



Innovatieanalyse van waterstofprojecten in de subsidieprogramma's van de Topsector Energie in de periode 2012-2019

Auteur: Remco Hoogma (Dwarsverband)
in opdracht van TKI Nieuw Gas

16 december 2020

Samenvatting	3
1. Inleiding.....	8
2. Analyse van TSE-waterstofprojecten	9
2.1 Dataverzameling	9
2.2 Aantallen projecten.....	9
2.3 Subsidiebedragen.....	11
2.4 Aantallen partners	12
2.5 Indeling volgens innovatiefase	13
2.6 Indeling volgens innovatieketen in het MPAW	16
3. Inhoudelijke observaties per TSE-projectencluster	21
4. Beknopte analyse van waterstofprojecten DKTI-Transport.....	30
5. Conclusies en aanbevelingen	32
Bijlage 1: Niet meegenomen projecten	36
Bijlage 2: Projectpartners	37
Bijlage 3: Toepassing van RVO's objectmodel	41
Bijlage 4: Projectfiches Topsector Energie	46
Bijlage 5: Projectfiches DKTI	76
Bijlage 6: Wensen voor toekomstige programmering	83

Samenvatting

RVO/Topsector Energie hebben sinds 2012 107 waterstofprojecten met subsidie ondersteund, waarvan een deel momenteel nog loopt. TKI Nieuw Gas heeft voor deze projecten een innovatieanalyse laten uitvoeren. Het doel is om een beeld te vormen hoe de projecten hebben bijgedragen en gaan bijdragen aan de ontwikkeling en toepassing van (duurzame) waterstof als energiedrager en grondstof, en waar lacunes zitten die in toekomstige programmering aandacht dienen te krijgen.

De in het kader van de Topsector Energie gesubsidieerde projecten zijn geanalyseerd op basis van informatie uit de projectendatabase van RVO (76 projecten), eindrapporten voor zover beschikbaar (42), en gesprekken met projectuitvoerders (41 gesprekken, waarmee de meeste projecten zijn afgedekt). Dit betrof projecten uit de volgende regelingen: Waterstof, Systeemintegratie, Energie en Industrie, Urban Energy, Elektriciteit, BioBased Economy en Wind op Zee. Projecten uit de subsidieregeling DKTI-Transport (31) zijn in minder detail onderzocht. Van alle projecten zijn fiches gemaakt (bijlagen 4 en 5).

Uitkomsten bovengenoemde Topsector Energie-regelingen

Aantallen projecten, subsidiebedragen, partners (§2.2-2.4)

- Waterstof is onderwerp van 76 projecten. Meestal als hoofdonderwerp, maar soms is het onderdeel van een vergelijkende studie of onderdeel van een breder energieconcept.
- Er is een piek van gehonoreerde projecten in 2018 en 2019, toen er een specifiek op waterstof gerichte subsidieregeling was (looptijd 2017-2019) met projecten van een redelijke omvang (ordegrootte enkele € 100.000, jaarbudget € 1-3 miljoen). Deze regeling is in 2020 opgegaan in de MOOI-regeling (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie).
- Het totale toegekende subsidiebedrag voor de 76 projecten is € 27.916.303.
- De totale investering in de projecten is niet openbaar maar wordt geschat op € 46,5 miljoen, waarvan € 18,6 miljoen cofinanciering van aanvragers (inclusief in-kind bijdrage). Dit gaat uit van een gemiddelde private bijdrage van ca. 40% die gangbaar is binnen de TSE.
- Het gemiddelde subsidiebedrag is € 367.320 per project. De mediaan is € 250.000.
- Veel projecten zijn samenwerkingsprojecten, met gemiddeld 4 partners. De spreiding is van 1 tot en met 21 partners per project.

Stakeholdergroep	TSE	DKTI
Industrie (niet MKB)	53	24
MKB	90	37
Onderzoeksinstellingen	28	9
Overheden	4	7
Intermediaire organisaties	12	5
Totaal unieke organisaties	187	82
Idem alle regelingen samen	244	

Indeling naar innovatiefase (§2.5)

- Er is onderscheid gemaakt tussen projecten die zich richten op conceptuele en systeemverkenningen, en projecten voor technische O&O (onderzoek en ontwikkeling), demonstratie en deployment (toepassing).
- 32 projecten betreffen de conceptuele fase: onderzoeken of een idee over een mogelijke technologie-product-markt-combinatie kansrijk is en kan worden ontwikkeld en toegepast. Hiermee is € 3,5 miljoen subsidiebudget gemoeid (13% van het totale budget).

- 44 projecten (€ 24,3 miljoen subsidiebudget; 87%) betreft techniekontwikkeling waarbij de TRL's worden doorlopen. De toekenning van TRL gebeurde bij afgeronde projecten op basis van behaalde resultaten, en bij nog lopende projecten op basis van de zelf gedefinieerde doelstelling.
- Er zijn meerdere voorbeelden van techniek-product-markt-combinaties die in opeenvolgende projecten een "mars door de TRL's" laten zien, zoals bij de ontwikkeling van elektrolyzers, Power-to-X in Nieuwegein, "Cyrus Smith", of waterstofvaartuigen. Soms blijven een project en diens opvolger binnen dezelfde TRL, zoals de voorbereiding op en vervolgens uitvoering van de megawattcentrale Delfzijl of het Power-to-X-project in Nieuwegein. Eén project (Hyplasma) leidde juist tot vervolprojecten in programma's voor meer fundamenteel onderzoek. Andere projecten zijn voortgezet in DKT-Transport (vervoer) en Aardgasvrije wijken (gebouwde omgeving) of in Europese programma's.
- De Commercial Readiness Index (CRI) geeft aan in hoeverre de markt ontvankelijk is voor grootschalige toepassing van de technologie. De meeste TSE-projecten bevinden zich nog in CRI-fase 1 (hypothetische propositie) en sommige in CRI-fase 2 (commercial trial).

Indeling volgens de innovatieketens MPAW¹ (§2.6)

- De 76 projecten zijn geclusterd naar onderdeel van de innovatieketen.
- Aantallen projecten: productie van waterstof springt eruit (19), gevolgd door buffering, transport, distributie en (seizoens)opslag (17). Het aandeel projecten met (nadruk op) toepassingen van waterstof is ongeveer de helft, waarbinnen met name mobiliteit en transport en verwarming van gebouwen veel aandacht krijgen. Het aantal projecten voor chemie, industriële warmte en regelbare elektriciteitsproductie blijft duidelijk achter.
- Twee-derde van het subsidiebudget wordt besteed aan productie van waterstof en integrale projecten over de productie voor industrie en energie. Een-derde wordt besteed aan de ontwikkeling van de toepassingsgebieden, maar hierbij moet eigenlijk een deel van de integrale projecten worden meegerekend.
- De integrale projecten worden bovengemiddeld bedeed met subsidiebudget, waaronder het grootste project met € 5,9 miljoen. In de ondergemiddeld gesubsidieerde groep projecten (chemie, verwarming industrie, systeemstudies) vallen veel deskstudies met beperkt budget.

Observaties per projectencluster (hoofdstuk 3)

In hoeverre de projecten hebben bijgedragen of zullen bijdragen aan het richting de markt brengen van producten en diensten is beter vast te stellen door naar de projectenclusters te kijken. Hier volgt een bloemlezing voor de grotere clusters (wat betreft aantal projecten en/of subsidiebudget):

- **PEM elektrolyse** (8 projecten): In een cluster van onderzoeksprojecten is Nederlandse elektrolysetechnologie ontwikkeld. Centrale spelers hierbij zijn start-up Hydron Energy en onderzoeksinstituut ECN/TNO. De ambitie is om een Nederlandse industrie op te bouwen rondom het MW Testcentrum. Hiervoor is het projectvoorstel Hyscaling bedoeld.
- **Alkalische elektrolyse** (2-3 projecten): Met name Nouryon wil als launching customer innovatie voor alkalische elektrolyse versnellen. Voor pilotfabriek DJEWELS in Delfzijl is gekozen voor alkalische elektrolyzers van een Franse firma. De kennis uit TSE-projecten is gebruikt bij de techniekselectie. Alkalische elektrolyse is ook onderwerp van Hyscaling.
- **Offshore elektrolyse** (4 projecten): Er wordt in nationale en Europese plannen veel verwacht van waterstofproductie in combinatie met wind op zee. Er zijn onder meer in TSE-projecten verkennende studies uitgevoerd en er is een pilotproject gedefinieerd om de technische en economische haalbaarheid te bewijzen. Dit wacht nog op financiering.
- **Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie** (6-7 projecten): In alle industrieclusters staat waterstof sterk in de belangstelling, in de TSE-projecten betreft het met

¹ Meerjarige Programmatiese Aanpak voor Waterstof

name havencomplex Rotterdam en chemiepark Delfzijl. H-Vision heeft een advies uitgebracht over finale voorbereiding voor een grootschalige pilot voor de Rotterdamse regio. Dit initiatief wordt verder uitgewerkt. Voor Delfzijl heeft TSE bijgedragen aan de voorbereidingsstudie voor en aan de voorgenomen bouw van de tot dusver grootste elektrolysefabriek van Europa (20 MW). Dit is het grootste individuele project in de TSE-portfolio van waterstofprojecten.

- **Waterstof uit overschot lokale energieopwek** (2-3 projecten): Op de waterzuivering in Nieuwegein is de bedoeling om met elektrolyse waterstof te maken met lokaal opgewekte elektriciteit uit eerst zon en later ook wind. De waterstof wordt benut voor mobiliteit. Dit moet een blauwdruk opleveren voor decentrale waterstofproductie op andere locaties met wind- en zonne-energie met afname voor mobiliteit.
- **Buffering lokaal energienet** (4 projecten): Geleerd is dat waterstofopslag voor een individuele woning of gebouw om deze zelfvoorzienend te maken een dure oplossing is die veel ruimte vraagt. In nieuwe projecten wordt gekeken naar energieopslag in waterstof als onderdeel van een microgrid op wijkniveau.
- **Bijmengen in aardgasnet** (5 projecten): In meerdere projecten zijn bouwstenen voor het gebruiken van het aardgasnet als overstort of transportmedium voor waterstof ontwikkeld, zoals sensortechnologie voor aardgas/waterstof-samenstelling en techniek voor extractie van waterstof uit het aardgasnet. Vooralsnog lijken voor deze producten alleen toepassingen in het buitenland te zijn.
- **Tankstations** (4 projecten): Opbouw van een netwerk is doelstelling van de DKTI-regeling en hier wordt flink in geïnvesteerd (15 projecten voor cofinanciering van tankstations, en daarnaast tankstations als onderdeel van 11 proeftuinprojecten). De TSE-projecten zijn bedoeld voor doorontwikkeling en verbetering van tankvoorzieningen om de betrouwbaarheid te verhogen en kosten te verlagen.
- **Vaartuigen** (4 projecten): Het project FELMAR heeft een op waterstof-brandstofcel gebaseerde voortstuwings-configuratie voor scheepvaart opgeleverd, met klasse-typegoedkeuring. Vervolgens is een pilot voorbereid voor het eerste (nieuwbouw) binnenvaartschip met een brandstofcel voor het varen op waterstof. Voor de pilot is een aanvraag gedaan bij DKTI maar deze is afgewezen, daardoor is er nog een gat in de financiering. DKTI ondersteunt wel 3 andere proeftuinprojecten met (kleinere) schepen.
- **Zwaar wegvervoer en mobiele machines** (2 projecten): TSE ondersteunt twee en DKTI-Transport 13 projecten voor zwaar wegvervoer en mobiele machines op waterstof. Het gaat om experimentele ontwikkeling en proeftuin (pilot)-projecten. De eerste producten zijn recent gedemonstreerd, zoals een terminaltrekker en een veegmachine op waterstof.
- **Waterstof voor synthese in industrie** (4-5 projecten): Naast vergroenen van het huidige waterstofaanbod zijn nieuwe toepassingen voor waterstof onderzocht om de footprint van de industrie te verbeteren. Dit betreft met name conceptuele studies, maar ook het opstellen van een businessplan met uitwerking van de haalbaarheid van een synthetische kerosine pilotfabriek. Project DJEWELS zal waterstof voor (o.a.) methanolproductie leveren.
- **Waterstof in gebouwde omgeving** (7 projecten): in dit projectencluster is en wordt aan diverse apparatuur voor verwarming van woningen en gebouwen gewerkt. Deze set projecten lijkt alle aspecten goed af te dekken. Naast technische aspecten komen in meerdere projecten ook maatschappelijke aspecten met betrekking tot veiligheid aan bod. Er is een blauwdruk ontwikkeld voor waterstoftoepassing in een wijk in Hogeveen. Voor realisatie heeft Hogeveen recent een subsidie ontvangen uit de Aardgasvrije-wijkenregeling (net als Stad aan 't Haringvliet).

