecten, bestaande uit pilots en demonstratie- en implementatieprojecten<sup>18</sup> op het gebied van waterstof die uiterlijk in de periode 2025-2030 gereed zijn voor brede implementatie. Deze projecten dienen meerdere doelen, waarvan de volgende het meest relevant zijn:

- Een versnelling aanbrengen in het testen, demonstreren en introduceren van technologische oplossingen op waterstofgebied (*technology acceleration and implementation*). Hierbij dient er ook ruimte te worden gecreëerd voor flankerend onderzoek (in de hogere TRL's; voor lagere TRL's wordt naar onderdeel 4 verwezen) ten behoeve van ontwikkelingen om de technologie te optimaliseren tot 'praktijkklare' producten en diensten voor bredere implementatie in de periode 2025-2030.
- Het in concrete projecten organiseren van de keten tot een werkend geheel waardoor de kans op succesvolle opschaling wordt vergroot, zowel op regionaal als landelijk niveau.
- Het werken aan maatschappelijke inbedding door praktijkvoorbeelden van waterstofprojecten te laten zien die als goede voorbeelden dienen voor toekomstige opschaling. Dit betekent dat in deze projecten aandacht moet zijn voor betrokkenheid van maatschappelijke actoren, inclusief zorgvuldige informatievoorziening en kennisdeling, zodat maximaal draagvlak voor projecten gaat ontstaan.

Deze praktijkprojecten hebben een belangrijke verbinding met de MMIP's waar toepassing van waterstof een mogelijke en haalbare oplossing is, bijvoorbeeld met MMIP 4 (Warmte/koude in de gebouwde omgeving), MMIP 7 (CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem) en MMIP 9 (Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit en transport). Relevante randvoorwaarden zijn de volgende:

- Oplossingen die over 5-10 jaar toegepast kunnen worden, moeten nu gedemonstreerd en waar mogelijk en haalbaar op schaal geïmplementeerd worden om ervaring op te bouwen, de maatschappij actief kennis te laten maken met deze ontwikkelingen en barrières (waaronder institutionele en wettelijke belemmeringen) te identificeren en te slechten. Dat vergt een goed onderbouwde selectie van projecten en een krachtige inzet op deze ontwikkelingen.
- De inzet moet daarbij gericht zijn op robuuste onderwerpen (focus aanbrengen) die van belang zijn voor het behalen van de doelstellingen (potentieel significante bijdrage leveren) en die 'passen' bij Nederland (positie opbouwen).
- Waar behoefte is aan aanvullend R&D dient dat snel te worden opgepakt, te worden verbonden met bestaande praktijkprojecten en ingebouwd worden in nieuwe projecten.
- Oplossingen moeten bijdragen aan de ontwikkeling van de positie van Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen ('make', anders 'buy').
- Er moet continu gezocht worden naar mogelijkheden om een versnelling aan te brengen bij de introductie van waterstof en wat daarvoor nodig is.

---

<sup>18</sup> Er bestaan verschillende termen voor activiteiten die na de experimentele ontwikkeling in de praktijk worden uitgevoerd, zoals pilotprojecten, demonstratieprojecten, praktijkprojecten, implementatieprojecten, uitrolprojecten, proeftuinprojecten etc. Wat hier bedoeld wordt met praktijkprojecten zijn projecten die de R&D-fase grotendeels voorbij zijn en die klaar zijn om op (enige) schaal gedemonstreerd te worden of zelfs al gereed zijn voor implementatie (op grote schaal uitvoerbaar en financierbaar).

Goede voorbeelden van praktijkprojecten worden gegeven in de volgende paragrafen. Veel van de genoemde initiatieven zijn in ontwikkeling en de mate van concreetheid verschilt. Sommige projecten zijn klaar om in de praktijk te worden gebracht, andere projecten hebben net een eerste haalbaarheidstoets achter de rug of zitten daar nog middenin. De gemeenschappelijke deler is dat deze projecten de potentie hebben om te kunnen voldoen aan de hiervoor beschreven doelen om een versnelling aan te brengen in de innovatie voor de energietransitie en de maatschappelijke inbedding te realiseren. Bij deze praktijkprojecten gaat het om doorgaans complexe en dure initiatieven. Het is daarom wenselijk om een goede mix van praktijkprojecten tot uitvoering te brengen die maximaal van elkaar leren en profiteren, en gezamenlijk de slaagkans van verdere opschaling te maximaliseren. Met praktijkprojecten wordt ook de implementatie bedoeld.

## 2a. Praktijkprojecten in de industrie

De industrie zal in de toekomst qua vraag naar verwachting de grootste markt voor de toepassing van waterstof worden. Dat betreft de inzet van waterstof als grondstof/hulpstof voor een scala aan chemische producten, zoals methanol, ammoniak en ten behoeve van de olie- en bioraffinage.<sup>19</sup> Waterstof kan ook een rol spelen bij de opwekking van hoge-temperatuur warmte/stoom in de industrie. Voor een deel van de toepassingen is er een sterke R&D-behoefte die gespecificeerd is in de industriemissie (MMIP 6-8). Het is nu al technisch mogelijk om groene of blauwe waterstof te produceren; de prijsstelling is voor industriële toepassing echter nog een beperkende factor, evenals de beschikbaarheid van grote hoeveelheden duurzame elektriciteit en eventueel biomassa voor de productie van groene waterstof en de beschikbaarheid van de technologie (bijvoorbeeld elektrolyzers) in de benodigde grote aantallen.

Waterstofproductie door elektrolyse kan qua kosten op dit moment alleen onder specifieke condities concurreren met conventionele waterstofproductie uit aardgas. Systemen zijn beschikbaar op MW-schaal, maar de technologie moet goedkoper worden en systemen moeten worden opgeschaald richting GW-schaal, door seriematige, geautomatiseerde productie. Doordat voor grotere systemen de randapparatuur minder evenredig schaalt dan de elektrolysecellen en stacks, zal door opschaling al kostendaling worden gerealiseerd. Daarnaast is optimalisatie van systemen nodig en vervanging van dure door goedkopere materialen, waarbij efficiency en levensduur verder moeten worden verbeterd. Verder moet kostendaling worden gerealiseerd door grotere aantallen (*economy of scale*), industrialisatie / automatisering van de productie en toenemende concurrentie in de keten van toeleveranciers van componenten.

In Nederland zijn in de afgelopen 12 maanden veel projecten in de industrie aangekondigd met een omvang die varieert van 10 tot 250 MW elektrolysecapaciteit. Het betreft hier minimaal 8 projecten die in dit rapport zijn opgenomen, met een geschatte investeringsomvang

---

<sup>19</sup> De grootste vraag naar waterstof is nu voor ammoniak en olieraffinage, maar er ontstaat een veel grotere vraag als aardolie en aardgas vervangen worden door waterstof en CO<sub>2</sub> of CO als basis voor de productie van synthetische brandstoffen (diesel en kerosine), en voor de productie van duurzame bulkchemicaliën (o.a. methanol, olefinen en aromaten) die in de chemische industrie worden verwerkt tot alle bekende chemische producten en materialen.

van minimaal (ordegrootte) € 1 miljard. Vrijwel alle projecten bevinden zich in de fase van haalbaarheid en engineering en kennen daarom een ‘eigen’ dynamiek en bedrijfsinterne processen die eerst doorlopen zullen moeten worden. Het is op dit moment voor het grootste deel van de projecten daarom nog onduidelijk of ze doorgang zullen vinden. Het is echter wel van belang dat kansrijke projecten na zorgvuldige afweging daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden door de demonstratie en implementatie te ondersteunen, bijvoorbeeld via het beschikbaar stellen van subsidiemiddelen uit de DEI+ en de SDE++. Daarnaast moet worden geprobeerd om maximaal gebruik te maken van de mogelijkheden van Europese subsidieprogramma's, zoals H2020/Europe, het Innovation Fund en IPCEI (Important Projects of Common European Interest).

Het advies is om de projecten-in-voorbereiding te monitoren op voortgang, innovatiebehoefte en vereiste financiering. De (innovatie)projecten zijn elk waarschijnlijk te groot om volledig vanuit Nederland te subsidiëren, maar vanuit de MPAW kan worden bijgedragen aan het opstellen van plannen waarbij maximaal geleerd kan worden over meerdere projecten heen. Ook kan de MPAW ondersteunen bij het aanvragen en combineren van subsidiemiddelen in Nederland en Europa.

**Tabel 6 | Overzicht van innovatiebehoefte en (mogelijke) praktijkprojecten in de industrie. In sommige gevallen worden projecten voor de industrie en de energiesector samen ontwikkeld, daarom is er overlap met tabel 7**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Centrale productie van groene waterstof via elektrolyse met hernieuwbare elektriciteit in de industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ervaring opdoen met implementatie van elektrolysefabrieken om te komen tot efficiënte projectontwikkeling (voortraject kost nu nog veel tijd omdat het voor iedereen nieuw is)</li> <li>• Aanhaken van Nederlandse maakindustrie bij aanleveren van componenten voor elektrolyse-systemen en -fabrieken</li> <li>• Ontwikkeling van een passend beleidskader met institutionele inpassing en ondersteuning</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 MW Nouryon, Gasunie</li> <li>• 100 MW Nouryon, TATA, Port of Amsterdam (H2ERMES)</li> <li>• 100 MW Engie, Gasunie</li> <li>• 250 MW Nouryon, BP</li> <li>• 40 MW SkyNRG, KLM, Nouryon (Delfzijl)</li> <li>• Ambitie voor realisatie van GW-schaal water-elektrolyse in 2030 (Gasunie, TenneT, Groene Waterstofcoalitie)</li> </ul>	Nouryon, Gasunie, TATA, Dow, BP, Engie, TenneT, groene waterstof-coalitie, SkyNRG, KLM, Port of Amsterdam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 MW elektrolyser van Gasunie</li> <li>• 10-20 MW Nouryon en Gasunie</li> </ul>	Vanwege omvang inzetten op Europese funding (Innovation fund, H2020 / Europe, IPCEI)

**Tabel 6 | Overzicht van innovatiebehoefte en (mogelijke) praktijkprojecten in de industrie. In sommige gevallen worden projecten voor de industrie en de energiesector samen ontwikkeld, daarom is er overlap met tabel 7**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Centrale decarbonisatie van aardgas en restgassen door CCS met inzet van de koolstofarme (blauwe) waterstof voor elektriciteitsproductie en warmtevoorziening in de industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van grootschalige blauwe waterstofprojecten die de waterstofinfrastructuur kunnen kickstarten (GW-schaal)</li> <li>• Aanpassingen in gasturbines om deze geschikt te maken voor voeding met waterstof</li> <li>• Aangepaste branders voor waterstof</li> <li>• Nieuwe waterstof/zuurstof (oxyfuel) branders voor hoge temperatuur in de industrie, zoals de glasproductie</li> <li>• Nieuwe generatie ovens voor waterstof (glas, staal en keramische industrie)</li> <li>• Optimalisatie productkwaliteit voor directe verhittingsprocessen bij overgang naar waterstofverbranding</li> <li>• Oplossingen voor grootschalige opslag on-site</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ombouw Magnum e-centrale naar waterstof met aangepaste branders en gasturbines (2025)</li> <li>• Ombouw kolencentrales Maasvlakte naar waterstof (2025)</li> <li>• Grootschalige demonstratie van waterstof voor hoge-temperatuur warmte in de industrie</li> <li>• Bijvoorbeeld waterstof als aardgasvervanger in FrieslandCampina-fabriek in Bedum</li> </ul>	Vattenfall, Equinor, Gasunie, H-Vision consortium, brander- en turbine-leveranciers (Ansaldo Thomassen etc.), Port of Amsterdam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrogen-to-Magnum</li> <li>• H-Vision</li> </ul>	Vanwege omvang inzetten op Europese funding (Innovation fund, H2020 / Europe)

## 2b. Praktijkprojecten in de energiesector

Aangezien de elektriciteitsopwekking uit zon en wind niet synchroon loopt met de vraagprofielen kan waterstof voorzien in de behoefte aan regelbare, gedecarboniseerde opwekkingscapaciteit. De behoefte hieraan groeit naarmate het aandeel hernieuwbare energie uit zon en wind toeneemt. Er zijn enkele grote projecten in ontwikkeling om bestaande elektriciteitscentrales om te bouwen naar waterstof. Net als voor de industrieprojecten geldt dat deze zich in de fase van haalbaarheid en engineering bevinden en een 'eigen' dynamiek en interne processen moeten doorlopen. Het is daarom nog onduidelijk of ze daadwerkelijk gerealiseerd zullen worden. Net als bij de industrieprojecten is het advies om de projecten-invoorbereiding te monitoren op voortgang, innovatiebehoefte en vereiste financiering, en waar mogelijk te ondersteunen bij het aanvragen en combineren van subsidiemiddelen.

Al eerder toepasbaar is de inzet van elektrolyzers door deze meer of minder elektriciteit te laten afnemen (variërend vermogen), voor netstabilisatie of balancering, en gecombineerd met windturbines (al dan niet geïntegreerd in een waterstofmolen) of met zon-PV parken. Het eerste wordt reeds beproefd in het TSO2020-project en kan een extra functionaliteit zijn bij genoemde industrieprojecten met grootschalige elektrolyse. De haalbaarheid van de directe combinatie met windturbines en zon-PV parken moet nog gedemonstreerd worden.

Een drijvende kracht voor lokale en regionale waterstofprojecten kan de congestie op het elektriciteitsnet zijn. Daar is de urgentie groter om (bijvoorbeeld) elektrolyse toe te passen om lokaal opgewekte elektriciteit maximaal te kunnen benutten om knelpunten in de infrastructuur op deze wijze te kunnen ontlasten. Vanwege de schaal van productie is het aantrekkelijk om dit te combineren met de inzet voor regionale mobiliteitsprojecten en projecten in de gebouwde omgeving (bijvoorbeeld bijmengen in het aardgasnet). Hierbij verdient het aandacht om het aantal gecombineerde innovaties zorgvuldig te kiezen om het risico beheersbaar te houden en daarmee de slaagkans te vergroten.



**Tabel 7 | Overzicht van innovatiebehoefte en (mogelijke) praktijkprojecten in de energiesector. In sommige gevallen worden projecten voor industrie en energiesector samen ontwikkeld, daarom is er overlap met tabel 6.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Centrale conversie van elektriciteit uit wind en zon naar groene waterstof in en door de energiesector	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inzet en gebruik van elektrolyzers, door deze meer of minder vermogen te laten afnemen, voor netstabilisatie of balancering.</li> <li>Het project QualyGrids stelt gestandaardiseerde testprotocollen op voor elektrolyzers om electricity grid services uit te kunnen voeren.</li> </ul> <p><i>Praktijkproject:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Proeven met 1 MW elektrolyser en simulatie voor 300 MW opschaling in HYSTOCK</li> <li>100 MW RWE Innogy (Eemshaven)</li> <li>Ambitie voor realisatie van GW-schaal water-elektrolyse in 2030 (Gasunie, TenneT, groene waterstofcoalitie)</li> </ul>	TENNET, Gasunie / Energystock, Energy Storage NL, RWE Innogy	<ul style="list-style-type: none"> <li>HYSTOCK/ TSO2020</li> <li>Qualygrids</li> </ul>	FCH JU, EZK-innovatie-middelen

**Tabel 7 | Overzicht van innovatiebehoeften en (mogelijke) praktijkprojecten in de energiesector. In sommige gevallen worden projecten voor industrie en energiesector samen ontwikkeld, daarom is er overlap met tabel 6.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Decentrale productie van, of conversie naar groene waterstof via elektrolyse voor toepassing in vervoer en/of de gebouwde omgeving en bedrijven-terreinen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstofmolens: Ontwikkelen en demonstreren van een windmolen die rechtstreeks waterstof produceert. Uitrusting van een 4,5MW windmolen met 2MW elektrolyser in Noord-Holland</li> <li>Decentrale inpassing wind- en zonne-energie via waterstof uit elektrolyse voor warmtevoorziening van de gebouwde omgeving eventueel in combinatie met waterstof voor een tankstation (wijkcentrale-idee)</li> <li>Kleinschalige systemen betaalbaar maken (opwekking, conversie, toepassing) voor plekken met overschot aan lokale opwekking, congestie op het net en lokale energiebehoefte zoals boerenbedrijven</li> </ul>	HYGRO, Lagerweij, Stedin, Hygear, Lectorenplatform Urban Energy (LPUE), HAN, HyMatters	<ul style="list-style-type: none"> <li>Duwaal / W2H2</li> <li>Power-to-Gas Rozenburg</li> <li>NEFUSTA</li> </ul>	DKTI, EZK-innovatie-middelen
Demonstratie (MW-schaal) van een Power to Power installatie: decentrale opslag van groene energie in waterstof voor elektriciteitsproductie in daluren, mobiliteit en voor verwarming	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integratie van electrolyser, H<sub>2</sub>-compressie, -opslag en brandstofceltechnologie</li> <li>Gridstabilisatie op decentraal niveau bij wind- en zonnestroom</li> <li>Ontwikkelen Power Management Systeem</li> <li>Optimaal gebruik maken bestaande infrastructuur / voorkomen van netuitbreiding</li> <li>Energieneutraal maken van industriepark IPKW in Arnhem</li> </ul>	MTSA Technopower, Dekra, Alliander, Nedstack, HAN, Hygear, Hyet, IPKW, Veolia, Kiemt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Demcopem</li> </ul>	Provincie Gelderland, Gemeente Arnhem

## 2c. Praktijkprojecten in de mobiliteit en transport

Mobiliteit en transport vormt een belangrijk toepassingsgebied voor brandstofcellen en waterstof. Nederland kan hier een rol van betekenis spelen bij het ontwikkelen van OV-bussen en vrachtwagens op waterstof, en 'speciale voertuigen' zoals vuilniswagens en veegwagens. Daarnaast is er een grote variëteit aan mobiele werktuigen in havens en op luchthavens die zich mogelijk goed lenen voor toepassing van waterstof. Ook liggen er toepassingsmogelijkheden in de maritieme sector, zoals bij rondvaartboten, ponten, veerboten, binnenvaartschepen en allerlei schepen die ingezet worden voor havendiensten (inspectie, havensleepboten etc.). Er is sprake van een verschillende mate van marktrijpheid van deze toepassingen. De betrokkenheid van Nederlandse industrie bij ontwikkeling en productie van deze toepassingen verschilt ook. In de prioritering dient daarmee rekening te worden gehouden.

- Personenauto's zijn beperkt commercieel beschikbaar en ze zijn gereed voor implementatie. Ontwikkeling en productie gebeurt in het buitenland. Opschaling behoeft fiscale voordelen (BPM, MRB, bijtelling etc.), waarbij gewaakt dient te worden voor over-stimulering zoals bij batterij-elektrische personenauto's het geval was.
- *Light duty vehicles* (transportbusjes, bestelwagens): in Nederland zijn bedrijven actief die zich richten op de ombouw/aanpassing van reguliere voertuigen naar waterstof. De auto-industrie heeft nog geen breed palet aan modellen gereed maar werkt hier wel aan.
- *Heavy duty vehicles* (vracht-, vuilnis- en veegwagens etc.): dit is een kansrijk segment omdat Nederland hier een sterke positie heeft met diverse fabrikanten en ombouwbedrijven en een grote logistieke sector.
- Bussen zijn reeds seriematig beschikbaar. Kostendaling is mogelijk door aanschaf van grotere aantallen, hetgeen de doelstelling is van een aantal grote Europese projecten waarin ook Nederland meedoet. De belangrijkste Nederlandse busbouwer is betrokken.
- Treinen zijn in ontwikkeling en productie in het buitenland en kunnen al worden ingekocht. De markt in Nederland is relatief klein omdat er weinig niet-geëlektrificeerde lijnen zijn.
- Schepen: met name in de binnenvaart heeft Nederland een positie als belangrijkste vervoerder binnen het Rijngebied. Toepassing van waterstof is mede daarom kansrijk, met name in uitvoering met mobiele energiecontainers op waterstof en/of batterijen. Internationale regelgeving moet hiervoor worden aangepast, voor pilots kan vrijstelling worden verleend. De zeescheepvaart is voorlopig eerder op vloeibare brandstoffen aangewezen (bij synthetische brandstoffen kan waterstof wel een rol in de productie spelen).
- Mobiele machines: hier lift de toepassing van brandstofcellen en waterstof mee met de ontwikkeling van heavy duty vehicles en met mobiele energiecontainers voor de binnenvaart. Waar nu dieselaggregaten worden gebruikt voor relatief dure stroomopwekking kunnen mogelijk rendabele business cases met waterstof worden ontwikkeld.
- Luchtvaart: Net als zeescheepvaart is ook de luchtvaart voorlopig aangewezen op vloeibare brandstoffen. Wel zijn er voor aandrijving van drones tot ongeveer 25 kg al kleine brandstofcellen commercieel verkrijgbaar. Verdere doorontwikkeling hiervan maakt de systemen waarschijnlijk geschikt voor toepassing in de kleine luchtvaart. Dit komt terug in tabel 11 (onderzoek voor de langere termijn).

Een beperkende factor voor opschaling van mobiliteits- en transportoplossingen is het gebrek aan een landelijk dekkend netwerk van waterstofvulpunten met betaalbare waterstof. Bovendien is het van belang dat deze vulpunten goedkoper en robuuster (in termen van minder onderhoud) worden. In Nederland zijn verschillende bedrijven aanwezig die complete vulpunten of onderdelen daarvoor produceren die tegelijkertijd moeten concurreren met internationale aanbieders. Hierbij dient zorgvuldig een evenwicht te worden gezocht tussen ruimte voor innovatie en kiezen voor zekerheid ten behoeve van marktintroductie en opschaling van waterstof, evenals de *'make or buy'*-discussie.

Innovaties zijn van belang op onderdelen die nu nog tot knelpunten kunnen leiden, zoals nauwkeurigere debietmetingen en apparatuur en procedures voor het ijken en periodiek keuren van debietmeters. Ook is er grote behoefte aan betrouwbare en kosteneffectieve methoden en apparatuur voor het (online) kunnen bepalen van verontreinigingen op ppm- en ppb-niveau om de vereiste waterstofkwaliteit te kunnen garanderen. Daarnaast is er behoefte aan innovaties die bijdragen aan significante verlaging van de investerings- en operationele kosten. Verbeteringen zijn nog mogelijk op tal van onderdelen zoals compressoren, vulslangen, vulpistolen, hogedruktanks en methoden om binnen vastgestelde veiligheidseisen voertuigen zo snel mogelijk te laten tanken. Deze onderwerpen staan beschreven onder de synergiethema's (zie hierna).

Het advies is om de beperkte middelen te bundelen voor een aantal grotere demonstratieprojecten met zwaar vervoer over weg en water, waarbij vulpunten 'noodzakelijkerwijs' onderdeel zijn van de projecten. Met name havens zijn interessante locaties omdat hier de inzet van waterstof voor zowel schepen, wegtransport als mobiele machines kan worden gecombineerd. Hierbij wordt bij voorkeur aangesloten op Europese programma's en samenwerkingsverbanden in de Benelux, met Noordrijn-Westfalen en Noord-Franse regio's. Projecten gericht op wegtransport worden gedreven door beleid met betrekking tot emissievrije zones voor stadslogistiek in de grootste 30-40 gemeenten van het land per 2025. De projecten voor de scheepvaart vinden motivatie in de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens. De emissievrije zones en de green deal zijn uitwerkingen van het Klimaatakkoord. Er is ook synergie te behalen met de in het Schone Lucht Akkoord voorgenomen pilots voor schone binnenhavens.

Waterstof biedt ook zicht op het verduurzamen (decarbonisatie) van de (grotere) luchtvaart. Energieopslag in batterijen is voornamelijk niet toereikend en waterstof kan een belangrijke verbetering brengen, zowel door direct gebruik van waterstof als door de waterstof te gebruiken voor productie van synthetische brandstoffen. Verdere doorontwikkeling van kleine brandstofcellen maakt deze waarschijnlijk geschikt voor toepassing in de kleine luchtvaart, waar nu al enkele voorbeelden te zien zijn van volledig elektrische toestellen die gebruik maken van energieopslag in batterijen, en op termijn voor grotere luchtvaart. Omdat het nog niet gaat om praktijkprojecten op de korte termijn wordt waterstof voor luchtvaart meegenomen in tabel 11 (onderzoek voor de langere termijn).

**Tabel 8 | Overzicht van innovatiebehoeften en (mogelijke) praktijkprojecten voor mobiliteit op waterstof.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Nul-emissie openbaar vervoer met waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uitbreiding van demonstraties in dagelijkse dienstregeling en door opschaling en gezamenlijke inkoop kostenreducties bereiken</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Momenteel 10 bussen in gebruik, binnen twee jaar 60-70 via EU-project JIVE2 (Groningen-Drenthe, Zuid-Holland)</li> <li>Trein op waterstof Groningen</li> </ul>	VDL, Qbuzz, Connexxion, Hymove, Zuid-Holland, Groningen-Drenthe, Gelderland, HYMOVE, Keolis, Nedstack, HAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>High VLO City</li> <li>3Emotion</li> <li>JIVE2 (50 bussen)</li> <li>Waterstofbussen Arnhem/Apeldoorn</li> </ul>	FCH JU, aangevuld met DKTI
Nul-emissie logistiek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proefprojecten zijn nodig, onder meer om de techniek te testen onder uiteenlopende (o.a. weers)omstandigheden. Kosten van (om)-bouw van de trucks en van waterstof moeten omlaag en er zijn meer tankstations nodig.</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ontwikkeling en demonstratie van 27-ton en 40-ton distributietrucks</li> <li>Heftrucks op waterstof zijn klaar voor uitrol maar (kosten van) waterstofdistributie is een knelpunt.</li> </ul>	VDL, DAF, Scania, Toyota Materials Handling, Mobihy, Still, Linde, Hymove	H2SHARE	FCH JU, Interreg, DKTI
Nul-emissie stadsreiniging	<ul style="list-style-type: none"> <li>Binnen de logistieke toepassingen is er een focus op vuilniswagens en veegwagens, omdat batterij-elektrisch hier veelal niet voldoet vanwege actieradius en laadtijd.</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Demonstratie vuilniswagens op waterstof in Groningen, Amsterdam, Helmond, Roosendaal, Breda, Arnhem, Alkmaar</li> <li>Veegwagens op waterstof in Groningen</li> </ul>	E-trucks Europe, Holthausen, diverse gemeenten, Roteb Lease, HYGRO, GP Groot, E-trucks Europe, HVC, Nedstack, Hymove	<ul style="list-style-type: none"> <li>Life'n Hy Grab</li> <li>REVIVE</li> <li>Power to Flex</li> <li>Duwaal/W2H2</li> </ul>	Interreg, DKTI

**Tabel 8 | Overzicht van innovatiebehoeften en (mogelijke) praktijkprojecten voor mobiliteit op waterstof.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Nul-emissie scheepvaart	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behoeft aan de energiedrager waterstof als alternatief voor batterijen vanwege energiedichtheid en snelheid van bunkering</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulair brandstofcel-elektrische aandrijving voor kustvaart en binnenschepen in FELMAR</li> <li>• Mobiele energiecontainers (20-voets) op basis van waterstof met concurrerende LCOE (levelized cost of energy)</li> <li>• On-board elektriciteitslevering met fuel cell als alternatief voor dieselgenerator</li> <li>• Mobiele walstroomopwekking in zeehavens als alternatief voor zware netaansluitingen</li> <li>• H2SHIP: ontwikkeling van een waterstof supply chain voor de scheepvaart (o.a. TU Delft, Port of Amsterdam, Tata Steel)</li> </ul>	Damen Shipyards, Nedstack, MARIN, H2SHIP, PTC, TATA, BCTN, Heineken, ENGIE, ENECO, ING, Future Proof Shipping, Havenbedrijf Rotterdam, Hymove, Koeddood, NPRC, Port of Amsterdam, TU Delft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MariGreen</li> <li>• H2SHIP</li> <li>• FELMAR</li> <li>• MECs consortium</li> <li>• Lovers rondvaartboot Amsterdam</li> </ul>	Interreg  EZK-innovatiemiddelen
Vulpunten voor mobiliteits- en transporttoepassingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitbreiding van tankvoorzieningen om voorgaande toepassingen te kunnen demonstreren en opschalen</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Momenteel zijn er in Nederland 4 grote vulpunten en enkele kleine, er zijn diverse initiatieven voor uitbreiding.</li> <li>• Ontwikkeling tankinfrastructuur langs waterwegen</li> <li>• Waterstofbrandstofcel voor werkschepen die de kanalen en grachten van steden onderhouden.</li> </ul>	Pitpoint, Shell, WaterstofNet, Hygear, I&W, ENGIE, Bovag, Beta (branche), HyET Hydrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhooon, Helmond, Arnhem, Delfzijl, Den Haag, Alkmaar, e.a.</li> <li>• Clean Energy Hubs (MIRT)</li> <li>• Green H2UBs</li> </ul>	DKTI, Europese middelen, fiscale instrumenten, EZK-innovatiemiddelen

## 2d. Praktijkprojecten in de gebouwde omgeving

Toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving is een reële optie. Er zijn nog veel vragen die moeten worden beantwoord omdat nu nog niet duidelijk is of en op welke wijze toepassing vorm kan krijgen. Waterstof zou bijvoorbeeld tot in woningen of tot aan woningen kunnen worden gebracht, of alleen tot in de wijk in combinatie met lokale warmtenetten op relatief lage temperatuurniveaus. Ook een transitie scenario via bijmengen in het gasdistributienet in plaats van toepassing van pure waterstof kan een optie zijn omdat bijmengen mogelijk sneller is te realiseren. Tot 20-30% is dit nu al mogelijk (zie kader 'Waterstof in bestaande gasnetten'), mits de juiste voorzorgsmaatregelen worden genomen; echter de huidige gaswet schrijft voor dat aardgas slechts 0,5% waterstof mag bevatten. Weliswaar is waterstof in pure vorm waardevoller maar als de eindgebruiktoepassingen nog onvoldoende beschikbaar zijn kan door bijmengen de gedecarboniseerde energiewaarde benut worden. Hier wordt verder op ingegaan bij de synergiethema's.

Voorlopig ligt hier ruimte voor onderzoeksopgaven gericht op de geschiktheid van het lokale gasdistributienet, de veiligheidsaspecten en de kosten voor benodigde aanpassingen. Hier kan een innovatiebehoefte op volgen wat betreft het gebruik van waterstof in cv-ketels, piekketels voor warmtenetten en hybride warmtepompen en de ontwikkeling van kleinschalige brandstofcel-wkk-systemen.

Er zijn verschillende projecten in ontwikkeling die zich op de toepassing van 100% waterstof in de gebouwde omgeving richten, zoals in Rozenburg, Stad aan 't Haringvliet en Hoogeveen. Dit is een uitdagend segment vanwege de directe betrokkenheid van burgers/bewoners. Belangrijke aandachtspunten voor bewoners zijn betaalbaarheid, veiligheid en leveringszekerheid. De overheid heeft hier een taak via het creëren van de juiste randvoorwaarden: betaalbaar maken door toe te staan dat kosten worden gesocialiseerd over alle gasnetgebruikers; toezicht houden op veiligheid en marktwerking; ruimte bieden aan netbeheerders om ook voor waterstof doelmatige investeringen te doen. Zonder invulling van deze randvoorwaarden zullen praktijkprojecten niet van de grond komen en is opschaling onhaalbaar.

De wijdverbreide toepassing van aardgas heeft in Nederland gezorgd voor veel kennis en capaciteit voor productie en installatie van gasapparatuur, die ook inzetbaar is voor waterstof. Nederland heeft diverse vooraanstaande bedrijven op dit terrein die de benodigde apparatuur kunnen ontwikkelen en produceren. Hier heeft Nederland dus een economische positie en belang.

**Tabel 9 | Overzicht van innovatiebehoefte en (mogelijke) praktijkprojecten voor waterstof voor warmtevoorziening in de gebouwde omgeving.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Koolstofarm gas voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beproeven en demonstreren van vervanging van aardgas door waterstof in bestaande, afgekoppelde netten op woonblok- of wijkniveau. Nieuwe aardgastoestellen zijn formeel geschikt voor max. 10% waterstof (K-band toestellen 2017). Voor hogere percentages waterstof moet nieuwe apparatuur ontwikkeld worden.<sup>20</sup></li> <li>Smart grid-aspecten: verkennen van synergie en het samenspel tussen elektriciteit, waterstof, aardgas/groengas en warmte, energieopslag</li> </ul> <p><i>Praktijkprojecten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Omzetten wijk in Groningen op lage-CO<sub>2</sub> stadsverwarming, uitzoeken mogelijkheden waterstof in dit gebied</li> <li>Hydrogreen: nieuwe woonwijk in Hoogeveen op waterstof (grootschalige demonstratie cv-ketels)</li> <li>Waterstof op Rozenburg</li> <li>Goeree Overflakkee: Stad aan 't Haringvliet omzetten naar waterstof</li> </ul>	Stedin, Remeha, Bekaert, GasTerra, Netbeheer Nederland, KIWA, ATAG, Hygear	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stedin 'Openingsbod'</li> <li>Power-to-gas Rozenburg</li> <li>Stedin casus Goeree Overflakkee</li> <li>Hydrogreen</li> <li>Buitenlandse inspiratiebron:</li> <li>H21 Leeds City Gate (UK); HyDeploy en HyNet</li> </ul>	<p>Innovatie-agenda Waterstof van Netbeheerders EZK-innovatiemiddelen, BZK-middelen</p> <p>Aansluiten bij UK?</p>

20 H-gas toestellen worden getest met 23% waterstof, maar dit betekent niet dat ze ook in de praktijk 23% waterstof aan kunnen vanwege bijvoorbeeld variaties in Wobbe-index en slijtage over tijd. In Nederland staan G-gastoestellen (L-band), deze worden niet getest met 23% waterstof.