Twee thema's waar slechts enkele projecten voor zijn uitgevoerd verdienen meer aandacht omdat het gaat om toepassingen waar weinig tot geen duurzame alternatieven bestaan voor waterstof:

- **Industriële verwarming** (3 projecten): De glas/metaal/steen-industrie is afhankelijk van aardgas voor directe verhittingsprocessen, waterstof is hier een alternatief, in pure vorm of bijgemengd bij aardgas. Tot nu toe is er maar een enkel project op dit vlak, wel met een grote groep partners,

en er zijn ideeën voor vervolprojecten. Het gaat om verspreid gelegen industrie die mogelijk pas laat op een waterstofbackbone aangesloten kan worden.

- **Gasturbine voor waterstof** (1 project): Net als bij industriële branders is waterstof hier het enige alternatief om koolstofvrij te worden. Dit veronderstelt dat het belang van stuurbare elektriciteitsproductie in aanvulling op fluctuerend aanbod van wind- en zonenergie wordt onderkend. Natuur en Milieu heeft dit recent bepleit.² Demonstraties zullen vanwege de grote volumes benodigd waterstof al snel veel budget vragen, dus zijn oplossingen nodig om voor het afdekken van de onrendabele top tussen aardgas en waterstof.

DKTI-Transport (hoofdstuk 4)

- Het totale subsidiebedrag voor de 31 waterstofprojecten in DKTI-transport is € 32,6 miljoen. Dit is dus meer dan het subsidiebudget voor de 76 TSE-projecten. Dat komt doordat veel DKTI-projecten zich op relatief kostbare demonstratie- en toepassingsprojecten richten. Een groot deel van de projecten en een nog groter deel van het subsidiebudget betreft cofinanciering van waterstoftankstations (15) en proeftuinprojecten (11) waarin vaak ook tankfaciliteiten worden gebouwd.
- Het gemiddelde aantal partners per project is 3. De spreiding is 1-11 partners per project.

Conclusie en aanbevelingen

De vraag “waar stonden projecten aan het begin qua TRL- en CRI-fase, en waar aan het eind?” is beantwoord met het overzicht in de tabel in paragraaf 2.6. De projecten zijn (soms door de projecteigenaar, meestal door RVO en/of de opsteller van dit rapport) in een TRL-fase geplaatst. Als het project succesvol is kan de ontwikkeling doorgaan naar de volgende TRL-fase. In de gesprekken is deels inzicht verkregen in activiteiten gericht op de volgende TRL-fasen, maar dit was niet altijd al duidelijk, of de plannen zijn vertrouwelijk meegedeeld. Een groot deel van de projecten is nog niet afgerond.

Aanbeveling 1: vraag projectuitvoerders zowel in de aanvraag als in de eindrapportage om een inschatting van de TRL- en CRI-fasen aan het begin van het project en beoogd resp. behaald aan het eind. Dit vergemakkelijkt een projectenanalyse zoals hier is uitgevoerd.

Wat projecten hebben bijgedragen aan de techniekontwikkeling (“beyond state-of-the-art”) is meestal niet uit de rapportages te halen. Misschien juist omdat het openbare rapportages betreft ontbreken veelal de kwantitatieve gegevens achter de conclusies. Om in de toekomst wel dergelijke informatie te verzamelen is het aan te bevelen om hier in de uitvraag van tenders en in projectrapportages naar te vragen. Het Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking heeft Key Performance Indicators voor state-of-the-art en toekomstdoelen gedefinieerd voor een reeks waterstofproducten en -systemen (<https://www.fch.europa.eu/soa-and-targets>).

Aanbeveling 2: vraag aan projectconsortia waar hun techniek wat betreft de door FCH JU gehanteerde KPI's staat ten opzichte van de state-of-the art (vóór en na het project), en welke verbetering op KPI's men wil behalen resp. is behaald met het project.

De indeling van de projecten volgens de innovatieketen heeft laten zien dat er twee thema's zijn waarvoor slechts enkele projecten zijn uitgevoerd, maar waarvoor de observaties per cluster een belangrijk potentieel voor vervolprojecten tonen. Het gaat hier om toepassingen waar waterstof één van weinige duurzame alternatieven is voor aardgas, namelijk voor hoge-temperatuurwarmte in de procesindustrie en voor gasturbines. De projecten voor beide thema's lopen deels nog of zijn net

² https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2020/11/Visie-Vergroenen-Gascentrales_Natuur-Milieu.pdf

afgerond en een aanzienlijke groep betrokkenen kijkt naar vervolprojecten. Voor andere toepassingen (mobiliteit, gebouwde omgeving) zijn al veel projecten uitgevoerd en is redelijk duidelijk wat het ontwikkelpad is, maar de twee genoemde thema's staan nog aan het begin. Het gaat hier om een potentieel zeer grote vraag naar (groene) waterstof.

Aanbeveling 3: ontwikkel specifieke innovatietrajecten voor toepassing van waterstof voor industriële verwarming en gasturbines voor regelbare CO₂-vrije elektriciteitsopwekking, met onder meer grootschalige demonstratieprojecten met onrendabele topafdekking voor de benodigde waterstofvolumes.

In de 41 gesprekken met projecteigenaren en -deelnemers is gevraagd welke thema's in toekomstige tenders aandacht zouden moeten krijgen, welke wensen er zijn over de inrichting van de regelingen, en over andersoortige ondersteuning. Het betreft uitdrukkelijk meningen van de gesprekspartners en niet standpunten van TKI Nieuw Gas. Vertrouwelijk meegedeelde projectideeën zijn niet vermeld.

De top-5 aan wensen en voorstellen (keuze RH) is de volgende:

- Er worden veel losse projecten gestart, "lean" opgezet om kosten te beperken. Daarbij zijn geen back-ups ingepland voor waterstoflevering, dispenser, e.d. Idee is om een **gedeelde back-up capaciteit** te organiseren en collectief te financieren voor de projecten in Nederland.
- Waterstofopslag is tot nu toe vooral bekeken vanuit de betekenis voor flexibiliteit, maar aardgasopslag dient nu voor seizoensbalans en strategische reserve. Wat is de rol van waterstofopslag voor **energiezekerheid** en hoeveel is dit waard, immers waterstof is (voorlopig) duur, dus een voorraad aanleggen ook.
- Er zou meer ondersteuning moeten komen voor **Nederlandse industrieopbouw**. Andere landen hebben dat als speerpunt en hun industrie concurreert vervolgens op de Nederlandse/Europese markt tegen niet gesteunde Nederlandse industrie. Nederland laat kansen liggen met creëren van werkgelegenheid en moet hier actiever ermee omgaan.
- Er is bij de projecten in de gebouwde omgeving veel interesse vanuit gemeenten. Idee is om een **ondersteunende tool** te maken om gemeenten door de eerste stappen te helpen, met een bijbehorende **kennisbank/-centrum** en ondersteuningsvouchers voor belangstellende gemeenten. Daarnaast is er bij projectuitvoerders behoefte aan een **expertpool** om de zoektocht naar specifieke kennis te vergemakkelijken. Zelf het wiel uitvinden over veiligheidsvraagstukken bijvoorbeeld kost veel tijd en moeite.
- Een belangrijke vraag is **hoe de opschaling kan worden bereikt**. Er zijn tot nu toe veel studies en kleinschalige pilots, maar om op grote schaal te demonstreren is infrastructuur en onrendabele top-ondersteuning nodig. Instrumenten voor ondersteuning op de schaal boven 20 MW elektrolyse ontbreken, en ook voor elektriciteitsopwekking met grote waterstofturbines. Dekking van onrendabele top tussen grijze en groene waterstof is niet voldoende als groene waterstof aardgas vervangt.

Meer wensen en voorstellen zijn opgenomen in bijlage 6.

1. Inleiding

RVO/Topsector Energie hebben sinds 2012 107 waterstofprojecten ondersteund, waarvan een deel momenteel nog doorloopt. TKI Nieuw Gas heeft voor deze projecten een innovatieanalyse uitgevoerd. Het doel is om een beeld te vormen hoe de projecten hebben bijgedragen en gaan bijdragen aan de ontwikkeling en toepassing van duurzame waterstof als energiedrager en grondstof, en waar lacunes zitten die in toekomstige programmering aandacht dienen te krijgen.

Het gaat om projecten uit de programma's van Topsector Energie, Klimaatakkoord-envelop, en de DKTI-regeling. Projecten van Nederlandse partijen in Europese regelingen (FCH JU, Kaderprogramma's, EFRO) zijn niet meegenomen in de analyse.

Eenzijds gaat het om 'harde' gegevens over de projecten (hoofdstuk 2):

- Hoeveel projecten betreft het (rekening houdend met opsplitsing in deelprojecten)?
- Hoeveel Euro's zijn ermee gemoeid (subsidie, totaal)?
- Hoeveel partners zijn gemiddeld betrokken?
- Uit welke groepen zijn de stakeholders afkomstig (industrie, MKB, onderzoeksinstituten (HBO, universiteit), overheden etc.)?
- Op welk onderwerp richt het project zich? Hierbij wordt de indeling van de Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof (MPAW) gevolgd.

Anderzijds wordt een inschatting gegeven in welke mate de projecten hebben bijgedragen of naar verwachting zullen bijdragen aan het richting de markt brengen van producten en diensten. In welke innovatiefase bevinden de projecten zich, waar stonden ze aan het begin qua TRL- en CRI-fase³, en waar aan het eind? Kunnen we daaruit vaststellen dat het innovatiesysteem zich goed ontwikkeld heeft? En welke terreinen missen we nog?

Leeswijzer

De indeling is als volgt:

- Hoofdstuk 2 omvat de kwantitatieve analyse van de waterstofprojecten uit de Topsector Energie.
- Hoofdstuk 3 geeft kwalitatieve observaties per projectencluster, ingedeeld in lijn met de Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof.
- Hoofdstuk 4 geeft een beknopte analyse van de waterstofprojecten uit DKTI-Transport.
- Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen.
- Hierna volgen meerdere bijlagen, met onder meer de projectfiches van de 107 projecten.

³ Technology Readiness Levels en Commercial Readiness Index, zie Waterstof voor de energietransitie, pag. 40.

2. Analyse van TSE-waterstofprojecten

2.1 Dataverzameling

De projectenanalyse is uitgevoerd voor een excellijst die door RVO is aangeleverd op basis van de projectendatabase van Topsector Energie. Het aantal unieke projecten in de aanvankelijke lijst was 61. Voor een aantal projecten ontbrak informatie, deze is later aangevuld. Van de projecten staan ook beschrijvingen op de projectenwebsite van Topsector Energie (<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten>).

Op de site bleken nog meer projecten te staan waarin waterstof een grotere of kleinere rol speelt, maar die niet in de lijst stonden. 14 hiervan zijn meegenomen in de analyse als de rol van waterstof voldoende groot was, dit brengt het totaal op 76 projecten. In bijlage 1 wordt gemotiveerd welke projecten niet zijn meegenomen in de analyse en waarom.

Van 38 projecten was op de website een eindrapport te vinden, in 35 gevallen niet. Dit betreft veelal nog af te ronden projecten, maar ook sommige oudere projecten. Sommige projecten zijn wel klaar met hun activiteiten maar werken nog aan de rapportages (deze moeten tot 3 maanden na afronding ingediend worden). In een aantal gevallen zijn rapporten alsnog beschikbaar gekomen door contact op te nemen met de projectuitvoerders. Enkele rapporten zijn vanwege vertrouwelijkheid niet op de website geplaatst. In totaal konden van 42 projecten eindrapporten worden meegenomen in de analyse.