### 3. Creëren van de randvoorwaarden

Om uitvoering van de hierboven behandelde praktijkprojecten mogelijk te maken en/of om voorgestelde oplossingsrichtingen te testen, zijn er 'overkoepelende' thema's voor waterstof die op de korte tot middellange termijn voor meerdere MMIP's en missies van cruciaal belang zijn. Het is het meest effectief om deze samen op te pakken zodat synergievoordelen optimaal worden benut en activiteiten snel en efficiënt kunnen worden uitgevoerd. De focus ligt op thema's die op de korte tot middellange termijn urgent zijn en die noodzakelijk zijn om praktijkprojecten succesvol te kunnen uitvoeren en/of om voorgestelde oplossingsrichtingen te testen. Daardoor kunnen onderdelen 2. (Praktijkprojecten) en 3. (Randvoorwaarden) niet los van elkaar worden gezien.

Beleid, wet- en regelgeving, veiligheid en infrastructuuronderwerpen zijn goede voorbeelden, evenals infrastructuur-gerelateerde thema's, zoals de distributie-infrastructuur in de gebouwde omgeving en waterstofvulpunten voor mobiliteit en transport. Een ander thema betreft de kwaliteitseisen aan waterstof. Een belangrijke eis is dat stakeholders deze onderwerpen gezamenlijk en/of in goede afstemming oppakken zodat ze prioriteit en ondersteuning krijgen, dat de opgedane kennis wordt gedeeld en (innovatie)middelen efficiënt en effectief worden besteed.

De hoogste prioriteit hebben infrastructuuronderwerpen of daaraan gelieerde thema's, in combinatie met toepassing in eindverbruikssectoren, zoals gaskwaliteit, bestandheid van componenten, infrastructuur voor industrieprojecten en waterstofvulpunten voor mobiliteit en transport. Andere thema's hebben voorlopig een lagere prioriteit omdat de volumes waterstof in het energiesysteem nog niet zo groot zijn (ondergrondse opslag), de vraag nog niet tot schaarste van aanbod leidt (importketen) en de omvang van wind op zee nog niet noodzaakt om de opgewekte energie in de vorm van waterstof te transporteren (offshore waterstof). Het is wel van belang om hier voorbereidende studies en eventueel kleinschalige pilots voor op te starten om de systeemelementen klaar voor uitrol te hebben op het moment dat dit nodig is (richting 2025-2030). Goede voorbeeldprojecten en -onderwerpen zijn weergegeven in tabel 10.

**Tabel 10 | Overzicht van voorbeelden van de benodigde randvoorwaarden inclusief innovatiebehoefte. Thema's voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart en voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Veiligheid (risico-beheersing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eenduidig beeld krijgen van de veiligheidsrisico's in de hele keten en de interpretatie daarvan. Dit beeld is nodig om te komen tot landelijk afgestemde maatregelen en instrumenten voor veiligheidsaspecten en risico's; wet- en regelgeving; uniforme vergunningverlening; en uniforme incidentbestrijding en -beheersing.</li> <li>Opleiding en training o.a. t.b.v. veilig onderhoud, incidentbestrijding en human capital-behoefte (opleidingen en trainingen)</li> <li>Specifiek aandachtspunt is tunnelveiligheid bij afblazen van waterstof uit gestrande auto's: er is een kennislacune over fluid dynamics van waterstof in tunnels.</li> </ul>	<p>H<sub>2</sub> Platform</p> <p>IFV, Brandweer Nederland</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstof Veiligheid Innovatie Programma</li> <li>Kennisplatform Veilige Energietransitie</li> <li>Hytunnel</li> <li>QRA-model voor tunnels van RWS</li> </ul>	Aanvraag loopt bij TKI Nieuw Gas
Wet- en regelgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wegnemen van belemmeringen voor waterstof in bestaande juridische kaders en administratieve processen zoals vergunningverlening op gebieden als planning, veiligheid, installatie en exploitatie, die vaak alleen rekening houden met gebruik van gevestigde technologieën</li> <li>Wegnemen van belemmering in REDII om met grid-connected elektrolyzers effectief groene waterstof te maken (vraagstuk van additionaliteit en delegated acts)</li> </ul>	NEN, WaterstofNet, NWBA, RVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>HYLAW</li> </ul>	FCH JU
Standaardisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Versnellen van het proces voor de uitrol van de waterstofeconomie o.a. ten aanzien van de ontwikkeling van nieuwe technologie, van innovatieve systemen, van het beheer en de veiligheid / beveiliging, evenals het versnellen van de markt- en publieke acceptatie</li> </ul>	Nederlandse normcommissie waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>CEN-CLC TC6 Hydrogen in energy systems</li> <li>Publicatie-reeks Gevaarlijke Stoffen</li> </ul>	<p>Technische commissies van CEN en ISO</p> <p>PGS</p>
Gaskwaliteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vaststellen welke gaskwaliteit nodig/gewenst is om eindgebruikersapparatuur (brandstofcellen, turbines, gasmotoren en branders) en brandstofkwaliteit op elkaar af te stemmen; vaststellen van techno-economisch meest optimale specificaties</li> <li>Consequenties voor de keten indien verschillende kwaliteiten gevraagd worden afhankelijk van toepassingsgebied, zoals hoe en waar zuiveren?</li> </ul>	DNV GL, KIWA, netbeheerders	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hy4Heat (UK)</li> </ul>	EZK-innovatiemiddelen, SBIR, financiering via netbeheerders

**Tabel 10 | Overzicht van voorbeelden van de benodigde randvoorwaarden inclusief innovatiebehoeften. Thema's voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart en voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Inzet en hergebruik van de aardgas-infrastructuur voor waterstof (incl. blends)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventarisatie welke aardgasleidingen, ontvangststations e.d. geschikt zijn voor toepassing in een waterstoftransportnetwerk, welke aanpassingen nodig zijn (technisch, organisatorisch, wettelijk), hoe grootschalige ombouw eruit ziet, en wat de kosten zijn</li> <li>Onderzoek naar verbrossing van materialen (leidingen e.a.) door waterstof</li> <li>Hoe snel is de huidige odorisatie uit het voormalige aardgasnet, voordat een brandstofcel gevoed kan worden vanuit dit net (verontreiniging)?</li> </ul> <p><i>Casussen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Onderzoek naar hergebruik gasproductielocaties t.b.v. opwekking en distributie van hernieuwbare stroom (bijv. Emmen)</li> <li>Ontwikkelen van een waterstofnetwerk in de Delta-regio (Zeeland)</li> <li>Backbone: onderzoek naar een waterstof-infrastructuur van 10-15 GW die de 5 grote industriële clusters met elkaar verbindt incl. een berging</li> <li>Hoogeveen: hergebruik distributienetwerk van Rendo, GasTerra en Gasunie als onderdeel van Hydrogreenn (waterstof in de gebouwde omgeving)</li> <li>Stad aan 't Haringvliet: als Hoogeveen, met Stedin</li> </ul>	Gasunie Transport Services, KVGn, EBN, TNO, Stedin, Port of Amsterdam	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstof-symbiose (Dow, Yara)</li> <li>Nexstep</li> <li>Offshore Reuse Potential for Existing Gas Infrastructure in a Hydrogen Supply Chain</li> <li>The effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages</li> </ul>	Idem
Bijmengen waterstof in aardgas in lage percentages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mits voorzorgsmaatregelen worden genomen zijn lagere percentages waterstof in bestaande gasinfrastructuur technisch mogelijk. Zorgpunten zijn bijv. of de huidige gastoe toepassingen overweg kunnen met waterstof, en in hoeverre specifieke niet-stalen onderdelen in de gasnetten bestand zijn tegen waterstof in het gas.</li> <li>Demonstratieprojecten onder gecontroleerde omstandigheden om vast te stellen wat de langetermijneffecten zijn voor bestaande Nederlandse huishoudelijk apparatuur als waterstof aan aardgas wordt toegevoegd.</li> </ul>	DNV GL, HyET Hydrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ameland-project</li> <li>JIP Industry Project HYREADY</li> <li>Energiepark Mainz (bijmengen tot 20%) (DE)</li> <li>Hydeploy (bijmengen tot 20%) (UK)</li> <li>GRHYD demo-project Duinkerken, (bijmengen tot 20%) (FR)</li> </ul>	Aansluiten bij DE, UK, FR?

**Tabel 10 | Overzicht van voorbeelden van de benodigde randvoorwaarden inclusief innovatiebehoefte. Thema's voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart en voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Zuiveren waterstof uit aardgas-stroom (ontmengen na bijmengen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkeling van elektrochemische waterstofzuivering, die het mogelijk maakt om waterstof selectief uit een gasstroom te zuiveren</li> <li>• Techniek is bewezen op kleine schaal. Doel is opschaling met kostenreductie en minder gevoeligheid voor verontreiniging door keuze voor andere membranen.</li> </ul>	HyET Hydrogen, Hygear, TU/e	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PurifHy</li> <li>• HyGrid</li> <li>• Memphis</li> <li>• Bio-Mates</li> </ul> <p>HyET ook actief in DOE-programma in de VS</p>	FCH JU
Bijmengen waterstof in aardgas in hogere percentages (tot 100%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij hogere percentages waterstof bijmengen of zuiver waterstof door de gasleidingen is de vraag of de afsluitingen en verbindingstukken nog geschikt zijn, en of door de hogere volumestroom, bij gelijkblijvende energievraag, geluidseffecten optreden.</li> <li>• In de UK wordt onderzoek gedaan naar de (ontstekings)-risico's van en bij lekkage in huizen en distributienetten bij gebruik van puur waterstof. Doel is om inzicht te krijgen hoe veiligheidsaspecten en risico's in huizen en tijdens distributie zich verhouden ten opzichte van aardgas.</li> <li>• Omdat de Nederlandse en Britse distributienetten en de infrastructuur in huishoudens verschillen moeten dergelijke proeven ook uitgevoerd worden voor de Nederlandse situatie in huizen en gasdistributienetten. Vervolgens praktijkervaring opdoen met pilots en grootschalige demonstraties.</li> </ul>	DNV GL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H21: Hydrogen Distribution, FBM: Measuring and billing new gases,</li> <li>• H100: Hydrogen Distribution (DNV GL)</li> </ul> <p>HYPOS:H<sub>2</sub>-NETZ, MITNETZ Gas, Wasserstoff Dorf</p>	
Tankstations voor waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debietmeters voor waterstof met het juiste bereik en nauwkeurigheid voor toepassing op tankstations</li> <li>• Optimaliseren van de lay-out van waterstoftankstations, rekening houdend met waterstoffase (gas vs. vloeistof), dimensionering en druk- en compressieschema</li> <li>• Specifieke eigenschappen van het lokaal opgewekte waterstof</li> <li>• Standaardiseren van de vuldruk en vorm van het mondstuk</li> <li>• Mogelijkheden voor modulaire of mobiele waterstoftankstations om onderbezetting tegen te gaan tijdens de introductiefase van FCEV</li> <li>• Verlagen van investeringskosten voor een waterstoftankstation</li> <li>• High-speed tanken voor trucks (10 kg/min)</li> <li>• Vanwege het ruimtegebrek bij tankstations, vooral in de gebouwde omgeving, moet er gekeken worden naar ondergrondse opslag in waterstoftanks</li> <li>• Ontsluiting van waterstof in cilinders zodat equipment niet de weg op hoeft om bij een vulpunt te kunnen tanken.</li> </ul>	Pitpoint, Shell, WaterstofNet, Hygear, I&W, ENGIE, Bovag, Beta (branche), HyET Hydrogen, Holthausen	Diverse projecten in het recente verleden uitgevoerd, moet nader in kaart worden gebracht.	

**Tabel 10 | Overzicht van voorbeelden van de benodigde randvoorwaarden inclusief innovatiebehoefte. Thema's voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart en voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Waterstof uit wind op zee	<ul style="list-style-type: none"> <li>Onderzoek naar synergie tussen offshore energie-infrastructuren, inpassing offshore windenergie in het energiesysteem, hergebruik van platforms voor waterstofproductie, -opslag en -distributie</li> <li>Onderzoek naar de haalbaarheid van gecombineerde tenders voor wind op zee en elektrolysecapaciteit</li> </ul> <p><i>Casussen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>IJmuiden Ver en vervolg: Onderzoeken hoe op de beste wijze energie van windpark IJmuiden Ver en daar op volgende gebieden aan land kan worden gebracht</li> <li>North Sea Wind Power Hub: onderzoek doen naar de mogelijkheden van energie-eilanden op de Doggersbank</li> <li>Vorbereiden pilot om offshore waterstofproductie te testen.</li> </ul>	KVGN, Gasunie, EBN, TNO, diverse hogescholen, HAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Power-to-Hydrogen IJmuiden Ver</li> <li>North Sea Energy Programme</li> <li>Waterstof op offshore-platforms</li> <li>Offshore Reuse Potential for existing Gas infrastructure in a Hydrogen Supply Chain</li> <li>3P2GO</li> </ul>	
Ontwikkelen van importketen voor waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gedetailleerde haalbaarheidsstudie eventueel gevolgd door een ontwerpstudie voor importketen van waterstof met aandacht voor herkomst, transportwijze (zoals vloeibaar waterstof tankschepen, ammoniak, MCH/LOHC), benodigde transportmiddelen, ontvangst- en opslaginstallaties, vergassing naar pijpleidingen dan wel breakbulk, bijbehorende handelsplatforms, etc.</li> </ul>	o.a. VOPAK	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analogie met de LNG-importketen, waaronder de GATE importterminal op de Maasvlakte</li> <li>HYCHAIN: projecten van breed ISPT-consortium</li> </ul>	
Ondergrondse opslag van waterstof in zoutcavernes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventarisatie van geschikte zoutcavernes in N- en O-Nederland incl. infrastructuur, zoals zoutindustrie, water, aardgasleidingen en hoogspanningsnet</li> </ul> <p><i>Casus:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Energystock Zuidwending. Een vervolgproject kan zijn om een zoutcaverne fysiek geschikt te maken voor waterstofopslag</li> </ul>	Gasunie/ Energystock, EBN, Nouryon / AkzoNobel, ECN part of TNO, Shell	<ul style="list-style-type: none"> <li>HYUNDER</li> <li>HYSTOCK</li> <li>OPVIS 1 &amp; 2</li> <li>Large-Scale Energy Storage in Salt Caverns and Depleted Gas Fields</li> </ul> <p>Initiative in framework of German HYPOS consortium</p>	EZK-innovatiemiddelen

**Tabel 10 | Overzicht van voorbeelden van de benodigde randvoorwaarden inclusief innovatiebehoefte. Thema's voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart en voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's / funding
Ondergrondse opslag van waterstof in gasvelden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bovenliggende vraag is in hoeverre grootschalige opslag van waterstof in gasvelden noodzakelijk en wenselijk is.</li> <li>Onderzoek naar de mogelijkheden vereist beantwoording van vragen zoals: kunnen er chemische reacties tussen waterstof en de reservoir optreden? Hoeveel waterstofverlies zou bij de reacties plaatsvinden? Wat is de microbiële activiteit per gasveld in Nederland? Wat is de afdichtingseffectiviteit en corrosiebestendigheid tegen waterstof van materialen die in de gasvelden worden gebruikt? Hoeveel kussengas zou nodig zijn?</li> </ul>	Gasunie, EBN, NOGEPa, TNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>The effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages (DBI)</li> </ul>	EZK/RVO  Aansluiten bij project in Oostenrijk?
Integratie van mobiliteit en gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mogelijkheden om brandstofcelvoertuigen en toepassingen in de gebouwde omgeving te gebruiken voor het creëren van flexibiliteit, opslag en piekvermogen (o.a. smart grid projecten)</li> </ul>	Nissan, TU Delft, Lectorenplatform, HAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analogie met Vehicle-to-Grid projecten batterij-elektrische auto's</li> </ul>	EZK-innovatie-middelen

#### 4. Onderzoek voor de langere termijn

Dit onderdeel richt zich op onderzoek en ontwikkeling ten behoeve van oplossingen voor de langere termijn die in de periode richting en na 2030 betekenisvol kunnen worden en/of richting 2050 robuuste elementen zijn voor het realiseren van de energietransitie. Dit heeft vooral betrekking op onderzoek en ontwikkeling in de lagere TRL's en op onderwerpen die in de toekomst (richting 2050) van belang zijn als verduurzamingsopties. Belangrijke randvoorwaarden en vragen zijn:

- Oplossingen moeten een significante bijdrage leveren aan de energietransitie in Nederland in de toekomst, zoals duurzame synthetische brandstoffen en chemie (duurzame koolwaterstoffen).
- Kennisinstellingen en bedrijven die ermee aan de slag gaan moeten een sterke uitgangspositie hebben (aantoonbaar, vanuit internationaal perspectief) op het betreffende terrein om impact te kunnen maken en te kwalificeren voor financiering (geldt met name voor NWO).

Voor deze thema's geldt dat er in een vroeg stadium aandacht nodig is voor industrialisatie, d.w.z. opschaling van de productie van componenten en systemen naar industriële schaal. Bij deze ontwikkeling en industrialisatie dient ook rekening gehouden te worden met circulariteit (hergebruik en recycling). De onderwerpen onder dit deel van de aanpak hebben relaties met veel verschillende MMIP's. Vaak gaat het om langetermijnonderzoek.

De commissie ECCM (Elektro Chemische Conversie en Materialen, zie kader) brengt het benodigde (middel)langetermijnonderzoek binnen dit onderdeel en de bijbehorende *communities* samen in één breed programma.

#### **ECCM**

De adviescommissie voor Elektrochemische Conversie & Materialen (ECCM) adviseert 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 wordt gesteund in haar missie door de topsectoren HTSM, Energie en Chemie, het ministerie van EZK, het ministerie van OCW, NWO en TNO. ECCM integreert de korte en middellange termijn kansen op het gebied van waterstof (gericht op systeemintegratie en kostprijsreductie) en langere termijn kansen op het gebied van elektrochemie. Waterstof kan naar de overtuiging van de commissie alleen worden opgepakt in een integrale aanpak met systeemintegratie in samenwerking met de elektriciteitssector. Elektrochemische conversie en opslag (in de industrie), en de daarvoor vereiste materiaalkunde worden door de commissie gezien als sleuteltechnologie.

ECCM is het sector-overstijgende thema om bovengenoemde transitiedoelstelling te bereiken. De commissie coördineert inspanningen op het gebied van ECCM op nationaal niveau, door het initiëren van nieuwe samenwerkingsinitiatieven en door het adapteren van initiatieven die passen binnen het adviesrapport dat de commissie heeft gepubliceerd.<sup>21</sup> Vanuit nationaal perspectief adviseert de commissie de overheid over welke inspanningen nodig zijn voor samenwerking over de hele innovatieketen. Daarnaast bouwt de commissie aan een ECCM-gemeenschap van kennisinstellingen, bedrijven, overheden en NGO's. Hiertoe organiseert de commissie conferenties op het gebied van ECCM. In 2019 is een ECCM-graduate school geïntroduceerd om verder te bouwen aan een ECCM-gemeenschap in Nederland. De ECCM-gemeenschap brengt bestaande communities en sectoren (HTSM, Energie, Chemie) samen: bedrijfsleven, TKI's, e-Refinery-TUD, MCEC-UU, Solar Fuels-DIFFER, ARC CBBC, IRES-TU/e, ISPT, VoltaChem, etc.<sup>22</sup>

In tabel 11 zijn voorbeelden gegeven van thema's, programma's en projecten die op dit terrein spelen. Er is tevens een behoefte aan fundamenteel onderzoek bij verscheidene waterstofthema's. In Nederland is hiervoor veel expertise en zijn onderzoeksfaciliteiten beschikbaar. Bijlage 1 geeft een overzicht van betrokken onderzoeksinstituten.

Elektrolyse is de sleuteltechnologie voor duurzame waterstofproductie. Van de innovatiebehoeften op dit terrein wordt een uitwerking gegeven in bijlage 2.

<sup>21</sup> <https://www.co2neutraalin2050.nl/docs/reports/advies-elektrochemische-conversie-materialen-eccm-september-2017.pdf>

<sup>22</sup> Meer informatie: [www.co2neutraalin2050.nl](http://www.co2neutraalin2050.nl).

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
<b>Waterstofproductie - elektrochemisch</b>				
Lage-temperatuur elektrolyse: alkalisch, Proton Exchange (PEM) en Anion Exchange Membrane (AEM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alkalische en PEM elektrolyse zitten al op TRL 7-9 en gaan naar "laten zien", echter nieuwe betere componenten vanaf lage TRL verder onderzoeken en ontwikkelen, zoals stabielere, actievare en goedkopere membranen, elektroden en katalysatoren.</li> <li>Ontwikkelen van meer kennis over en inzicht in het degradatiegedrag en de levensduur van proton-exchange membranen en de daaraan verbonden onderhoudskosten.</li> <li>Ontwikkelen van schaalbare versie van de AEM elektrolyser die waterstof produceert met een veel lagere kapitaal-intensiteit en hogere efficiency dan bestaande elektrolyzers.</li> </ul>	Hydron, ECN part of TNO, Siemens, ITM, Hydrogenics, Hygear, consortium Dutch Electrolyser 2.0, MTSA Technopower	<ul style="list-style-type: none"> <li>NextGenH<sub>2</sub></li> <li>ELECTRE<sup>2</sup> (testinfrastructuur en testprotocollen)</li> <li>Dutch Electrolyser 2.0</li> </ul>	EZK-innovatiemiddelen, Voltachem, NWO
Elektrotechnische issues en BOP	<ul style="list-style-type: none"> <li>O.a. performance en kosten van transformatoren en gelijkrichters</li> <li>Kostenreductie en technische optimalisatie van BOP (Balance of Plant).</li> <li>Kunnen we processen intensiveren, bijvoorbeeld met druk, temperatuur?</li> </ul>	TU/e, MTSA Technopower		
Hoge-temperatuur elektrolyse: Solid Oxide Electrolysis (SOE) voor o.a. co-elektrolyse van CO <sub>2</sub> en water	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ontwikkeling van stabielere elektroden met onderdrukking van verouderingseffecten (TRL 5)</li> <li>Demonstreren van voldoende levensduur van elektrolyse in het algemeen (en hoge-temperatuur elektrolyse in het bijzonder)</li> <li>Hoe kunnen we complexe oxidematerialen selecteren voor specifieke eigenschappen en toepassingen?</li> </ul>	Hygear, ECN part of TNO, DIFFER		



**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Materialen en schalingskwesaties voor elektrolyzers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoe maken we hoogwaardige, pinhole-vrije dunne films en (vrijstaande) membranen op grote schaal en in grote afmetingen?</li> <li>Hoe dragen we experimenten op laboratoriumschaal over naar grootschalige en massaproductie? Schalen op grootte of op aantal?</li> <li>Hoe kan elektrolyse op grote schaal worden uitgevoerd? Hoe zou een demonstrator eruit moeten zien? Hoe om te gaan met intermitterende elektriciteitsproductie?</li> <li>Hoe verlagen we de kosten door onderzoek van het materiaalgebruik en het productieproces van de elektrolysecomponenten en -systemen?</li> </ul>	DIFFER e.a.		
Plasma-splitsing van water	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proof-of-concept is bewezen (TRL <math>\leq 3</math>), de plasmareactor en de daaraan gekoppelde gasscheiding moeten verder ontwikkeld worden om tot een praktisch toepasbaar systeem te komen. Doelen zijn verhogen van energetisch rendement van 50% naar 80% en kostenreductie.</li> <li>Inzet van halfgeleidertechniek wordt onderzocht als vervanging van huidig toegepaste magnetrons</li> <li>Tevens mogelijkheid om water en CO<sub>2</sub> te splitsen naar syngas als stap in synthese van koolwaterstoffen</li> </ul>	DIFFER, TU/e, UT, Ampleon, Alliander, Gasunie, Hygear	<ul style="list-style-type: none"> <li>HyPlasma</li> <li>Plasma Power-to-Gas</li> <li>Solid State Plasma</li> <li>SynPlasma</li> </ul>	NWO, STW, TKI HTSM
Fotokatalytische splitsing van water (solar fuels)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotokatalytische splitsing van water met zonlicht (TRL4/5)</li> <li>Ontwikkeling van een foto-elektrochemische demonstrator met hoog rendement en weinig degradatie gebaseerd op earth abundant materialen</li> </ul>	WUR, TU/e, RU Leiden, UvA, Solliance, DIFFER, Hygear	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vloeibaar Zonlicht</li> <li>FotoH<sub>2</sub></li> <li>Alliantie Energie Opslag (voorheen Fuelliance)</li> <li>Sunrise</li> </ul>	
Gecombineerde elektriciteits-opslag en waterelektrolyse (Battolyser)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ontwikkeling van een combinatie van batterij en elektrolyser, die eerst zijn batterijdeel vollaadt en daarna overgaat op waterstofproductie. Na een proof of concept op labschaal is het doel om een module van 20 kW te demonstreren; daarna volgt een test op industriële schaal van enkele MW bij een bedrijf.</li> </ul>	TU Delft, Vattenfall, BASF, Shell, Allego, Proton Ventures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Battolyser</li> </ul>	STW

**Tabel 11 |** Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Combinatie elektrolyse met andere processen / producten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoe combineren we H<sub>2</sub> met CO<sub>2</sub> of N<sub>2</sub> in een enkel apparaat voor producten met een hogere toegevoegde waarde?</li> <li>Hoe integreren we elektrochemische, plasmonische of plasmaprocessen met thermische processen?</li> <li>Aanpassing van elektrolyseproces voor de productie van ozon (O<sub>3</sub>) dat inzetbaar is als grondstof of als warmtebron.</li> </ul>	DIFFER  O3 Systems Technology	• KEROGREEN	NWO, STW
<b>Waterstofproductie - thermochemisch</b>				
Selectief splitsen van aardgas in waterstof en een waardevol vast koolstofproductie (pyrolyse of nieuw type reforming met focus op aardgas; mogelijke transitie-optie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Screening, selectie en mogelijk naar pilot en demo-schaal brengen van elektrisch gedreven pyrolyse-processen (o.a. plasma-chemie en molten metal reforming) voor splitsen van kleine koolwaterstoffen zoals methaan in aardgas en restgassen van raffinaderijen en naftakrakers, in waterstof en vaste koolstof.</li> <li>Welke materialen kunnen worden ontworpen en gebruikt om gasstromen te scheiden in CO<sub>2</sub>-neutrale waterstofproductieprocessen?</li> </ul>	Brightlands / Chemelot ECN part of TNO	Interesse in demonstreren van technologie van Monolith (USA)  Kennisproject molten-metal reforming ECN part of TNO	
Superkritische watervergassing (natte afval- en biomassa-reststromen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deze optie is wellicht van grotere waarde voor productie van syngas dan voor alleen waterstof.</li> <li>Nodig is opschaling naar grotere units richting 10-100 MW in 2030 op basis van natte organische reststromen uit de industrie. Daarnaast demonstratie met RWZI-slib en biogene stromen met hoge as- en zoutgehaltes zoals mest, bermgras en zeewier (uitdagingen rond charring en scaling).</li> </ul>	SCW Systems, Gasunie		Private equity, Gasunie, PFZW, RVO

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding	
<b>Infrastructuur voor waterstof</b>					
Nabehandeling en odorisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieuwe technologie en/of verbetering van bestaande technologie voor zuivering van waterstof tegen zo laag mogelijke kosten tot de gewenste kwaliteit voor diverse toepassingen (PSA, cryogeen, membranen, ...).</li> <li>Methoden en apparatuur/ sensoren voor monitoring van waterstofkwaliteit en het niveau van kritische verontreinigingen (CO, zwavelverbindingen) in waterstof in relatie tot brandstofceltoepassingen.</li> <li>Mogelijke geurstoffen (odorisatie) die kunnen worden toegevoegd aan waterstof om eventuele lekkages te kunnen detecteren, zonder negatieve impact op eindverbruikstoepassingen met brandstofcellen.</li> <li>Bepalen waar odorisatie nodig is: alleen in gebouwde omgeving of ook industrieel en mobiliteit.</li> </ul>	Kiwa, DNV GL			
Opslagsystemen (ondergrondse opslag in tabel 10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Onderzoek naar de noodzakelijke omvang van opslag met het oog op seizoeneffecten, en de impact van dynamisch bedrijf van deze opslagen (korte termijn balanceren van aanbod en vraag).</li> <li>Systemen voor grootschalige opslag van waterstof zowel bovengronds als ondergronds (tanks voor opslag van gecomprimeerd of vloeibaar waterstof).</li> <li>Nieuwe materialen en productieprocessen voor lichtere en goedkopere hogedruktanks (&gt;800 bar) voor voertuigen waarbij tanks bij voorkeur in diverse vormen kunnen worden geproduceerd voor effectieve en veilige inpassing in voertuigen.</li> <li>Optimalisatie van de tankgeometrie, verkleining van componenten en integratie van kleppen en drukregelaars in de tank bij voertuigen.</li> <li>Kleinschalige opslag anders dan op hoge druk, zoals vloeibaar en cryo-compressed (superkritisch), poeder, mierenzuur, liquid organic hydrogen carriers (LOHC).</li> </ul>		ALE/low8, H2Fuel Systems, Hygear, Hydrogenious /JP-Energiesystemen, DENS, Bam Groep, TU/e		

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Transmissie/ transport en distributie per pijpleiding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhogen van de druk tijdens transport zodat de hoeveelheid arbeid nodig voor compressie bij tankstations verminderd wordt.</li> <li>• Geschiktheid van leidingmaterialen en componenten in aardgastransport en -distributienetwerken voor mengsels van aardgas/bio-methaan en waterstof, of voor pure waterstof.</li> <li>• Debietmeters voor variabele gassamenstelling en/of pure waterstof in de gebouwde omgeving.</li> <li>• <b>Onderzoek naar de effecten van hogere transportsnelheden van waterstofgas in leidingen op eventuele geluidshinder en geluidseffecten.</b></li> <li>• <b>Verbetering van de efficiency en de betrouwbaarheid van compressoren, zowel conventionele compressoren als nieuwe type compressoren zoals ionic liquid compressoren en elektrochemische compressoren.</b></li> </ul>	Resato, Shell, HyET	KIWA heeft voor Netbeheer Nederland in kaart gebracht wat er nodig is op het gasnet aan te passen/op te waarderen tot een volledig duurzaam gasnetwerk, met de nadruk op waterstof (naast biogas/groengas).	
Overig transport en distributie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhogen van de capaciteit van tube trailers voor transport van waterstof tot boven de 900kg</li> <li>• Doorontwikkeling en opschaling van technologieën en concepten voor productie (halvering van het energieverbruik), opslag en transport van vloeibaar waterstof.</li> <li>• <b>Ontwikkeling van nieuwe materialen voor transport, distributie en opslag van vloeibaar waterstof (onder -253 °C).</b></li> </ul>			
<b>Gebruik/toepassing - brandstofcellen</b>				
Brandstofcellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkrijgen van beter inzicht in degradatiemechanismen om de levensduur van brandstofcellen verder te kunnen verbeteren, bijvoorbeeld door gerichte ontwikkeling van nieuwe membranen.</li> <li>• Betere en andere katalysatoren om het gebruik van Platinum Group Metals (PGM) verder te kunnen reduceren.</li> </ul>	Nedstack		FCH JU

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Brandstofcel-systemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brandstofcelsystemen voor specifieke toepassingen zoals bussen, vrachtauto's, specialty voertuigen, mobiele werktuigen en generatoren.</li> <li>• Brandstofcelsystemen voor de productie van elektriciteit in Power to Power en overige renewable energy toepassingen.</li> <li>• Ontwikkelen van specifieke 'balance of plant' componenten afgestemd op de eisen vanuit de brandstofcelsystemen om zodoende efficiency en betrouwbaarheid van systemen te verbeteren.</li> <li>• Industrialisatie van de productie van brandstofcelcomponenten, -stacks en -systemen; automatisering van grootschalige en reproduceerbare productie binnen nauwe producttoleranties.</li> </ul>	Nedstack, HAN, MTSA Technopower, Hymove	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demcopem</li> <li>• Hydrova</li> <li>• Hymove bus</li> </ul>	FCH JU
<b>Gebruik/toepassing - thermische systemen voor hoge percentages waterstof in aardgas (tot 100%)</b>				
Industriële branders voor diverse processen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkeling en demonstratie van flexibele brandertechniek die functioneert van 100% aardgas tot 100% waterstof. Deze moet kunnen worden toegepast voor directe verhittingsprocessen, zoals stoom- en warmwaterketels (~100°C), droging, chemische omzetting en destillatie (100-600°C) en ovens en fornuizen (&gt;600°C). Doelstelling is optimale verbranding en minimale NO<sub>x</sub>-emissie.</li> <li>• In geval van directe verhitting is de behoefte om de productkwaliteit (glas, stenen) te behouden of te verbeteren bij toepassen van waterstof als brandstof.</li> <li>• Ontwikkeling van verbrandingssystemen voor het stoken met H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (oxyfuel) mengsels zodat de zuurstof uit elektrolyse nuttig ingezet kan worden en de NO<sub>x</sub>-emissie vermeden wordt.</li> </ul>	DNV GL, Zantingh, Stork Thermeq	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varigas</li> <li>• Vervolgproject in voorbereiding</li> </ul>	SBIR TKI Nieuw Gas
Branders voor cv-ketels, H <sub>2</sub> -piekketels voor duurzame warmtenetten en hybride warmtepompen		Vervolgproject met 25 marktpartijen		
Branders voor gasturbines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen van retrofit pakketten waarmee gasturbines geschikt worden voor hoge percentages waterstof (tot 100%) waarbij aan de wettelijke NO<sub>x</sub> emissienormen wordt voldaan.</li> </ul>	Ansaldo Thomassen, TUD e.a.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Hydrogen Gas Turbine Retrofit</li> </ul>	TKI Nieuw Gas

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Gasmotoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkeling van retrofit pakketten om gasmotoren robuust te maken voor grote percentages waterstof in aardgas, zonder dat waterstofbijmenging leidt tot kloppen van motoren en overschrijding van wettelijke NO<sub>x</sub>-emissies.</li> <li>• Ontwikkeling van gasmotoren voor puur waterstof.</li> </ul>	DNV-GL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydeploy (bijmengen tot 20%) (UK)</li> </ul>	
Waterstof voor regeneratie van metaalpoeder als energiedrager	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkeling industriële brander voor metaalpoeder, dat verbrandt tot metaaloxide en met waterstof wordt geregenereerd. Metaalpoeder is zo te gebruiken als medium voor energieopslag. Het kan worden gebruikt als vervanger voor gas, stookolie of kolen in verbrandingsprocessen.</li> </ul> <p><i>Praktijkproject:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bouw van een 100 kW demonstratie installatie die gebruikt wordt om stoom te leveren in een industriële omgeving.</li> </ul>	EM Group, Romico, HeatPower, Swinkels Family Brewers, Nyrstar, Uniper, TU/e, Enpuls	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal Power 20 kW</li> </ul>	Provincie Noord-Brabant
<b>Gebruik/toepassing - luchtvaart</b>				
Toepassing van waterstof voor decarbonisatie van luchtvaart	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opslag van waterstof, onder hoge druk en cryogeen, risico- / veiligheidsanalyse bij on-board opslag, analyse van materiaalkundige consequenties (o.a. metaalverbrossing, effecten op composiet).</li> <li>• Doorontwikkeling van lichtgewicht brandstofcel systemen (koelsystemen/concepten, hogere voltages en vermogens).</li> <li>• Regelgeving (zoals certificatie-eisen) en richtlijnen voor het gebruik van waterstof, om te beginnen voor drones.</li> <li>• Analyse van benodigde infrastructuur voor toepassing van waterstof in de luchtvaart; opstellen van roadmaps.</li> </ul>	NLR, Drone Hub, GAE, Vliegend.nl, Nouryon, AirLiquide, GKN/ Fokker, TU Delft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterstof drones</li> <li>• Phoenix motorglider met vloeibaar waterstof</li> <li>• E-volution project</li> <li>• Novel Aircraft Configurations and Scaled Flight Testing Instrumentation (NOVAIR)</li> </ul>	EU Clean Sky 2 programma

**Tabel 11 | Overzicht van innovatiebehoefte, programma's en projecten in de keten van productie tot en met eindgebruik van waterstof. R&D voor de korte termijn (betekenisvol <2030) in zwart, R&D voor lange termijn (betekenisvol > 2030) in blauw.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
<b>Fundamenteel onderzoek</b>				
<b>Mechanismen &amp; Processen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemie</li> <li>• Fysica</li> <li>• Materialen</li> <li>• Bio-engineering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat zijn de processen die plaatsvinden aan oppervlakken, interfaces en bulk? Wat zijn de tussenproducten? Hoe de tussenproducten te meten? Hoe operandi te meten? Hoe reactiemechanismen te identificeren?</li> <li>• Welke overvloedige, niet-toxische, goedkope materialen zijn het beste (hoge prestaties, efficiëntie, rendement enz.) voor specifieke toepassingen?</li> <li>• Wat zijn de meest efficiënte middelen om chemische / elektrochemische processen tot de beste prestaties te stimuleren? Licht? Plasmonen? Plasma's? Andere stimulaties? Kunnen we processen aandrijven door deze stimulaties? Kunnen we processen selectief sturen?</li> <li>• Kunnen we tools uit andere velden, zoals nanofotonica tools, toepassen op waterstofproductie, conversie of opslag?</li> <li>• Hoe stabiel zijn de processen? Zijn industriële levensduren in theorie mogelijk? Wat is de strategie om langdurige stabiliteit te bereiken?</li> </ul>	Universiteiten, wetenschappelijke instituten, TNO, ECN part of TNO, overige onderzoeksinstellingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NWO/FOM programma CO<sub>2</sub> neutral fuel</li> <li>• NWO programma Solar to products</li> </ul>	NWO, STW
<b>Materialen &amp; Componenten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthese en Vervaardiging</li> <li>• Karakterisering: structureel en functioneel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat zijn de beste materialen voor de productie, conversie en opslag van waterstof? Welke klassen van materialen en stoichiometrie zijn het meest veelbelovend? Is nano-structurering de oplossing? Hoe stabiel zijn de materialen op lange termijn?</li> <li>• Hoe vervaardigen we deze materialen? Kunnen we tools uit andere velden gebruiken, bijvoorbeeld halfgeleiderindustrie?</li> <li>• Hoe schalen we van materiaalselectie naar component? Schalen op grootte of op aantal? Wat zijn de beperkingen van het component? Hoe integreren we het in een systeem?</li> </ul>	Universiteiten, wetenschappelijke instituten, TNO, ECN part of TNO Overige onderzoeksinstellingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KEROGREEN</li> <li>• Programma Materials for sustainability</li> </ul>	NWO, STW

Voor alle ontwikkelingen op het gebied van vooral elektrolyse, brandstofcellen en hogedruktanks geldt dat in een vroegtijdig stadium rekening moet worden gehouden met de 'produceerbaarheid' (*manufacturability*) en standaardisatie van de technologie en systemen zodat het mogelijk wordt grote hoeveelheden gestandaardiseerde producten van hoge kwaliteit tegen voldoende lage kosten te fabriceren. De industrialisatie van de productie van elektrolysecomponenten, -stacks en -systemen en de automatisering van grootschalige en reproduceerbare productie binnen nauwe producttoleranties is een vakgebied waarop Nederland, bijvoorbeeld via ASML en VDL, internationaal sterk is.

Een vraagstuk is daarbij wat de voorkeursgrootte van elektrolyse-eenheden is om te voldoen aan de waterstofvraag voor bepaalde toepassingen. Er dient ook aandacht te zijn voor efficiënt grondstoffengebruik, hergebruik en recycling bij de ontwikkeling van nieuwe technologie en het ontwerp van nieuwe producten (thematiek benaderen in de context van de Missie Circulaire Economie). Een voorbeeld hiervan is het ontwikkelen van een technisch en economisch model gericht op het hergebruik van PEM-elektrolyse en brandstofcelstacks, hetgeen ook een positieve impact zal hebben op de integrale kostprijs van waterstof.

## 5. Ondersteunende en flankerende activiteiten

Binnen dit onderdeel vallen activiteiten die de juiste context kunnen creëren om waterstof te ontwikkelen en te kunnen opschalen. Deze onderwerpen bevinden zich op het snijvlak van innovatie en implementatie, in sommige gevallen is zelfs geen sprake van innovatie. Thema's die een rol spelen zijn voorlichting en communicatie, scholing en opleiding etc. Een belangrijke doelgroep in bijvoorbeeld de gebouwde omgeving zijn installateurs, op wiens advies de consument veelal vertrouwt. Bekendheid met en kennis van waterstof bij deze groep is daarom essentieel. In hoofdstuk 5 staan ook diverse thema's genoemd die hiermee samenhangend van belang zijn.

Relevante activiteiten en vragen zijn:

- Activiteiten moeten zich richten op brede, oplosbare problemen waarbij de benodigde stakeholders betrokken zijn en bereid zijn tot het vinden van oplossingen, zoals standaardisatie, stimulerende beleidsinstrumenten, en de discussie over (zelf) voorzieningszekerheid.
- Naast techno-economische aspecten is het verstandig om binnen projecten overkoepelende aspecten zoveel mogelijk integraal (zoals hierna benoemd) mee te nemen. Dit betekent dat verankering via de praktijkprojecten onder 2. wenselijk is omdat daarmee optimale mogelijkheden ontstaan om oplossingen in de praktijk te ontwikkelen en te toetsen. Voor deze verankering is het wenselijk om kennis uit alle praktijk- en onderzoeksprojecten samen te brengen, te analyseren en te evalueren, en de informatie weer te verspreiden voor een succesvolle implementatie. Hierbij hoort ook het monitoren van ontwikkelingen in het buitenland, kennisuitwisseling en bevordering van samenwerking.
- Er moet consensus zijn dat deze thema's urgent zijn zodat er gezamenlijk actief aan gewerkt kan worden.

In tabel 12 zijn verschillende thema's toegelicht. Dit zijn thema's die in het algemeen doorlopend aandacht behoeven en het is moeilijk om hier een prioritering in aan te brengen.

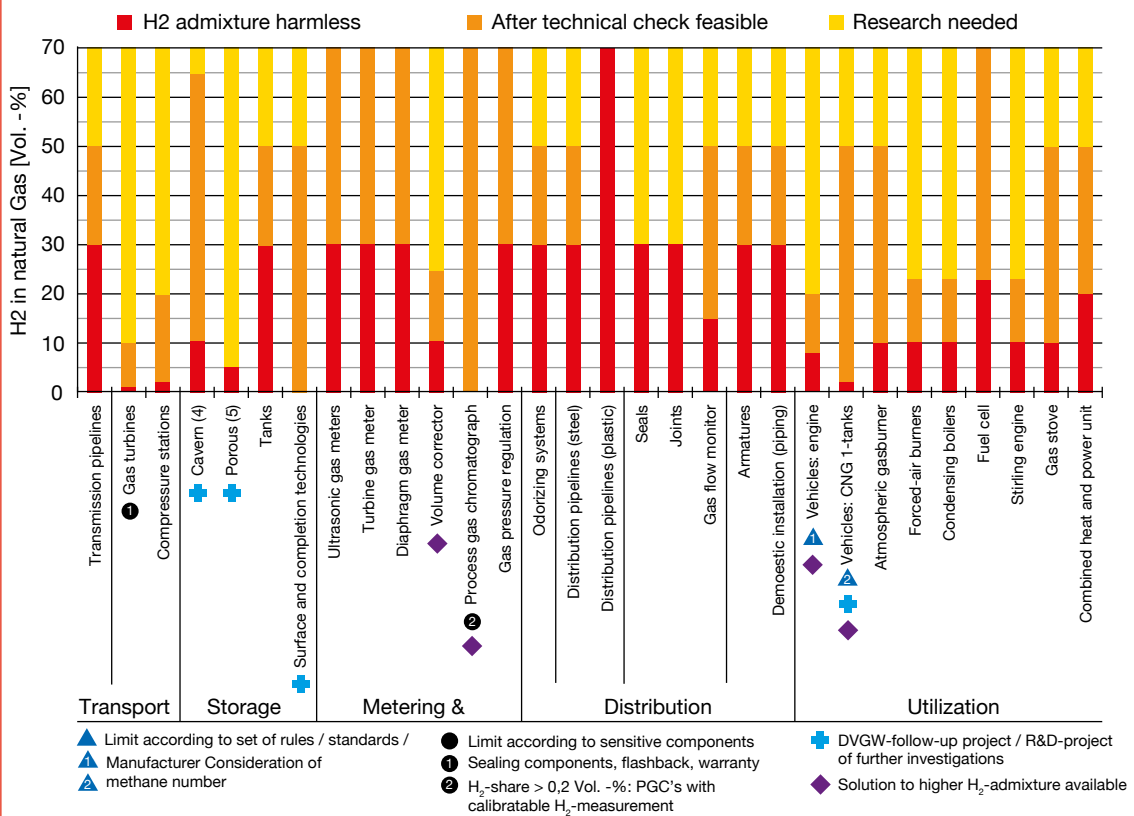


In de programmatische aanpak dient aandacht te zijn voor deze thema's om het gezamenlijke kennisniveau van de zich ontwikkelende sector op peil te brengen en houden. Het advies is om een deel van het beschikbare innovatiebudget te reserveren voor gezamenlijke projecten op deze thema's (5-10%). Het tijdig gereed hebben van standaarden en normen is voorwaardelijk voor een goede internationale werking van het integrale waterstofsysteem. Vanuit het Normalisatieplatform waterstof in de industrie en gebouwde omgeving (NPH2IGO) vindt een brede inventarisatie plaats van de normonderwerpen en pre-normatieve onderzoeksbehoeften rondom waterstof (zie bijlage D).

### Waterstof in bestaande gasnetten

Volgens het rapport 'Toekomstbestendige gasdistributienetten' (KIWA, 2018) is het mogelijk om waterstof te transporteren in de bestaande gasnetten. Er worden wel eisen gesteld aan de maximumwaarde van bepaalde gascomponenten. Daarnaast moeten aanpassingen gedaan worden aan bijvoorbeeld gasmeters door het volumeverschil en de stroomsnelheid van waterstof en mengsels met waterstof. Deze stroomsnelheid kan ook invloed hebben op de geluidsproductie. DVGW/DBI (2018) hebben onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van waterstof inmengen in het bestaande gasnet en tot welke percentages dat mogelijk zou zijn. Ze kwamen tot het beeld zoals hierna geschetst.

**Figuur 5 | Geschiktheid van en onderzoeksbehoefte voor waterstof/aardgasmengsels in relatie tot verschillende opties.**



Source: DVGW / DBI, 2018

**Tabel 12 | Overzicht van ondersteunende en flankerende activiteiten gericht op het wegnemen van belemmeringen en creëren van randvoorwaarden.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Veiligheid (risico-beheersing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eenduidig beeld krijgen van de veiligheidsrisico's in de hele keten en de interpretatie daarvan. Dit beeld is nodig om te komen tot landelijk afgestemde maatregelen en instrumenten voor veiligheidsaspecten en risico's; wet- en regelgeving; uniforme vergunningverlening; en uniforme incidentbestrijding en -beheersing.</li> <li>Opleiding en training o.a. t.b.v. veilig onderhoud, incidentbestrijding en human capital-behoefte (opleidingen en trainingen)</li> <li>Specifiek aandachtspunt is tunnelveiligheid bij afblazen van waterstof uit gestrande auto's: er is een kennislacune over fluid dynamics van waterstof in tunnels.</li> </ul>	<p>H<sub>2</sub> Platform</p> <p>IFV, Brandweer Nederland</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstof Veiligheid Innovatie Programma</li> <li>Kennisplatform Veilige Energietransitie</li> <li>Hytunnel</li> <li>QRA-model voor tunnels van RWS</li> </ul>	Aanvraag loopt bij TKI Nieuw Gas
Wet- en regelgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wegnemen van belemmeringen voor waterstof in bestaande juridische kaders en administratieve processen zoals vergunningverlening op gebieden als planning, veiligheid, installatie en exploitatie, die vaak alleen rekening houden met gebruik van gevestigde technologieën</li> <li>Wegnemen van belemmering in REDII om met grid-connected elektrolyzers effectief groene waterstof te maken (vraagstuk van additionaliteit en delegated acts)</li> </ul>	NEN, WaterstofNet, NWBA, RVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>HYLAW</li> </ul>	FCH JU
Standaardisatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Versnellen van het proces voor de uitrol van de waterstofeconomie o.a. ten aanzien van de ontwikkeling van nieuwe technologie, van innovatieve systemen, van het beheer en de veiligheid / beveiliging, evenals het versnellen van de markt- en publieke acceptatie</li> </ul>	Nederlandse normcommissie waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>CEN-CLC TC6 Hydrogen in energy systems</li> <li>Publicatie-reeks Gevaarlijke Stoffen</li> </ul>	<p>Technische commissies van CEN en ISO</p> <p>PGS</p>

**Tabel 12 | Overzicht van ondersteunende en flankerende activiteiten gericht op het wegnemen van belemmeringen en creëren van randvoorwaarden.**

Thema	Wat is de innovatiebehoefte?	Wie is betrokken?	Welke eerdere / huidige projecten?	Programma's/ funding
Meetmethoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen en vastleggen van normen voor het meten van kwantiteit en kwaliteit van waterstof, o.a. bij afgifte door tankstations</li> </ul>	VSL, Shell, NEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MetroHyVe</li> </ul>	FCH JU
Scholing en opleiding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inpassing van waterstof in scholing en opleiding</li> <li>• Bij de overgang naar duurzame gassen rekening houden met een adequate opleiding van (technisch) personeel en een campagne voor publieke bewustwording van het afwijkende gedrag van duurzame gassen</li> </ul>	KIWA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas 2.0 Energycollege waterstof-opleiding voor studenten en werkkenden</li> </ul>	
Certificering duurzame waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkelen en beproeven van een EU-breed Garantie van Oorsprong-systeem voor groene en koolstofarme waterstof</li> <li>• Transpositie RED II: beïnvloeden invulling van delegated acts die open eindjes moeten regelen en kansen bieden om de randvoorwaarden voor groene waterstof te verbeteren)</li> </ul>	ECN part of TNO, industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CertifHy</li> </ul>	FCH JU
Informatievoorziening en voorlichting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informatievoorziening en voorlichting t.b.v. bewustwording, en creëren van begrip, draagvlak en maatschappelijke acceptatie</li> <li>• Kunnen we de maatschappelijke acceptatie van specifieke oplossingen voorspellen?</li> <li>• Ontwikkeling van tools waarin partijen eenvoudig zelf waterstof kunnen vergelijken met andere verduurzamingsopties</li> </ul>	H2Platform, Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Associatie (NWBA), RVO, Milieucentraal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De wereld van waterstof</li> <li>• De Waterstof Challenge</li> </ul>	



# Hoofdstuk 5

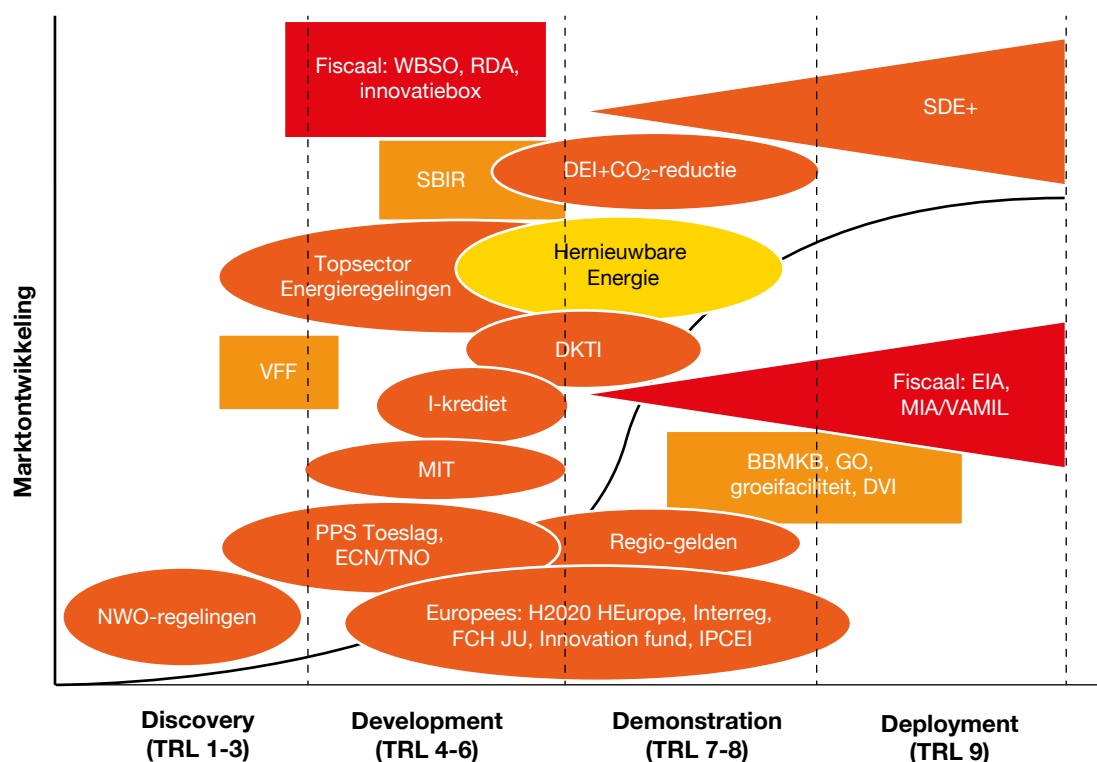
## 5 | Niet-technologische thema's in de programmatische aanpak voor waterstof

In dit hoofdstuk worden verschillende niet-technologische thema's behandeld die van belang en medebepalend zijn voor een succesvolle ontwikkeling en opschaling van waterstof.

### Beleidsmatige ondersteuning van waterstof

Een van de meest cruciale factoren voor de ontwikkeling en opschaling van waterstof is stimulerend en faciliterend beleid. Er zijn momenteel diverse subsidies beschikbaar voor waterstof (figuur 6).

Figuur 6 | Overzicht van subsidiemogelijkheden voor innovaties (RVO, 2019).



Specifiek voor waterstof en daaraan direct gerelateerde thema's zijn de volgende regelingen van belang (niet uitputtend):

- TRL 1-3: NWO-regelingen, met name beschikbaar voor universiteiten en TO2-instituten. Ook de PPS-toeslag kan voor lage TRL's worden aangewend.
- TRL 4-6: In het middensegment van de innovatieketen zijn regelingen als die van de TSE, de MIT (voor het MKB) en de PPS-toeslag beschikbaar. Bij de TSE-middelen kan rechtstreeks subsidie worden ingezet voor waterstof, zoals in de periode 2017-2019 het geval is geweest. Ook de DKTI-regeling is voor (maar niet uitsluitend) waterstof geschikt, specifiek voor mobiliteitsthema's. De PPS-toeslag is ook toepasbaar in dit segment. Verder zijn regionale en Europese middelen beschikbaar, zoals H2020/Europe, Interreg en Innovation Fund.
- TRL7-9: in het hogere segment van de innovatieketen bestaan diverse instrumenten, zoals de DEI+, HER, DKTI en instrumenten die een groter deel van de innovatieketen afdekken, zoals regionale en Europese fondsen. Ook bestaan er verschillende financieringsprogramma's voor bedrijven. De PPS-toeslag is ook toepasbaar voor TRL 7/8. Voor TRL 9 is geen ondersteuning beschikbaar.

De vraag naar subsidiemiddelen is veel groter dan de beschikbaarheid. In het licht van de enorme opgave die nodig is om waterstof op de korte en de lange termijn te ontwikkelen zijn de huidige middelen ontoereikend. Dat daardoor een zekere mate van selectie nodig is, hoeft geen nadelig effect te zijn, echter om waterstof tot volle wasdom te kunnen ontwikkelen en grootschalig te implementeren is meer nodig. Dat geldt feitelijk voor alle TRL-fasen (fundamenteel en industrieel onderzoek, experimenten, pilots, demo's en implementatie/opscaling).

Een van de belangrijkste knelpunten ligt in de demo- en implementatiefase. Naast innovatiesubsidies voor nieuwe (combinaties van) onderwerpen en subsidies die de vaak hoge investeringen ondersteunen, en die in bepaalde mate aanwezig zijn, is ook ondersteuning van de operationele fase noodzakelijk. Juist in de demonstratiefase en zeker in de implementatie- en opschalingsfase zijn de operationele kosten veel hoger dan de 'traditionele', vaak fossiele of op fossiel gebaseerde alternatieven. Vanwege de gewenste opschaling van de productie en toepassing nemen de kosten heel snel toe. Zeker voor waterstof is dit het geval. Subsidies die alleen de aanschaf ondersteunen zijn dan niet meer toereikend. Hier is een analogie te trekken met de ontwikkeling van offshore-wind waarbij de kosten van duurzame elektriciteit gesubsidieerd worden via de SDE+ totdat ze kunnen concurreren met gangbare alternatieven. Dergelijke ondersteuning, bijvoorbeeld per geproduceerde kg duurzame (groene) of klimaatneutrale (blauwe) waterstof, of een subsidie op de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot, is noodzakelijk omdat anders de implementatie en opschaling niet kan plaatsvinden vanwege de (nu nog) hoge kosten. Het publieke belang om de klimaatdoelstellingen te behalen rechtvaardigt hier ondersteuning via een exploitatiesubsidie. De beleidsvisie waterstof, die begin 2020 verschijnt, zal deze zaken moeten adresseren zodat waterstof kan gaan bijdragen aan de energietransitie. Waterstoftoepassingen en de energietransitie vragen naast middelen voor onderzoek, ontwikkeling en innovatie ook een langere-termijn financieringsstructuur. Hiervoor is het belangrijk om vanuit kennis van de markt en technologie inzicht te verschaffen over financiële markten en instrumenten. Denk hierbij in de vroege fasen van marktintroductie aan garanties en mezzanine (of blending) instrumenten. Belangrijk is om de financiële instituties

mee te nemen in de ontwikkeling van waterstof, zodat instellingen als banken, Invest-NL, EIB, venture capital verschaffers en pensioenfondsen de kennis en motivatie ontwikkelen om de (waterstof)transitie in de verschillende fasen te kunnen financieren.

Speciale aandacht is nodig voor financieringsmogelijkheden voor het MKB (midden- en kleinbedrijf) omdat zij belangrijke aanjagers van innovaties zijn. De studie die de maakindustrie (kleine en grote bedrijven) die in Nederland actief is op het gebied van waterstof inventariseert en beschrijft is in het najaar van 2019 beschikbaar gekomen en bevat een lijst van meer dan 250 MKB.<sup>23</sup> Het gaat bij waterstof vaak om kapitaalintensieve projecten waarbij lenen tegen hoge rente de participatie door MKB bemoeilijkt. Hier is het van belang om de beschikbare instrumenten voor waterstofactiviteiten beschikbaar te stellen.

### Regionale inbedding en maatschappelijke innovaties (MVI)

Samen werken aan de energietransitie dient bij uitstek te gebeuren op 'landingsplaatsen' voor de transitie. Dit zijn (vrijwel) altijd fysieke locaties, zoals gemeenten, regio's, industrieterreinen of logistieke centra. Deze locaties bieden uitstekende mogelijkheden om de energietransitie aan een breed veld van maatschappelijke actoren te laten zien en te testen of de innovaties goed werken vanuit het perspectief van alle stakeholders: de exploitant, de operator, de gebruiker en de omgeving. Het levert een veelheid aan ervaringen op die nodig zijn om een volgende verbeterde versie van een product, concept of dienst te kunnen ontwikkelen.

Voor de MPAW is de regionale inbedding van groot belang omdat praktijkprojecten (in dit geval pilots, demo's en implementatieprojecten) een cruciaal onderdeel zijn van het programma. De technologie is in veel gevallen ver genoeg ontwikkeld om te kunnen testen en toepassen in de praktijk en in sommige gevallen zelfs gereed voor implementatie. Omdat er sprake is van voor de maatschappij nieuwe producten, zoals brandstofcelauto's of het gebruik van waterstof in woningen, heeft deze maatschappelijke 'kennismaking' met waterstof nadrukkelijk een goede begeleiding en borging met als doel om eisen en wensen van deze actoren, liefst in het begin en anders bij verbeterde producten, mee te nemen. Zonder deze 'toets' bestaat het risico dat maatschappelijke actoren zich niet betrokken voelen, niet geïnformeerd zijn, en innovaties afwijzen.

Voor waterstof zijn er per toepassing specifieke regio's te identificeren die zich uitstekend lenen om een rol te spelen bij de regionale inbedding:

- *Toepassingen in de industrie:* Tijdens de totstandkoming van het (ontwerp)-Klimaatakkoord is er binnen de sectortafel industrie veel contact geweest met de relevante industrieclusters in Nederland, zoals Noord-Nederland (Chemiepark Delfzijl, Eemshaven, Emmen), de Noordzeekanaalzone (Amsterdam e.o.), het havengebied van Rotterdam waaronder de chemieclusters, het Zeeuwse chemiecluster en het chemiecluster in Zuid-Limburg (Geleen). Deze regio's staan nadrukkelijk op het netvlies voor industriële praktijkprojecten. Deze activiteiten zijn in overleg met MMIP 6-8 voorbereid. Het tempo van ontwikkeling zal hier met name bepaald worden door interesse van de industrie om significante investeringen te doen in deze kostbare projecten in vergelijking met de traditionele gang van zaken in de industrie.

---

23 Rapport "Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie", oktober 2019.

- *Toepassingen in de elektriciteitsproductie:* Voor de projecten die zich op de grootschalige productie van (blauwe) waterstof richten, zoals H-vision (Rotterdam) en H2Magnum (Noord-Nederland), ligt een koppeling met deze regio's voor de hand.
- *Toepassingen in mobiliteit en transport:* Op mobiliteits- en transportgebied zijn er verschillende demonstratie- en implementatieprojecten in Nederland gestart of die binnenkort starten, zoals projecten met waterstofbussen en -vuilniswagens in bepaalde regio's en gemeenten (Groningen, Den Haag, Rotterdam etc.) en projecten rondom waterstofvulpunten en personenauto's (Arnhem, Den Haag, Utrecht, Groningen etc.). Ook hier ligt samenwerking met deze regio's en gemeenten voor de hand, onder andere vanwege de aanwezigheid van één of meerdere vulpunten. De ontwikkeling van waterstof in mobiliteit en transport heeft baat bij de snelle ontwikkeling van een min of meer dekkende infrastructuur. Voor de vele mobiele machines op bouwplaatsen en in de industrie zijn oplossingen nodig om waterstof bij de klant af te leveren. Op dit terrein is samenwerking met MMIP 9 voorzien. Mobiliteit en transport is typisch een segment dat zeer zichtbaar is en zich uitstekend leent om de maatschappij kennis te laten maken met waterstof.
- *Toepassingen in de gebouwde omgeving:* In verschillende gemeenten zijn projecten die zich op de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving richten in voorbereiding. Voorbeelden daarvan zijn Rozenburg, Hoogeveen, Rotterdam en Stad aan 't Haringvliet. Vanwege de complexiteit van de projecten en de directe koppeling met burgers/bewoners, lijkt het verstandig om het aantal praktijkprojecten hier vooralsnog te beperken om in de komende jaren gedegen kennis en expertise op te bouwen die helpen om de mogelijke implementatie in de toekomst te versnellen in een veilige en goed controleerbare omgeving. Ook het gegeven dat gemeenten zich momenteel concentreren op het ontwikkelen van RES-sen (Regionale Energie Strategieën) die in 2021 gereed moeten zijn, geeft tijd om eerst via een beperkt aantal projecten ervaring op te bouwen. Georganiseerde informatievoorziening over, en kennisuitwisseling met projecten op dit gebied elders in Europa, kan leiden tot een groter vertrouwen en versnelling in de ontwikkeling. Omdat de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving direct impact heeft op burgers, leent ook dit onderwerp zich uitstekend voor het innoveren in samenwerking met de maatschappij.
- *Toepassingen van 'overige' projecten:* Naast de toepassing van waterstof in bovengenoemde sectoren, zijn er ook praktijkprojecten in voorbereiding die zich op de systeemfunctie van waterstof richten, zoals het creëren van opslag, flexibiliteit en transportcapaciteit voor elektriciteit in de vorm van waterstof of een daarvan afgeleide energiedrager. Deze projecten zijn vaak verbonden aan specifieke situaties, zoals de Noordzee (elektrolyzers in combinatie met windparken, waarbij elektrolyzers geplaatst worden op bijvoorbeeld beschikbare productieplatforms voor gas en olie). Voor opslag geldt dat projecten bijvoorbeeld gekoppeld zijn aan zoutcavernes die in Noord-Nederland zijn gesitueerd, zoals bij het HyStock-project het geval is.

De meeste projecten lenen zich goed als testobject voor vragen rond de maatschappelijke inbedding van waterstof als middel om de energietransitie mede te realiseren. Daarom is het streven om bij praktijkprojecten de maatschappelijke aspecten nadrukkelijk mee te nemen zodat optimaal geleerd kan worden en toekomstige projecten kunnen profiteren van de ervaringen die zijn opgedaan en de wensen en eisen die de maatschappij stelt, integraal mee kunnen nemen. Elk praktijkproject zou zich moeten verplichten om een maatschappelijke



paragraaf op te nemen op welke wijze de maatschappij wordt betrokken bij het initiatief, bijvoorbeeld als voorwaarde om overheidsfinanciering te ontvangen. Om dit tot uitvoering te brengen, is het van belang dat regio's en geïnteresseerde gemeenten plannen uitwerken en vaststellen op welke terreinen er mogelijkheden liggen voor de opzet van praktijkprojecten. Lokaal/regionaal kunnen dan de juiste partijen en middelen bij elkaar worden gebracht voor de uitvoering. Mogelijk liggen hier ook kansen tot clustering van activiteiten in specifieke gebieden/regio's en focus rond bepaalde activiteiten en thema's waardoor kosten- en synergievoordelen behaald kunnen worden. Voorts is het wenselijk dat lokale en regionale overheden ervaring opbouwen met beleidskaders die op waterstofprojecten van toepassing zijn met als doel om deze projecten optimaal te kunnen ontwikkelen. Tenslotte is van belang dat de regio's onderling samenwerken en interregionaal kennis en ervaringen uitwisselen. Zie hiervoor ook de punten benoemd in de volgende paragraaf inzake samenwerking met onze buurlanden. Tijdens het afronden van deze meerjarenaanpak werd bekend dat Noord-Nederland een grote Europese subsidie heeft toegekend gekregen voor het ontwikkelen van de regio als Hydrogen Valley, als voorbeeld voor hoe andere Europese regio's zich ook met waterstof op de energietransitie kunnen voorbereiden. Dit onderstreept de waarde van een regionale aanpak om waterstoftoepassingen in samenhang te ontwikkelen.

Wat ook aandacht behoort is de sociale en ecologische impact die de grootschalige, internationale ontwikkeling van waterstof kan hebben. Als de verwachte groei van waterstof doorzet en grootschalige productie elders in de wereld plaats zal vinden in gebieden met hoge zoninstraling en/of windsnelheden, zal er ook aandacht moeten zijn voor de sociaal-maatschappelijke en ecologische implicaties hiervan. Behoud van lokale en regionale diversiteit, aandacht voor arbeidsomstandigheden en de ecologische footprint van duurzame productie van waterstof gerelateerde activiteiten, evenals de gevolgen van de grote importstromen van waterstof die hierdoor op gang kunnen komen, zijn hier onderdeel van.