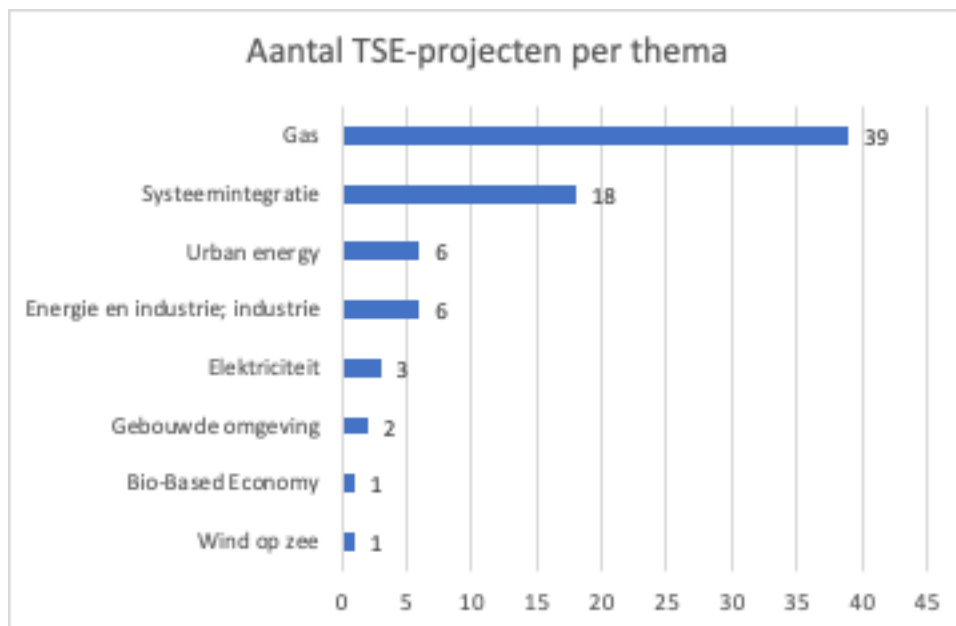
Gaandeweg is besloten om ook de waterstofprojecten uit DKTI-Transport (Demonstratieregeling Klimaat Technologieën en –innovaties Transport, een op mobiliteit en vervoer gericht programma) mee te nemen in de analyse. De informatie over deze projecten wordt in een ander systeem bijgehouden, een vergelijkbare uitdraai kon om die reden niet geleverd worden. Wel is informatie over deze projecten online beschikbaar (<https://www.rvo.nl/initiatieven/overzicht/30439> en PDF-overzichten). Het gaat hier om 31 projecten, zie hoofdstuk 4.

Het eindresultaat was dus een lijst van 76 (TSE) +31 (DKTI) = **107 projecten** waar deze analyse op is gebaseerd. De rest van dit hoofdstuk en hoofdstuk 3 gaan alleen over de TSE-projecten.

2.2 Aantallen projecten

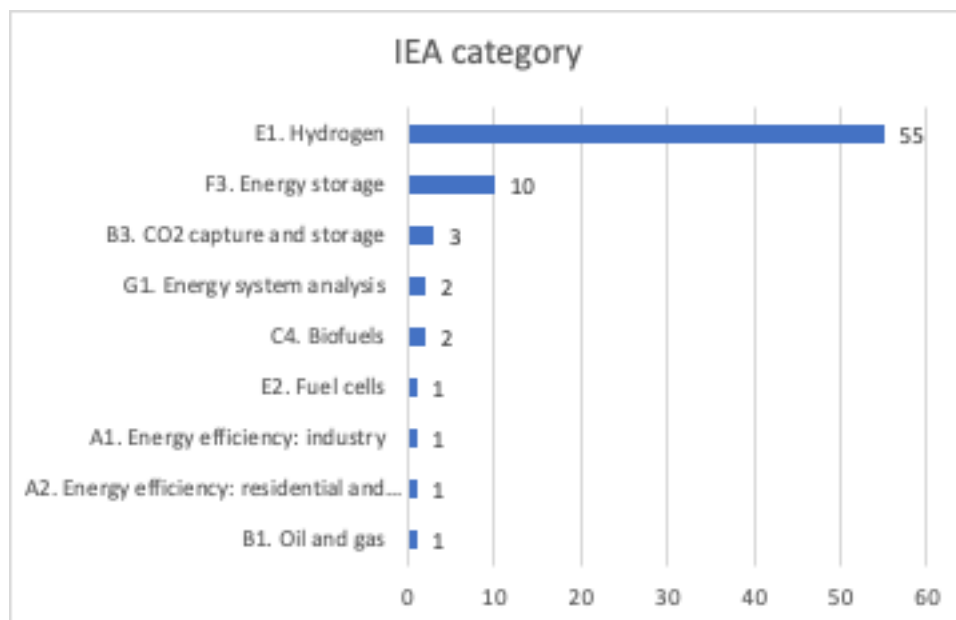
De 76 TSE-projecten worden vanuit verschillende agenda's en programmalijnen gesubsidieerd. 71 projecten komen voort uit de Topsector Energie en 5 uit het Klimaatakkoord.⁴ De volgende grafiek geeft de verdeling van de projecten over de in de Topsector Energie gehanteerde thema-indeling. De meest voorkomende thema's zijn gas, systeemintegratie, urban energy en industrie.

⁴ Dit betreft projecten die subsidie ontvangen uit de klimaatenvlop via de DEI-regeling.



De projecten onder thema Gas vallen meestal onder de programmalijn Waterstof. 3 projecten onder thema Gas vallen onder de programmalijn CCUS (over blauwe waterstof)⁵ en één onder Geo-Energie (over ondergrondse opslag van waterstof).

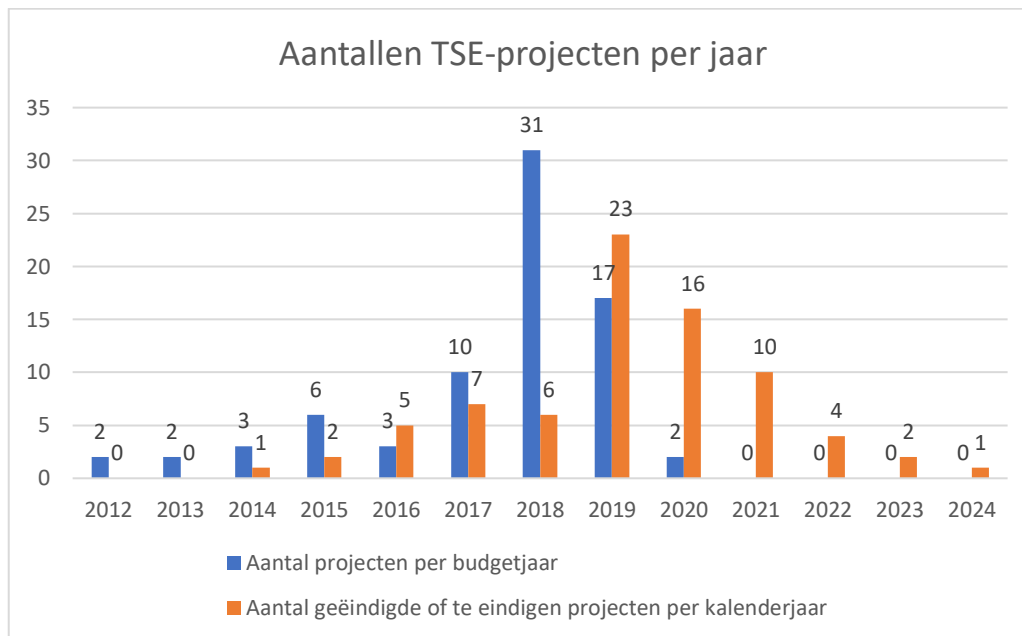
Een vergelijkbaar beeld ontstaat als de IEA-categorieën worden gehanteerd voor de indeling van de 76 projecten. Deze categorieën zijn door RVO toegekend aan de projecten. Je zou wel verwachten dat de categorieën “Systeemintegratie” en “Energy System Analysis” meer overeenkomen.



De volgende grafiek toont het aantal gehonoreerde projecten per budgetjaar, en het aantal projecten dat per kalenderjaar is geëindigd of zal eindigen. Zichtbaar is dat er een piek van nieuwe projecten was in 2018/2019, en dat het merendeel van de projecten in de loop van dit jaar afgerond zal zijn; er resteren dan nog 16 projecten die in de jaren 2021-2024 aflopen.

⁵ Eén hiervan betreft cofinanciering van Nederlandse deelname in een internationaal project in de ACT-regeling (Advanced CCS Technologies).

De piek in 2018 en 2019 is mede veroorzaakt door het feit dat er in die jaren een specifiek op waterstof gerichte subsidieregeling was (2017-2019) met projecten van een redelijke omvang (ordegrootte enkele € 100.000, jaarbudget € 1-3 miljoen). Deze regeling is in 2020 opgegaan in de MOOI-regeling (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie).



2.3 Subsidiebedragen

Het totale toegekende subsidiebedrag voor de 76 projecten is **€ 27.916.303**.

De totale projectkosten per project is geen publieke informatie, maar RVO stelt dat gemiddeld 40% door private partijen wordt ingebracht. Dat betekent dat de totale investering in de projecten omstreeks € 46,5 miljoen bedraagt, waarvan € 18,6 miljoen cofinanciering van aanvragers (inclusief in-kind bijdrage).

Onderstaande tabel toont de totale projectkosten (in € mln.) per jaar in de periode 2013-2019, verdeeld over de organisatietypen MKB, grote bedrijven, kennisinstellingen en overig. Dit betreft de projectkosten van alleen de 53 projecten met IEA-categorie "E1. Hydrogen" en "E2. Fuell cells"; dit komt daarom niet overeen met de selectie van 76 projecten maar wel geeft de tabel een indruk van de verdeling over de organisatietypen.

Jaar	MKB	Grote bedrijven	Kennisinstellingen	Overig	Totaal
2013	0	14	137	0	151
2014	533	333	429	0	1.295
2015	163	0	633	0	796
2016	36	5	112	19	172
2017	961	456	1.228	7	2.652
2018	7.211	2.248	2.674	366	12.499
2019	4.537	4.098	2.243	8	10.886
	13.441	7.154	7.456	400	28.451

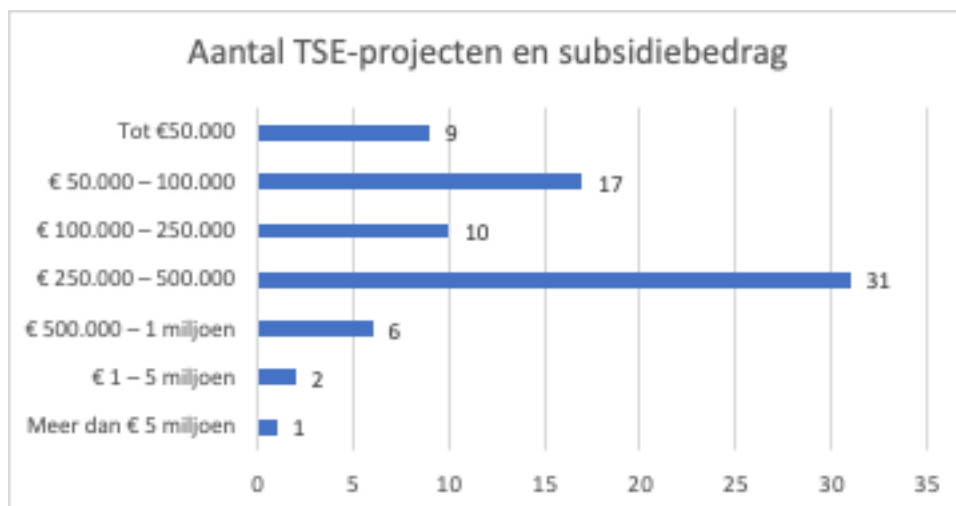
Verdeling totale projectkosten (subsidie plus cofinanciering) per organisatietype per jaar, in k€. Bron: RVO 2020.