### Internationale afstemming en samenwerking

Wereldwijd en in Europa is er een breed scala aan waterstofontwikkelingen. De transitieopgave is van enorme proporties en rechtvaardigt dat in verschillende landen aan waterstof(projecten) gewerkt wordt, ieder vanuit hun eigen perspectief en visie. Daarnaast zijn in de afgelopen jaren diverse internationale gremia ontstaan die zich richten op ontwikkeling van de waterstofoptie en ook het IEA is optimistisch over de rol die waterstof in een duurzaam energiesysteem kan spelen. Niet alleen de wetenschap maar ook de industrie, bijvoorbeeld via Hydrogen Europe en Hydrogen Council, spreekt zich internationaal uit voor een toekomst waarin waterstof een grote rol zal spelen.

In het algemeen geldt dat er nog maar een beperkt aantal projecten is waar waterstof-toepassingen kunnen concurreren met gangbare alternatieven, meestal van fossiele oorsprong met bijbehorende CO<sub>2</sub>-emissies. Waterstofprojecten zijn doorgaans relatief duur, onder andere vanwege het feit dat er sprake is van nieuwe technologie die nog (door)ontwikkeld moet worden, die nog niet op industriële schaal wordt geproduceerd (massaproductie) terwijl institutionele kaders (beleid en regelgeving) nog niet volledig ontwikkeld of aangepast zijn, waardoor ze tot verhoogde kosten leiden. Ook is er meestal geen infrastructuur aanwezig

die zonder aanpassingen gebruikt kan worden. Het ontbreken van voldoende schaal maakt de productie of aanleg van infrastructuur op korte termijn kostbaar. Dat kan deels ondervangen worden door toepassingen te combineren, maar vraagt met name om een langere-termijn perspectief waarbij er rekening mee wordt gehouden dat hier sprake is van een 'ingroeiscenario' met uitzicht op een business case in de (nabije) toekomst. Internationale samenwerking is op de terreinen onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie van waterstoftechnologie onontbeerlijk. Vanwege de enorme opgave die er ligt om waterstof in de breedte te ontwikkelen, de grote investeringen die dit vergt en de kennis en expertise die daarvoor nodig is, kan (vrijwel) geen enkel land deze opgave in haar eentje aan. Diverse landen hebben speerpunten gekozen, meestal op basis van de specifieke lokale omstandigheden, beschikbaarheid van resources of aanwezigheid van bepaalde bedrijven en/of kennisinstellingen. Diverse internationale gremia zijn opgericht om samenwerking te faciliteren, zoals waterstofactiviteiten binnen het IEA, Hydrogen Europe, Hydrogen Council en binnen de Europese Commissie via de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Ook Mission Innovation (MI) en de Clean Energy Ministerial (CEM) zijn voorbeeld van samenwerking, specifiek gericht op overheden. Ook is er een breed scala aan internationale projecten waar Nederlandse organisaties bij betrokken zijn. Al deze initiatieven helpen om gezamenlijk de rol die waterstof in de energietransitie kan vervullen, te verkennen, te onderzoeken, door te ontwikkelen en te realiseren.

De inzet is om deze samenwerking in de toekomst te continueren en waar mogelijk te intensiveren. Nederland streeft er daarom naar om goed vertegenwoordigd te zijn in Europese en internationale gremia, programma's en projecten om zoveel mogelijk samen te kunnen werken en te leren van kennis en ervaringen die elders worden opgedaan. Dit kan ook in de vorm van bilaterale samenwerking, bijvoorbeeld met het Verenigd Koninkrijk als het gaat om waterstof in de gebouwde omgeving, met Duitsland of België voor waterstof in mobiliteit en transport, en de industrie. Ook m.b.t. Japan, Zuid-Korea, China en de VS liggen er mogelijkheden voor samenwerking die reeds in de verkennende fase zitten voor beide landen. Zeker met Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen, waar goede relaties mee zijn opgebouwd, sterke fysieke verbindingen liggen en samenwerkingsverbanden bestaan, ligt een intensieve samenwerking voor de hand.

Daarnaast zijn er terreinen waar Nederland een goede uitgangspositie heeft en waar we als voorbeeld kunnen dienen voor andere landen, bijvoorbeeld als proeftuin voor nieuwe ontwikkelingen of omdat anderen belangstelling hebben voor Nederlandse producten en diensten. Sterke punten van onze in de basis sterke positie zijn de aanwezigheid van een uitgebreide gasinfrastructuur, een sterke chemische sector, een grote transportsector voor wegvervoer en vervoer over water, en activiteiten op de Noordzee (blauwe waterstof, de combinatie van offshore windparken en groene waterstofproductie). Ook de aanwezigheid van een hoogwaardige (gas)kennisinfrastructuur draagt hieraan bij.

Resumerend is daarom het advies om in te zetten op een vierledige internationale strategie:

- Goede vertegenwoordiging in internationale gremia, zoals Hydrogen Europe, FCH JU, Synergy calls van CEF (TEN-T, TEN-E), MI en CEM, om op hoog niveau over waterstof de agenda mede te bepalen en Nederland te profileren op die thema's waar we een sterke

positie hebben. Daarbij een proactieve opstelling om niet alleen volgend maar vooral ook beïnvloedend te zijn ten gunste van Nederlandse belangen in de internationale programma's. Hiervoor is een gezamenlijke lobby-/beïnvloedingsstrategie wenselijk.

- Actieve deelname aan internationale onderzoeks- en demonstratieprojecten om kennis en expertise in te brengen, om ervaring en kennis op te bouwen en gezamenlijk te innoveren om waterstof tijdig als een van de oplossingen in het kader van de energietransitie te ontwikkelen.
- Intensivering van de samenwerking met onze directe 'buren' Vlaanderen/België en Noordrijn-Westfalen om optimaal gebruik te maken van de kansen en synergieën die er nu al liggen, bijvoorbeeld op het gebied van de industrie en mobiliteit. Daarnaast samenwerking opzetten met geïnteresseerde landen, zoals Japan en de VS, waarbij het een belangrijke uitdaging is om voor beiden goede samenwerkingsmogelijkheden te vinden.
- Nederland 'openstellen' voor innovaties op terreinen waar we een sterke uitgangspositie hebben en die het voor andere landen interessant maken om hier onderzoek en praktijkprojecten uit te voeren.

Deze strategie vergt maatwerk en een verdere uitwerking met partijen die ervaring en contacten hebben op dit terrein.

## HCA – Human Capital Agenda

Waterstof is een relatief nieuw onderwerp. Alhoewel waterstof in de industrie al tientallen jaren in grote hoeveelheden wordt gebruikt, zijn andere toepassingen zoals in mobiliteit en transport, de gebouwde omgeving, als opslag- en transportmedium en ten behoeve van de levering van flexibiliteit, nieuw. De 'pool' aan expertise die ten behoeve van de industrie is opgebouwd, is bij lange na niet voldoende om ook deze nieuwe toepassingen in de toekomst te kunnen faciliteren. Sterker nog, de industrie kampt zelf al met forse tekorten aan vakbekwaam personeel. Daarom is het noodzakelijk om activiteiten te ontwikkelen die erop gericht zijn om de specifieke kennis en expertise die de energietransitie op waterstofgebied vraagt in de komende jaren te ontwikkelen. Dat betekent dat door alle opleidingsniveaus heen kennis en expertise ontwikkeld moet worden die past bij de ontwikkeling van waterstof. Die expertise ligt op een breed scala aan terreinen, zoals het werken met gassen, onder hoge druk, bij extreme koude, in stationaire en mobiele toepassingen en in verschillende omgevingen (industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit en transport, on- en offshore), beslaat vele terreinen (infrastructuur, opslag, toepassingen) en vergt (de combinatie van) verschillende disciplines, zoals techniek, economie, institutionele zaken en maatschappelijke aspecten.

Deze ontwikkeling en de daarvoor bestaande behoefte aan personeel is ambitieus, zeker tegen de achtergrond dat de energietransitie op vele terreinen nieuw personeel vergt. Daarom is er behoefte aan een sterke human capital agenda. Binnen de invloedssfeer is de reikwijdte en impact van de Topsector Energie op de aanwas van nieuw (technisch) personeel beperkt, maar er liggen voldoende mogelijkheden om vanuit de inhoud via een scala aan activiteiten bij te dragen aan de HCA. Vanuit de industrie bijvoorbeeld vinden al diverse activiteiten op dit terrein plaats, zoals bij ISPT, TKI Energie & Industrie en Gasunie ('De wereld van waterstof') via *learning communities*. Het TKI Nieuw Gas heeft goede verbindingen met het lectorenplatform

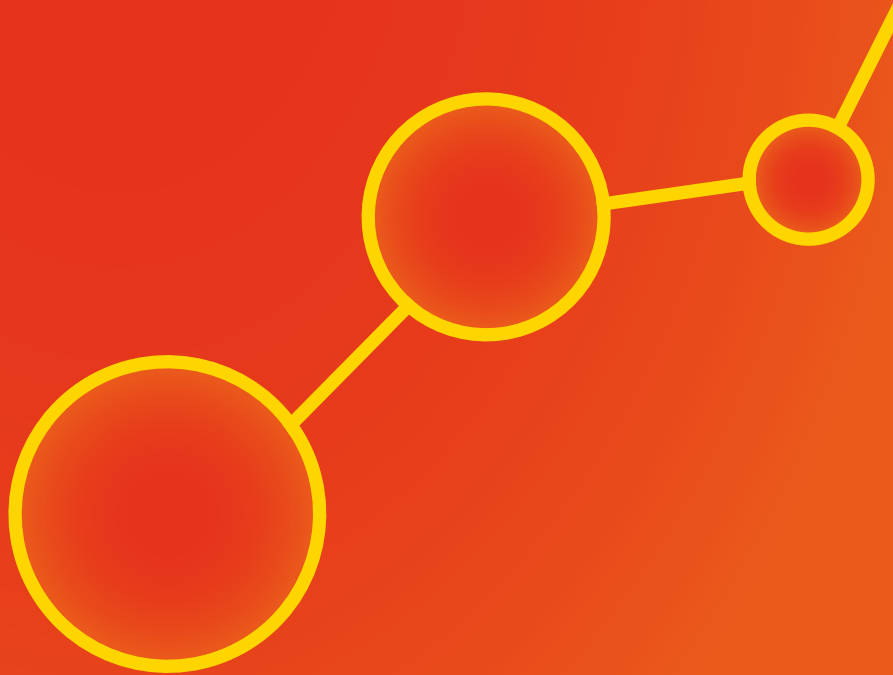
LEVE en met activiteiten vanuit het MBO gericht op waterstof, zoals het Gas 2.0 programma. Er is behoefte aan uitbreiding van deze activiteiten, zoals het inbrengen van lespakketten over waterstof in het curriculum van middelbare scholen en bij automotive ROC's om al op jonge leeftijd interesse te wekken voor het onderwerp. Het is de bedoeling om deze activiteiten in samenwerking met de andere MMIP's op te pakken, en bij voorkeur aan te sluiten bij de activiteiten die vanuit de overkoepelende missieteams (voor de verschillende gebruikssectoren) plaatsvinden omdat daar de sterkste verbindingen met de betrokken bedrijven, kennisinstellingen en sectoren liggen. Gezamenlijk zal worden gezocht naar mogelijkheden waar vanuit de MPAW additionele activiteiten gewenst zijn.

## Digitalisering

Het onderwerp digitalisering is belangrijk voor de MPAW. Een grote kracht van waterstof zit namelijk in de functies die het kan vervullen binnen het systeem, zoals het leveren van flexibiliteit, transport van grote hoeveelheden energie (elektriciteit in de vorm van waterstof) en opslag. Deze functies vergen een adequate aansturing waarvoor digitalisering onvermijdelijk is. Zo is digitalisering en betere modellering van gasdistributienetten van belang om toepassing in de gebouwde omgeving en mobiliteit via een waterstofnet of bestaand gasnet te faciliteren, bijvoorbeeld door middel van dynamische drukregeling.

Waterstof is echter ook sterk verbonden met de verschillende toepassingen die vanuit de huidige MMIP's aan een digitaliseringsagenda werken. De verankering van digitalisering zal naar verwachting ook in de specifieke sectoren en toepassingen gebeuren. Bijvoorbeeld bij de toepassing van waterstof in de industrie zal digitalisering 'meeliften' op reguliere activiteiten die in het kader van de digitaliseringsagenda in de industrie worden uitgevoerd (MMIP 6-8). Voor toepassing van waterstof in mobiliteit en transport geldt dat waterstof zal meeliften op de digitaliseringsagenda binnen MMIP 9 en 10, bijvoorbeeld op het terrein van optimalisatie van vervoersstromen en autonoom rijden. Voor de systeemfunctie wordt samenwerking gezocht op digitaliseringsgebied met MMIP 13. En voor de gebouwde omgeving geldt dat samenwerking met bijvoorbeeld MMIP 5 voor de hand ligt.

Daarom worden vooralsnog geen aparte activiteiten binnen de MPAW inzake digitalisering opgestart maar wordt in nauwe samenwerking met de andere MMIP's gezocht naar synergiemogelijkheden en thema's waar behoefte is aan een extra impuls op dit terrein. Die kunnen vervolgens ook in het kader van de MPAW opgepakt worden.





# Hoofdstuk 6

## 6 | Prioriteitstelling van de Meerjarige Programmatische Aanpak voor Waterstof

In dit hoofdstuk wordt een voorstel gepresenteerd hoe het thema waterstof in de komende jaren ontwikkeld kan worden en welke prioriteiten daarvoor kunnen worden benoemd. Dit voorstel is gebaseerd op meerdere 'bronnen'; gesprekken in de afgelopen maanden met veel verschillende stakeholders, eigen expertise van het kernteam, actieve deelname aan (inter) nationale projecten en gremia op dit terrein, en input die tijdens een brede consultatieworkshop en internet/mail-consultaties verkregen is. Daardoor is het beeld robuust.

Als basis om de prioriteiten van de MPAW voor de komende jaren vast te kunnen stellen, zijn de in hoofdstuk 4 geïnventariseerde vraagstukken en activiteiten gebruikt. Deze zijn vervolgens naast de ambities gelegd die in het Klimaatakkoord zijn genoemd voor waterstof. Deze ambities staan samengevat in tabel 13 die identiek is aan tabel 1 maar voor de leesbaarheid nog eens is opgenomen.

**Tabel 13 | Verwijzingen naar het thema waterstof in het Klimaatakkoord.**

Sector	Doel (Wat?)	Aanpak (Hoe?)
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installatie van 3-4 GW elektrolyse in 2030 (500 MW in 2025)</li> <li>• Reductie investeringskosten elektrolyse met 65% tussen nu en 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterstofprogramma met €30-40 mln/jaar voor pilots en demo's vanuit het Rijk</li> <li>• Onderzoek naar opname in SDE+(+), aanwending EU-fondsen, betrekken financiële sector zoals InvestNL</li> </ul>
Elektriciteit-opwekking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor flexibiliteit van elektriciteitssysteem, ontwikkeling CO<sub>2</sub>-vrije regelbare productie, mogelijk tot 17 TWh in 2030, waarvoor CO<sub>2</sub>-vrije waterstof een optie is</li> <li>• Ontwikkeling Green Powerhouse Noordzee (tot 60 GW in 2050) met deels conversie naar waterstof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tijdige aanpassing en aanleg van (waterstof)-infrastructuur die industrieclusters koppelt</li> <li>• Vaststellen van een brede Rijkvisie op marktordening en energietransitie, met aanpassing van wettelijke kaders uiterlijk 2021</li> <li>• Ontwikkeling (EU) waterstofcertificaten</li> </ul>
Mobiliteit en Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In 2025 50 tankstations, 15.000 brandstofcelauto's en 3000 zware voertuigen; in 2030 300.000 brandstofcelauto's</li> <li>• Reductie investeringskosten tankstations met gemiddeld 10% per jaar</li> <li>• Bijdrage waterstof aan tenminste 150 emissievrije binnenvaartschepen in 2030</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convenant stimuleren waterstofmobiliteit met stakeholders</li> <li>• Fiscale stimuleren en aanwending EU-fondsen</li> <li>• Overheid als <i>launching customer</i> (Duurzaam Inkopen), zowel Rijk als decentrale overheden</li> <li>• Nul-emissie zones voor stadslogistiek in 30-40 grootste gemeenten</li> <li>• Bestuursakkoord Zero Emissie Busvervoer</li> <li>• Green deal zeevaart, binnenvaart en havens</li> </ul>
Gebouwde Omgeving	Voor 2030 duidelijk hebben hoe waterstof kan bijdragen aan realiseren van het doel voor 2050, mogelijk voor gebouwen en wijken die moeilijk op andere wijze te verduurzamen zijn	Ruimte creëren in wet en regelgeving en in wijkgerichte aanpakken voor pilots en demo's in de komende jaren

De ambities uit het Klimaatakkoord zijn (mede) bepalend voor de hier gepresenteerde prioriteitstelling. Deze prioriteiten zijn noodzakelijk om tot een snelle ontwikkeling en opschaling van waterstof te komen in de periode tot 2030. De indeling van de prioriteiten volgt niet helemaal de thematische indeling in 5 onderdelen zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4, maar de relatie met deze onderdelen is als volgt:

- om de ambities voor 2030 te behalen dient prioriteit te liggen bij implementatie en opschaling via grootschalige praktijkprojecten in de vier toepassingsgebieden (onderdeel 2),
- met voldoende schaal om (bijvoorbeeld) serieuze infrastructuurontwikkeling te rechtvaardigen (onderdeel 3),
- en zicht te krijgen op belemmeringen die weggenomen moeten worden en de benodigde randvoorwaarden voor opschaling (onderdeel 5),
- evenals de benodigde innovaties op alle TRL-niveaus die - waar mogelijk - ingebouwd kunnen worden in de praktijkprojecten (onderdeel 4).
- Parallel hieraan is er behoefte aan nadere visievorming over, en uitwerking van, de rol die waterstof kan vervullen in het toekomstige energie- en grondstoffensysteem, in welke omvang, en over de manier waarop en snelheid waarmee dat gerealiseerd kan worden (onderdeel 1 en 3).<sup>24</sup>

## Programmatistische aanpak

De meerjarige, programmatistische aanpak voor waterstof is uitgewerkt in 5 onderdelen die met elkaar verbonden zijn:

### 1. Van visie naar beleidsvorming

Hier staat visievorming en programma-ontwikkeling centraal, gericht op het verkennen van de opties voor realisatie van de energietransitie, de rollen die waterstof hierin kan spelen en de benodigde beleidsondersteuning en marktordening.

### 2. Laten zien in praktijkprojecten (pilots, demo's, implementatie)

Dit deel gaat over praktijkprojecten met waterstof die in de periode 2025-2030 gereed moeten zijn voor brede implementatie. Deze projecten dienen meerdere doelen, zoals versnelde introductie van op waterstof gebaseerde oplossingen, organiseren van integrale waterstofketens, testen en ontwikkelen van business cases, en werken aan maatschappelijke inbedding via praktijkvoorbeelden die geschikt zijn voor toekomstige opschaling. Korte(re) termijn R&D-vragen maken hiervan onderdeel uit.

### 3. Creëren van de randvoorwaarden

Diverse overkoepelende thema's moeten gezamenlijk geadresseerd en opgepakt worden zodat synergievoordelen worden benut en activiteiten snel en efficiënt kunnen worden uitgevoerd. De focus ligt op thema's die op de korte tot middellange termijn urgent zijn, zoals wet- en regelgeving, veiligheid en risicobeheersing, standaardisatie en infrastructuur.

---

<sup>24</sup> Deze nummering van de onderdelen volgt de indeling van hoofdstuk 4.



#### 4. Onderzoek voor de langere termijn

Hierbij staat onderzoek en ontwikkeling (lagere TRL's) centraal ten behoeve van oplossingen voor de langere termijn die in de periode richting en na 2030 betekenisvol kunnen worden en/of richting 2050 robuuste elementen zijn voor het realiseren van de energietransitie. Een goed voorbeeld is de co-elektrolyse van water en kooldioxide tot een syngas dat kan dienen als basis voor productie van klimaatneutrale chemische producten en materialen (kunststoffen) en synthetische brandstoffen.

#### 5. Ondersteunende en flankerende activiteiten

Dit betreft activiteiten die zijn gericht op het wegwerken van belemmeringen, en die de juiste randvoorwaarden creëren waarbinnen waterstof tot ontwikkeling en opschaling kan komen. Thema's die een rol spelen zijn bijvoorbeeld voorlichting, human capital agenda, digitalisering, inbedding in de regio's en internationale samenwerking.

Voor deze onderdelen zijn prioritaire activiteiten benoemd die in de komende jaren nodig zijn om de ambities van het klimaatakkoord te kunnen realiseren en om waterstof tot wasdom te brengen. Ze worden hierna achtereenvolgens behandeld.

##### Ad 1. Van visie naar beleidsvorming

Er is veel behoefte aan een duidelijke visie over welke rol waterstof kan vervullen in het toekomstige energie- en grondstoffsysteem en de manier waarop dat gerealiseerd kan worden. Voor deze visie wijzen stakeholders vooral naar de overheid omdat de meesten op zoek zijn naar duidelijkheid over, en richting voor, toekomstige ontwikkelingen en de wijze waarop dat via beleid en regelgeving ondersteund kan worden. Waar in feite naar gezocht wordt, is inzicht in de robuustheid van bepaalde ontwikkelingen en met welke stimulansen de overheid deze richting(en) ondersteunt. Dat is natuurlijk geen taak van de overheid of van overheden alleen; ook de industrie, burgers (gebruikers) en andere betrokkenen zullen zich hier achter moeten scharen en hun commitment en ambities kenbaar maken.

In het Klimaatakkoord van 28 juni 2019 heeft het kabinet geschetst welke grote rol zij voor waterstof voorziet. Tevens heeft het kabinet in een kamerbrief (DGBI-DR/19145732) aangekondigd om in het najaar een beleidsvisie te presenteren, waarin ingegaan wordt op de uitwerking van de programmatische aanpak voor waterstof, op de te maken keuzes inzake certificering en RED II, op vraagstukken van marktordening, regulering en infrastructuur, op de economische kansen en op de internationale context. Daarmee geeft de overheid in feite de gewenste duidelijkheid over die zaken waar zij direct invloed op heeft. Met betrekking tot ondersteuning van waterstof via de SDE++ lopen momenteel gesprekken; in eerste instantie heeft PBL negatief geadviseerd door de vermeende hoge CO<sub>2</sub>-emissiereductiekosten van groene waterstof op de korte termijn.

De prioriteiten op het onderdeel 'visievorming' zijn als volgt:

### 1A. Beleidsvisie waterstof

Opstellen van een beleidsvisie voor waterstof door de overheid (najaar 2019). Deze dient de gewenste duidelijkheid te geven en zo stimulans te bieden voor een brede implementatie van waterstof richting 2030. In de markt is er behoefte aan een stabiel langetermijnbeleid, zoals bijvoorbeeld voor accijnsvrijstelling voor waterstof en ondersteuning van de operationele kosten via een SDE++-achtige constructie, gedurende langere tijd om business cases van projecten met voldoende zekerheid te kunnen bepalen.

- *Betrokkenen*: overheid (EZK), alle stakeholders
- *Timing*: najaar 2019
- *Benodigd budget*: geen
- *Herkomst budget*: n.v.t.

Naast deze beleidsvisie is het vanuit strategisch oogpunt van belang om inzicht te krijgen in de rol die waterstof kan spelen in verschillende toekomstscenario's, uitgaande van een ambitieus klimaatbeleid (in lijn met het Klimaatakkoord), en in welke rollen, functie, markten en toepassingen waterstof het beste en meest robuust tot haar recht komt. Het is daarbij ook belangrijk dat waterstof in diverse analyses voor het Klimaatakkoord geadresseerd wordt. Samenwerking met MMIP 13, waarin o.a. modelontwikkeling en -analyses centraal staan, is hiervoor gewenst.

### 1B. Studies en analyses voor programmaontwikkeling

Het is van belang om inzichtelijk te maken welke ontwikkelingen voor waterstof wenselijk zijn en hoe waterstof zich verhoudt tot alternatieven in nationaal en Europees opzicht via scenario-analyses. Daardoor wordt duidelijk waar waterstof het meest wenselijk is en op welke termijn. Zie tabel 4 voor een overzicht van alle innovatieopgaven.

- *Betrokkenen*: alle stakeholders, samenwerking met MMIP 13, planbureaus (PBL, CBS), TNO  
Systeemstudies, consultants;
- *Timing*: doorlopend, op korte termijn mee beginnen;
- *Benodigd budget*: geen, met name erop toezien dat waterstof expliciet wordt meegenomen
- *Herkomst budget*: n.v.t.

Voor een succesvolle implementatie en opschaling van waterstof zijn een duidelijke beleidsvisie en inzicht in scenario's en -analyses onontbeerlijk. Het opstellen van een beleidsvisie voor waterstof door de overheid dient de gewenste duidelijkheid te geven voor de stimulering van waterstof en brede implementatie richting 2030. Er is behoefte aan een stabiel langetermijnbeleid, zoals voor de fiscale behandeling van waterstof voor mobiele en stationaire toepassingen (accijns en energiebelasting) en ondersteuning van de operationele kosten van de productie van waterstof via - bijvoorbeeld - een productiesubsidie. Daarmee is het mogelijk om business cases van projecten te bepalen. Ook is zekerheid gewenst voor het opschalingstraject dat nodig is om de investeringskosten voor technologie daadwerkelijk omlaag te kunnen krijgen.

Het is van belang om inzichtelijk te maken welke ontwikkelingen op waterstof van invloed zijn en hoe waterstof zich verhoudt tot alternatieven in nationaal en Europees opzicht via scenario-analyses. Daardoor wordt duidelijk waar waterstof het meest wenselijk is en op welke termijn. Ook is de relatie met de (additionele) productie van duurzame elektriciteit en de positie van blauwe waterstof (incl. de CCS-optie) van belang. Inzicht in de werking en toepasbaarheid van nieuwe marktmodellen helpt om beleid te beoordelen en vorm te geven.

## **Ad 2. Laten zien in grootschalige praktijkprojecten**

Op basis van het Klimaatakkoord komen de volgende prioritaire thema's naar voren waarvoor onder stakeholders een breed draagvlak bestaat en die robuust zijn voor de energietransitie. De jaartallen en schaalgroottes zijn indicatief en ambitieus maar gegeven de snelheid van de internationale ontwikkelingen en de noodzaak om snel tot CO<sub>2</sub>-emissiereductie te komen is het wenselijk om de lat hoog te leggen. De volgorde van de prioriteiten is arbitrair.

Voor veel van deze praktijkprojecten geldt dat combinaties mogelijk en zinvol zijn. Dat is om meerdere redenen van belang: samenwerking, coördinatie en clustering (zowel lokaal en regionaal als nationaal en internationaal) versnelt de kennisontwikkeling en vergroot het draagvlak, leidt tot gedeelde infrastructuur en schaalvoordelen, en vergroot de kansen op effectief beleid en voldoende financieringsmogelijkheden.

Voor deze grootschalige praktijkprojecten is het gewenst om in de komende maanden ontwikkelplannen uit te werken waarin staat wat er wanneer zou moeten gebeuren en gerealiseerd zou moeten zijn om deze doelen en ambities te bereiken, wat daarvoor nodig is op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, welke knelpunten (zoals wet- en regelgeving, vergunningen, veiligheid, beschikbaarheid subsidies) aangepakt moeten worden en hoe het financieringsplan eruit ziet. Tevens is het nodig om inzichtelijk te hebben welke consortia van concrete partijen gevormd kunnen worden om de ontwikkelplannen uit te voeren. Deze plannen zouden uitgewerkt kunnen worden door programmateams, bijvoorbeeld in de regio's, waarin de relevante stakeholders zijn vertegenwoordigd. Dergelijke teams zijn (deels) al voorhanden zoals Hydrogreenn Hoogeveen, H-vision Deltalinqs en WaterstofNet. Voorts vervult het H2Platform een belangrijke rol met betrekking tot de vraagaggregatie.

De opgave is om op deze wijze te focussen op 'grote blokken' waarachter sterke consortia zich scharen die dit willen realiseren op een termijn die boven de looptijd van de MPAW uitstijgt. Hier moet vervolgens de MPAW aan worden gekoppeld zodat het programma helpt om op coherente wijze de benodigde innovaties te ontwikkelen (faciliteren). De basis wordt gelegd in dit onderhavige MPAW, maar een concretiseringsstap om gefundeerde keuzes te maken voor concrete innovatieprojecten en -trajecten is nog nodig.

## **2A. Realisatie van grootschalige productie van waterstof op GW-schaal in 2030**

Om de toekomstige vraag naar waterstof te kunnen bedienen, is grootschalige productie van 'groene' waterstof door elektrolyse (alkaline, PEM) uit water met duurzame elektriciteit noodzakelijk, zeker op de langere termijn zodat waterstof volledig duurzaam kan worden geproduceerd én duurzame elektriciteitsproductie volledig en effectief wordt benut.

Opschaling via hogere aantallen en grotere capaciteiten van systemen leidt tot een geleidelijke kostenreductie. Dit is nodig om op termijn grootschalige inzet mogelijk en rendabel te maken en om vergaande benutting en inpassing van wind- en zonne-energie ter vervanging van aardgas als gasvormige brandstof te realiseren waar alternatieven tekort schieten, en ter vervanging van het huidige, op aardgas gebaseerde waterstofverbruik in de industrie.

Meerdere initiatiefnemers hebben plannen gelanceerd voor een groeitraject tot 3-4 GW in 2030, via een opschalingsroute die loopt van de eerste installaties van 20 MW die nu in voorbereiding zijn via projecten van 50, 100 en 250 MW naar GW-schaal. De Groene Waterstofcoalitie onderschrijft deze ambities, evenals bijvoorbeeld de samenwerkende partners in Noord-Nederland. De technologie die hiervoor beoogd wordt is elektrolyse. Grote uitdagingen zijn de toekomstige beschikbaarheid van duurzame elektriciteit, de beschikbaarheid van elektrolyzers op grotere schaal, de ontwikkeling van de vraag naar waterstof en de financiering en exploitatie van deze projecten. Het ligt voor de hand om de opschaling in de industrie te realiseren (inclusief raffinaderijen) vanwege de potentieel grote waterstofvraag. Indien de cumulatieve opschaling in de richting gaat van vele honderden MW en GW-schaal, dan zal dit nadrukkelijk moeten worden beschouwd in relatie tot extra inspanningen voor realisatie van duurzame elektriciteitsproductie om daadwerkelijk CO<sub>2</sub>-emissiereductie te realiseren in Nederland. Vanuit de windenergiesector bijvoorbeeld wordt aangegeven dat tot 2030 meer dan de huidige geplande opschaling mogelijk is.

Naast groene waterstof is 'blauwe' waterstof een optie om op relatief korte termijn grote hoeveelheden klimaatneutrale waterstof beschikbaar te hebben, bijvoorbeeld voor de industrie en de flexibele opwekking van elektriciteit. Het eerste initiatief op dit gebied is het H2Magnum project van Vattenfall, Gasunie en Equinor in de Eemshaven. Daarnaast hebben diverse spelers in de Rotterdamse haven een ambitieus plan neergelegd (H-vision) voor de productie van blauwe waterstof uit aardgas. Ook hier is financiering en exploitatie een belangrijke uitdaging.

In tabellen 6 en 7 zijn mogelijke projecten opgesomd. Enkele belangrijke parameters voor opschaling op dit terrein zijn:

- *Betrokkenen*: chemische industrie, grote bedrijven, Nederlandse maakindustrie, elektriciteitssector, havens;
- *Timing*: in de komende 3-4 jaar diverse productie-installaties beschikbaar met schaalgrootte (20-50 MW), daarna opschaling naar 100-500 MW of meer (2025) richting GW-schaal in 2030;
- *Benodigd budget*: budgetvraag is zeer groot (ordegrootte 1000 €/kW geïnstalleerd), later neemt de budgetvraag af door lagere kosten per kW. Elke GW-installatie vereist een investering van ordegrootte € 1-1,5 miljard. Daarnaast is opex-ondersteuning noodzakelijk, bijvoorbeeld via een SDE++;
- *Herkomst budget*: voor kleinere installaties financiering deels met Nederlandse (HER, DEI++, Invest-NL) en Europese middelen (Innovation Fund, FCH JU, Horizon Europe etc.), voor grote installaties (>100 MW) financiering via bedrijven, Brussel/EC (waaronder EIB) en diverse (internationale) investeerders.

## 2B. Aanleg van een ‘waterstof-backbone’ die de grote industriecusters in Nederland verbindt rond 2030, inclusief grootschalige ondergrondse waterstofopslag

Als waterstof op grote schaal wordt geproduceerd, is de realisatie van een waterstofinfrastructuur noodzakelijk om de verschillende productie- en gebruikscusters van groene en blauwe waterstof te kunnen voorzien. Dit betreft zowel het creëren van een ‘waterstof-backbone’ op nationaal niveau, waarmee opslag van waterstof (bijvoorbeeld in gasvelden en aquifers) rechtstreeks is verbonden, alsmede waterstof in distributienetten voor de gebouwde omgeving. Waarschijnlijk volstaat ombouw van (een deel van) de aardgasinfrastructuur, eventueel aangevuld met nieuwe infrastructuur waar de bestaande infra niet beschikbaar of geschikt is. Daarnaast is grootschalige, ondergrondse waterstofopslag in zoutcavernes van belang om voldoende waterstof beschikbaar te hebben en om een buffer te creëren tussen productie en gebruik. Natuurlijk zal de noodzaak voor infrastructuur en opslag van de productie en vraag naar waterstof afhangen, maar dit zou niet de beperkende factor moeten zijn, zodat nader onderzoek op de korte termijn noodzakelijk is. Ook afspraken over gaskwaliteit spelen hierbij een belangrijke rol, zoals de vraag welke kwaliteiten via welke infrastructuren geleverd kunnen worden.