De financiering over de totale kosten (€ 28,451 M) is als volgt:

- Privaat = € 12,39M (44%)
- Publiek = € 16,06M (56%)

De publieke bijdrage bestaat niet alleen uit de subsidies in de projecten, maar bijvoorbeeld ook uit niet-gesubsidieerde loonkosten door kennisinstellingen. De betaling van deze kosten uit eigen middelen worden bij kennisinstellingen als “publiek” aangemerkt omdat de middelen die deze instellingen te besteden hebben deels uit publieke bronnen komen.

De verdeling van de 76 TSE-projecten naar omvang is als volgt:



Het gemiddelde subsidiebedrag is € 367.320 per project. De mediaan is € 250.000 (de helft van de projecten heeft een groter subsidiebedrag en de helft een kleiner subsidiebedrag dan de mediaan).

2.4 Aantallen partners

Veel projecten zijn samenwerkingsprojecten. Per project is het aantal onafhankelijke partners geteld. Verschillende afdelingen van een instituut of dochter van een moederbedrijf zijn als één geteld.⁶

Het gemiddelde aantal partners per project is 4.

De spreiding is van 1 tot en met 21 partners per project.

De mediaan is 3.

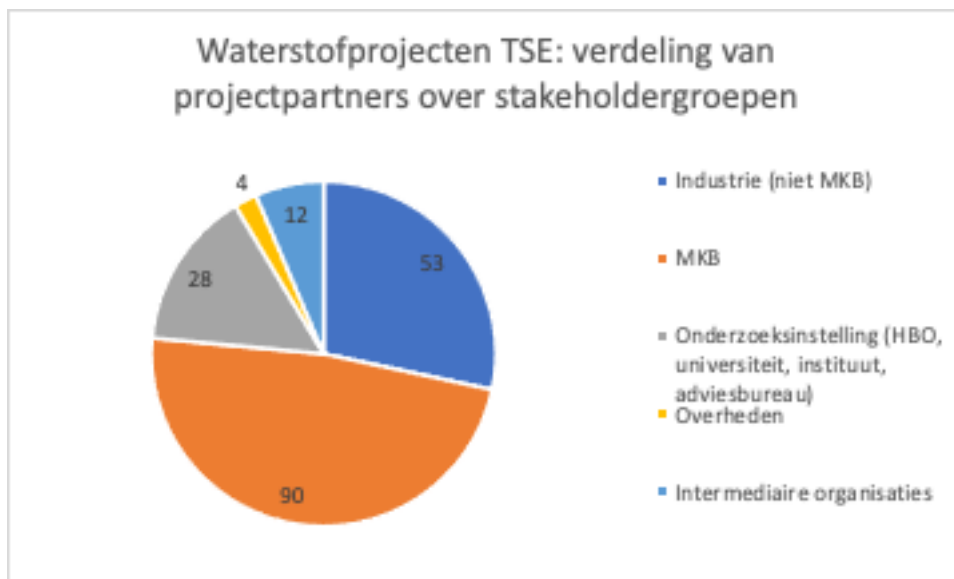
De modus (het meest voorkomende aantal partners per project) is 2.

Het aantal **unieke partijen** bedraagt **187**.

De verdeling van deze unieke partijen over verschillende stakeholdergroepen is als volgt:

- Industrie (niet MKB): 53
- MKB: 90 (NB. of een bedrijf binnen MKB valt is niet altijd gecontroleerd.)
- Onderzoeksinstituut (HBO, universiteit, instituut, adviesbureau): 28
- Overheden/overheidsbedrijven: 4
- Intermediaire organisaties: 12

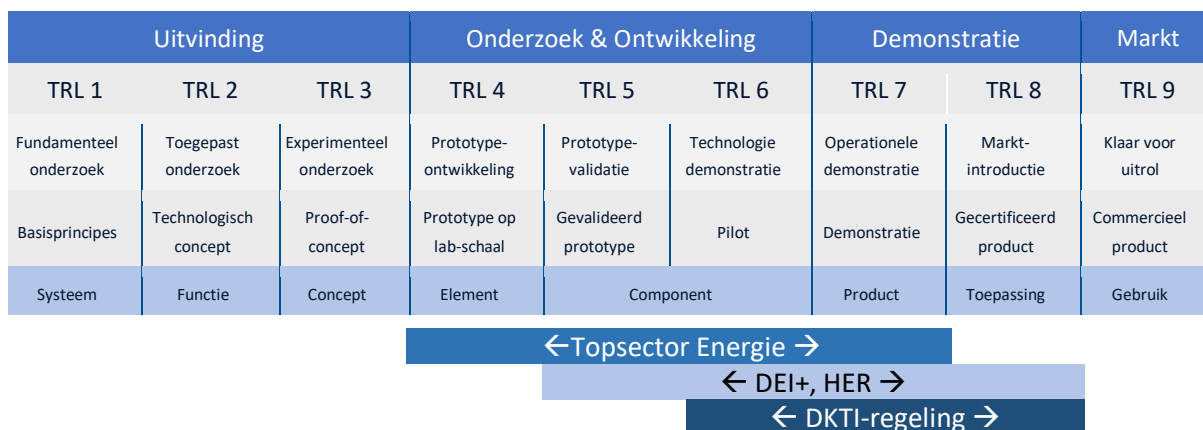
⁶ Bijvoorbeeld: ECN is apart geteld totdat het instituut *part of TNO* werd. Nouryon Industrial Chemicals en voorganger AKZO Nobel Industrial Chemicals zijn als één geteld, net als DNVGL en voorganger KEMA, en New Energy Coalition en voorganger Energy Valley.



In bijlage 2 is de lijst van projectpartners opgenomen, verdeeld over stakeholdergroepen, en met vermelding van het aantal projecten waarin elke partner deelneemt.

2.5 Indeling volgens innovatiefase

Om de voortgang van technologische innovaties te meten worden wel Technological Readiness Levels gebruikt. Het is daarmee ook een fasemodel. Een fasemodel op hoger niveau is het 4D-model (oftewel Uitvinding, Onderzoek & Ontwikkeling, Demonstratie en Marktontwikkeling). De samenhang wordt gegeven in de volgende figuur. Hierbij is ook aangegeven op welke TRL's de Topsector Energie en DKTI zich voornamelijk richten.



De volgende tabel geeft definities van de TRL's (er zijn meerdere definities).

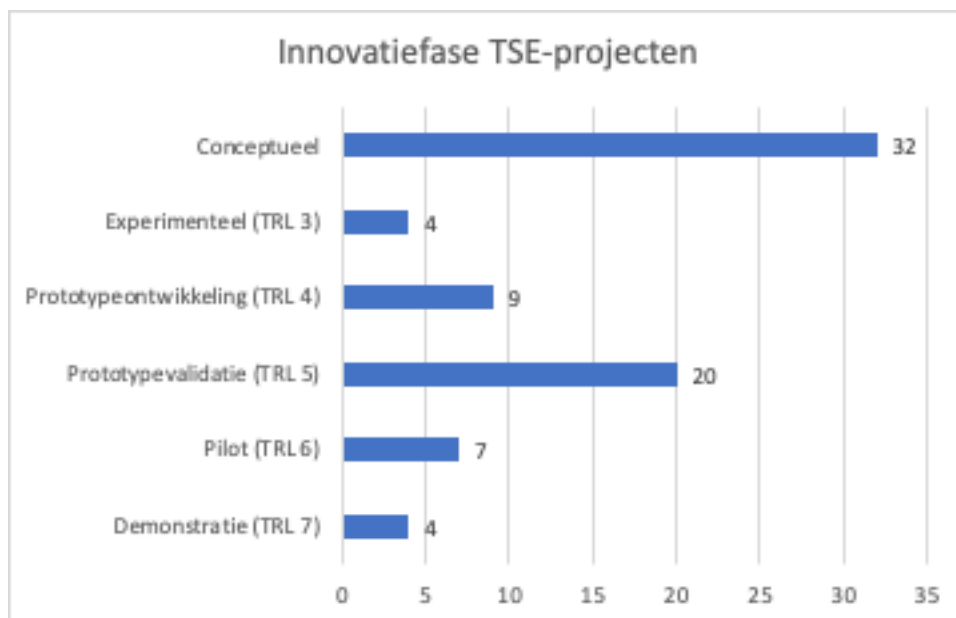
TRL	Definitie
1	Basis principes zijn geobserveerd en gerapporteerd
2	Technologisch concept en/of toepassing is geformuleerd
3	Kritische functie of karakteristiek is analytisch en experimenteel bewezen
4	Component of experimenteel model is gevalideerd in laboratorium omgeving
5	Component of experimenteel model is gevalideerd in relevante omgeving
6	Systeem / subsysteem model of prototype is gedemonstreerd in een relevante omgeving
7	Prototype van het systeem is gedemonstreerd in een operationele omgeving
8	Daadwerkelijk systeem is compleet en gekwalificeerd door test en demonstratie
9	Daadwerkelijk systeem is bewezen door succesvol operationeel bedrijf

Een innovatie als geheel kan in een bepaalde TRL-fase worden geplaatst, maar de fase kan ook verschillen per ontwikkelaar en daarmee per project. RVO maakt een indeling per project en gebruikt daarbij het objectmodel: de TRL van een project wordt via het onderwerp bepaald. Dit gebeurt door het project een "Object" mee te geven. Deze indeling kent de volgende variaties: Systeem, Functie, Concept, Element, Component, Product, Markt, Toepassing. Dit weerspiegelt hoe een idee via de S-curve richting de markt gaat en kan worden vertaald naar een TRL of innovatiefase. Zie bijlage 3 voor de analyse volgens het objectmodel.

In de set van projecten zitten ook projecten waarin ketenanalyses en marktstudies worden uitgevoerd, en waarbij complete concepten op de schaal van een industriecluster worden ontwikkeld. Voor zulke projecten werkt de indeling in TRL-fasen niet goed, deze veronderstelt eigenlijk dat er daadwerkelijk iets wordt ontworpen, gebouwd, gemeten, gedemonstreerd etc., dus dat er fysieke handelingen worden uitgevoerd. Ook engineering en misschien haalbaarheid passen nog mits op realisatie is gericht.

Daarom is voor deze analyse een nieuwe indeling gemaakt, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen projecten die zich richten op conceptuele en systeemverkenningen, en projecten voor technische O&O, demonstratie en deployment. Aan de eerste groep projecten zijn geen TRL's toegekend, aan de tweede groep wel. TRL 2 (technologisch concept) is niet van toepassing op de eerste groep omdat het gaat om verkenningen en haalbaarheidstudies van combinaties en configuraties van waterstoftechnieken, dus om systeemconcepten en niet om nieuwe technologische concepten.

De toekenning van TRL gebeurt bij afgeronde projecten op basis van behaalde resultaten, en bij nog lopende projecten op basis van doelstelling/beoogde resultaten. De indeling is geen exacte wetenschap: de grenzen tussen de TRL-fasen zijn niet hard, en soms zijn meerdere TRL-fasen van toepassing op projecten waarin meerdere innovaties worden ontwikkeld.



Een groot deel van de projecten betreft de conceptuele fase: onderzoeken of een idee over een mogelijke technologie-product-markt-combinatie kansrijk is en kan worden ontwikkeld en toegepast. Dit betreft **32 projecten**. Hiermee is **€ 3,5 miljoen** subsidiebudget gemoeid (13%).

De tweede, grotere groep projecten (**44 in totaal; € 24,3 miljoen** subsidiebudget; 87%) betreft daadwerkelijke techniekontwikkeling waarbij de TRL's worden doorlopen. Dit betreft soms vervolgpiloten op basis van uitkomsten van projecten uit de eerste groep, maar vaak ook niet. Sommige haalbaarheidstudies hadden als uitkomst dat een ontwikkeling niet kansrijk was, of dat een andere combinatie meer potentieel zou bieden. Er zijn meerdere voorbeelden van techniek-product-markt-combinaties die in opeenvolgende projecten een "mars door de TRL's" laten zien, zoals bij de ontwikkeling van elektrolyzers, Power-to-X in Nieuwegein, "Cyrus Smith", of waterstofvaartuigen. Soms blijven een project en diens opvolger binnen dezelfde TRL, zoals de voorbereiding op en vervolgens uitvoering van de megawattcentrale Delfzijl of het Power-to-X-project in Nieuwegein. Eén project (Hyplasma) leidde juist tot vervolgpiloten in programma's voor meer fundamenteel onderzoek. Andere projecten zijn voortgezet in DKTI-Transport (vervoerstoepassingen) en Aardgasvrije wijken (gebouwde omgeving) of in Europese programma's.