Belangrijke parameters voor opschaling:

- *Betrokkenen*: Gasunie GTS, regionale netbeheerders, Nederlandse maakindustrie;
- *Timing*: meegroeien met initiatieven in de industriecusters vereist vanwege doorlooptijden dat nu al begonnen wordt met planvorming;
- *Benodigd budget*: nader te bepalen, omvang is groter bij aanleg van nieuwe leidingen dan voor geschikt maken van bestaand leidingnet. Schatting is enkele honderden miljoenen;
- *Herkomst budget*: socialisering als waterstoftransport wordt ondergebracht in de Gaswet, en via eigen budget van Gasunie TS en andere netbeheerders, zo nodig en mogelijk aan te vullen met Nederlandse (Invest-NL) en Europese (EIB) middelen en diverse (internationale) investeerders.

## 2C. Inzet van stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof in 2030

Om voldoende klimaatneutrale elektriciteit en de benodigde flexibiliteit en piekvermogen beschikbaar te hebben in een steeds meer door variabel vermogen (wind en zon) gedomineerd elektriciteitssysteem, is de realisatie van naar waterstof omgebouwde gas- en mogelijk kolencentrales nodig. Een goed voorbeeld hiervan is de Magnum-centrale in de Eemshaven waarvoor de ombouw naar waterstof onderzocht wordt.

Er is volgens het Klimaatakkoord mogelijk al in 2030 behoefte om ordegrrootte 17 TWh elektriciteit te produceren met nul-emissie flexibele centrales, ook als andere mogelijkheden voor flexibiliteit in de elektriciteitssector al worden toegepast. Naast waterstof-gestookte centrales zijn er andere opties, maar die lijken om diverse redenen minder haalbaar of kansrijk, zoals kerncentrales, biomassacentrales, en aardgascentrales met geïntegreerde CCS. Uiteindelijk zijn deze regelbare centrales, of decentrale varianten daarvan, ook nodig om richting 2050 een geheel CO<sub>2</sub>-emissievrije elektriciteitsproductie te realiseren (aanvullen

van tekorten aan aanbod van wind en zon als overige flexibiliteitsopties niet toereikend zijn, of duurder zijn). Ook de productie van blauwe waterstof speelt hierbij een rol. Tabel 7 geeft een uitgebreide toelichting op initiatiefnemers en betrokkenen.

Enkele belangrijke kenmerken:

- *Betrokkenen*: elektriciteitsproducenten (groot- en kleinschalig), netbeheerders, lokale/provinciale overheden, Nederlandse maakindustrie;
- *Timing*: voor grootschalig in de komende jaren mogelijkheden voor realisatie ontwikkelen, voor kleinschalig bij concrete projecten in kaart brengen wat mogelijke oplossingen zijn en (demo)projecten realiseren (komende 3-4 jaar);
- *Benodigd budget*: nader te bepalen, geschatte ordegrrootte enkele honderden miljoenen voor 500-1000 MW;
- *Herkomst budget*: HER, DEI++, Invest-NL en Europese middelen (Innovation Fund, FCH JU, Horizon Europe).

## 2D. Demonstratie van 3-5 pilots met waterstof in de gebouwde omgeving, uiterlijk in 2025

Voor de gebouwde omgeving bestaan diverse verduurzamingsopties. De toepassing van groene waterstof is, naast groen gas, aantrekkelijk in woningen en wijken waar andere opties niet haalbaar zijn. Om de gewenste verduurzaming in de gebouwde omgeving te realiseren, is het van belang om voor deze opties op de korte termijn uit te zoeken, te testen en te demonstren hoe waterstof toegepast zou kunnen worden.

Van belang is bijvoorbeeld om te weten in welke situaties en op welk schaalniveau (blok, buurt, wijk, etc.) waterstof in de gebouwde omgeving (bestaande bouw) het beste kan worden ingepast, inclusief onderzoek naar wat er in de regelgeving moet worden aangepast om dit mogelijk te maken. Daarnaast is de ontwikkeling van een aantal representatieve praktijkprojecten in diverse configuraties (diverse type situaties, aandeel waterstof en eindtoepassingen) nodig om brede ervaring op te doen en de condities vast te kunnen stellen waaronder ombouw, toepassing en eventuele verdere uitrol na 2030 effectief, efficiënt en veilig kan plaatsvinden, zoals:

- Bijmengen in een bestaande situatie (o.a. situatie in kaart brengen, welke aanpassingen zijn nodig). Een project met bijmengen in een bestaande situatie kan bijvoorbeeld worden gecombineerd met decentrale productie;
- Puur waterstof in een bestaande wijk (o.a. situatie vooraf in kaart brengen, leren hoe ombouw en overschakelen te doen);
- Toepassing voor individuele woningen;
- Toepassing in collectieve warmtesystemen (gestapelde bouw en regionale netten).

Qua eindtoepassingen kan worden gedacht aan cv-ketels, hydride warmtepompen, en in het geval van puur waterstof ook aan micro-warmtekracht. Voor nieuwbouw lijkt waterstof niet de gewenste optie omdat duurzame *all-electric* alternatieven juist hier goed toepasbaar zijn. Het verdient echter aanbeveling om een goede analyse te maken van de mogelijkheden voor beperkte toepassing van waterstof in nieuwbouw, bijvoorbeeld in woningen/complexen waar

naast warmte ook koude noodzakelijk is, evenals additioneel elektrisch vermogen. In tabel 9 staat een uitgebreid overzicht van initiatieven op dit terrein.

Belangrijke kenmerken voor de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving zijn:

- *Betrokkenen*: bouwsector, projectontwikkelaars, woningbouwcoöperaties, gemeenten, netbeheerders, installatiesector, bewoners;
- *Timing*: in pilot- en demoprojecten in de komende 2-4 jaar verkennen hoe dit werkt, issues zoals veiligheid, wet- en regelgeving oplossen;
- *Benodigd budget*: orde grootte 10-20 M€;
- *Herkomst budget*: HER, DEI++, Europese middelen (FCH JU, Horizon Europe etc.), deels financiering via programma's van netbeheerders.

## 2E. Uitrol van mobiliteit op waterstof, inclusief de benodigde vulpunten in 2025

Veel van de benodigde technologie (zoals auto's en tankstations) is reeds beschikbaar maar heeft op onderdelen verbetering en optimalisatie. Voor het zwaar(dere) transport is nog ontwikkeling nodig. De volgende ambities zijn in het Klimaatakkoord voor 2025 geformuleerd:

- tenminste 50 vulpunten bij openbare tankstations;
- minimaal 15.000 brandstofcelauto's en bestelbusjes;
- 3.000 zware brandstofcelvoertuigen op de weg in 2025, zoals bussen, trucks, vuilniswagens en gemeentervoertuigen / utiliteitsvoertuigen (of een ander segment met significante omvang en herhalingspotentieel), inclusief de bijbehorende specifieke vulpunten indien nodig;
- 10-20 demo's met waterstof in binnenvaartschepen;
- 10-20 demo's met waterstof voor mobiele machines in landbouw, weg en waterbouw, bouw en industrie.

Deze ambities worden gedeeld door het H<sub>2</sub> Platform. Ook hiervoor is ruimte nodig om tot snelle opschaling te komen. Belangrijke randvoorwaarden zijn gunstige gebruikskosten van voertuigen (TCO = Total Cost of Ownership). De inzet zou met name gericht moeten zijn op de volgende segmenten:

- Auto's: Uitbreiding eerste vulpunten tot een landelijk dekkend netwerk van vulpunten in combinatie met voortzetting van marktactivatie en -introductie (lage bijtelling, vrijstelling BPM, MRB en accijns op waterstof, restwaarde garantiefonds etc.)
- Openbaar busvervoer: Ondersteuning van verdere uitbreiding van inzet van brandstofcel-elektrische bussen in concessies waar batterij-elektrische bussen niet toereikend zijn. Stimulering kan o.a. via reguliere kanalen (concessieverlening).
- Nul-emissie logistiek: doorontwikkeling, testen en demonstreren van vrachtwagens en bestelbusjes. Heftrucks zijn reeds beschikbaar
- Nul-emissie stadsreiniging: vuilniswagens en veegwagens doorontwikkelen, testen en demonstreren
- Nul-emissie scheepvaart: schepen op waterstof ontwikkelen en demonstreren, walstroom-opties ontwikkelen en demonstreren
- Vulpunten: Om waterstofmobiliteit en -transport in verschillende sectoren te kunnen ontwikkelen is een landelijk dekkende infrastructuur noodzakelijk. Daarom is opschaling nodig van de huidige 4-5 tankstations naar 50 in 2025. Daarnaast is verbetering van de vulpunten noodzakelijk met het oog op de investeringskosten, efficiëntie en onderhoud.

In tabel 8 is een uitgebreide toelichting gepresenteerd. Belangrijke kenmerken zijn als volgt:

- *Betrokkenen*: vrachtvervoerders, OV-bedrijven, gemeenten en provincies, uiteenlopend scala aan voertuigfabrikanten, tankstation-exploitanten, fabrikanten van vulpunten, waterstofproducenten/-leveranciers;
- *Timing*: in de komende 1-2 jaar ontwikkelen en demonstreren om daarna te kunnen opschalen;
- *Benodigd budget*: budgetvraag bedraagt ordegrrootte 10-20 M€ om eerste voertuigen voor een segment te ontwikkelen en demonstreren;
- *Herkomst budget*: o.a. DKTI-regeling, regionale gelden, op Europees niveau FCH JU en Interreg, aangevuld met innovatiemiddelen voor de benodigde verbetering van de vulpunten.

## 2F. Start van pilot- en demonstratieprojecten met nieuwe toepassingen van waterstof in de industrie in de periode 2025-2030

Naast de huidige, grootschalige toepassing van waterstof in de industrie zijn er diverse mogelijkheden om groene en blauwe waterstof in te zetten voor de energiebehoefte ter vervanging van aardgas en vloeibare brandstoffen en voor de productie van grondstoffen en producten. Deze projecten liggen in het verlengde van de prioriteit 'Realisatie van grootschalige productie van waterstof op GW-schaal in 2030' omdat de mogelijke behoefte aan waterstof voor deze toepassingen groot is.<sup>25</sup> Omdat de financiële haalbaarheid in de industrie vanuit internationaal concurrentie-oogpunt een zeer belangrijk punt is, wordt hier vooral ingezet op pilot- en demoprojecten; opschaling en doorgroei naar grootschalige toepassing zal later volgen. Voorbeelden zijn:

- Levering van waterstof uit een 20 MW water-elektrolysefabriek in Delfzijl aan BioMCN voor de productie van groene methanol;
- Inzet van waterstof uit een 100 MW elektrolysefabriek voor productie van brandstoffen en/of basischemicaliën met de koolmonoxide (CO) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>) in de restgassen van de cokes- en staalproductie bij TATA;
- Inzet van elektrolyse-waterstof voor de raffinage van frituurvet tot duurzame kerosine en biopropan in het SkyNRG-initiatief;
- Productie van groene methanol op basis van waterstof en syngas geproduceerd door vergassing van afval (Energem, Nouryon e.a.).

In tabel 6 zijn meer voorbeelden van projecten gegeven. Belangrijke kenmerken zijn:

- *Betrokkenen*: chemische industrie, grote bedrijven, luchtvaartmaatschappijen, havens, luchthavens, Nederlandse maakindustrie;
- *Timing*: in de komende 3-4 jaar diverse pilot- en demo-installaties voorbereiden en zo mogelijk realiseren in relatie tot industriële water-elektrolyseprojecten met een schaalgrrootte in de orde van 20-50 MW;
- *Benodigd budget*: voor de budgetvraag voor het elektrolysedeel wordt verwezen naar de prioriteit 'Realisatie van grootschalige productie van waterstof op GW-schaal in 2030'. Naar verwachting is de budgetbehoefte voor de nieuwe processen voor productie van synthetische brandstoffen en groene chemicaliën van een vergelijkbare ordegrrootte;

<sup>25</sup> De inzet van waterstof in nieuwe processen voor de productie van vloeibare brandstoffen en het synthetiseren van chemische producten en materialen is gerelateerd aan het waterstofprogramma omdat het grootschalige productie van duurzame waterstof vergt, maar de ontwikkeling van die processen is geen onderdeel van het waterstofprogramma.



- *Herkomst budget:* voor kleinere installaties financiering deels met Nederlandse (HER, DEI++, Invest-NL) en Europese (Innovation Fund, FCH JU, Horizon Europe etc.) middelen, voor grote installaties (>100 MW) financiering via bedrijven, Brussel (waaronder EIB) en diverse (internationale) investeerders.

## 2G. Inpassing van decentrale duurzame elektriciteit via waterstof in 2025 door realisatie van pilot- en demonstratieprojecten

Op verscheidene plaatsen zijn er beperkingen in de netcapaciteit waardoor de inpassing van decentrale duurzame elektriciteit uit zon en wind niet (altijd) mogelijk is. Hierdoor komen deze projecten niet of zeer langzaam van de grond. Het is gewenst om in de komende jaren (periode tot 2025) pilot- en demonstratieprojecten op te zetten over de mogelijkheden van water-elektrolyse in relatie tot inpassing van decentrale duurzame elektriciteitsopwekking en het ontlasten van knelpunten in het elektriciteitsnet. Daarbij is het mogelijk om lokaal een koppeling te maken met waterstofvulpunten of de toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving. Te denken valt aan bijmenging van waterstof in het (lokale of regionale) aardgasnet. Zie tabel 7 voor een uitgebreide specificatie.

Relevante kenmerken van projecten:

- *Betrokkenen:* elektriciteitsproducenten (groot- en kleinschalig), netbeheerders, lokale/provinciale overheden, Nederlandse maakindustrie
- *Timing:* voor grootschalig in de komende jaren mogelijkheden voor realisatie ontwikkelen, voor kleinschalig bij concrete projecten in kaart brengen wat mogelijke oplossingen zijn en (demo)projecten realiseren (komende 3-4 jaar)
- *Benodigd budget:* nader te bepalen
- *Herkomst budget:* HER, DEI++, Invest-NL en Europese middelen (Innovation Fund, FCH JU, Horizon Europe etc.)
- *Onderbouwing:* waterstof kan een oplossing bieden voor ontlasting van het elektriciteitsnet op plaatsen met (te)veel hernieuwbare energieopwekking.

## 2H. Ontwerp en aanleg van een 'test-energie-eiland' gecombineerd met offshore wind en waterstofproductie voor 2030

Vanwege het grote belang van offshore wind als basis voor de toekomstige elektriciteitsproductie ('Green Powerhouse Noordzee') en de verwachte uitdagingen en knelpunten wat betreft transport en aanlanding van deze elektriciteit, is het gewenst om op beperkte schaal en onder realistische omstandigheden het complete systeem voor 'windwaterstof' op zee te testen, inclusief de benodigde infrastructuur zoals offshore-waterstofleidingen. Daarmee kan ervaring worden opgedaan hoe deze optie in de toekomst op een efficiënte en betrouwbare manier kan worden toegepast. Er worden plannen ontwikkeld voor meerdere grote 'energie-eilanden' in de Noordzee waar waterstof geproduceerd zou kunnen worden met elektriciteit uit wind.

De volgende kenmerken spelen een rol:

- *Betrokkenen*: windenergieproducenten, netbeheerders, lokale/provinciale overheden, Nederlandse maakindustrie;
- *Timing*: (demo)project realiseren in de komende 3-4 jaar;
- *Benodigd budget*: orde grootte € 20-30 miljoen;
- *Herkomst budget*: HER, DEI++ en Europese middelen (Innovation Fund, FCH JU, Horizon Europe etc.).

### **Ad 3. Creëren van de randvoorwaarden**

Dit onderdeel gaat over een scala aan onderwerpen die van belang zijn voor de groot-schalige uitrol van waterstof, zoals ontwikkeling, geschiktheid en aanpassing van waterstof-infrastructuur, veiligheid, standaardisatie, gaskwaliteit (inclusief bijmenging waterstof in aardgas), grootschalige opslag van waterstof, tankinfra voor mobiliteit en transport, import van waterstof en positie van havens, en systeemintegratie van de (offshore) elektriciteitsproductie. Sommige van deze onderwerpen komen noodzakelijkerwijs aan bod bij praktijkprojecten, andere bevinden zich nog in een 'studiefase' waarbij afwegingen moeten worden gemaakt wat de beste opties zijn, op welke manier die toegepast kunnen worden, wat de kosten zijn en op welke termijn dat moet gebeuren. In tabel 10 is dit nader uitgewerkt. Het oppakken van de onderwerpen is van belang vanuit nationaal en internationaal oogpunt. Het gaat om meestal grote en kostbare keuzes die integraal afgewogen moeten worden. Daarom zijn er belangrijke raakvlakken met MMIP 1, 4, 7, 9 en 13 en moeten deze thema's gezamenlijk worden geadresseerd.

Dit geldt onder meer voor de thema's Import en Systeemintegratie. Het thema import bevindt zich nog sterk in de studiefase. Meer inzicht is hier gewenst in kosten, technische uitvoering, productielocaties van waterstof, meest gewenste vorm van transport, maatschappelijke issues etc. Voor systeemintegratie dient onderzocht te worden welke mogelijkheden waterstof biedt om flexibiliteit op centraal en decentraal niveau te bieden, de infrastructurele opties (aanlanding van offshore elektriciteit via waterstof) en de meest optimale configuraties. Eerste pilots zijn op dit terrein in voorbereiding (bijvoorbeeld elektrolyse op een productieplatform op de Noordzee). Te denken valt ook aan de aanleg van een 'test-energie-eiland' met op kleine schaal en onder realistische omstandigheden het complete systeem voor windwaterstof op zee. Nadere uitwerking is nodig, onder andere in samenwerking met MMIP 13.

### **Ad 4. Onderzoek voor de langere termijn**

Dit thema richt zich op het lange(re) termijn onderzoek dat nodig is om waterstof in de volle breedte en voor een scala aan toepassingen te kunnen ontwikkelen. De scheiding tussen onderzoek voor de lange termijn (na 2030) en voor de periode tot 2030 is niet altijd heel scherp. Sommige resultaten zijn al eerder nodig, maar vergen meer fundamentele oplossingen waar meer tijd voor nodig is. Voorts zal deze behoefte ook afhangen van de snelheid waarmee waterstof op de kortere termijn tot ontwikkeling komt. In tabel 11 staat een overzicht van de onderzoeksbehoefte. Er kan grofweg onderscheid worden gemaakt in de volgende onderwerpen:

- *Waterstofproductie*: Er zijn diverse elektrochemische en thermochemische technologieroutes voor de productie van waterstof in diverse stadia van ontwikkeling. De hoofdroute betreft

water-elektrolyse: de splitsing van water met behulp van energie afkomstig van de overvloedig beschikbare bronnen zon en wind. Hier zijn verschillende technologievarianten van. Het is voor deze varianten van belang om de principes verder te verkennen en te bezien of opschaling in de toekomst mogelijk is, leidend tot lagere kosten en hogere efficiëntie.

- **Infrastructuur en opslag:** De onderzoeksbehoefte op dit onderwerp is over het algemeen een stuk concreter dan bij de productie; de opties bevinden zich in de hogere TRL-fasen. De vragen die hier liggen dienen op kortere termijn te worden geadresseerd omdat ze van belang zijn bij opschaling en voor de koppeling van productie en toepassing van waterstof.
- **Toepassingen:** Voor de toepassing geldt dat de onderzoeksbehoefte divers is. Belangrijke onderwerpen zijn de ontwikkeling en optimalisatie van brandstofcellen systemen voor diverse toepassingen en de aanpassing van apparatuur, zoals branders en motoren, voor waterstof. Ook zijn er veel concrete vragen met betrekking tot de toepassing in de gebouwde omgeving.

Voor een nadere specificatie van de onderzoeksbehoefte wordt ook naar het ECCM-programma verwezen dat een uitgebreide beschrijving bevat. Het is wenselijk om sterker de relatie te leggen tussen onderzoeksthema's en kansen voor de Nederlandse maakindustrie.

#### 4A. Onderzoeksbehoeften voor de korte(re) termijn oppakken

R&D-vragen die op de korte(re) termijn spelen zullen snel en effectief opgepakt moeten worden om waterstofprojecten te kunnen uitvoeren en opschalen. De verwachting is dat ook de praktijkprojecten direct tot onderzoeksvragen zullen leiden. Het is wenselijk om deze interactie actief te organiseren bij uitvragen van projectvoorstellen.

- *Betrokkenen:* divers waaronder bedrijven/MKB, overheden, kennisinstellingen;
- *Timing:* op korte termijn oppakken;
- *Benodigd budget:* orde grootte 4-5 M€ jaarlijks;
- *Herkomst budget:* HER, DEI++, DKTI, SMO-middelen van onderzoeksinstellingen

#### 4B. Onderzoeksbehoeften voor de lange(re) termijn oppakken

Waterstof bevindt zich pas in de beginfase van de ontwikkeling en de verwachting is dat er veel fundamentele verbeteringen mogelijk zijn wat betreft productie en toepassing. Ook is het mogelijk om door nieuwe ontwikkelingen voor 'lastig te verduurzamen segmenten' oplossingen te bieden.

- *Betrokkenen:* onderzoeks- en kennisinstellingen, bedrijven;
- *Timing:* nu oppakken in via verschillende programma's (o.a. ECCM) in de komende jaren tot uitvoering brengen;
- *Benodigd budget:* orde grootte 5-10 M€ jaarlijks;
- *Herkomst budget:* NWO, H2020/Europe, SMO-middelen van onderzoeksinstellingen.

#### Ad 5. Ondersteunende en flankerende activiteiten

Hierbij gaat het over onderwerpen van die noodzakelijk zijn om waterstofprojecten succesvol te kunnen ontwikkelen, zoals certificering van waterstof, ontwikkeling en toepassing van meetmethoden, maatschappelijke inbedding, de rol van regio's, digitalisering en de human

capital agenda. Veel van de onderwerpen die onder dit thema vallen kunnen showstoppers zijn voor implementatie. Daarom zouden deze activiteiten bij uitstek in praktijkprojecten aan bod kunnen komen. Toekomstige (subsidie)projecten zullen gestimuleerd worden om deze thema's integraal mee te nemen. Sommige onderwerpen vereisen geen geormerkt budget, maar bijvoorbeeld voldoende daadkracht en ambitie bij stakeholders om gezamenlijk tot oplossingen te komen. Hierna volgen de meest urgente ondersteunende activiteiten.

### 5A. Certificering van waterstof

Ontwikkelen en toepassen van een uniform Europees systeem voor Garanties van Oorsprong voor (groene) waterstof, certificaten voor groene waterstof en waterstof met een lage fossiele-koolstof impact. Kenmerken:

- *Betrokkenen*: ministeries, industrie, lokale/regionale overheden, adviseurs, kennisinstellingen, Vertogas;
- *Timing*: oppakken wanneer de vragen zich voordoen, met als ambitie om over 4 jaar alles gereed te hebben;
- *Benodigd budget*: vooralsnog beperkt;
- *Herkomst budget*: -

### 5B. Internationale afstemming en samenwerking

Op dit gebied is aan te bevelen dat Nederland ervoor kiest om hier strategisch mee om te gaan en doelgericht experts in te zetten in belangrijke werkgroepen zodat Nederland vertegenwoordigd is en actief meestuint.

- *Betrokkenen*: NEN, ministeries, industrie, lokale/regionale overheden, adviseurs, kennisinstellingen;
- *Timing*: doorlopende activiteit;
- *Benodigd budget*: vooralsnog beperkt;
- *Herkomst budget*: -

### 5C. Divers: regionale samenwerking, HCA, Digitalisering, MVI etc.

Er zijn verschillende niet-technologische thema's die van belang en medebepalend zijn voor een succesvolle ontwikkeling en opschaling van waterstof. Deze vragen doorlopend aandacht in relatie met de overige activiteiten. Het gaat om thema's als regionale samenwerking, human capital agenda, digitalisering, en maatschappelijke innovaties.

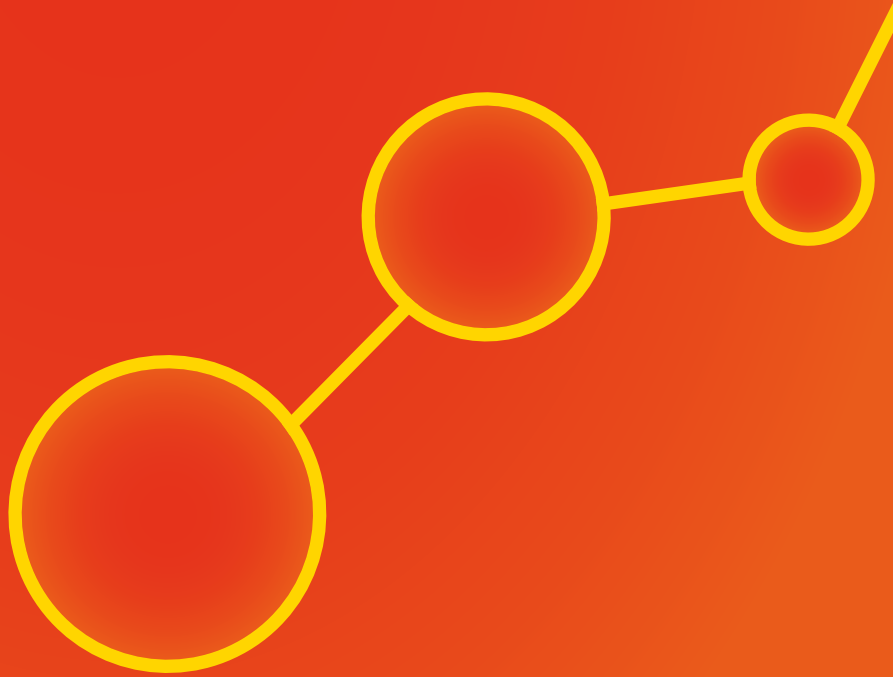
### Samenvattend overzicht

Tabel 14 geeft een samenvattend overzicht van de 5 onderdelen van de aanpak, inclusief timing en een zeer globale indicatie van de verwachte budgetbehoefte. Voor een deel van deze onderdelen geldt dat ze al in de betreffende MMIP's zijn benoemd, geprioriteerd en gebudgetteerd. Er zal continu afstemming met deze MMIP's plaatsvinden om de ontwikkeling van waterstof optimaal te kunnen faciliteren.

Tabel 14 | Eerste, globale schatting van het benodigde budget voor de ontwikkeling van waterstof in de periode 2020-2030.

Thema	Timing (wanneer gereed)	Geschat budget (M€)
<b>1 Van visie naar beleidsvorming</b>		
<b>1A.</b> Beleidsvisie waterstof	Begin 2020	Geen
<b>1B.</b> Studies voor programmaontwikkeling	Doorlopend	Jaarlijks 0,2-0,5
<b>2 Laten zien in grootschalige praktijkprojecten</b>		
<b>2A.</b> Realisatie grootschalige waterstofproductie op GW-schaal	2030	1.000+
<b>2B.</b> Aanleg van een waterstofbackbone in Nederland en waterstofopslag	Rond 2030	Deels publiek
<b>2C.</b> Inzet van stuurbare, flexibele elektriciteitscentrales op waterstof	2030	250+
<b>2D.</b> Demonstratie van 3-5 pilots met waterstof in de gebouwde omgeving	2025	10-20
<b>2E.</b> Uitrol van mobiliteit op waterstof incl. vulpunten	2025	10-20
<b>2F.</b> Pilot- en demoprojecten waterstof in de industrie (valt deels onder 2A)	2025-2030	50-100
<b>2G.</b> Inpassing decentrale duurzame elektriciteitsproductie via waterstof	2025	10-20
<b>2H.</b> Ontwerp en aanleg testenergie-eiland	Voor 2030	100+
<b>3 Creëren van de randvoorwaarden</b>		
Diverse onderwerpen, uit te werken in de komende jaren (o.a. veiligheid, wet- en regelgeving, gaskwaliteit, standaardisatie)	2020-2021	10-20
<b>4 Onderzoek voor de langere termijn</b>		
Middellange tot lange termijn R&D-agenda ten uitvoer brengen	2020-2030	Jaarlijks 5-10
<b>5 Ondersteunende en flankerende activiteiten</b>		
<b>5A.</b> Certificering van waterstof	2020-2021	Beperkt
<b>5B.</b> Internationale afstemming en samenwerking	Doorlopend	Beperkt
<b>5C.</b> Divers: regionale samenwerking, HCA, Digitalisering, MVI etc.	Doorlopend	Beperkt
<b>TOTAAL</b> (zeer globale schatting voor de periode 2020-2030)		<b>Ordegrootte</b> <b>1.500 - 2.000</b>









# Referenties

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). (2018). *Studie IndWEDe Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen*. Berlin
- DBI GUT. (2017). *The Effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages*. Den Haag: RVO
- E4tech with Element Energy Ltd. (2014). *Development of water electrolysis in the EU*. FCH JU
- FCH 2 JU. (2018). *Annual Work Plan and Budget*. EU: FCH 2 JU
- FCH JU. (2014). *Multi- Annual Work Plan 2014-2020*. FCH JU
- IEA. (2015). *Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells*. Paris: International Energy Agency
- KIWA. (2018). *Toekomstbestendige gasdistributienetten*. Apeldoorn: netbeheer nederland
- Nagashima, M. (2018). *Japan's Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications*. Paris: IFRI Centre for Energy
- Proost, J. (2018). State-of-the art Capex data for water electrolyzers, and their impact on renewable hydrogen price settings. *Elsevier*, 4406-4413
- Satyapal, D. S. (2019, April 28). Hydrogen and Fuel Cell Program Overview. Crystal City, VA, US: U.S. Department of Energy
- World Energy Council. (2018). *International Aspects of a Power-to-X Roadmap*. frontier economics



# Bijlagen

## Bijlage A | Expertise en faciliteiten voor waterstofonderzoek in Nederland

In Nederland is veel expertise en faciliteiten voor waterstof beschikbaar. Doorgaans is het onderzoek gebaseerd op diverse kleinschalige opstellingen verspreid over het hele land in plaats van op grootschalige faciliteiten. Naast specifieke basis- en toegepaste onderzoeksinstituten verenigen universitaire groepen hun inspanningen in het Debye Instituut (UU), het Van 't Hoff Instituut (UvA), Kavli Instituut (TU Delft), Zernicke Instituut (RUG) en het Institute Renewable Energy Storage (IRES, TU/e).

De onderstaande tabel geeft een illustratief overzicht van de beschikbare kennis en expertise in Nederland en de relevante actoren worden geïdentificeerd, maar omvat zeker niet alle wetenschappelijke en onderzoeksinspanningen.

Tabel A1	Beschikbare kennis en expertise op basis van een diversiteit aan hulpmiddelen en faciliteiten	Relevante actoren in Nederland
<b>Mechanismes &amp; Processen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemie</li> <li>• Fysica</li> <li>• Materialen</li> <li>• Bio-engineering</li> </ul>	Analysetechnieken om de fundamentele op te helderen van fysische, chemische en biologische processen en reacties die voorkomen in de bulk en bij interfaces, zoals microscopie, oppervlaktewetenschappelijke hulpmiddelen, functionele karakterisering: <ul style="list-style-type: none"> <li>• In-situ en ex-situ technieken om de effecten van processen en reacties te bestuderen</li> <li>• Real-time en operando sondering tijdens de reacties en processen</li> </ul>	Universiteiten TUD, TU/e, UT, RUG, UvA, UL, UU, RUN, WUR
	Computational modelling van processen en mechanismen op multi-schalen van tijd en dimensie	Hogescholen Fontys, Avans, Hanze, HAN
<b>Materialen &amp; Componenten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthese en Vervaardiging</li> <li>• Karakterisering: structureel en functioneel</li> </ul>	<i>Synthese en vervaardiging</i> State-of-the-art synthese, depositie en micro-/nanostructureringstechnieken voor geavanceerde (nano)-materialen	Toegepast Onderzoeksorganisaties TNO, ECN part of TNO,
	<i>Structurele en chemische karakterisering</i> Uitgebreide en hooggevoelige microscopische, diffractieve en spectroscopische methoden voor het onderzoeken van de structuur, morfologie en chemie van geavanceerde (nano)-materialen; methoden gebaseerd op b.v. röntgenstraling, licht (UV/IR), elektronen	Unieke (grotere) onderzoeksinstellingen <ul style="list-style-type: none"> <li>• NanoLabNL facilities <i>Eindhoven, Delft, Twente, Amsterdam, Groningen</i></li> <li>• Ion Beam Facility <i>DIFFER</i></li> <li>• SURFSARA HPC facility <i>Amsterdam</i></li> <li>• EnTranCe <i>Groningen</i></li> <li>• AlgaeParc <i>Wageningen</i></li> </ul>
	<i>Functionele karakterisering</i> Geavanceerde meettechnieken om de functionele eigenschappen van materialen te karakteriseren, zoals elektrochemische, katalytische, elektrische, magnetische eigenschappen	
<b>Apparatuur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proof-of-Concept</li> <li>• Demonstrator</li> <li>• Prototyping</li> </ul>	Ontwikkeling van nieuwe concepten en apparaten voor (foto)-elektrochemische toepassingen <i>bijv. kunstmatige bladeren, plasma-gedreven chemie, spinning-disc elektrolyse, AEM elektrolyse, engineering van algen en micro-organismes</i>	
	Kostenreductie van state-of-the-art elektrolysesystemen (alkalische en PEM elektrolyse) door incrementele verbeteringen	
	Langdurige stabiliteit van materialen en componenten tijdens werking van apparatuur <i>bijv. levensduurstudies, vorming van bellen</i>	
	Systeemintegratie en techno-economische beschouwingen	

## Bijlage B | Sleuteltechnologie elektrolyse

### *Stand van zaken*

Elektrolyse is de sleuteltechnologie voor de productie van waterstof uit water met behulp van (duurzame) elektriciteit. Er zijn meerdere varianten aan water-elektrolyse technologie. De voornaamste zijn alkalische elektrolyse (AEL), proton exchange membrane elektrolyse (PEM-elektrolyse of PEMEL), en hoge temperatuur elektrolyse (HTEL), ook wel bekend als solid oxide electrolysis cell (SOEC of SOE). Daarnaast is er toenemende aandacht voor anion exchange membrane elektrolyse (AEM). AEL is de meest volwassen technologie en bevindt zich op TRL 8/9. PEMEL is iets minder volwassen en zit op TRL 7/8. HTEL en AEM bevinden zich nog in een vroegere ontwikkelingsfase, op respectievelijk TRL 5 en TRL 4.