Er zijn overigens ook projecten die conceptuele verkenningen en ontwikkeling combineren. Veel O&O-projecten bevatten bovendien flankerende elementen doordat ze ook aandacht geven aan regelgeving, gedrag en maatschappelijke acceptatie. Dit geldt met name voor de projecten in de gebouwde omgeving.

Commercial Readiness Index

Naast Technology Readiness Levels worden ook Commercial Readiness Levels gebruikt om innovatiefase van een technologie aan te geven. TRL 9 voor technologie die technisch en commercieel gereed is. TRL 9 wil echter niet zeggen dat commercialisatie dan vanzelf gaat. De Commercial Readiness Index' (CRI) geeft aan 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 zien hoe TRL en CRI zich verhouden.

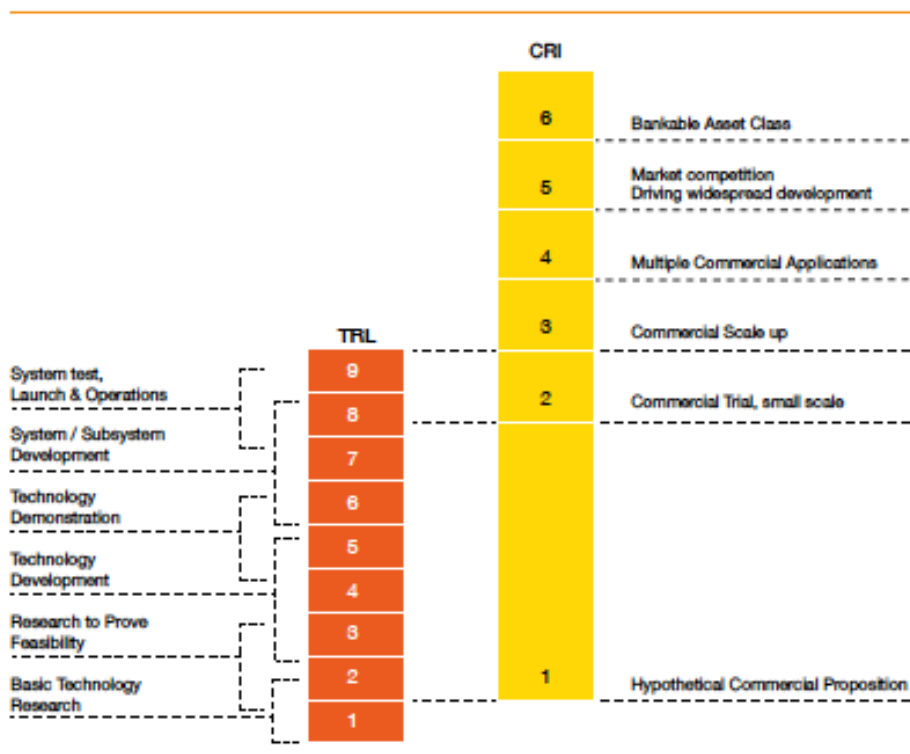
Kijken we naar de TSE-projecten dan bevinden de meeste projecten zich nog in CRI-fase 1 en sommige in CRI-fase 2. Nemen we DKTI-projecten erbij, dan kan men van tankstations en personenauto's op waterstof zeggen dat deze in CRI-fase 3, misschien 4 zitten. Voor andere voertuigtypen geldt dat nog niet, die zitten nog in CRI-fase 2 en 3 (heftrucks wel in fase 4).

Van TRL en CRI naar state-of-the-art

Tot nu toe is gesproken over de indeling van de TSE-waterstofprojecten in TRL en CRI-fasen. Op een hoger abstractieniveau kan men ook *technieken* indelen in TRL- en CRI-fasen. Een techniek die wordt geleverd door de marktleider kan echter een aantal TRL-fasen verder zijn dan die van instituten en bedrijven die later zijn ingestapt. Zo zijn er buitenlandse elektrolyserfabrikanten die al in de hoogste CRI opereren, terwijl Nederlandse partijen nog de stap naar industrialisatie moeten maken en in TRL 6 / CRI 1 zitten.

Om te bepalen hoe ver een techniek af is van de state-of-the-art heeft de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking Key Performance Indicators voor state-of-the-art en toekomstdoelen gedefinieerd voor een reeks waterstofproducten en -systemen (<https://www.fch.europa.eu/soa-and-targets>). Wat de TSE-waterstofprojecten hebben bijgedragen aan de techniekontwikkeling ("beyond state-of-the-art") is meestal niet uit de rapportages te halen. Misschien juist omdat het openbare rapportages betreft ontbreken veelal de kwantitatieve gegevens achter de conclusies.

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



2.6 Indeling volgens innovatieketen in het MPAW

De Meerjarige Programmatische Aanpak Waterstof⁷ beschrijft de innovatieketen van productie, via transport en distributie, naar toepassing voor diverse doeleinden. Dit betreft de volgende onderdelen:

1. Productie van waterstof (blauw en groen)
2. Buffering, transport, distributie en (seizoens)-opslag voor een flexibel en voorzieningszeker energiesysteem
3. Decarbonisatie van mobiliteit en transport
4. Hernieuwbare grondstof voor chemie
5. Verduurzaming warmteproductie industrie
6. Regelbare flexibele elektriciteitsproductie
7. Verduurzaming verwarming gebouwde omgeving

De projecten zijn volgens deze onderdelen ingedeeld, en daaronder is een verdere indeling gemaakt naar clusters.

Omdat enkele grote projecten meerdere onderdelen combineren is als extra onderdeel toegevoegd:

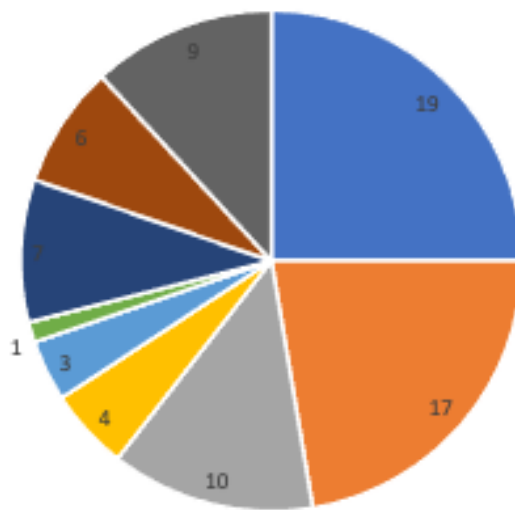
8. Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energiesector

Als laatste onderdeel is tenslotte 9. Ketenstudies toegevoegd. Hieronder vallen ook projecten die alternatieven voor waterstofketens onderzoeken, zoals mierenzuur en ammoniak als energiedrager

Dit levert de volgende indeling op, eerst van de aantallen projecten per onderdeel van de innovatieketen en daarna van het betreffende subsidiebudget per onderdeel.

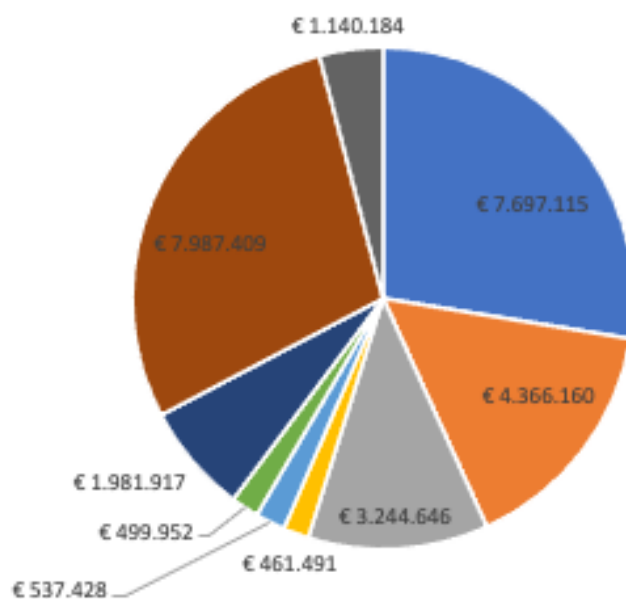
⁷ TKI Nieuw Gas, Waterstof voor de energietransitie, Een programmatische aanpak voor innovaties op het thema waterstof in Nederland voor de periode 2020-2030, 2019.

Aantallen TSE-projecten per onderdeel innovatieketen



- 1. Productie van waterstof
- 2. Buffering, transport, distributie en (seizoens)opslag
- 3. Decarbonisatie van mobiliteit en transport
- 4. Hernieuwbare grondstof voor chemie
- 5. Verduurzaming warmteproductie industrie
- 6. Regelbare flexibele elektriciteitsproductie
- 7. Verwarming gebouwde omgeving
- 8. Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie
- 9. Ketenstudies

Subsidiebedragen per onderdeel innovatieketen



- 1. Productie van waterstof
- 2. Buffering, transport, distributie en (seizoens)opslag
- 3. Decarbonisatie van mobiliteit en transport
- 4. Hernieuwbare grondstof voor chemie
- 5. Verduurzaming warmteproductie industrie
- 6. Regelbare flexibele elektriciteitsproductie
- 7. Verwarming gebouwde omgeving
- 8. Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie
- 9. Ketenstudies

De volgende tabel geeft een verdere onderverdeling van projecten naar clusters binnen de onderdelen van de innovatieketen. Dat levert 26 clusters op, waarbij het aantal projecten per cluster varieert van 1 tot 8. Per cluster zijn aantallen projecten en subtotalen van subsidiebedragen aangegeven.

Onderdeel innovatieketen	Clusters	Aantal		Subsidiebedragen	
1.Productie van waterstof	PEM elektrolyser	8		€ 4.970.031	
	Alkalische elektrolyser	2		€ 750.000	
	Offshore elektrolyse	4		€ 841.172	
	Biomassa	2		€ 940.404	
	Blauw waterstof	2		€ 97.348	
	Plasmaconversie	1		€ 98.160	
	19	25%	€ 7.697.115	28%	
2.Buffering, transport, distributie en (seizoens)-opslag voor een flexibel en voorzieningszeker energiesysteem	Bijmengen in aardgasnet	5		€ 1.181.808	
	Conversie opwekoverschot	2		€ 1.147.999	
	Opslag in lokaal energienet	4		€ 927.618	
	Ondergrondse opslag	2		€ 682.639	
	Netbalancing	3		€ 376.096	
	Hogedruktransportmodule	1		€ 50.000	
	17	22%	€ 4.366.160	16%	
3.Decarbonisatie van mobiliteit en transport	Tankstations	4		€ 1.857.737	
	Vaartuigen	4		€ 875.704	
	Zwaar wegvervoer	1		€ 461.205	
	Mobiele machines	1		€ 50.000	
10	13%	€ 3.244.646	12%		
4.Hernieuwbare grondstof voor chemie	Waterstof voor synthese	4		€ 461.491	
4	5%	€ 461.491	2%		
5.Verduurzaming warmteproductie industrie	Branders en boilers	3		€ 537.428	
3	4%	€ 537.428	2%		
6.Regelbare flexibele elektriciteitsproductie	Gasturbine voor waterstof	1		€ 499.952	
1	1%	€ 499.952	2%		
7.Verduurzaming verwarming gebouwde omgeving	CV in woningen/gebouwen	5		€ 1.459.558	
	CV op wijkniveau	2		€ 572.359	
7	9%	€ 1.981.917	7%		
8.Integrale projecten waterstof-productie voor industrie en energie	Havencomplex Rotterdam	4		€ 1.942.667	
	Electrolyse Delfzijl	2		€ 6.044.742	
6	8%	€ 7.987.409	29%		
9.Ketenstudies voor waterstof en alternatieve energiedragers	Ketenstudies waterstof	4		€ 238.185	
	Mierenzuur	3		€ 568.170	
	Ammoniak	2		€ 333.829	
9	12%	€ 1.140.184	4%		
Totaal		76		€ 27.916.303	

Wat aantallen projecten betreft springt productie van waterstof eruit, gevolgd door buffering, transport, distributie en (seizoens)-opslag. Het aandeel projecten met (nadruk op) toepassingen van waterstof is ongeveer de helft, waarbinnen met name mobiliteit en transport en verwarming van gebouwen veel aandacht krijgen. Het aantal projecten op de gebieden chemie, industriële warmte en regelbare elektriciteitsproductie blijft duidelijk achter.