AEL is in de loop van de vorige eeuw al op een schaal van 100-150 megawatt (MW) toegepast ten behoeve van de productie van ammoniak en kunstmest, vooral in gebieden met goedkope waterkracht. Met de komst van waterstof op basis van goedkoop en alom beschikbaar aardgas zijn de fabrieken echter allemaal gesloten. Vanwege de toepassing is het oorspronkelijke proces ontworpen voor stationair bedrijf. De eerste systemen werkten bij atmosferische druk, maar in de loop van de tijd zijn er ook systemen ontwikkeld die op hogere druk van circa 30 bar werken. Doorontwikkeling heeft ook al geleid tot systemen die relatief snel zijn op en af te regelen, en daarmee een rol kunnen spelen bij de inpassing van grote hoeveelheden variabel aanbod van wind- en zonne-energie in toekomstige duurzame energiesystemen.

De ontwikkeling van PEMEL dateert uit het begin van de jaren '70 toen de PEM-technologie beschikbaar kwam en onder invloed van de oliecrisis de belangstelling toenam voor hernieuwbare energietechnologieën, waaronder waterstof door middel van waterelektrolyse. Systemen zijn de laatste 10 jaar op de markt verschenen. In 2015 is in Duitsland door Siemens het eerste MW-schaal PEMEL-systeem geïnstalleerd bestaande uit drie eenheden met een gezamenlijk nominaal vermogen van 3,75 MW. Ondertussen is ITM bezig met de realisatie van een 10 MW systeem bij een raffinaderij in Duitsland en bouwt Siemens een 6 MW installatie op basis van zijn volgende generatie technologie bij de staalfabriek van voestalpine in Oostenrijk. Siemens heeft verschillende configuraties ontwikkeld waardoor systemen variërend van 5 tot 18 MW mogelijk zijn.

AEL en PEMEL zijn beide op de markt beschikbaar en worden wereldwijd door enkele tientallen fabrikanten aangeboden, waarbij het aanbod varieert van kleine systemen op kilowatt-schaal voor nichemarkten tot systemen op een schaal van 1-20 MW, die voor wat betreft AEL al kunnen worden gecombineerd tot systemen van orde grootte 100 MW. Prominente spelers voor AEL en PEMEL bevinden zich in Noorwegen (NEL/Proton OnSite), Duitsland (o.a. Siemens en ThyssenKrupp), Canada/België (Hydrogenics), Frankrijk (Areva en McPhy), China (o.a. Tianjin Hydrogen Equipment), Japan (o.a. Asahi Kasei), Zwitserland (IHT), het Verenigd Koninkrijk (ITM), en de Verenigde Staten (Giner). Er zijn (nog) geen Nederlandse spelers die systemen voor water-elektrolyse op de markt aanbieden. Wel is recent een testprogramma gestart bij TNO in Petten voor een 50 kW PEMEL demo-installatie die is gebouwd door een Nederlands consortium en is gebaseerd op Nederlandse technologie van Hydron.

Voor SOEC en AEM is er een handvol aanbieders van systemen die zich allemaal nog in de pilot-fase bevinden. De capaciteit van de systemen varieert van enkele tot enkele tientallen kilowatt. Alleen een Italiaanse partij brengt een klein AEM-systeem op de markt.

Hoewel er voor AEL en PEMEL al sprake is van een behoorlijk aantal prominente spelers zijn de fabrikanten nog klein, en zijn de markten voor water-elektrolyse nog bescheiden en gefragmenteerd. De installatie van capaciteit bedraagt ordegrrootte 100 MW/jaar, met een geschatte omzet op het ogenblik van ordegrrootte 100-150 M€/jaar wereldwijd. Productie van systemen vindt plaats per bestelling, of van project tot project, zonder levering vanuit voorraad, en met een zeer beperkte mate van automatisering. Naar schatting biedt de industrie directe werkgelegenheid voor circa 1000 werknemers. Tegelijkertijd worden voor de systemen veel onderdelen en componenten ingekocht waardoor er mogelijk een veelvoud aan werkgelegenheid is bij toeleveranciers. De capaciteit voor productie van systemen ligt bij de grotere fabrikanten in de orde van 20-100 MW/jaar. Vanwege positieve marktontwikkelingen zijn er recent wel aankondigingen geweest van uitbreiding. Zo heeft het Noorse NEL in 2018 aangekondigd te werken aan uitbreiding van de capaciteit van 25-40 MW/jaar naar 360 MW/jaar.

### *Uitdagingen*

Water-elektrolyse is voor grootschalige industriële en energetische toepassingen nog te duur om te kunnen concurreren met waterstof geproduceerd op basis van aardgas en met de energiedragers waar het een vervanging voor kan zijn, zoals aardgas. De kosten moeten dus omlaag. De voornaamste aanknopingspunten hiervoor zijn:

- Verlagen van de investeringskosten voor een elektrolyse-installatie, d.w.z. de kosten voor het maken en leveren van een elektrolysesysteem (stack<sup>26</sup>, transformator, gelijkrichter), inclusief balance of plant (systeem- en gaskoeling, gasbehandeling, demi-waterproductie, meet- en regelsystemen, etc.);
- Verbeteren van de levensduur van de stack bij gelijkblijvend rendement van de productie van waterstof;
- Verhogen van het rendement van de productie van waterstof bij gelijkblijvende levensduur van de stack.

### *Verhogen van het rendement en verbeteren van de levensduur*

Bij elektrolyse is de celspanning een maat voor de efficiency, en de stroomdichtheid een maat voor de productiviteit per eenheid celoppervlak. Een toename van de celspanning leidt tot een toename van de stroomdichtheid, en dus van de productiviteit per eenheid celoppervlak; m.a.w. er is minder celoppervlak nodig voor eenzelfde productiecapaciteit. Dit leidt tot een daling van de specifieke investeringskosten (€/kW). Maar een toenemende celspanning betekent een afname van de efficiency en dus een toename van het elektriciteitsverbruik en de elektriciteitskosten per eenheid geproduceerde waterstof. Daarbij kan een toenemende stroomdichtheid leiden tot versnelde degradatie van de celprestaties, en dus een afname van de levensduur. Ook het type bedrijfsvoering kan van invloed zijn, waarbij meer degradatie

---

26 Stapeling van elektrolysecellen die bestaan uit 2 elektrodes (anode en kathode) die onderling zijn gescheiden door een microporeuze laag of een membraan (Membrane Electrode Assembly, MEA), en die aan beide zijden zijn voorzien van bipolaire platen. Deze cellen worden in de stapeling onderling gescheiden door separatorplaten die zorgen voor elektrische isolatie en afdichting van de afzonderlijke cellen.

wordt verwacht bij een sterk dynamische bedrijfsvoering ten opzichte van stationair bedrijf. Hogere degradatie kan leiden tot versnelde vervanging van stacks, wat de investeringskosten over de levensduur van de installatie doet toenemen. Bij de keuze van het werkpunt voor de elektrolyser moet rekening worden gehouden met deze *trade-offs* waarbij het relatieve belang van vaste en variabele kosten mede zal afhangen van de specifieke toepassing. De levensduur van een stack is daarbij niet zo zeer een absoluut technisch gegeven maar veel meer het gevolg van een economische afweging.

Verhoging van het rendement van een elektrolyser betekent een hogere productiviteit of een minder snel afnemende productiviteit per eenheid celoppervlak bij gelijkblijvende celspanning (efficiency), of een hogere efficiency (lagere celspanning) of minder snel afnemende efficiency bij constante productiviteit per eenheid celoppervlak. Verhoging van het rendement kan worden gerealiseerd door:

- Onderzoek voor beter inzicht in degradatiegedrag van elektroden/katalysatoren en membranen, onder zowel stationaire als sterk dynamische bedrijfsvoering, om deze vervolgens gericht te kunnen verbeteren;
- Stabieler elektroden met betere katalysatoren;
- Betere membranen met een hogere geleidbaarheid en minder defecten;
- Reduceren van weerstanden door dünnere membranen zonder dat dit ten koste gaat van levensduur, door optimalisatie van de porositeit van elektroden en gasdiffusielagen voor aanvoer en afvoer van reactanten en producten, en door optimalisatie van het celontwerp.

Beter inzicht in degradatiegedrag en ontwikkeling van betere elektroden en membranen leidt ook tot verbetering van de levensduur van de cellen en de stack.

### *Verlagen van de investeringskosten*

Verlaging van de investeringskosten kan worden gerealiseerd door uiteenlopende factoren:

- Ontwikkelen van goedkopere alternatieven voor de duurste materialen en componenten, zonder daarbij afbreuk te doen aan rendement, betrouwbaarheid en levensduur van de technologie en de installatie. Met name bij PEM is winst te behalen door de platina en iridium katalysatoren in de huidige technologie te vervangen door goedkopere materialen;
- Optimalisatie van het ontwerp van een elektrolyse-installatie waardoor minder materiaal en componenten nodig zijn;
- Industrialisatie van de productie van elektrolysecomponenten, - stacks en -systemen; opschaling van productie-aantallen (*economy of numbers*) en automatisering van grootschalige en reproduceerbare productie binnen nauwe producttoleranties waardoor de productiecosten per systeem kunnen dalen;
- Opschaling van de capaciteit van een installatie (*economy of scale*), waardoor relatieve schaafeffecten kunnen bereikt en per saldo minder materiaal nodig is per eenheid product;
- Ontwikkeling van industriële ketens van toeleveranciers waardoor er meer concurrentie tussen aanbieders van technologie en componenten ontstaat en de kosten daarvan dalen.

### *Elektrolyseprogramma*

Gezien de stand van zaken voor elektrolyse wordt een programma voorgesteld dat enerzijds is gericht op implementatie van bestaande technologie om de technologie te testen onder

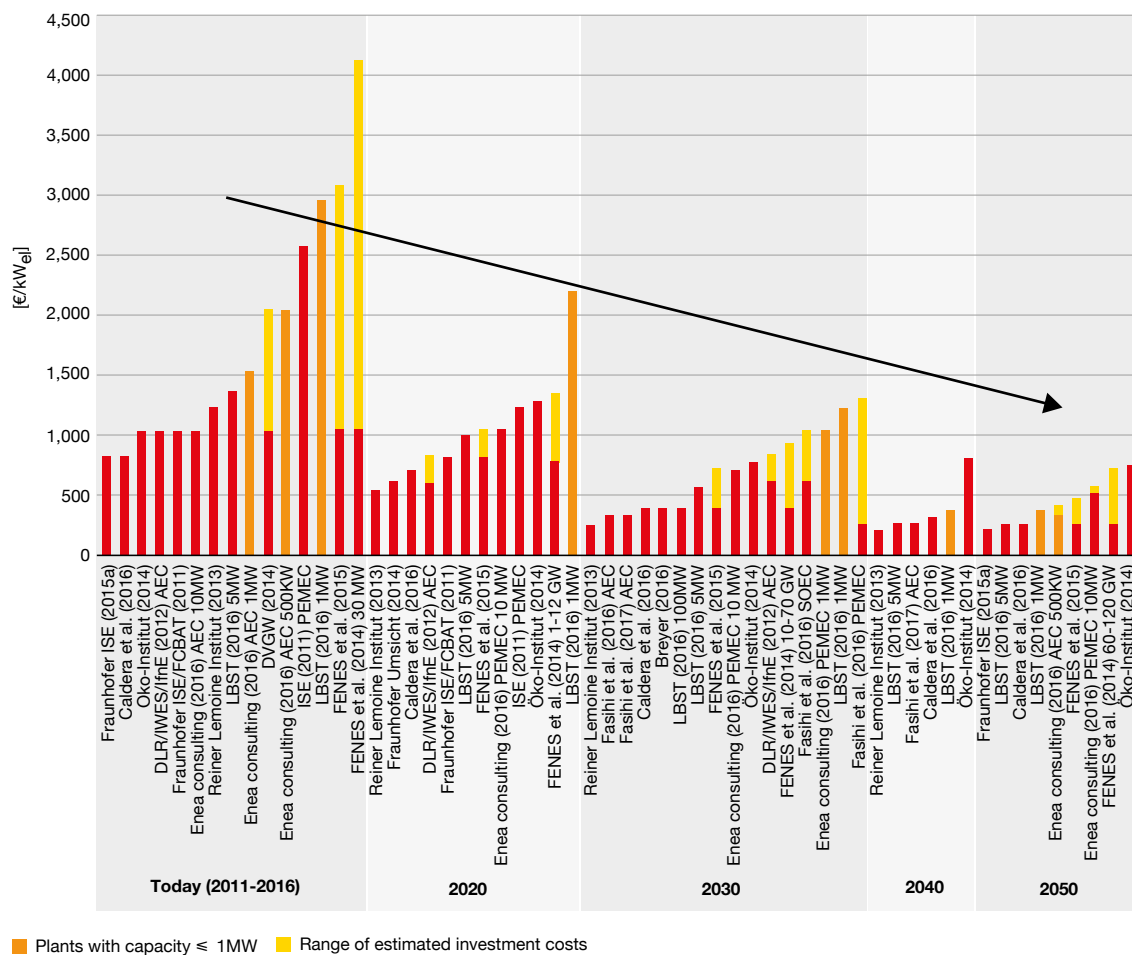
praktijkcondities, inzicht te krijgen in optimale integratie van de technologie in industriële productieprocessen in samenhang met inpassing in de energievoorziening en om opschaling van de technologie en industriële ketens van toeleveranciers mede mogelijk te maken. Anderzijds is er binnen het programma aandacht voor meer fundamentele verbetering van de technologie op langere termijn door onderzoek naar en ontwikkeling van betere membranen, katalysatoren en elektroden. Op hoofdlijnen leidt dit tot de volgende onderdelen voor een elektrolyseprogramma:

- Regionale uitrol klimaatneutrale waterstof op 10-100 MW-schaal in industrieclusters, met:
  - Pilot(s) van elektrolyse op MW-schaal, o.a. voor aantonen van duurbedrag;
  - Integratie en flexibilisering water-elektrolyse in het energiesysteem;
  - Eerste ontwerp van een GW-schaal elektrolysefabriek;
- Kosteneffectieve fabricagetechnologie elektrolyzers;
- Nieuwe katalysatoren en membraanmaterialen voor verhoogde levensduur en rendement;
- Stabieler, selectiever en efficiënter elektrodes en reactoren voor waterstofproductie.

Ontwikkeloelen voor de technologie kunnen worden gevonden in het Multi Annual Work Program en Annual Work Programs van de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) onder H2020 (FCH JU 2014) en bijvoorbeeld het Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan van de U.S. Department of Energy (DOE).

Figuur B2 geeft een overzicht van de verwachte/geschatte kostprijzdaling van elektrolysesystemen die in 2018 in kaart zijn gebracht, gebaseerd op diverse studies. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de verwachtingen/schattingen regelmatig worden achterhaald door schattingen die recent door fabrikanten zijn afgegeven.

**Figuur B2 | Overzicht van de daling van de investeringskosten van elektrolyse op basis van verschillende bronnen** (World Energy Council, 2018).



In MMIP8 is een inschatting gemaakt welke aantallen projecten en budgetten grofweg nodig zijn om de ambitie van 3-4 GW elektrolysercapaciteit in 2030 te realiseren (tabel B1).

MW vermogen per project	Aantal tot 2030	Totaal vermogen (MW)	SCA + SOP (M€)	Totale ondersteuning (M€)
20	5	100	70	350
100	4	400	200	800
250	2	500	200	400
500	2	1.000	300	600
1000	2	2.000	550	1.100
		4.000		3.250

NB: SCA = Subsidie Capex, SOP = Subsidie Opex



## Bijlage C | Overzicht van waterstofprojecten (stand najaar 2019)

Openbare samenvattingen van (overwegend) door Nederland gesubsidieerde projecten, ingedeeld naar de waterstofketen. Genoemde bedragen zijn de toegekende subsidiebedragen, tenzij anders vermeld. De projectnamen zijn in de meeste gevallen voorzien van hyperlinks naar websites met meer informatie. Niet opgenomen in dit overzicht zijn R&D-projecten in het kader van CSER financiering, M-ERANET, NWO CO<sub>2</sub>-programma, of Onderzoektalent-financiering.

### 1. Systeemstudies

**Feasibility system integration gas + wind energy island IJmuiden (IJVERGAS)**  
– CE Delft/ Hogeschool Arnhem en Nijmegen/ Intecsea B.V./Offshore Service Facilities B.V./ Stichting New Energy Coalition/ TNO Science & Industry – €216.053  
– 15-02-2019/15-02-2020

Het doel van dit project is het inventariseren van de mogelijkheden, de uitdagingen, de kosten en de planning van de productie van waterstof op een kunstmatig eiland (IJver) met de elektriciteit van de windparken voor de kust van IJmuiden, het Vera-gebied. De haalbaarheid hiervan wordt zowel technisch als financieel onderzocht (inclusief risico's) en daarnaast worden de legale aspecten, ecologische aspecten, stakeholders en benodigde vergunningen onderzocht. Randvoorwaarden en kritische mijlpalen worden in kaart gebracht en een advies wordt uitgebracht aan de OSF over hoe verder te gaan met de ontwikkeling van het eiland.

**Feasibility study Power-2-X demonstration Roosendaal**  
– TNO – €25.000 – 01-09-2018/01-04-2019

De ReEnergy-fabriek in Roosendaal levert op dit moment hernieuwbare elektriciteit van afval aan het elektriciteitsnet. Deze flexibele Waste-to-Energy-fabriek kan een nieuwe rol spelen om de energietransitie te faciliteren, met name in de regio Roosendaal. Het ReFuel concept richt zich op deze overgang van hernieuwbaar afval via duurzame elektriciteit naar koolstofarme waterstof, transportbrandstoffen en chemische grondstoffen.

**Systeemontwerp Power to X – KWR Water B.V./ Allied Waters B.V./ Aveco de Bondt B.V./ Pitpoint.H<sub>2</sub> B.V./ Stichting Waternet/ TU Delft – 2017/2018**

Het doel van het Urban Energy project 'Systeemontwerp Power to X' (SPX) is om kennis en inzicht te genereren voor het ontwikkelen van een blauwdruk om tot een full-scale demonstratie van het PtX-systeem te kunnen komen.

**HyChain 1 – Stichting TKI-ISPT/ Quintel Intelligence B.V.**

Doel is het inventariseren/voorspellen van de toekomstige vraag naar waterstof in de industrie, de benodigde infrastructuur en de implicaties van H<sub>2</sub>-gebruik op andere energiedragers.

**HyChain 2 – Stichting TKI-ISPT/ Kalavasta B.V.**

Door middel van analyse van diverse bronnen en door samenwerking met binnen het ISPT programma Energiedragers Waardeketen uitgevoerde projecten, zal eerst een schatting gemaakt worden van de productiekosten in Nederland en de totale importkosten (productiekosten, transportkosten en opslagkosten, excl. belastingen) van diverse energiedragers – alsook van de vraag naar deze dragers in Nederland en achterland. Deze gegevens worden dan gebruikt om een model te maken, waarbij het mogelijk is alle relevante inputgegevens aan te passen. Het model rekent per energiedrager, op basis van de laagste totale kosten, door hoeveel geïmporteerd, geproduceerd en verbruikt kan worden. Uiteindelijk presenteert dit model een overzicht van de stromen van de beschouwde energiedragers door Nederland. Vervolgens worden diverse scenario's op basis van dit model uitgewerkt en weergegeven in een gedetailleerd rapport. Tot slot worden hoofdconclusies in een kort niet-technisch rapport verwerkt. Kalavasta leidt het project en onderzoek; ECN zorgt voor de inhoudelijke afstemming binnen het ISPT programma en is verantwoordelijk voor validatie; andere partijen leveren inhoudelijke expertise vanuit hun domeinen.

**HyChain 3 – Frames Energy Systems B.V./ Stichting TKI-ISPT**

– €75.000 – 01-09-2018/30-06-2019

Doel is het inventariseren van faal- en succesfactoren van productie, transport, opslag en gebruik van waterstof op vier verschillende parameters: sociaal, technisch, kosten, milieu. De kennis wordt vastgelegd in een database.

**Hydrogreenn** – *(HYDROGen Regional Energy Economy Network Northern Netherlands) – AkzoNobel/ Holthausen/ Gasunie/ ChemPort/ New Energy Coalition/ Vattenfall/ Shell/ Gasterra/ Entrance/ TNO/ Stork/ Provincie Groningen/ SBE/ Resato/ Siemens/ Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

HYDROGREENN is ontstaan uit een initiatief van Entrance en STORK naar aanleiding van het rapport De Groene Waterstof-economie in Noord-Nederland van de Noordelijke Innovation Board. HYDROGREENN sluit aan bij de oproep in het rapport om een ‘sterke, standvastige groene waterstof ambassadeur’ in het leven te roepen. Bedrijven en instellingen hebben besloten met elkaar het ambassadeurschap van waterstof als innovatiemotor vorm te geven. HYDROGREENN doet dit met inzet van aangesloten bedrijven op actuele business cases en studie van de haalbaarheid en het wegnemen van barrières in toekomstplannen. Dit geschiedt door:

1. Bevorderen van studie, wegnemen van barrières, onder meer door het organiseren van de zogenaamde HYDROGREENN CASE;
2. In kaart brengen van (mogelijke) waterstofinitiatieven in Noord-Nederland en uitvoeren van supply chain analyses;
3. Bevorderen van netwerkvorming tussen bedrijven en instellingen in Noord-Nederland: organiseren van netwerkbijeenkomsten en supply chain meetings;
4. Overleggen met onderwijsinstellingen over voorbereiden op werk in de waterstofeconomie/-industrie;
5. Organiseren van excursies en bezoeken buiten de regio (nationaal en internationaal); bouwen van (inter-) nationale netwerken;
6. Deelnemen aan nationale overleggen over waterstof, hernieuwbare energie en gas (zoals TKI gas, NVWA) ter bevordering van business development, financiële incentives en regulering;
7. Publieksvoorlichting en promotie van pilots en mobiliteitsprojecten; bevorderen van studies naar aspecten van veiligheid en publieke acceptatie en opinie;
8. Faciliteren van het ontwikkelen van test-/proeflocaties.

**Haalbaarheid blauwe H<sub>2</sub> uit aardgas** – *Berenschot/ TNO – Afgerond 2017*

In deze studie wordt gekeken naar de haalbaarheid van blauwe waterstof, waarvoor aardgas wordt gesplitst in waterstof en CO<sub>2</sub> om vervolgens deze CO<sub>2</sub> ondergronds offshore op te slaan. Daarnaast wordt er vooral gekeken naar systeemintegratie van centrale opwek, ondergrondse bufferopslag en gebruik van het bestaande gastransportnetwerk. Het gebruik van blauwe waterstof moet dienen als een kickstart voor waterstof waar op den duur overgegaan moet worden op groene waterstof.

**TKI systeemintegratiestudie Wind op zee naar waterstofmobiliteit – Composite Agency/ ECN/ Stichting Energy Expo/ Stichting Energy Valley/ Techmacon – €50.000 – Afgerond 2017**

Doel was aan te tonen dat de conversie van offshore windenergie naar waterstof, toegepast in de mobiliteitssector, leidt tot lagere kosten en een hogere waarde (euro/MWh). Er is gezocht naar synergievoordelen door integratie of gebruik van nieuwe technieken zoals bijvoorbeeld: samenvoegen van vermogenselektronica van de windturbine en elektrolyse (lagere kosten, hogere efficiency); onderhoudsstrategieën; hoge gasdruk en gebruik van hoogwaardige composieten, tijdelijke opslag van waterstof gecombineerd met kleinere capaciteit transport; doortrekken offshore transportleiding landinwaarts ter vermijding van distributiekosten; hoge kwaliteit waterstof uit elektrolyzers en daardoor langere levensduur en hoge efficiency van de brandstofcel; etc.

**Conversie van aardgas naar waterstof – Berenschot Groep B.V./ EBN/ N.V. Nederlandse Gasunie/ NOGEP/ TNO – €47.350 – Afgerond 2017**

Binnen dit project zijn enkele systeemconfiguraties (onshore/offshore, verschillende afzetmarkten voor waterstof en CO<sub>2</sub>) geanalyseerd. De activiteiten richtten zich op de technische, economische en institutionele aspecten die hierbij komen kijken. Een begeleidingscommissie met verschillende belanghebbenden en ketenpartners werd geformeerd om een breed gedragen beeld te ontwikkelen. Tot slot is een routekaart ontwikkeld om het verdere introductieproces te ondersteunen.

**Systeemstudie voor P2G-routes – ECN/ Alliander/ EBN/ Enexis/ KEMA/ Nederlandse Gasunie/ Rotterdam Climate Initiative/ Stichting Energy Valley/ TenneT TSO/ Vattenfall AB – Afgerond**

De hoofdvraag die dit project adresseerde is: onder welke omstandigheden en in welke situaties spelen P2G-toepassingen een rol in de transitie naar een duurzamere energiehuishouding, daarbij rekening houdend met de complexiteit van het energiesysteem?

**Archypel – Alliander/ Hogeschool van Arnhem en Nijmegen/ Hydrogen Efficiency Technologies (HYET) B.V./ Hydron Energy B.V./ MTSA Technopower B.V./ Nedstack Fuel Cell Technology B.V./ Process Design Center B.V./ Stichting TKI-ISPT – €? – Afgerond 2016**

Opwekking van duurzame energie door wind en zon vraagt om flexibilisering van de vraag en opslag van energie omdat aanbod en vraag vaak niet zullen matchen, qua volume en tijdigheid. Onderzocht is of kleinschalige energieopslag op basis van waterstof, bruikbaar en betaalbaar is in combinatie met flexibilisering van de vraag.

## 2. Productie van waterstof

### Elektrolyse

**AMPERE** - *Advanced Materials for PEM Electrolyzers Reducing cost and enhancing lifetime.* – ECN/ Fujifilm Europe B.V./ Hydron Energy B.V. Polymer Technology Group Eindhoven B.V. – €249.299 – 01-01-2018/31-12-2019

AMPERE realiseert de doelstellingen door een laagdrempelig platform voor component-toeleveranciers te bieden voor het testen en karakteriseren van componenten, voortbouwend op eerdere projecten zoals ELECTRE en FlexP2G. Daarnaast wordt binnen AMPERE getest met een verbeterde electrolyser stack- technologie op basis van innovatieve componenten die in dit project geïdentificeerd en ontwikkeld worden.

#### **Alkaliboost**

– *Nouryon Industrial Chemicals/TUe* – €500.000 – 01-05-2019/01-05-2023

De doelstelling van dit project is het ontwikkelen en testen van nieuwe alkaline stackontwerpen die het mogelijk maken om bij een veel hogere stroomdichtheid te opereren, waardoor de effectieve kosten van de elektrochemische stack dalen tot minder dan 100 €/kW. Focus ligt op het minimaliseren van de ohmse weerstand, die naast het membraan met name bepaald wordt door de structuur van de elektroden en de gevormde gasbellen.

**Alkaliflex: vergroting van de flexibiliteit en productiecapaciteit van alkalische watelektrolyse** - *Nouryon Industrial Chemicals/TUe* – €250.000 – 01-02-2018/01-08-2019

Het doel van dit onderzoek is het maken van een significante stap naar vergroting van de flexibiliteit en het verlagen van de kapitaalkosten van alkalische watelektrolyse-technologie. Dit moet leiden tot een reductie van de kostprijs van waterstof tot 2,0 €/kg in 2025 en 1,5 €/kg in 2030.

**Development of an advanced MEA production route for PEM electrolyzers** – *Hydron Energy B.V/ TNO* – €241.022 – 01-07-2018/01-07-2019

Het MEAPRO project heeft tot doel om een vergaande kostenreductie van PEM electrolyse apparatuur te bewerkstelligen door de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie voor de vervaardiging van hét belangrijkste halffabricaat: de membraan electrode samenstelling (MEA).

**Cost reduction industrial PEM electrolyzers – ECN/ Frames Energy Systems B.V./ Hydrogen Energy B.V. – €898.129 – 1-11-2017/31-10-2019**

In dit project wordt gewerkt aan verschillende deelprojecten om te komen tot de volgende generatie PEM electrolyzers met de volgende doelstellingen;

- Een op kosten, prestaties en maakbaarheid geoptimaliseerde 50 kWe PEMWE stack;
- Een conceptueel ontwerp voor een 1 MW waterstofproductiesysteem. Met de ontwikkeling van dit systeem vindt de Nederlandse technologie aansluiting bij de internationale stand van zaken;
- Uitwerking van een demonstratieproject inclusief locatiekeuze en business case;
- Toegang tot kennis en infrastructuur om voor Nederlandse bedrijven levensduurbeproevingen van electrolysercomponenten uit te voeren, waardoor zij inzicht krijgen in, en toegang tot, de markt van electrolysercomponenten.

**Hydrohub – ISPT penvoerder**

De Hydrohub is een open testcentrum, waar de partners van het consortium, maar ook andere kennisinstellingen en bedrijven, innovaties uit eigen lab kunnen testen in elektrolyse-installaties (PEM en alkalisch) van 250 kW. Bij tests op die schaal wordt duidelijk of er nieuwe problemen de kop opsteken en hoe de technologie zich zal gedragen bij opschaling. Als de waterstofftechnologie in de Hydrohub eenmaal goed werkt, dan is ze meteen te vertalen naar een elektrolyse-installatie op industriële gigawattschaal.

**Haalbaarheid ontwikkeling van mobiele windmolen met hoog rendement – TD Constructies B.V. – €50.000**

TD Constructies (TD) ontwikkelt een Wind Power Bowl (WPB), een mobiele windmolen, met een hoog rendement (ook bij lage windsnelheden) die door een geringe hoogte geen vergunningsproblematiek kent. TD heeft recent enkele testen gedaan en staat op het punt de ontwikkeling af te ronden en de verkoop/productie te starten. Tijdens de testen is gebleken dat het rendement hoger is dan verwacht. Op het moment dat de accu vol is en er geen stroomafname is, produceert de windmolen nog wel stroom, maar wordt deze stroom niet benut. Omdat dit zonde is, onderzoekt TD of het mogelijk is de WPB uit te breiden en de resterende energie te gebruiken voor de productie van waterstof en zuurstof. Waterstof is een flexibele en milieuvriendelijke energiedrager en kan gebruikt worden als energiebron voor auto's, lassen of kan weer worden omgezet naar stroom. Zuurstof kan ook in cilinders worden opgeslagen en is geschikt voor bijvoorbeeld lassen en snijden van metaal. Alleen wanneer waterstof d.m.v. duurzame energie wordt opgewekt is het een duurzaam alternatief. De waarde en inzet van de duurzame energie opgewekt met de WPB kan via buffering d.m.v. waterstof worden gemaximaliseerd. Onderzocht wordt of de restenergie voldoende is om waterstof/ zuurstof te kunnen produceren, hoe waterstof/zuurstof is te produceren met een relatief kleine installatie, hoeveel waterstof/zuurstof er te produceren valt met de restenergie, en hoe deze kan worden opgeslagen.

**FotoH<sub>2</sub>** – *University of Alicante/ Advanced Technology Solutions/ BroadBit/ CNR-ITAE/ Hygear* – €2.578.971 – 01-01-2018/31-12-2020

FotoH<sub>2</sub> ontwikkelt een hoogefficiënte tandemfoto-elektrolysecel voor de productie van zonne-H<sub>2</sub>, op basis van duurzame en kosteneffectieve geavanceerde materialen en interfaces. Door de ervaring van het consortium met innovatieve zonnetechnologieën toe te passen, is de belangrijkste visie van FotoH<sub>2</sub> de prototyping en validatie van een grootschalig inzetbare solar H<sub>2</sub>-productietechnologie, in de vorm van gemakkelijk integreerbare vlakke panelen. De input H<sub>2</sub>O en de output H<sub>2</sub> worden gedragen door buizen aan de twee randen van de panelen, bestaande uit een zelfaandrijvend doorstroomsysteem dat eenvoudig kan worden aangesloten op een waterbron. Verwacht wordt dat de halfgeleider-tandemarchitectuur een hoger rendement oplevert en een flexibelere inzet mogelijk maakt dan externe architecturen. De validatie van de technologie gebeurt op een schaal van 1 m<sup>2</sup>.

**Flexibele energie-infrastructuur door kosteneffectieve en efficiënte PEM-electrolyse en Sorption** – *ECN/ Frames Energy Systems B.V./ Hydron Energy B.V./ Stichting Hanzehogeschool Groningen* – €500.000 – Afgerond 2017

In het FLEX-P2G project wordt het fundament gelegd voor de inpassing van robuuste, flexibele en kosteneffectieve power-to-gas technologie in het energiesysteem.