Kijken we vervolgens naar de subsidiebedragen voor de projecten per onderdeel van de innovatieketen, dan valt op dat een groot aandeel van het budget naar de onderdelen productie van waterstof (waaronder ook conversie van lokaal overtollig opgewekte elektriciteit) en integrale projecten productie voor industrie en energie gaat. Bijna twee-derde van het subsidiebudget wordt aan deze onderdelen besteed. Een-derde wordt besteed aan de ontwikkeling van de

toepassingsgebieden, maar hierbij moet eigenlijk een deel van de integrale projecten worden meegerekend.

Vergeleken met de aantallen projecten worden met name de integrale projecten bovengemiddeld bedeed met subsidiebudget. De belangrijkste “verstoring” komt door het “Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk”, waarvoor € 6 miljoen subsidie wordt uitgetrokken, verreweg het grootste project in de lijst. In de ondergemiddeld gesubsidieerde groep projecten (chemie, verwarming industrie, systeemstudies) vallen veel deskstudies met beperkt budget. Hiertoe behoort een aantal baanbrekende studies waaruit andere themagebieden en projecten zijn voortgekomen, zoals de Systeemstudie power-to-gas (2014) en Power-to-products (2015). De studies over mierenzuur en ammoniak als alternatieve energiedrager passen hier ook bij.

Op de volgende pagina staat een overzichtstabel met een indeling van de projecten volgens de innovatieketen in het MPAW enerzijds en volgens de innovatiefase anderzijds. Projecten zijn geclusterd zoals in de voorgaande tabel.

De toekenning van TRL gebeurde bij afgeronde projecten op basis van behaalde resultaten, en bij nog lopende projecten op basis van doelstelling/beoogde resultaten. Als een project succesvol was of is kan de ontwikkeling naar de volgende TRL-fase. In de gesprekkenronde is deels inzicht verkregen in activiteiten met betrekking op de volgende TRL-fasen, maar dit was niet altijd al duidelijk, of de plannen zijn vertrouwelijk meegedeeld.

In het volgende hoofdstuk worden inhoudelijke observaties gegeven per projectcluster.

Keten	Conceptueel	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7
Productie van waterstof	W2H2 Pre-Pilot to Gas Offshore IJ-Ver BT_CH4_H2	Hyplasma GWCC	Flex P2G ELECTRE AMPERE Power to Clean Gas Alkaliflex	NEXTGEN P2H2 MEAPRO INCOME SEA2H2 Alkaliboost Biomass4transport BIOMASS2H2	MegaWatt Test Centrum	
Buffering, transport, distributie en (seizoens)-opslag voor een flexibel en voorzieningszeker energiesysteem	Storage salt caverns High Pressure Storage Systeemstudie P2G Power2biomethane Archypel StaTWaGo FODEO Peelbatterij	Cyrus Smith	Cyrus Smith 2.0 PurifHy Flexnode	Testen zoutcaverne opslag SENSORH2GRID	Power2Gas	SPX H-Flex
Decarbonisatie van mobiliteit en transport	VABScheepvaart H2 Power Module H2Offgrid		High pressure dry hydrogen	WEC Ijkwaardige dispenser Vortex-Filler FELMAR WEVA PFCEV	Synkero	
Hernieuwbare grondstof voor chemie	Power to Products CURE e-THOR ReFuel1					
Verduurzaming warmteproductie industrie	Groene stoom Botlek	Hyox		Waterstofbranders		
Regelbare flexibele elektriciteitsproductie				Gas turbine retrofit		
Verduurzaming verwarming gebouwde omgeving	Waterstof Middelburg		Warmtemotor	H2 serie CV ketel H2W Hoogeveen	H2 Ready CV ketel Hydrogen Heating Studies H2@Home	
Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie	ELEGANCY Hvision Waterstofversneller					Megawatt Design DJEWELS
Ketenstudies voor waterstof en alternatieve energiedragers	HyChain 1-2-3 Zonnebrandstof Mierenzuur als integrale energiedrager DENS hydrogen			Phecam		

3. Inhoudelijke observaties per TSE-projectencluster

PEM-elektrolyser

Het grootste projectencluster in aantal projecten betreft PEM-elektrolyse. Hier wordt veel van verwacht om bij fluctuerend hernieuwbaar elektriciteitsaanbod bij wisselende belasting te produceren. Er zijn gevestigde buitenlandse leveranciers die systemen op MW-schaal commercieel kunnen leveren, maar er is ook een Nederlandse ambitie om hier een industrie op te bouwen. Centrale spelers hierbij zijn start-up Hydron Energy en onderzoeksinstituut ECN/TNO. Met diverse partners is een reeks projecten uitgevoerd en nog gaande.

- **FLEX-P2G** betref de bouw van een prototype 50 kW PEMWE-elektrolyserstack, ingebouwd in een systeem met alle randapparatuur. De stack is modulair opschaalbaar naar MW-schaal. In **ELECTRE** is een testinfrastructuur opgebouwd en zijn protocollen voor duurproeven opgesteld. De testinfra is gebruikt in vervolgprojecten **AMPERE** (onderzoek naar nieuwe families membranen) en **INCOME** (nieuwe materialenonderzoek). **MEAPRO** richt zich op de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie voor het belangrijkste halffabricaat van de PEM-elektrolysestack: de membraan electrode assemblage (MEA). In **NEXTGEN P2H2** is Hydron's grootste platform ontwikkeld (50 kWe stack, 1 kgH₂/uur) en zijn prestaties en bedrijfszekerheid gevalideerd in de markt.
- Het resultaat van deze projecten is een kosten- en energie-efficiënte stack die zich volgens Hydron kan meten met die van gevestigde buitenlandse bedrijven. De volgende stap om te zetten is industrialisatie. De projecten en met name **NEXTGEN P2H2** hebben geholpen om Nederlandse toeleveranciers te mobiliseren en een PEM supply chain te ontwikkelen voor eventuele toekomstige productie van elektrolyzers in Nederland. Het voorstel voor het MOOI-project Hyscaling is mede hiervoor bedoeld: ontwikkeling van nieuwe technologie voor PEM en alkalische elektrolyzers in een consortium van 30 partijen.
- Deze partijen kunnen hierbij gebruik maken van het door de procesindustrie geïnitieerde open-innovatie **MegaWatt Test Centre** voor elektrolyse. Deze plek is uitgerust om testen uit te voeren met nieuwe componenten voor PEM- en alkalische elektrolyzers, en om stresstesten uit te voeren waarbij de elektrolyser over zijn typische grenzen wordt geduwd met betrekking tot temperatuur, druk, stroomdichtheid, etc. Het testcentrum moet zo bijdragen aan de ontwikkeling van een innovatief ecosysteem voor waterstof.
- Afzonderlijk ontwikkelde Hygear in **Power to Clean Gas** een PEM-elektrolyzersysteem, waarbij de innovatie met name het vervangen van de dure nazuivering- en drogingsystemen door een goedkope eigen oplossing betreft.

Alkalische elektrolyser

Een alternatief voor PEM elektrolyse is de alkalische elektrolyse. Hiervoor bestaan meerdere buitenlandse commerciële leveranciers, maar met name Nouryon wil als launching customer innovatie versnellen, en daarbij ook werken met kleine suppliers.

- Doelstelling van **Alkaliflex** was het flexibel maken van alkalische elektrolyse, zodat deze effectief werkt onder wisselende belastingen. Hier werd van gezegd dat die daar niet voor geschikt is maar het project liet zien dat het onder randvoorwaarden wel kan. **Alkaliboost** richt zich op het verhogen van de productiviteit, verlagen van kosten, en daarmee bijdragen aan een nieuw type alkalische elektrolyzers, liefst als Nederlands product. Het nieuwe project Hyscaling pakt deze opgave ook op.
- Voor het **Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk** in Delfzijl is ook gekozen voor alkalische elektrolyzers, in dit geval van leverancier McPhy. De kennis uit Alkaliflex en Alkaliboost is gebruikt bij de techniekselectie.

Zuurstofsynergie

- Bij elektrolyse komt naast waterstof ook puur zuurstof vrij. Verwaarding van deze zuurstof verbetert de business case. In meerdere projecten is hier aandacht voor, zoals in **Waterstofversneller** (benutting van zuurstof voor reforming van aardgas), **e-THOR** (inzet van zuurstof voor synthese met CO tot e-methanol), **Biomass4transport** (benutting van zuurstof bij biomassavergassing) en **INCOME** (ozonproductie uit zuurstof).

Offshore elektrolyse

Er wordt in nationale en Europese plannen veel verwacht van waterstofproductie in combinatie met wind op zee. Er zijn eerdere verkennende studies uitgevoerd, maar de technische en economische haalbaarheid moet nog bewezen worden.

- **Pre-Pilot Power to Gas Offshore** heeft een concrete proeflocatie op een gasplatform in de Noordzee voorbereid, waar de werking van elektrolyse onder offshore-omstandigheden getest moet worden (in vervolgproject PosHYdon).
- Naast olie/gasplatforms zijn er ook voorstellen om multifunctionele energie-eilanden te bouwen, waar onder andere elektrolyse zou kunnen plaatsvinden. **Feasibility system integration gas + wind energy island IJmuiden Ver** betrof de eerste studie waarbij een energie-eiland is doorgerekend met niet-hypothetische inputgegevens. De studie toonde, voor deze specifieke locatie, geen voordeel aan voor waterstofproductie op een energie-eiland boven waterstofproductie na aanlanding van elektriciteit.
- **SEA2H2** ontwikkelt en test een geïntegreerde pre-pilot installatie, waarin membraandestillatie voor de productie van ultrapuur water uit zeewater en PEM-elektrolyse worden gekoppeld. De combinatie van technieken biedt synergievoordelen.
- **Wind op zee naar waterstof Mobiliteit (W2H2)** stelde een compleet ketenconcept voor waarbij elektrolyse in de windturbines wordt geïntegreerd. Aanvankelijk bedacht voor offshore productie is de eerst beoogde toepassing in een windturbine op land.

Waterstof uit biomassa

Net zoals waterstof uit elektrolyse zo groen is als de gebruikte elektriciteit, is waterstof uit biomassa zo groen als de gebruikte biomassa. Een voordeel van biomassaroutes naar waterstof is dat ze niet afhankelijk zijn van de wisselende beschikbaarheid van wind en zon, en de verwachte kostprijs van waterstof is sterk concurrerend.

- **Biomass4transport** wil aantonen dat conversie naar syngas via vergassing van pyrolyseolie mogelijk is. Door hier een shift-stap aan toe te voegen resulteert puur waterstof, of er kan worden gekozen voor Fischer-Tropsch synthese naar vloeibare transportbrandstof. Met pyrolyse als voorbewerking kunnen biomassareststromen met een lage as-smelt temperatuur, die voor directe vergassing niet geschikt zijn, toch vergast worden, bovendien is pyrolyseolie een eenvoudiger te hanteren halffabrikaat voor decentrale waterstofopwekking, bijvoorbeeld op afgelegen industrielocaties.
- **BIOMASS2H2** ontwikkelt en test een gas-opwaardeersysteem gekoppeld aan een vergasser voor het lokaal produceren van groene waterstof uit biomassareststromen.

Blauwe waterstof

- **Conversie van aardgas naar waterstof** legde het concept neer van het op korte termijn en op grote schaal overstappen in de industrie op CO₂-vrije waterstof uit geconverteerd aardgas met pre-combustion CCS. Dit heeft de ideevorming in industrieclusters zoals Rijnmond geïnspireerd, op de resultaten is voortgebouwd in **ELEGANCY** en **Hvision**.
- **Groene Waterstofproductie door Continuous Catalytic Re-cracking** beoogde een nieuw katalytisch proces te ontwikkelen, dat waterstof kan produceren uit aardgas zonder CO₂-

uitstoot en met een relatief laag energieverbruik. De informatie over dit project in de database is summier en het is onbekend of dit resultaat behaald is.

Plasmaconversie van CO₂

- **Hyplasma** onderzocht waterstofproductie door plasmaconversie van CO₂ gevold door watergasshift als lange-termijnalternatief voor elektrolyse. Het project liet potentie zien maar daarna is een stap terug gedaan naar fundamenteel onderzoek: Hyplasma was startpunt voor meerdere STW-Alliander en NWO projecten.

Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie

In alle industriecusters staat waterstof sterk in de belangstelling. In de door Topsector Energie ondersteunde projecten betreft het met name havencomplex Rotterdam en chemiepark Delfzijl. Naast de hieronder genoemde projecten zijn er op het ogenblik (buiten de subsidiekaders om) meerdere nog grotere (50-250 MW) projecten in voorbereiding in de Nederlandse industriecusters. De projecten zitten dicht op elkaar in de planning, dus kan men niet voortbouwen op ervaringen. Van plan tot realisatie duurt doorgaans 4 jaar.

- **ELEGANCY** onderzocht met name de inzet van industriële restgassen (refinery fuel gases, RFG) als feedstock voor waterstofproductie. Nu worden RFG ingezet voor stoomboilers met hoge CO₂-emissie, door RFG te reformen wordt pre-combustion CCS mogelijk. ELEGANCY toont aan dat bij full deployment van waterstof met CCS de beschikbare opslag ruim voor 2050 helemaal vol is; een extra reden om snelle opschaling van elektrolyzers te bereiken.
- Uit de industriële gebruikersgroep die in ELEGANCY is opgezet kwam **H-vision** voort. Dit betrof een “Pre-Pilot study” die leidde tot advies aan mogelijke toekomstige investeerders, gebruikers en de nationale overheid over hoe een finale voorbereiding voor een kosteneffectieve implementatie van een grootschalige pilot (de H-vision Pilot) voor de Rotterdamse regio dient te worden aangepakt. Dit vraagt investeringen van €1-2 miljard. Het initiatief wordt intussen verder uitgewerkt.
- **e-THOR** verkende de symbiose tussen elektrolyse op de waste-to-energy fabriek van AVR voor levering van waterstof aan derden en inzet van waterstof voor synthese met CO uit de reststroom van buurman Tronox Pigments. De vervolgstap is afhankelijk van het sluiten van een afnamecontract voor de waterstof, liefst aan mobiliteit.
- In Delfzijl wordt de tot dusver grootste elektrolysefabriek van Europa gebouwd met een omvang van 20 MW. **MegaWatt Design Delfzijl** betrof de voorbereidingsstudie, en **Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk** betreft de bouw. Het pilotproject moet de technische integriteit en werkingsprincipes, stabiliteit en veiligheid van een grootschalige waterstofelektrolyse-installatie valideren.

Buffering lokaal energienet

- Meerdere projecten hebben waterstof als opslagmedium voor energiebuffering in een woning of lokaal energienet onderzocht. Voorbeelden zijn **Archypel** en **StaTWaGo**. Hieruit is geleerd dat waterstofopslag op het niveau van een individuele woning of gebouw om deze zelfvoorzienend te maken een dure oplossing is en veel ruimte vraagt. Waterstofconversie ten behoeve van power-to-power oplossing levert ook minder op dan verkoop op de markt.
- **Archypel** concludeerde dat een 100% duurzame woning haalbaarder is als deze verbonden is met het elektriciteitsnet, of aaneengeschakelde microgrids, waardoor het systeem kleiner en goedkoper kan worden en gebruik kan maken van de infrastructuur in Nederland. **StaTWaGo** wees uit dat waterstof als opslagmedium voor seizoensbuffering van gebouwgebonden zonenergie een dure manier is om een gebouwencluster in Arnhem te verduurzamen. De aandacht voor het vervolg is verschoven van kantoren naar woningen in de verwachting dat opslag op wijkniveau meer kansen biedt voor standaardisatie van een integrale aanpak met meerdere technieken waaronder waterstofopslag.

- **FODEO** ontwikkelt een aanpak voor een lokale energie-infrastructuur voor zelfvoorziening op wijkniveau, waarin een rol is voorzien voor een “open opslagsysteem” met behulp van waterstof voor conversie van opgewekte zonne-energie, waarbij ook restwarmte benut wordt. Centraal staat de toepassing van Smart Energy Management op woningniveau en van een Lokaal Energie Community System op wijkniveau, dat zorgt voor aggregatie, aansturing van opslagsystemen en aansluiting op energiemarkten.
- **FlexNode** concludeerde dat een reversibele brandstofcel, waarbij waterstof fungeert als buffer tussen een geïntegreerde elektrolyser en brandstofcel, het voor korte-termijnopslag aflegt tegen netverzwaring of batterijen en voor lange-termijnopslag tegen grootschalige waterstoftoepassingen. Voor deze techniek wordt geen marktperspectief gezien.

Waterstof uit overschot lokale energieopwek

- **Systeemontwerp Power to X**, diens opvolger **H-Flex** en het parallelle DKTI-project ‘**Groen op weg**’ ontwikkelen een demonstratieproject op de waterzuivering in Nieuwegein waarbij met elektrolyse waterstof wordt gemaakt met lokaal opgewekte elektriciteit uit eerst zon en later ook wind. De waterstof wordt benut voor mobiliteit. Dit moet een blauwdruk opleveren voor decentrale waterstofproductie op andere locaties met wind- en zonne-energie met afname voor mobiliteit. Omdat de waterzuivering ook veel energie vraagt is voor de gewenste schaal van elektrolyse ook nog elektriciteit uit het net nodig. Dit maakt deze casus niet geheel representatief voor toekomstige locaties.

Bijmengen in aardgasnet

- **Systeemstudie voor P2G routes** en **Power2Gas and the power of methane** onderzochten de benutting van elektriciteitsoverschotten door buffering in het gasnet. Vanwege de invoedingseisen kan dit in beperkte mate als waterstof en op veel grotere schaal als methaan, gemaakt door methanisatie van waterstof en CO₂. Praktijkproeven toonden de technische haalbaarheid van power-to-methane aan, maar de extra omzettingstap is duur en fossiel aardgas is goedkoop. P2G is in feite de meest laagwaardige vorm van power-to-X.
- **Power2Biomethane** verkende energieopslag van tijdelijke elektriciteitsoverschotten in methaan door het mengen van waterstof uit elektrolyse met syngas uit een biomassa-vergasser, zodat de methaniseringsinstallatie tijdelijk meer zou produceren. Elektriciteit bleek echter te duur ten opzichte van biomassa om brandstof rendabel te vervangen.
- Omdat voldoende beschikbaarheid van waterstof en tegen een goede prijs in de transitieperiode niet gegarandeerd is worden verschillende eindgebruikstoepassingen brandstofflexibel gemaakt, zoals industriële en gasturbinebranders (**Waterstof als brandstof voor industriële verhitte, High hydrogen gas turbine retrofit**), CV-ketels (**H2 ready CV ketel**), warmtemotoren (Integratie emissieloze katalytische verbrander en warmtemotor) en verbrandingsmotoren. Bijmengen van waterstof in aardgas (tot 100%) kan het best gebeuren zo dicht mogelijk bij de eindgebruikers die er klaar voor zijn. Zo denkt de glas/metaal/steenindustrie aan bijmengen binnen de poort. Bijmengen in het regionale distributienet of landelijke net kan pas veilig gebeuren als alle eindgebruikers voorbereid zijn.
- **SENSH2GRID** ontwikkelde sensortechnologie om op een kosteneffectieve manier en voldoende nauwkeurig de samenstelling van aardgas/waterstof mengsels te meten. De technische werking is bewezen, in vervolgonderzoek is aandacht nodig voor explosie-veiligheid, communicatieprotocollen, uitlezen op afstand, en energiegebruik van de meters.
- **PurifHy** bewees dat Hyet's elektrochemische zuiveringstechnologie (EHC) geschikt is voor het verwijderen van waterstof uit groen gas, zodat dit voldoet aan de vereisten voor gasnetinvoeding. Inmiddels wordt EHC ontwikkeld om waterstof uit een aardgasstroom terug te winnen na invoeding. Gebruiken van een aardgasstroom als transportmedium voor waterstof kan zinvol zijn voor offshore waterstofproductie totdat dedicated pijpleidingen beschikbaar zijn.

Transport & distributie

- Een optie naast nieuwe waterstofpijpleidingen of bijmengen in aardgas is transport van waterstof in modules over weg en water. **HYGRO HPS** zocht een geïntegreerde en gestandaardiseerde oplossing voor transport, opslag en distributie om de kostprijs per kg waterstof van windturbine naar verschillende eindgebruikers zo laag mogelijk te maken. De keuze viel op een container met flessenbundels die bij de windmolen op hoge druk (500 bar) wordt gevuld en bij de klant direct inzetbaar is, zonder tussentijdse compressiestappen.
- **WEVA** maakt ook gebruik van waterstofopslag in een of meerdere uitwisselbare containers aan boord van een binnenvaartschip.
- Sommige technieken, zoals brandstofcellen, vereisen een veel hogere zuiverheid van waterstof dan andere technieken zoals industriële en gasturbinebranders, microturbines, warmtemotoren en verbrandingsmotoren, zeker als deze voor aardgas/waterstofmengsels zijn aangepast). Hogere zuiverheid is in het algemeen duurder. Groene waterstof uit elektrolyse is hoogzuiver, blauwe waterstof uit ATR is 96% zuiver. Dit zou je kunnen opwaarderen met PSA maar dat consumeert 10% van de waterstof, en dit verlies verminderen vraagt investeringen en energie. 96% zuiver volstaat voor veel warmtetoepassingen, waar goedkope aardgas de referentie is. Een infrastructuur opbouwen voor minder zuivere waterstof brengt echter het risico mee op blokkade van de ontwikkeling van het gewenste eindbeeld: volledige groene waterstof in hoog-efficiënte brandstofcellen. Er is dus een opgave om de opbouw van infrastructuur te baseren op de juiste balans tussen de diverse eisen bij eindgebruik.

Ondergrondse opslag

- **Large-Scale Energy Storage in Salt Caverns and Depleted Gas Fields** onderzocht de rol die grootschalige ondergrondse energieopslagopties kunnen spelen door flexibiliteit te bieden aan het huidige en toekomstige energiesysteem. Over waterstofopslag in zoutcavernes is al veel bekend en worden ook testen voorbereid. Voor lege gasvelden zijn er nog vragen over interactie van waterstof met gesteente en water in de ondergrond en effecten bij snel laden/ontladen. Kennis verkregen op basis van aardgasopslag volstaat niet.
- **Testen van opslag waterstof in zoutcaverne ter flexibilisering duurzaam energiesysteem** beproeft of een bestaand boorgat goed afgedicht kan worden zodat geïnjecteerd waterstof niet ontsnapt. In een volgende stap wordt de interactie tussen waterstof en zout onderzocht. Doel van EnergyStock is om in 2026 een eerste zoutcaverne commercieel gereed te hebben.

Netbalancing

Meerdere projecten onderzoeken de kansen om waterstoflevering uit elektrolyse te combineren met het leveren van ondersteunende diensten voor balancering van het elektriciteitsnet. Dit kan een bijdrage leveren aan het verdienmodel.

- **De Peelbatterij** onderzocht opslag van overschotten van door het 20 MW Windpark Egchelse Heide in Peel en Maas opgewekte elektriciteit. Het meest aantrekkelijke business model, hoewel niet rendabel, blijkt het aanbieden van netdiensten (frequentieherstel en balanshandhaving) en noodvermogensdiensten. Als er een afnemer is voor de waterstof verbetert dit de case. De windenergiecoöperatie wil investeren in een pilot-battolyzerinstallatie om netdiensten en waterstof te leveren. Dit betreft een nikkelijzerbatterij die elektriciteit kan opslaan en leveren zoals een batterij, en als de batterij vol is, gaat de installatie verder met elektrolyse van water.
- **Cyrus Smith** ontwikkelt een installatie die het lokale laagspanningsnet ondersteunt door op de gewenste plekken en momenten elektriciteit af te nemen en om te zetten in waterstof. Het gaat in eerste instantie om een mobiele kleinschalige demonstrator, maar het eindbeeld is een vaste installatie die op maat gemaakt kan worden voor elke lokale energiesituatie. Een combinatie met een tankstation is ook denkbaar.