**Waterstofproductie Almere** – *Theo Pouw, Cirwinn, Van den Pol Elektrotechniek*

Cirwinn wil in Almere op haar nieuwe sorteerhal (120 m x 60 m) 3.700 zonnepanelen plaatsen, geleverd en geïnstalleerd door Van den Pol Elektrotechniek. Er wordt ongeveer 975.000 kWh per jaar opgewekt. Cirwinn wil hiermee door middel van elektrolyse waterstof te produceren. De productiecapaciteit wordt geschat op 46 kilogram waterstof. Het streven is 80 kg waterstof per dag, zodat er een waterstoftankstation kan worden geplaatst in Almere en waterstofvrachtwagens bij Cirwinn kunnen tanken. Er komen veel vrachtwagens op het terrein voor o.a. de betoncentrale. Cirwinn onderzoekt de mogelijkheden van dit project om haar CO<sub>2</sub>-footprint te reduceren. Daarnaast bouwt Cirwinn hierdoor mee aan de benodigde infrastructuur voor een waterstofeconomie. De haalbaarheidsstudie zal in het begin van 2020 gereed zijn waarna een go/no-go beslissing wordt gemaakt of dit project wordt vervolgd.

## Offshore elektrolyse

### **Pre-Pilot Power to Gas Offshore (3P2GO) – EBN/ Engie E&P Nederland B.V. / NAM/ Taqa Offshore B.V. / TNO Science & Industry/ Total E&P Nederland B.V./ Vereniging Nexstep – €160.119 – 20-12-2018/31-08-2019**

Doel van het project is het realiseren van s 'werelds eerste offshore power-to-gas pilot op een O&G platform. Naast dat het P2G pilotproject bedoeld is om ervaringen op te doen met de productie van waterstof in een offshore omgeving dient het project ook als een testcentrum voor andere innovatieve P2G-technologieën.

Daarnaast wordt er praktische ervaring opgedaan met de kosten van het installeren, opereren en onderhouden van een elektrolyzersysteem in een offshore-omgeving. Hiermee wordt het risico van toekomstige P2G waterstofsysteemen op de Noordzee voor verdere systeemintegratie verkleind.

Daarnaast is het de eerste stap van een opschaalproces voor dit soort systemen, te beginnen bij 1-10MW, daarna 20-250MW en uiteindelijk >250MW systemen.

## Waterstof uit biomassa

### **SCW – SCW systems/ Gasunie**

Superkritische watervergassing (Super Critical Water gasification, SCW) is een innovatieve technologie die natte biomassa ((afval-)stromen zoals mest, groenafval en rioolslib) converteert in duurzame elektriciteit en herbruikbare grondstoffen. Gasunie New Energy en het bedrijf SCW Systems willen een demonstratie-installatie bouwen op het Energy Innovation Park in Alkmaar. New Energy beperkt zich daarbij tot de realisatie van de infrastructuur.

### **Groene Waterstofproductie door Continuous Catalytic Re-cracking**

– CH Energy Zernike B.V./ Solution 2 Nature B.V. – €49.998 – 26-09-2018/31-05-2019

### **Hydrogen production from residual biomass**

– Bio Energy Netherlands B.V./ Hygear B.V. – €446.064 – 01-02-2019/31-01-2021

Het doel van het project is de ontwikkeling, bouw en test van een gas-opwaardeersysteem gekoppeld aan een vergasser voor het lokaal produceren van groene waterstof uit biomassa.

De toepasbaarheid wordt gevalideerd op kleine schaal met een productiecapaciteit van 10 Nm<sup>3</sup>/uur waterstof. Een ontwerp op volle schaal wordt gemaakt. Het synthesesegas uit de vergasser wordt eerst ontdaan van verontreinigingen om het geschikt te maken voor verdere omzetting naar waterstof. De invloed van operationele parameters van het vergasser-systeem op de concentratie verontreinigingen worden onderzocht en eventueel extra reinigungsstappen geïntroduceerd. De omzetting wordt in twee stappen gedaan; eerst wordt het aanwezige CO met stoom omgezet naar H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> en in de tweede stap wordt het gas door middel van een drukwisselsysteem opgewaardeerd naar zuivere waterstof. De reststroom uit dit systeem wordt ingezet om de benodigde warmte te leveren voor het proces.



### **Gasreinigingsmodule voor Hoogwaardige Utilisatie Biomassa**

– TNO/ Albermarle Catalysts Company B.V./ ECN – €? – Afgerond

Biomassavergassing zal in belangrijke mate zijn toepassing vinden in de productie van producten hoogwaardiger dan elektriciteit en warmte, waaronder biobrandstoffen, waterstof, groen gas en chemicaliën. Hiervoor moet het ruwe productgas uitgebreid worden gereinigd en opgewerkt.

Naast verwijdering van stof en teer is een aantal katalytische processtappen vereist. Hiervoor zijn katalysatoren beschikbaar, maar er ligt nog een groot verbeterpotentieel, bijv. wat betreft tolerantie voor verontreinigingen, verzadigingsgraad van absorbentia, stoomgebruik tegen roetvorming en flexibiliteit in kwaliteit van productgas.

### **Waterstof on-site uit aardgas**

#### **DUOGEN – Carnot Financial Logistics B.V. – €50.000 - 2016**

Procesgassen in bulk worden veelal centraal geproduceerd en vervoerd over de weg naar de eindgebruiker. HyGear levert waterstof door middel van kleinschalige stoomreformers om het waterstof lokaal te produceren bij de eindgebruiker. Dit levert energiebesparing over de keten en daarmee kostenbesparing bij de eindgebruiker.

#### **MIT-Haalbaarheidsstudie – Hygear B.V. – €50.000 - 2015**

HyGear is gespecialiseerd in kleinschalige gasgeneratie en zuiveringstechnologie. Het belangrijkste product is een waterstofproductiesysteem dat op locatie waterstof produceert uit aardgas via stoomreforming. Het voordeel hiervan is dat het waterstof niet meer over de weg hoeft te worden getransporteerd, hetgeen leidt tot aanzienlijke kostenbesparing en efficiëntieverbetering in de leveringsketen. Het bedrijf heeft de ambitie om in de procesindustrie meerdere gassen te kunnen leveren en terugwinnen. De technologische voorsprong in on-site technologie moet het mogelijk maken om zodoende een marktpositie op te bouwen in de procesindustrie.

### 3. Transport, distributie en opslag van waterstof

#### Gaskwaliteit

**Hy4heat – Kiwa Gastec/ Progressive Energy/ Embers/ Yo Energy – £ 25 miljoen - demonstraties in 2020**

Hy4Heat is een programma in opdracht van het Britse Department for Business, Energy & Industrial Strategy om te onderzoeken of het vervangen van aardgas door waterstof voor verwarming en koken in woningen haalbaar is en deel zou kunnen uitmaken van een plausibel potentieel pad voor decarbonisatie van de warmtevoorziening. Hiertoe zal het programma kennis ontwikkelen en verzamelen met betrekking tot techniek, prestaties, bruikbaarheid en veiligheid om aan te tonen of waterstof kan worden gebruikt voor warmte in gebouwen. Dit omvat o.a. studie naar standaarden, odoriseren, kleur, gaskwaliteit, etc.

#### Waterstofdistributienetten

**H21: Project in UK (100% waterstof) – Northern Gas Networks/ Cadent/ SGN/ Wales & West Utilities/Health & Safety Laboratories/ DNV GL – £ 10 miljoen UK Government – sinds 2016**

Het H21 project in Leeds (VK) betreft een haalbaarheidsstudie onder leiding van gasbedrijf Northern Gas Networks (NGN) naar een herontwerp van het gasnetwerk om een hogedruk (17 bar) buitenste stadsring te vormen voor aardgastransport naar SMR-installaties die waterstof maken (met CCUS) voor distributie in het lokale netwerk (<7 bar). In april 2017 openden NGN en de stad Leeds een projectbureau met het doel “om innovatieprojecten op te leveren met de strategische focus om overtuigend bewijs te leveren om het Britse gasnetconversie van aardgas (methaan) naar koolstofvrij waterstof te ondersteunen.”

Waterstof zal veilig moeten zijn voor toepassing in de gebouwde omgeving en in distributienetten. Hiertoe worden de risico's van lekkage in huizen en distributienetten bij gebruik van puur waterstof in kaart gebracht. Hierbij wordt gekeken naar de ontstekingsrisico's en risico's bij kleine en grote gaslekkages. Doel is aan te tonen dat waterstof niet gevaarlijker is dan aardgas in huizen en tijdens distributie.

**H100 – Hydrogen end use (new build)**

Drie haalbaarheidsstudies naar het gebruik van 100 procent waterstof in het gasdistributienet.

## Waterstof-aardgas mengsels

### **Sensortechnologie voor waterstof in het gasnetwerk.**

– Bronkhorst High-Tech B.V./ Enexis B.V./ Gasunie Transport Services/ N.V. Continuon Netbeheer/ TNO – 224.877€ – 01-03-2019/01-09-2020

In dit project wordt technologie ontwikkeld om een prototype gassensor, in eerste instantie ontwikkeld voor het meten van aardgassamenstelling in het distributienetwerk, geschikt te maken voor het meten van de samenstelling van aardgas/waterstof-mengsels.

### **Hydeploy project (DNV GL is hierbij betrokken)**

In het Hydeploy pilotproject (Cadent gas) wordt bijmengen tot 20% waterstof aan aardgas in de gebouwde omgeving getest. DNV GL is hierbij betrokken geweest m.b.t. de impact van waterstof op het gedrag van gasmotoren.

### **Joint Industry Project HYREADY – ENAGAS, GasNatural Fenosa, Gas Networks Ireland, GazSystem, GRDF, GRT-Gaz, SoCalGas (Californië), TIGF en Enbridge (Canada) – 2017-2018**

Inventarisatie van bestaande kennis om richtlijnen te maken voor inpassen van waterstof in transport- en distributienetten van aardgas en eindgebruikerstoepassingen.

### **The effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages – DBI – Afgerond 2017**

De maximaal toegestane hoeveelheid waterstof in het gasnet varieert tussen de 0,02 en 0,5% afhankelijk van de locatie in het land. In dit project werd onderzoek gedaan naar wat de effecten zijn op het aardgasdistributiesysteem en de ondergrondse gas opslag als gevolg van waterstofinjectie voor het standaardiseren van het waterstofmengsel tot een waarde van 0,5%. Ook is er gekeken naar de effecten van hogere waterstofgehalten (10 en 100%). Verder is er een overzicht gemaakt van de voorschriften van waterstof in het gasdistributiesysteem van omliggende landen.

### **PurifHy – ECN/ Stedin/ KEMA/ HYET – €250.000 – Afgerond 2015**

In dit project is de mogelijkheid onderzocht om selectief waterstof te verwijderen uit een duurzame gasstroom zoals biogas/groengas, zodat deze wel kan worden geïnjecteerd in het bestaande leidinggasnetwerk. HyET ontwikkelt een nieuwe technologie: 'elektrochemische waterstofzuivering', die het mogelijk maakt om waterstof selectief in of uit een gasstroom te kunnen pompen, tegen elk drukverschil in. Zodoende kan de zuivering direct inspelen op variërende samenstelling van het duurzaam geproduceerde gas.

## Compressie

### **Ontwikkelen kosteneffectieve besturingselektronica voor een waterstofcompressormodule – HyET – €22.440**

HyET ontwikkelt een waterstofcompressor op basis van elektrochemische technologie. Hiervoor ontwikkelt Hogeschool Aarnhem Nijmegen i.s.m. Ascos besturingselektronica. Deze elektronica moet het mogelijk maken een relatief goedkope compressormodule te maken op basis waarvan de elektrochemische waterstofcompressor op grote schaal ingezet zou kunnen worden.

De ontwikkelde elektronica zal specifiek voor deze toepassing zowel de CVM (Cell Voltage Measurement) functionaliteit bieden, als de mogelijkheid een relatief goedkoop controller-platform te gebruiken. Om te waarborgen dat de ontwikkelde besturingselektronica ook goed en goedkoop geproduceerd kan worden, wordt al in de ontwerpfase een producerende partij ingeschakeld, die later verantwoordelijk wordt voor de productie.

### **High Pressure integrated storage, transport & distribution Solution – Hygro B.V./ Composite Agency/ E-trucks Europe B.V./ GP Groot Brandstoffen en Oliehandel B.V./ NEN/ Schipco Consultancy B.V./ Toyota Material Handling Nederland B.V. – €50.000 – Afgerond 2018**

Waterstof kan bij windturbines tegen een aantrekkelijke prijs geproduceerd worden. Tegelijkertijd zal door met name massaproductie de kostprijs van brandstofcellen dalen waardoor de inzet van waterstof als vervanger van diesel snel attractiever zal worden. Daarentegen blijkt tevens dat een groot deel van de prijs voor de eindgebruiker van het waterstof gaat zitten in transport, opslag en distributie, “van productie naar tank”. In de huidige opzet van de keten wisselt waterstof enkele keren van tank, druk en temperatuur. Door de verschillende stukken van deze keten te integreren en standaardiseren zou de kostprijs van dit deel van de keten omlaag moeten kunnen. De studie levert een integrale visie op hoe de keten van wind naar verschillende waterstoftoepassingen optimaal ingericht kan worden en welke kostprijsreductie dat ten opzichte van de huidige situatie kan opleveren.

## Import van waterstof

### **Ontwikkeling zonnebrandstof – CE Delft/ N.V. Nederlandse Gasunie/ Vattenfall Power Generation B.V. – €13.185 – Afgerond 2018**

Naast de behoefte aan kortetermijnflexibiliteit ontstaat er ook behoefte aan langetermijnopslag en/of aan import van hernieuwbare energie vanwege onbalans tussen vraag en aanbod in zomer en winter en tussen verschillende Europese regio's. Het blijkt dat er een kostenvoordeel kan ontstaan voor import van hernieuwbare brandstof uit zonne-energie. Daarmee lijkt er plaats voor zonnebrandstof als medium voor opslag én flexibiliteit om de onbalans van tijd én ruimte te overbruggen.

Onderzocht wordt de haalbaarheid van productie en import van zonnebrandstof uit Zuid-Europa, Noord-Afrika of het Midden-Oosten.

Resultaten zijn: een ketenmodel voor zonnebrandstof, op basis van kostenstructuren, ketenoptimalisatie, opbouw van de kostprijs van zonnebrandstoffen en haalbare rendementen voor de schakels in de keten; een overzicht van sterkten en zwakten van het ketenmodel in vergelijking tot binnenlandse alternatieven voor de productie van waterstof en ammoniak; en een routekaart voor ketenontwikkeling met benodigde stappen, tijdpad en rolverdeling voor actoren.

### **Kosten implicaties van Nederlandse import, export, transport en opslag van hernieuwbare energiedragers – Kalavasta B.V./ Stichting TKI-ISPT – €75.000 – 01-05-2018/31-12-2018**

Door middel van analyse van diverse bronnen en door samenwerking met binnen het ISPT programma Energiedragers Waardeketen uitgevoerde projecten, is eerst een schatting gemaakt van de productiekosten in Nederland en de totale importkosten (productiekosten, transportkosten en opslagkosten, excl. belastingen) van diverse energiedragers – alsook van de vraag naar deze dragers in Nederland en achterland. Deze gegevens zijn gebruikt om een model te maken, waarbij het mogelijk is alle relevante inputgegevens aan te passen. Het model rekent per energiedrager, op basis van de laagste totale kosten, door hoeveel geïmporteerd, geproduceerd en verbruikt kan worden. Dit model presenteert een overzicht van de stromen van de beschouwde energiedragers door Nederland. Op basis van dit model zijn diverse scenario's uitgewerkt en weergegeven in een gedetailleerd rapport. Hoofconclusies zijn in een kort niet-technisch rapport verwerkt. Kalavasta leidde het project en onderzoek; ECN verzorgde de inhoudelijke afstemming binnen het ISPT-programma en was verantwoordelijk voor validatie; andere partijen leverden inhoudelijke expertise vanuit hun domeinen.

## Opslag

### **OPVIS 1 & 2 – TNO/ EBN in opdracht van EZK – Afgerond 2018**

Deze studie levert een verkennende technische inventarisatie van de diverse mogelijkheden van ondergrondse opslagvormen die een belangrijke rol kunnen gaan spelen in de energietransitie (waaronder waterstof). De uitkomsten zijn gekoppeld aan verwachtingen ten aanzien van de toekomstige vraag naar deze vormen van opslag. Ten slotte wordt een overzicht van onderzoeksvragen gegeven met betrekking tot de ontwikkeling van opslag en het voeren van een adequaat beleid rond opslag in de ondergrond.

### **Large scale energy storage in salt caverns and depleted gas fields – TNO/ Nouryon/ EBN/ Gasunie/ GasTerra/ NAM – TKI Nieuw Gas project – 2019/2020**

TNO with partners EBN, Gasunie, Gasterra, NAM and Nouryon recently started a joint-industry project on large-scale subsurface energy storage: TKI project Large-Scale Energy Storage in Salt Caverns and Depleted Gas Fields. The consortium assesses the value of hydrogen and compressed air storage technologies in the current and future energy system, and will address key technical and non-technical hurdles that affect the market implementation of the technologies. The one-year project is partly funded by the Dutch Government.

## Offshore waterstof

### **Offshore Reuse Potential for Existing Gas Infrastructure in a Hydrogen Supply Chain – 2018 NEC Studie – Afgerond 08-02-2019**

In dit onderzoek wordt een analyse gemaakt van kostenprofielen voor verschillende manieren van het transporteren van offshore geproduceerde waterstof op de Noordzee. Aan de hand van een rekenmodel zijn er 5 verschillende scenario's doorgerekend. Het verslag is [hier](#) te vinden.

### **Offshore Reuse Potential for Existing Gas Infrastructure in a Hydrogen Supply Chain at a specific location – Voorstel voor een vervolgonderzoek.**

## Waterstofbenutting via andere energiedragers

### **Power2Gas and the power of methane**

– *KEMA Nederland B.V./ Stedin – Afgerond*

Het doel van het project was aan te tonen dat het mogelijk is om overschotten aan elektriciteit om te zetten in waterstof en via methanisering, al dan niet met gebruik van groene koolstofdioxide uit vergistingsprocessen, op te werken naar methaan en dit methaan in distributienetten in te voeden.

## 4. Toepassingen: Industrie en (Centrale) Elektriciteitsproductie

### Vergroening van waterstof in industrie

#### **MegaWatt Design Delfzijl – Nouryon Industrial Chemicals/ N.V. Nederlandse Gasunie – €133.602 – 01-07-2018/01-05-2019**

Dit project kent 2 doelen:

1. Demonstreren en implementeren van power-to-hydrogen systeem op grote schaal (20MW) in industriële en commerciële condities voor de productie van groene waterstof als grondstof voor groene chemicaliën, te starten met groen brandstof. De focus moet liggen op het voorbereiden van het binnen 5 jaar maken van de volgende stap in het opschalen.
2. Demonstreren van de inkoop van elektriciteit tegen gereduceerd tarief door geavanceerdere inkoop- en arbitragestrategieën, gecombineerd met het genereren van een significante toename aan waarde door het verstrekken van balancerings-services aan het elektriciteitsnet op een 20MW-schaal. Doel is een reductie van 35% elektriciteitskosten t.o.v. een gelijkmatige consument die opereert bij constante productie.

**H2M (Hydrogen-to-Magnum) – Vattenfall/ Gasunie/ Statoil**

Het H2M (Hydrogen to Magnum) project heeft als doel het gebruik van waterstof in de Magnum krachtcentrale in de Eemshaven in Groningen. Het waterstof moet geproduceerd worden door middel van ATR uit Noors gas waarbij de afgevangen CO<sub>2</sub> opgeslagen wordt in de Noorse ondergrond (CCS). Het project bestaat uit 3 onderdelen: 1) productie van blauwe waterstof voor elektriciteitsproductie en toepassing in industrie ('Equinor scope'), 2) toepassing van waterstof voor elektriciteitsopwekking ('Vattenfall scope'), en 3) aanpassingen in de centrale voor gebruik van waterstof zoals aanpassing gasturbines, aanpassing branders etc.

**H-vision : Grootschalige toepassing van blauwe waterstof als vervanging van aardgas in de Rotterdams – Deltalinqs et.al.**

– €594.883 – 15-08-2018/01-06-2019

Het H-vision Project stelt zich ten doel om startend in de periode 2025-2030, een aanzienlijke bijdrage te leveren aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissiereducties in de hele Rotterdamse regio door blauwe waterstof in te voeren voor industriële toepassing als vervanger van traditioneel aardgas. Dit project richt zich op de voorbereiding van een grootschalige pilot (de H-vision Pilot) voor de Rotterdamse regio.

**Assessment in Future Trends in Industrial Hydrogen Demand and Transport – Quintel Intelligence B.V. – €75.000 – 01-09-2018/31-03-2019**

Doel is het inventariseren/voorspellen van de toekomstige vraag naar waterstof in de industrie, de benodigde infrastructuur en de implicaties van H<sub>2</sub>-gebruik op andere energiedragers.



## Netondersteuning

### **HyStock: power-to-gas waterstof bij Aardgasbuffer Zuidwending – EASE/ Energy Storage NL/ TenneT TSO/ Gasunie/ Green Planet/ TU Delft/ Energy Valley/ Ministerie van I&W – €11.700.000 – 2017/2019**

HyStock is onderdeel van het Europese project 'TSO 2020: Electric Transmission and Storage Options along TEN E and TEN T corridors for 2020' (2017 – 2019). Activiteiten in dit project zijn studies naar de koppeling tussen hernieuwbare energie en nul-emissie mobiliteit met de nadruk op energieopslag en netbeheer; een elektrolyse- pilotproject; en het opstellen van een bedrijfsplan voor opschaling naar grootschalige toepassing. Het project wil helpen met op gang brengen van de supply chain voor waterstof naar mobiliteit. In eerste instantie wordt een 1 MW elektrolyser gedemonstreerd. Doel is te leren waar de technologie staat en leren omgaan met waterstof. Op de locatie Zuidwending worden ongeveer 5.000 zonnepanelen geplaatst. Dit is goed voor 12% van de jaarcapaciteit van de elektrolyser. Voor de overige 88% wordt de elektrolyser gevoed met groene netstroom om zoveel mogelijk draaiuren te maken. Deze groene stroom wordt door derden aangeleverd en EnergyStock biedt de conversie en opslagdienst aan. Het waterstof wordt met tubetrailers naar tankstation Green Planet in Pesse gebracht. TenneT, met gespecialiseerde inbreng van TU Delft, kijkt met Gasunie naar de integratie van elektrolyzers in het elektriciteitssysteem. Het achterliggend vraagstuk is hoe je de stabiliteit van het elektriciteitssysteem kunt bewaren bij grootschalige integratie van wind en zon. Specifiek onderzoeksthema in TSO 2020 is het dynamische gedrag tussen het elektriciteitssysteem en waterstof. Een elektrolyser kan diensten leveren voor netspanning en balans. Men wil dit ervaren met een 1 MW elektrolyser, en simuleren voor een 300 MW opschaling.

### **Cyrus Smith – Hymatters V.O.F. – €50.000 – 01-12-2018/30-11-2019**

Dit project is een haalbaarheidsstudie naar een mobiele unit die op midden- en laagspanningsniveau netondersteuning levert door conversie van groene elektriciteit naar waterstof. Deze waterstof komt vervolgens beschikbaar voor lokale mobiliteit zoals tractoren, grondverzet, vorkheftrucks, bussen en/of auto's. In de markt zijn al enkele partijen geïnteresseerd in de inzet van deze unit. Hiermee sluit de projectdoelstelling aan bij de TKI-doelstelling om onderzoek en ontwikkeling van concrete producten of technieken die bijdragen de verdere energie innovatie te steunen.

De voorziene unit kan voor de volgende uitdagingen in ons energiesysteem een bijdrage leveren:

- Spanningsondersteuning van het lokale laag- en middenspanningnet, dat door de invoeding van duurzame elektrische energie buiten de daarvoor geldende spanningsnormen komt;
- De lokale balancering van opgewekte duurzame elektrische energie en de lokale vraag naar elektriciteit. Door lokaal al een deel van vraag en aanbod te matchen kunnen duurdere oplossingen 'stroomopwaarts' worden vermeden of uitgesteld;
- Lokaal beschikbaar maken van waterstof voor toepassingen die niet zelf naar een vast waterstoftankstation zullen rijden, zoals heftrucks, grondverzetmachines, tractoren en/of machines voor de groenvoorziening.

Deze haalbaarheidsstudie heeft tot doel de technische haalbaarheid en de economische waarde van het netinteractiedeel van de unit te bepalen en te valideren. Om deze doelen te halen wordt een 20kW mobiele unit geëngineerd, qua essentiële onderdelen deels en op schaal gebouwd en als realistische case geëvalueerd.

## Gasturbines en branders

### **High hydrogen gas turbine retrofit to eliminate carbon emissions**

– AKZO/ Ansaldo/ Emmtec Services/ Vattenfall Power Generation/ Opra Turbines International/ TU Delft – €499.951 – 07-01-2019/28-02-2020

Het belangrijkste doel van het 'High Hydrogen Gas Turbine Retrofit'-project is om voor reeds geïnstalleerde en in bedrijf genomen gasturbines - met een power output range tussen de 1 en 300 MW - een kostenefficiënt en uitwisselbaar verbrandingssysteem te ontwikkelen, met ultralage emissiewaarden (sub 9ppm NO<sub>x</sub> en CO). Daarbij staat de flexibiliteit in de te gebruiken brandstofsamenstelling voorop, waarbij stabiele bedrijfsvoering gegarandeerd moet zijn. Deze stabiliteit dient gewaarborgd te zijn voor een brandstofvariatie van 100% aardgas tot 100% waterstof, en iedere mix hiervan. Dit is de belangrijkste uitdaging aangezien een dergelijke extreme variatie van brandstofsamenstelling met verschillende vlamreactiviteit kan resulteren in een grote verplaatsing van warmte binnen de verbrandingskamer. Dit kan leiden tot onherstelbare schade indien dit niet gecontroleerd plaatsvindt.

### **Varigas: een industrieel waterstof/aardgas-brandersysteem**

– DNV GL Oil & Gas/ Zanting B.V./ Stork Thermeq – €? - 2016

Een van de doelstellingen van de Nederlandse overheid is het vergroten van het aandeel aan duurzame gassen in het gasnet om de 'koolstofintensiteit' van het industriële energieverbruik te verlagen. Een potentiële gasvormige brandstof is waterstof dat duurzaam geproduceerd kan worden uit bijvoorbeeld 'overtollige' wind- of zonnenergie (Power to Gas). De door DNV GL voorgestelde oplossing om in de toekomst het aandeel aan duurzame gassen in het gasnet te vergroten, en om de 'koolstofintensiteit' van het industriële energieverbruik te verlagen, is het ontwikkelen van een nieuwe industriële brander die zowel waterstof, aardgas/waterstof en aardgas kan verbranden met behoud van veiligheid, bedrijfszekerheid en lage emissies.

### **Proof of Concept van HYOX technologie voor Early Adopters**

– BKS Verkoop en Advies B.V./ Hartevelt Stomerij B.V./ Hyox B.V./ Theo Pouw Secundaire Bouwstoffen B.V. – 159.280€ – Afgerond 31-5-2016

Het HYOX-project concentreert zich op de meerwaarde van bijmengen van waterstof en zuurstof in thermische branders op aardgas. Het mengsel dat via de elektrolyse van water wordt geproduceerd doet de normale verbranding efficiënter verlopen. Een relatief kleine hoeveelheid bijmenging kan al een forse besparing op de fossiele brandstof betekenen. Die hoeveelheid kan bovendien ter plekke naar behoefte worden gemaakt, zonder de noodzaak van opslag. De tests met enkele branders moet uitzicht bieden op brede toepassing.

## 5. Toepassingen: Mobiliteit en transport

### Wegvoertuigen

**Seriematig produceerbare conversiekit voor wegtransport: van diesel naar Plug-in Fuel Cell Electric – Garage71/ H<sub>2</sub>Consultancy B.V. / New Electric B.V. – 461.205€ – 01-01-2019/31-12-2020**

De doelstelling van dit TSE-waterstofproject is de ontwikkeling van een conversiekit en pilotvoertuig voor een 30kW Plug-in Fuel Cell Electric Vehicle (PFCEV), dat kan worden ingezet voor transportbewegingen in de grootstedelijke omgeving. Het project richt zich op het integrale aandrijfsysteem voor generieke retrofit in bakwagens en binnenvaartschepen. Het hogere doel na succes van dit project is een eerste economische productielijn in Nederland voor de seriematige productie van conversiekits voor de professionele ombouw van dieselaandrijving naar PFCEV.

**H2SHARE – VDL/ Wystrach/ WaterstofNet/ Gemeente Helmond/ TNO/ Vlaamse organisatie voor innovatie in de logistieke sector VIL/ Colruyt Groep/ e-mobil BW – €3.500.000 – 2018/2020**

VDL ontwikkelt een 40-ton truck in het Interreg-project Waterstofregio 2.0 en een 27-ton truck in het EU-project H2Share. Een DAF-truck wordt voorzien van elektrische aandrijving, accu's en brandstofcel als range extender. Deze trucks zouden in 2018 gaan proefrijden in verschillende landen. Zwaardere trucks dan deze komen voorlopig niet in aanmerking voor waterstof omdat de huidige brandstofcellen niet voldoende vermogen hebben voor lange snelwegritten, aldus VDL. Projectpartner Wystrach in Duitsland ontwikkelde hiervoor een mobiel tankstation voor waterstof. Behalve naar de techniek wordt ook naar onder meer de infrastructuur en regelgeving gekeken die nodig is om een succesvolle marktintroductie van waterstoftrucks mogelijk te maken.

**REVIVE – Tractebel, Groningen, Breda en Amsterdam, E-trucks, CEA, Elements Energy, Symbio Fcell, Swiss Hydrogen, WaterstofNet, Institute of Innovative Technologies, Suez Nederland, Stadtwerke Merano en SEAB – €8.706.255 – 01-01-2018/31-12/2021**

Er zijn meerdere Nederlandse initiatieven om vrachtauto's op waterstof te ontwikkelen en testen. E-trucks Europe, een MKB in Westerhoven en Lommel gesticht vanuit Beukers Autoschade, begon met 1 vuilniswagen in Eindhoven in project Waterstofregio Vlaanderen Zuid-Nederland, daarna 2 in project Life 'N Grab H<sub>2</sub>!', en toekomstig 15 in REVIVE, waarvan 9 in Nederland (2 Groningen, 2 Amsterdam, 2 Helmond, 2 Roosendaal, 1 Breda; daarnaast Antwerpen en Bolzano). Het bedrijf gebruikt een lichte DAF als basistruck, waar de motor wordt uitgethaald en elektrische aandrijving ingebouwd met een brandstofcel als range extender voor een klein batterijpakket. E-trucks Europe is betrokken bij het aangekondigde demonstratieproject Duwaal dat 100 waterstofvuilniswagens op de weg wil brengen in Noord-Holland (zie verder).

**JIVE2 – 23 partners uit 9 landen, waaronder provincie Zuid-Holland en OV-bureau Groningen Drenthe – €25.000.000 FHCH-JU subsidie – 01-01-2018/01-01-2024**

Er komen in Nederland in de komende jaren 50 waterstofbussen bij via het project JIVE2 met FCH JU-financiering. Dit goedgekeurde project omvat 152 bussen waarvan 50 voor Nederland die worden verdeeld over Groningen-Drenthe (30) en Zuid-Holland (20). De subsidie is beschikbaar als de bussen tegen een sterk verlaagde kostprijs (ten opzichte van de vorige generatie) geleverd worden. Het zusterproject JIVE1 zonder Nederlandse deelname omvat 139 bussen, in totaal brengen de JIVE-projecten bijna 300 waterstofbussen op de weg in 22 Europese steden.

**DUWAAL Alkmaar Boekelermeer – HYGRO/ GP Groot/ RAVO/ ECN part of TNO/ Fleetcraft/ Composite Analytica/ E-Trucks Europe BV/ Ontwikkelingsbedrijf Noord-Holland Noord – €1.953.595**

Het doel van deze eerste proeftuin is het realiseren van een eerste waterstoftankstation in Alkmaar (GP Groot), twee waterstofvrachtwagens (E-trucks Europe, Fleetcraft) en een waterstofveegmachine (RAVO). Daarnaast is de proeftuin bedoeld om de techniek verder te ontwikkelen en experimenten met nieuwe vormen van mobiliteit op te zetten om zo het herhalingspotentieel te vergroten. ECN part of TNO en Composit Analytica helpen mee aan de ontwikkeling van een geïntegreerd opslag, transport- en distributiesysteem voor waterstof. Samen met HYGRO ontwikkelen ze een model waarmee de geïntegreerde waterstofdistributie en tankinfrastructuur geoptimaliseerd kan worden en waaruit de kansen en beperkingen van cold compressed waterstof duidelijk naar voren komen. De verwachting is dat door dit onderzoek waterstof straks goedkoper aan de pomp aangeboden kan worden. Het tankstation op de Boekelermeer in Alkmaar zal worden uitgerust met een 350 bar vulpunt voor zwaar vervoer en 700 bar vulpunt voor personenauto's. Als de realisatie volgens plan verloopt kan halverwege 2020 voor het eerst waterstof worden getankt. De waterstof moet worden aangeleverd vanuit een waterstofwindmolen in de Wieringermeer. Het bedrijf Fleetcraft stelt zich ten doel keten breed vraag en aanbod te organiseren van waterstof elektrische transportmiddelen en doet dat door full operationeel lease, inclusief waterstof aan te bieden.

**Waterstofvrachtwagen Eemshaven**

– Theo Pouw Groep, PitPoint, Zepp.solutions, Stork

De Theo Pouw Groep heeft voor de vestiging in de Eemshaven plannen om een waterstofvrachtwagen te exploiteren. Dit gebeurt in samenwerking met PitPoint en Zepp.solutions. PitPoint is in dit project de leverancier en distributeur van waterstof. Zepp.solutions zal de 700 bar waterstofvrachtwagen ontwikkelen die in eerste instantie geschikt is om een betonmixer te transporteren. Voor dit project is een DKTI-subsidie aangevraagd. Stork zal de installatie technisch realiseren voor interfaces. Onderzocht wordt ook of een tankstation kan worden geëxploiteerd in de Eemshaven.

## Scheepvaart

### **Alternatieve Brandstoffen voor de Scheepvaart – Koers & Vaart B.V./PitPoint. LNG B.V. – €74.304 – 01-09-2018/01-09-2019**

Doel van de verkenning is te onderzoeken in welke situatie waterstof en/of methanol voor de scheepvaart kan worden ingezet vanuit het perspectief van operationele inzet, techniek, veiligheid en rentabiliteit.

### **FELMAR: 'Marinisering' en integratie van waterstoftechniek voor binnenvaart en short-sea toepassingen – B.V. Scheepswerf Damen Gorinchem/ Future Proof Shipping B.V./ Holland Ship Electric B.V./ Nedstack Fuel Cell Technology B.V./ Stichting Maritiem Research Instituut Nederland (Marin) – €? – 2018**

Binnen het FELMAR (First Element Marine) Project werkt een consortium samen aan de optimale toepassing van een PEM Fuel Cell systeem in een elektrisch aangedreven schip. Dit pilotproject heeft als beoogd eindresultaat een betrouwbaar, getest, opschaalbaar en geoptimaliseerd brandstofcel-batterij voorstuwingssysteem voorzien van de relevante certificaten en aantoonbaar geschikt voor toepassing in binnenvaart en kustvaart. De systeemopzet en de achterliggende generieke ontwerpmethodiek wordt actief gedeeld met de industrie door het beschikbaar stellen van de resultaten, die door verregaande standaardisering en certificering voor de hele industrie te gebruiken zijn. De uitkomst van het project is een commercieel klaar en schaalbaar emissieloos aandrijfsysteem voor binnenvaartschepen en kleinere kustvaarders tegen het eind van 2019.

### **Groen Varen – E-Naval B.V. – €?**

E-Naval ontwikkelt een hybride aandrijfsysteem op basis van batterijen en waterstof.

### **H<sub>2</sub> Power Module voor de binnenvaart**

– *Mobiele Stroom B.V.* – €50.000 – 01-10-2018/28-02-2019

Uitgaande van de vervoerscase en analyse van diverse technologieën voor H<sub>2</sub>-opslag en fuel cell-concepten, worden eerst de 2 of 3 meest kansrijke concepten bepaald, voor een H<sub>2</sub> Power Module voor een container-schip. Op basis van een SWOT-analyse t.a.v. techniek / veiligheid, en economische evaluatie o.b.v. de business case, ook t.o.v. een containerschip met dieselelektrische voortstuwing, wordt duidelijk welke H<sub>2</sub>-opslag-technologie voor de binnenvaart de meeste kansen biedt om verder te ontwikkelen. De haalbaarheid daarvan wordt bepaald door de grootte van het eventuele 'gat' ten opzichte van een conventioneel schip op dezelfde route. Diverse methoden worden toegepast, zoals inventariseren, conceptueel ontwerpen, risico-assessment, kostenberekening en ontwerp business case, evalueren, SWOT-analyse. Uiteindelijk worden vragen, opties en condities voor een haalbaar O&O-project vastgesteld en wordt een besluit genomen over vervolgvactiteiten. De activiteiten worden uitgevoerd door Mobiele Stroom BV (MSBV), Conoship International BV (CONO) en Schipco Consultancy BV (SCBV). RINA Netherlands BV en Aqua Navis BV worden in het onderzoek betrokken waar hun specifieke expertise inzetbaar is.

**H2SHIP** (*Interreg North-West Europe*)/ *EIFER*/ *Amsterdam Port Authority*/ *TU Delft*/ *TATA Steel Europe* – 7,21miljoen€ EU funding – 2019/2022

H2SHIP is een drietal demonstratieprojecten voor waterstofgebruik in de scheepvaart en daarnaast de ontwikkeling van een blauwdruk voor de adaptatie van waterstof voor scheepvaart in noordwest Europa. In eerste instantie gaat het om 3 pilotprojecten: Pilot 1 is een project in Frankrijk voor een decentraal waterstof productie en distributie systeem voor het tanken van twee waterstof Fuel Cell aangedreven passagiersschepen. Pilot 2 is een retrofit van binnenvaartschepen naar een waterstofsysteem in Nederland. Pilot 3 wordt uitgevoerd in België en gaat over waterstofdistributie op open zee voor zeetransport.

**Waterstofschip**

– *Theo Pouw, Koedood Dieselservice B.V., Scheepswerf H. Poppen Zwartsluis B.V., Stork*

Theo Pouw heeft met partners een waterstofschip ontwikkeld. Het schip betreft een beunschip van 86 m lang en 10.50 m breed. Koedood Dieselservice B.V. en Scheepswerf H. Poppen Zwartsluis B.V werken aan de constructie van dit schip, inclusief de Fuel Cell en de elektromotor. Voor de voortstuwing zal het schip gebruik maken van een 600 kW elektromotor, 500kW Fuel Cell, een 275 kW accupakket en twee 20ft ISO-containers voor de waterstofopslag onder een druk van 500 bar. De containers kunnen gewisseld worden en vervolgens op een aparte locatie gevuld worden. Hierdoor kan het schip optimaal varen, met minimaal tijdsverlies bij tussenstops. Het wisselen van de containers duurt circa 30 minuten en kan worden uitgevoerd bij de containerterminals in Nederland. Hiervan zijn er in Nederland circa 38, waarvan Theo Pouw er drie exploiteert. Het vullen van een lege container duurt circa 12 uur. De Fuel Cell wordt ontwikkeld door Koedood en Nedstack. Het schip is technisch te realiseren, de aandrijflijn is echter nog in ontwikkeling. De planning is om eind 2019/begin 2020 een investeringsbesluit te nemen zodat het schip in december 2020 kan varen.

## Mobiele machines

### **Economische haalbaarheid waterstof brandstofcel Ground Power Units op Nederlandse Luchthavens – *zepp.solutions B.V.* – €23.040**

In dit project wordt de economische haalbaarheid onderzocht van waterstof-brandstofcel ground power units (GPU) op Nederlandse luchthavens. Op dit moment worden vliegtuigen tijdens het laden en lossen vooral door dieselaangedreven GPUs van elektriciteit voorzien. Deze dieselgeneratoren stoten schadelijke stoffen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) voor milieu als ook voor volksgezondheid uit. Een waterstofaangedreven GPU zal de emissie van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> naar nul reduceren. Het einddoel van de haalbaarheidsstudie is om concrete antwoorden te vinden op de volgende vraagstukken:

- Wat is de total cost of ownership (TCO) van de productie, inzet en onderhoud van waterstof-brandstofcel systemen in GPU applicaties?
- Wat is de benodigde waterstoftoevoer en vulinfrastructuur? Er moet een concreet overzicht worden opgesteld voor minimaal één case study.
- Hoe moet het business model er uit zien?

### **Waterstof voor off-grid toepassingen**

– *Recoy B.V.* – €50.000 – 01-09-2018/31-01-2019

Het doel van het project is het maken van een significante stap in de toepassing van waterstof in de economie. De verwachting is dat waterstof het eerst concurrerend is als het niet direct in competitie is met energie die geleverd kan worden via de bestaande energie-infrastructuur voor met name elektriciteit en gas zoals festivals, bouwplaatsen, het leveren van elektriciteit aan vliegtuigen op een landingsbaan, etc.

## Tankstations

### **Actief watergekoelde waterstofdispenser**

– LIQUAL/ Robox Heat Technology B.V. – €143.528

Er is een grote behoefte bij investeerders in tankstations en eindgebruikers van elektrische voertuigen om de waterstofinfrastructuur zoveel mogelijk te integreren in bestaande tankstations en daarmee bij het tanken van waterstof zoveel mogelijk de praktijk en comfort van het tanken van benzine te benaderen of te overtreffen. Op dit moment is het probleem dat de beschikbare waterstofdispensers niet voldoen aan de eisen van bestaande multi-fuel tankstation (MFT). In veel gevallen zijn de dispensers niet los verkrijgbaar en niet op afstand te plaatsen of voldoen qua tanksnelheid, veiligheid en ergonomie niet aan de Europese eisen. Grootste probleem vormt het feit, dat waterstof opwarmt bij expansie in de voertuigtank, waardoor het tanken met waterstof met gecontroleerde snelheid vanwege veiligheidsredenen dient te geschieden. De aanvragers verwachten deze problemen op te kunnen lossen door een actief gekoelde waterstofdispenser te ontwikkelen. Daarbij wordt als technische oplossing voor de koeling overwogen een speciale warmtewisselaar te ontwikkelen die geïntegreerd is in het ondergrondse leidingwerk, zodat de benodigde koude efficiënt kan worden overgebracht op de waterstof in de leiding. Hierdoor wordt het mogelijk een vrijstaande, en op bestaande tankstations inpasbare, dispenser te ontwikkelen die op elke afstand tot 75 meter van de waterstofbuffer kan worden geplaatst. Bij het welslagen van dit project zal een belangrijke technische barrière voor marktintroductie weggenomen worden en de investeringen in waterstoftankstations sterk stimuleren. Hierdoor zal de infrastructuur van gebruikersvriendelijke waterstoftankstations aanzienlijk toenemen, waardoor het rijden met H<sub>2</sub>-aangedreven voertuigen aanzienlijk gestimuleerd zal worden. Daarmee sluit het project nauw aan bij de thematiek van de topsector HTSM, onderdeel Automotive, om de vervuiling en klimaatproblematiek te verminderen door het stimuleren van zero-emissie voertuigen.

### **Waterstoftankinstallatie met elektrochemische compressie**

– HYET/ Hygear – €817.404 – 01-05-2018/31-05-2019

De doelstelling van het project is de ontwikkeling van een waterstoftankinstallatie op basis van een elektrochemische compressor en het testen ervan in de praktijk in het openbaar tankstation van HyGear in Arnhem. Dit moet leiden tot een blauwdruk van tankstations die HyGear kan gaan leveren op commerciële basis. De technische doelen voor het installatie ontwerp zijn: Investeringskosten 20% verlagen; Operationele leveringskosten op 700 bar verlagen met 30%; Zuiverheid; < 20 ppb vervuilingen; Drogen van waterstof tot waterconcentratie < 5 ppmv.



**Hydrogen dispensing – custody transfer – Fluidwell B.V./ Its/ Trigas – €? – Afgerond 2018**

- 1) Ontwikkeling van een ijkwaardige maatwerk flowcomputer/controller: dit betreft de ontwikkeling en certificeringen van explosieveilige ijkwaardige elektronica, embedded software en behuizingstechniek
- 2) Optimalisatie van de coriolis meettechniek t.b.v. de applicatie;
- 3) Veldtesten van het complete systeem onder operationele condities;
- 4) In samenspraak met ijkwezen komen tot een definitieve ijkwaardige procesbeschrijvingen en certificering van de meetopstelling;
- 5) Realisatie van een ijkwaardige en gecertificeerde kalibratie opstelling voor het (her)kalibreren van de meetopstelling.

## 6. Toepassingen: Gebouwde Omgeving

### Waterstof voor cv-ketels

**Waterstofwijk Hoogeveen – BAM Infra Energie & Water B.V./ Bekaert Combustion Technology B.V./ Haskoning DHV Nederland B.V./ JP-Energiesystemen B.V./ N-Tra B.V./ N.V. KEMA/ Nedstack Fuel Cell Technology B.V./ Stichting Hanzehogeschool Groningen/ Stork Nederland B.V./ Visser & Smit Hanab Distributie B.V. – €472.359 – 01-10-2018/01-10-2019**

De doelstelling van dit project is om een (techno-economische) blauwdruk en bijbehorende technologie op te leveren om heel concreet de warmtevoorziening, op basis van een waterstof cv-ketel, van deze woningen op 100% waterstof (H<sub>2</sub>) te laten functioneren. Deze blauwdruk en technologie moeten vertaalbaar zijn naar bestaande woonwijken in de rest van Nederland. Naast reductie van aardgasgebruik, zal hiermee ook een marktkans voor betrokken partijen worden gecreëerd. De blauwdruk zal niet enkel technologisch zijn, ook de maatschappelijke businesscase, sourcing strategie en het draagvlak onder bewoners zal worden meegenomen.

Het uitgangspunt is om alternatieven te vinden voor de bekende duurzaamheidsvraagstukken betreffende de energievoorziening binnen nieuwbouw- en bestaande woonwijken. Het zwaartepunt voor dit onderzoek en aansluitend de realisatie zal liggen op de warmtevraag (warm tapwater en ruimteverwarming). Het aardgas-loos bouwen is een bekend gegeven, echter een bestaande woonwijk aardgas vrij maken vraagt om radicale veranderingen. Waarbij naast verschillende bekende technieken de toepassing van groene waterstof één van de realistische scenario's is. Vanuit ervaringen binnen dit project zal ook gewerkt worden aan een retrofit cv-ketel en worden stapsgewijs bijmengingsproeven worden gedaan tot uiteindelijk 100% waterstof.

De maatschappelijke aspecten van dit deel van het onderzoek zijn onder meer dat mensen meer zelf in controle willen zijn op gebied van energie. In dit onderzoek worden kansen gecreëerd en gekoppeld aan kostprijsreductie, opschaling en herhaling. De concrete kansen voor het bedrijfsleven worden onderzocht. De toepassing van waterstof in nieuwbouw en bestaande bouw zal mogelijkheden bieden voor opschaling naar bestaande wijken in heel Nederland.

**H<sub>2</sub> serie CV Ketel – ATAG Verwarming Nederland B.V./ Hygear B.V.**  
– €250.000 – 01-01-2018/30-04-2020

Het doel is om een brandersysteem te ontwikkelen dat de huidige aardgasbrander kan vervangen. Hierdoor kunnen toekomstige cv-ketels voor waterstof geproduceerd worden, maar kunnen ook geïnstalleerde cv-ketels met een retro-fit omgebouwd worden.

**Project in Rozenburg en Hydrogreenn** - Demo project waar drie verschillende waterstof cv-ketels worden getest. Een van deze waterstofketels wordt vervolgens in Hydrogreenn-project in Hoogeveen geplaatst in een grootschalige demo.

**H<sub>2</sub> Ready CV ketel – Bekaert Combustion Technology B.V./ EBM-Papst Heating Systems B.V./ Tieluk B.V** – €361.051 – 01-01-2018/30-04-2020

Doel van het project is een cv-ketel te ontwikkelen, in de praktijk te testen, welke gereed zal zijn voor de inzet van waterstof als energiebron, maar tevens ook (tijdelijk nog) geschikt is om aardgas als energiebron te kunnen gebruiken. Om daarmee netwerkbeheerders te bewegen netwerken geschikt te maken voor de doorvoer van waterstof en aardgas.

- Stap 1: werkend prototype H<sub>2</sub> cv-ketel;
- Stap 2: geschikt maken netwerken;
- Stap 3: grootschalige inzet van H<sub>2</sub>.

## Waterstof voor warmtenetten

**Waterstof voor warmtenetten – Berenschot/ EBN/ Gasterra – Afgerond 2018**

Volgens een strategische studie van Berenschot in opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN) en Gasterra biedt waterstof voor warmtenetten perspectief en kan in gunstige situaties nu al een duurzame bijdrage leveren aan de energievoorziening. Dat geldt voor warmtenetten dicht bij de huidige waterstofleidingen, uitgaande van invoeding met 'blauwe' waterstof gemaakt uit methaan in combinatie met CO<sub>2</sub>-afvang en opslag. Het gebruik van groene waterstof (gemaakt met wind- of zonnestroom) is vanaf 2030 rendabel wanneer deze voor de piekvraag wordt ingezet naast de hoofdbron (restwarmte of geothermie).

**Haalbaarheid waterstof in de gebouwde omgeving van Middelburg – DNWG infra B.V./Coöperatieve Windenergie Vereniging Zeeuwind UA/Delta Infra B.V.**  
– €50.000 – 01-09-2018/15-03-2019

In de provincie Zeeland wordt in het kader van CO<sub>2</sub>-reductieplannen overwogen een warmtenet aan te leggen en daarnaast waterstof te produceren uit duurzame energie. Deze situatie heeft de vraag opgeroepen in hoeverre de ontwikkeling van een waterstofwijkcentrale, gevoed door waterstof uit duurzame energie en bestemd voor back-up van het warmtenet, een uitkomst kan bieden. De technisch-economische haalbaarheid van deze oplossing is nog onbekend en randvoorwaardelijk voor deze oplossing. Het consortium van DNWG Infra en Zeeuwind wil daarom deze haalbaarheidsstudie uitvoeren naar de waterstofwijkcentrale in de gemeente Middelburg.

## 7. ECCM portfolio - Coördinatie ECCM-commissie

Meerjarenafspraken Energie efficiëntie (MJA/MEE)				
RVO PPS-toeslagregeling				
<p><b>NWO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vrije Competitie/ Open Technologie Programma</li> <li>Talentprogramma's</li> <li><b>Instituten (ECCM:DIFFER)</b></li> </ul> <p><b>OCW</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sectorplannen</li> <li><b>Zwaartekracht (ECCM: MCEC)</b></li> </ul> <p><b>EU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ERC</li> </ul>	<p><b>NWA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NWA actielijn 1: Consortia langs routes</li> <li>NWA actielijn 2: cofinanciering vakdepartementen</li> <li><b>ECCM: Opslag en Conversie</b></li> </ul> <p><b>EU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>FET</li> </ul>	<p><b>NWO (ikv KIC topsectoren)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cross-over call</li> <li><b>ECCM: Reversibele langetermijn energie-opslag</b></li> <li>NWO PPS-fonds/ Partnership/ Perspectief</li> <li><b>TA Stroomlijnen van elektrochemie</b></li> <li><b>Perspectief: Electrons to Chemical Bonds (E2CB)</b></li> <li>Take-off en Demonstrator</li> <li>Industrial doctorates</li> <li><b>ECCM tenure track call</b></li> <li><b>ECCM Systeemintegratie</b></li> </ul> <p><b>NWO/SIA (Praktijkgericht)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>KIEM (HBO-MKB)</li> <li>RAAK (HBO-MKB/ Publiek/Pro)</li> </ul> <p><b>TNO (SMO-ERP) EU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Secure, Clean and Efficient Energy, Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials</li> <li>Fuel Cells and Hydrogen 2 (FCH2)</li> <li>Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency (SPIRE)</li> </ul>	<p><b>TNO (SMO-VP)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ECCM: VoltaChem power-2-hydrogen, 2-chemicals</b></li> <li><b>ECCM: Faraday lab</b></li> </ul> <p><b>RVO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vroege Fase Financiering</li> <li>WBSO</li> <li>Research &amp; Development Aftrek (RDA)</li> <li>Small Business Innovation Research (SBIR)</li> <li>MKB-innovatie-stimulering Regio en Topsectoren (MIT)</li> <li>Demonstratie Energie-Innovatie (DEI)</li> <li>Stimuleringsregeling Duurzame Energie (SDE+)</li> </ul> <p><b>Regio's EZK Innovatie via TKIs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Cost reduction industrial PEM electrolyzers</i></li> <li><i>Direct electrochemical conversion of CO2 to formic acid</i></li> <li><i>Electrons to close the Carbon Cycle</i></li> <li><i>Hybride flexible Industrial Utilities</i></li> <li><i>Intelligent Energy Management System for MKB</i></li> <li><b>ECCM: Hydrohub: MW test center Delfzijl (ISPT)</b></li> </ul> <p><b>EU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>INTERREG</li> <li>EFRO</li> </ul>	<p><b>TNO (SMO-VP)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ECCM: Initiatie fieldlab Rotterdam-Moerdijk</b></li> <li><b>ECCM: Initiatie fieldlab BSTC</b></li> <li><b>ECCM: Hydrohub: MW test center Delfzijl (ISPT)</b></li> </ul> <p><b>EZK</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Klimaatenvelop</li> <li><b>ECCM: Faraday lab</b></li> </ul> <p><b>RVO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Stimuleringsregeling Duurzame Energie (SDE+)</li> <li>Energie Investering Aftrek (EIA)</li> <li>Milieu Investering Aftrek (MIA) en de Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil)</li> </ul> <p><b>EU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial leadership (LEIT) ICT, nanotechnologies, advanced materials, advanced manufacturing and processing, biotechnology and space</li> </ul>
<b>TRL1</b>	<b>Prakkels voor verbindingen over TRLs heen (diverse soorten van co-funding en resource pooling)</b>			<b>TRL9</b>
<p>ECCM-activiteiten binnen huidig instrumentarium: activiteiten tot stand gebracht door commissie en activiteiten geadapteerd door commissie.</p>				

## 8. Overig

**CERTIFHY – Hincio/ TÜV SÜD/ Ludwig Bolkow Systemtechnik, samen met tientallen Europese industriële partners – Budget 1e project €550.000 – 2014/2016 en 2017-2018**

Het Europese project Certifhy ontwikkelt en beproeft een EU-breed Garantie van Oorsprongsysteem voor groene en koolstofarme waterstof. Het gaat in eerste instantie om *consumer disclosure* om de klant te kunnen laten zien dat hij krijgt wat wordt geclaimd, nl. groene of koolstofarme waterstof. In het eerste project werd eind oktober 2016 het eerste EU-brede 'Garanties van Oorsprong' (GO) systeem voor waterstof gepresenteerd. In het vervolgproject (2017 – 2018) is het certificeringssysteem opgezet en pilots gehouden waarbij de methodiek in de praktijk werd getest. De Nederlandse pilot betrof een locatie waar chloorelektrolyse wordt bedreven met hernieuwbare elektriciteit.

**HYLAW – 22 Europese organisaties waaronder WaterstofNet en NEN – €1.110.000 – 2017/2018**

Onbekendheid met nieuwe technieken zoals waterstof en brandstofcellen bij overheden en de onzekerheid over de wetgeving die van toepassing is op deze technologieën leidt tot vertragingen en extra kosten en kunnen investeerders of klanten afschrikken. HYLAW heeft een systematisch vergelijking uitgevoerd van relevante juridische kaders en administratieve processen op gebieden als planning, veiligheid, installatie en exploitatie in 18 Europese landen en in het EU-rechtssysteem; beoordeeld in hoeverre sprake is van onnodige vertraging en kosten; beste en slechte praktijken opgespoord; bewustwording vergroot over invloed van de kaders en processen op de inzet van waterstof en benodigde technieken, en geadviseerd over gerichte verbeteringen in elk van de 18 landen en op EU-niveau.

**Groene waterstof booster – Hanzehogeschool (EnTranCe) penvoerder**

Project gericht op waterstof innovatie ecosysteem: bevordering van innovatie en regionale groei door onderzoeks- en innovatieprojecten met het MKB op te zetten en uit te voeren. Ontwikkelen van een test-, leer- en demo-omgeving voor innovaties langs hele waterstofwaardeketen. Subsidieaanvraag bij SNN in behandeling

### **Waterstof Innovatie Veiligheidsprogramma (in voorbereiding)**

Het Waterstof Veiligheid Innovatie Programma wil de brede introductie van waterstof als nieuwe energiedrager mogelijk maken, om de grootschalige veilige toepassing voor mobiliteit en transport te versnellen. Het H<sub>2</sub> Veiligheidsprogramma is opgesteld om een eenduidig beeld te krijgen van de veiligheidsrisico's in de hele keten en de interpretatie daarvan. Dit beeld is nodig om te komen tot:

- landelijk afgestemde maatregelen en instrumenten voor veiligheidsaspecten en risico's;
- wet- en regelgeving;
- uniforme vergunningverlening;
- uniforme incidentbestrijding en -beheersing.

### **MetroHyVe – Nederlandse deelnemers zijn VSL (Nederlands Metrologisch Instituut, Shell) en NEN – 2017/2020**

Het project MetroHyVe (Metrology for Hydrogen Vehicles) richt zich op het ontwikkelen en vastleggen van normen voor het meten van kwantiteit en kwaliteit van waterstof bij afgifte door tankstations. Het wordt uitgevoerd door Europese metrologische instituten en bouwers en exploitanten van waterstoftankstations. Enerzijds gaat het om het vastleggen van methoden en voorschriften voor hoeveelheidmeting van waterstof (hoeveel waterstof is afgeleverd aan de pomp), en anderzijds kwaliteitsmeting- en controle van waterstof, vast te leggen in ISO-/CEN-normen. De zuiverheid van waterstof is van belang voor een goede werking en levensduur van de brandstofcel.

### **De wereld van waterstof – Gasunie**

Website met “alle feiten, visies en scenario's op een rijtje”. Informatievoorziening en voorlichting

**Gas 2.0 programma Energycollege – Drenthe College (pervoerder), Noorderpoort, Alfa-college, ROC Friese Poort, Friesland College, Terra, Nordwin en New Energy Coalition in samenwerking met 45 regionale bedrijven**  
Waterstofopleiding voor studenten en werkkenden met focus op MBO.

## Bijlage D | Normalisatie voor waterstof in de industriële en gebouwde omgeving

Vanuit het Normalisatieplatform waterstof in de industrie en gebouwde omgeving (NPH2IGO) vindt een brede inventarisatie plaats van de normonderwerpen en pre-normatieve onderzoeksbehoeften rondom waterstof. Deze vraagstukken worden deels geadresseerd in Europese (onderzoek)trajecten met veelal actieve betrokkenheid vanuit Nederland. De participatie kan zwaarder ondersteund worden om Nederland een leidende rol te geven.

**Tabel D1 | Normonderwerpen en pre-normatieve onderzoeksbehoeften rondom waterstof in de industriële en gebouwde omgeving.**

Thema	Onderzoeksbehoeften
Gashoeveelheidsmeting, energiebepaling en verrekening	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gashoeveelheidsmeting en energiebepaling (op agenda CEN/SFG gas quality study);</li> <li>Verrekening;</li> <li>Opgestelde meters bij grootverbruik in het vrije domein: behoefte aan nieuw onderzoek naar de geschiktheid van grootverbruikmeters voor waterstof. Testen of prestatie en betrouwbaarheid van meetinrichtingen stand houden bij hogere druk (rotor en turbinemeters) en boven 10% metrology);</li> <li>ATEX classificatie voor mengsels van H<sub>2</sub> en aardgas;</li> <li>EVHI's geschikt maken voor variabele gassamenstelling (onderdeel Hydeploy en H2GRID);</li> <li>Geografische en tijdsafhankelijke verschillen bij H<sub>2</sub>-aardgasmengsels (onderwerp in EMPIR, metrology studies for decarbonising the gas grid, verder productontwikkeling waterstofmeting huishoudens en bedrijven door producenten ism metrologie-instituten zoals VSL);</li> <li>Thermische hoeveelheidsmeting (onderwerp in EMPIR, metrology studies for decarbonising the gas grid);</li> <li>Waterstof in de meetinrichting (onderwerp in SensH2GRID; zijn er meetsensoren/technieken beschikbaar om tegen acceptabele meetdienstkosten de %vol H<sub>2</sub> te meten?</li> <li>Eisen aan de meetinrichting (onderwerp in EMPIR, metrology studies for decarbonising the gas grid); nagaan of de huidige eisen voor maximale meetonzekerheid van aardgas ook voor waterstof(mengsels) kunnen gelden.</li> <li>Effecten op turbinemeters;</li> <li>Praktische kant van introductie doorstroommeters i.p.v. volumemeters (NBNL)</li> <li>Introductie MID (measurement instrument directive) gecertificeerde meters (Nederlandse coderegeling nodig onder de Metrologiewet);</li> <li>Kalibreren van waterstofmeters (projecten NMI, VSL, EMPIR)</li> </ul>

**Tabel D1 | Normonderwerpen en pre-normatieve onderzoeksbehoefte rondom waterstof in de industriële en gebouwde omgeving.**

Thema	Onderzoeksbehoefte
De kwaliteit van waterstof en mengsels van aardgas met waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kwaliteitseisen bij transport en distributie door (voormalige aardgas-) netten. Specificatie voor kwaliteitseisen voor eindgebruik, met begrenzing van restcomponenten (zoals in het Amerikaanse systeem)</li> <li>• Standaardiseren van waterstof/aardgas mengsels: ‘roadmap’ ontwikkelen, waarbij de verschillende stappen in de loop van de tijd opeenvolgend gezet kunnen worden, zodat regelgeving en techniek samen op kunnen lopen in een soepele overgang. Afstemming met DVGW (ontwikkeling Duitse standaards)</li> <li>• ‘Uitdampen’ van nog aanwezige aardgascomponenten uit voormalige aardgasnetten (TU Delft/Stedin): Welke componenten kunnen verwacht worden en hoe lang houdt dit ‘uitdampen’ aan?</li> <li>• Effect slecht/geen onderhoud op bestaande toestellen: Onderbouwing risicofactoren voor risicobeleid zoals veroudering of slecht/geen onderhoud op bestaande toestellen bij toepassing van een aardgas/waterstof mengsel;</li> <li>• Effecten van variaties in de gassamenstelling op toestellen (CEN TC 234 werkgroep 11)</li> <li>• Toestelnorm. specificaties adaptief toestel bij wisselende concentraties waterstof in het aardgas: onderzoek naar de noodzaak van autonome omgang apparatuur met toegestane variatie in bandbreedte of veranderingssnelheid van waterstof/aardgasmengsels</li> <li>• Kwaliteitseisen bij toepassingen die gebruik maken van waterstof dat geleverd wordt via (voormalige aardgas-)netten</li> </ul>
Omgevingsveiligheid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichtheidseisen en-beproeving;</li> <li>• Ontstekingsbronnen;</li> <li>• Verantwoordelijkheidsdomein;</li> <li>• Lekzoeken;</li> <li>• Training van personeel;</li> <li>• Penetratie in afgesloten ruimten;</li> <li>• Specifieke onderdelen van het netwerk;</li> <li>• Ruikbaarheid, sensoren;</li> <li>• Kwaliteit en samenstelling;</li> <li>• Overzetten van netten;</li> <li>• Veiligheidsmaatregelen;</li> <li>• Storingsregistratie;</li> <li>• Chemische reacties;</li> <li>• Onderhoud en Beheer;</li> <li>• Teruglevering;</li> <li>• Incidentbestrijding</li> </ul>
Normalisatie van odorisatie van waterstof in de energiedistributie	<p>Ten aanzien van de (eventueel) te gebruiken odorant moet nog veel uitgezocht worden, zoals:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact op distributie leidingen en appendages</li> <li>• Impact op binnenleidingen/gasverbruiksapparatuur,</li> <li>• Effect nieuwe odorant in samenhang met (sporen van) THT (bij menging of gebruik oude gasleidingen)</li> <li>• Ruikbaarheid na stilstand / ontmenging</li> <li>• Ruikbaarheid gas na minieme lekken (waar buis als soort van filter voor geurstof functioneert)</li> <li>• Voldoet de huidige systematiek van odorisatie door GTS/ producent en daarbij de controlemethodiek?</li> <li>• Onderzoek naar de effecten van odorant op de werking en levensduur van brandstofcellen en ontwikkelen van goedkope reiniging, cq. resistente brandstofcellen</li> </ul>

**Tabel D1 | Normonderwerpen en pre-normatieve onderzoeksbehoeften rondom waterstof in de industriële en gebouwde omgeving.**

Thema	Onderzoeksbehoeften
Protocol voor omzetting van aardgas naar waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leveringszekerheid bij wegvallen H<sub>2</sub>-bron, toegestane variaties en uitzonderingen;</li> <li>• Eisen aan supplier of last resort (SoLR), opzet van opslag/levering en verificatie;</li> <li>• Garanties van oorsprong;</li> <li>• Bewaking van kwaliteit, installatie-eisen, sensoren en monsternamen;</li> <li>• Nauwkeurigheid en frequentie monsternamen, calorische waarde en Wobbe-index;</li> <li>• Procedure voor groen licht downstream omschakeling</li> </ul>

In relatie tot de voorgestelde praktijkpakket in het MW wordt een belangrijke standaardisatie-behoefte voorzien op de gebieden 'omgevingsveiligheid' en het 'omschakelen van aardgas naar waterstof'. De onderzoeksbehoeften hiervoor worden nog geïnventariseerd.



## Bijlage E | Samenstelling kernteam

Het kernteam dat voor dit programma is samengesteld, is een goede afspiegeling van de stakeholders in het huidige speelveld van waterstof. Voor de bedrijven/industrie is aansluiting gezocht bij MMIP 8 (Elektrificatie in de industrie) omdat waterstof in de industrie (inclusief productie) daar een belangrijk thema is en volledig gedekt wordt. Voor mobiliteit is een aparte bijeenkomst met H2Platform georganiseerd om hun input goed te kunnen verwerken.

Kernteamleden:

- Jörg Gigler, TKI Nieuw Gas (voorzitter, schrijfteam)
- Marcel Weeda, TKI Nieuw Gas / TNO (schrijfteam)
- Remco Hoogma, Dwarsverband (schrijfteam)
- Jort de Boer, TKI Nieuw Gas (schrijfteam)
- Pieter Mans, Alliander / Netbeheer Nederland
- René Schutte, Gasunie
- Hans Warmenhoven, EBN / KVGn
- Han Feenstra, ministerie EZK
- Els de Wit, ministerie I&W
- Dirk Schaap, ministerie I&W
- Sarah Vaessen, RVO
- Anja Bieberle / Gerard van Rooij / Richard van de Sanden, DIFFER
- Sander Gersen / Albert van den Noort, DNV GL