- Op een veel grotere schaal wordt de 20 MW elektrolyser in **DJEWELS** (Delfzijl) ook ingezet voor balanceren van het elektriciteitsnet. Uitgangspunt is om een zo groot mogelijk deel van het opgestelde vermogen als flexibiliteit aan het net aan te bieden, rekening houdend met de waterstofafname van de gecontracteerde afnemers. Dit vraagt om een installatie die zeer snel moet kunnen op- en afschakelen. Het flexibel opereren van de fabriek zal gebeuren door een slim algoritme dat reageert op de condities in de elektriciteitsmarkt.

Tankstations

Tankvoorzieningen zijn voorwaardelijk voor alle mobiliteitstoepassingen. Afhankelijk van de toepassing volstaat een enkel tankpunt of is er behoefte aan een netwerk. Opbouw van een netwerk is doelstelling van de DKTI-regeling en hier wordt flink in geïnvesteerd. De TSE-projecten zijn bedoeld voor doorontwikkeling en verbetering van tankvoorzieningen.

- **WEC** ontwikkelde een proof-of-concept waterstoftankinstallatie met een elektrochemische compressor en testte het succesvol in de praktijk. De investeringen en operationele kosten beloven lager te zijn dan van andere waterstoftankstations. De droging van waterstof is een cruciaal en complex onderdeel voor de tankzuil bij grotere belastingen. Hiervoor is een nieuw ontwerp nodig voor de grootschalige uitrol van de elektrochemische compressie technologie. Dit is onderwerp van **High pressure, high purity, dry hydrogen**.
- **Hydrogen dispensing – custody transfer** leverde een ijkwaardige, her-kalibreerbare meetopstelling op voor het afleveren van waterstof uit tankwagens (gas en cryogeen) en een door het ijkwezen gevalideerde ijkprocedure. Inmiddels rijdt de helft van de 400 waterstoftankwagens in Europa met het systeem; de rest volgt waarschijnlijk.
- **Vortex-Filler** heeft tot doel om een goedkope fast-fill waterstofdispenser voor de interne logistiek (heftrucks in magazijnen) op te leveren.

Vaartuigen

De scheepvaart is een kansrijk toepassingsgebied voor waterstoftechnologie, juist voor het sterke Nederlandse maritieme ecosysteem. Er bovendien veel milieuvoordeel te halen: zo is van alle emissies van NO₂ op Nederlands grondgebied 7% afkomstig van de binnenvaart, 7% van zeescheepvaart (4% varende, 3% stilliggend) en 24% van zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat (bron RIVM) Ook vinden regelmatig olie lekkages plaats.

- **Alternatieve Brandstoffen voor de Scheepvaart (VABS)** concludeerde dat voor de zeevaart methanol een beter alternatief is dan waterstof vanwege de hogere energiedichtheid en gemakkelijkere handling (geen hoge druk of cryogeen). Voor methanol zijn al beproefde motoren (gebruikt op methanoltankers). Het TKI Maritiem project Green Maritime Methanol beproeft meer motoren en maakt basisontwerpen voor meerdere scheepstypen.
- **H₂ Power Module voor de binnenvaart** onderzocht de inzet van een verwisselbare module met microgasturbine en waterstofvoorraad in een standaard container voor gebruik op een containerschip. Vanwege de lage dichtheid van waterstof en het ontbreken van tankpunten wordt in het vervolgproject **Energie op maat** (DKTI) ingezet op brandstofflexibiliteit: de microgasturbine kan ook werken op biobrandstoffen.
- **FELMAR** heeft een op waterstof-brandstofcel gebaseerde voortstuwings-configuratie voor de regionale scheepvaart opgeleverd, met klasse-typegoedkeuring. Ontwerpdocumenten zijn besproken en uitgewerkt voor een concrete case, een binnenvaartschip van Future Proof Shipping dat omgebouwd wordt naar een waterstof-brandstofcel aandrijving.
- **In Waterstof-Elektrisch Vrachtschip Antonie** is een pilot voorbereid voor het eerste (nieuwbouw) binnenvaartschip met een brandstofcel voor het varen op waterstof. Het schip maakt gebruik van een waterstofopslag in (een) container(s). Voor de pilot is een aanvraag gedaan bij DKTl maar deze is afgewezen, daardoor is er nog een gat in de financiering.
- Overigens ondersteunt DKTl nog twee andere projecten met vaartuigen op waterstof: **Proeftuin: H₂ in de haven van Den Helder** en **Proeftuin waterstof-Elektrische Binnenvaart Bouwtransport**.

Zwaar wegvervoer en mobiele machines

- DKTI ondersteunt 13 projecten voor zwaar wegvervoer en mobiele machines op waterstof, TSE slechts twee. **PFCEV** betreft de ontwikkeling van een conversiekit, pilotvoertuig en ontwerp van een productielijn voor een 30kW Plug-in Fuel Cell Electric Vehicle. PFCEV richt zich op het integrale aandrijfsysteem voor generieke retrofit van bakwagens en binnenvaartschepen, kranen en bulldozers. Seriematige produceerbaarheid staat centraal.
- **H2OG** betref een haalbaarheidsstudie naar toepassingen van mobiele aggregaten op waterstof. In de onderzochte gevallen bleek het niet mogelijk om een met dieselaggregaten of batterijen concurrerende business case te maken door de hoge prijs van ingekochte waterstof of (in geval van eigen opwek van waterstof) kosten van elektrolyse. Toch is een vervolgproject gestart onder het Waddenfonds voor een mobiele walstroomgenerator op waterstof.

Waterstof voor synthese in industrie

- Naast vergroenen van het huidige waterstofaanbod wordt ook gekeken naar nieuwe mogelijkheden voor waterstof om de klimaatfootprint van de industrie te verbeteren. **Power to products** onderzocht de mogelijkheden om onbalans op de elektriciteitsmarkt te benutten bij elektrische industriële processen.
- Waterstofproductie was hierbij nog geen casus, maar dat gold wel voor **Carbon dioxide to UREa (CURE)**. Hierin is een business case ontwikkeld voor conversie naar ureum van waterstof gemaakt met hernieuwbare elektriciteit en met H₂-, CO- en CO₂-rijke hoogoven- en convertorgassen uit de staalindustrie. Dit project heeft geen vervolg gekregen.
- **Refuel1** onderzocht of de waste-to-energy fabriek in Roosendaal rendabel waterstof en andere producten zou kunnen produceren met elektrolyse. Volgens de studie zijn de productiekosten voor groene waterstof op een dergelijke locatie niet veel hoger dan voor fossiel waterstof. Bij een pilotplant is wel sprake van een onrendabele top.
- Tenslotte is in **Synkero** een businessplan opgesteld met uitwerking van de haalbaarheid van een synthetische kerosine pilotfabriek in het Noordzeekanaalgebied, met facetten van zowel de markt, technische en financiële haalbaarheid en het wetgevingskader.
- In het **Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk** in Delfzijl is de bedoeling dat groene waterstof wordt ingezet voor methanolproductie.

Industriële verwarming: branders en boilers

- Voor lage-temperatuur verwarming in de industrie lijkt elektrificatie van stoomketels de meer kansrijke optie. Dit is uitkomst van **Groene stoom in de Botlek**.
- **Waterstof als brandstof voor industriële verhitting** heeft echter aangetoond dat stoomketels ook met adaptieve gasbranders kunnen werken op 0-100% aardgas/waterstof-mengsels. Een eerste demonstratie op een industrielocatie wordt voorbereid. Voor flexibele branders voor hoge-temperatuurwarmte lopen de testen nog. Het belang van een succesvolle toepassing van waterstof in de glas/metaal/steen-industrie is groot omdat er geen ander alternatief in zicht is. Tot nu toe is er maar een enkel project op dit vlak, wel met een grote groep partners. Deze toepassing van waterstof verdient aandacht in toekomstige regelingen.
- **Proof-of-concept van HYOX technologie voor Early Adopters** beproefde een techniek waarmee aardgasverbranding efficiënter zou moeten verlopen door toevoeging van ter plekke opgewekt waterstof/zuurstof mengsel (hydroxy). Dit voordeel is niet aangetoond.

Gasturbine voor waterstof

- **High hydrogen gas turbine retrofit to eliminate carbon emissions** heeft een retrofit oplossing ontwikkeld om branders van industriële gasturbines geschikt te maken voor 0-100% aardgas-waterstof mengsels. Het basisontwerp is gereed voor verschillende schalen

gasturbines en voor de volgende fase van demonstratie bij hoge druk. Net als bij industriële branders is waterstof het enige alternatief om koolstofvrij te worden. Dit onderwerp verdient een plaats in toekomstige regelingen. Dit veronderstelt dat het belang van stuurbare elektriciteitsproductie in aanvulling op fluctuerend aanbod van wind- en zonenergie wordt onderkend. Demonstraties zullen vanwege de grote volumes benodigd waterstof al snel veel budget vragen, dus zijn oplossingen nodig om voor het afdekken van de onrendabele top tussen aardgas en waterstof.

Verwarming gebouwde omgeving

- In zes projecten wordt aan diverse apparatuur voor verwarming van gebouwde omgeving gewerkt. **H2 serie CV ketel** ontwikkelt een brandersysteem om gasketels geschikt te maken voor waterstof (nieuw of retrofit). In **Waterstofwijk Hoogeveen** is ook een waterstof CV-ketel ontwikkeld en getest. **H2 ready CV ketel** ontwikkelt een ketel die geschikt is voor aardgas, waterstof en mengsels daarvan.
- **Hydrogen Heating Studies** voert metingen uit om vier oplossingen voor verwarming met waterstof te vergelijken: CV-ketel, hybride warmtepomp, katalytische verbranding en brandstofcel met restwarmte en gebruik van elektriciteit voor een warmtepomp.
- **H2@Home** richt zich op de installatie in huis tussen toekomstig waterstofnet in de straat en de ketel, en ontwikkelt producten hiervoor zoals een gasdrukregelaar en een slimme gastoevoeraansluiting. De laatste drie projecten maken gebruik van de testomgeving Waterstofstraat Green Village op het terrein van TU Delft.
- Voor grote oudere gebouwen ontwikkelt **Integratie emissieloze katalytische verbrander en warmtemotor** een micro-wkk systeem dat op aardgas en waterstof en mengsels daarvan kan werken (en ook propaan e.a.).
- Deze set projecten lijkt alle aspecten goed af te dekken. Naast technische aspecten komen in meerdere projecten ook maatschappelijke aspecten met betrekking tot veiligheid aan bod. **Waterstofwijk Hoogeveen** ontwikkelde een blauwdruk voor waterstoftoepassing in een wijk, inclusief eigen waterstofproductie. Voor realisatie heeft Hoogeveen recent een subsidie ontvangen uit de Aardgasvrije-wijkenregeling (net als Stad aan 't Haringvliet).
- **Waterstof Middelburg** onderzoekt de haalbaarheid van waterstof in de gebouwde omgeving van een wijk in Middelburg, maar in dit geval gaat het om inzet van waterstof-wkk voor piekvoorziening bij een warmtenet.

Alternatieve energiedragers: mierenzuur en ammoniak

- Mierenzuur als energiedrager is een alternatieve manier om waterstof op de plek van gebruik beschikbaar te maken. Het vrijmaken van waterstof uit mierenzuur is onderwerp van het project **Dens Hydrogen-on-demand**. Nadeel is dat het CO₂ dan moeilijk herbruikbaar is.
- Andere toepassingen van mierenzuur (onderzocht in project **Mierenzuur als integrale energiedrager**) maken dit wel mogelijk, zoals inzet voor syngasproductie of voor fermentatieprocessen. Door de koolstof te verwaarden wordt de business case gunstiger. Mierenzuurproductie is tegelijk een interessante vorm van CCUS: het is dan eerder als CO₂-carrier te beschouwen dan als H₂-carrier.
- Het project **Phecam** was gericht op het voorbereiden van een pilotplant; er is nog nader onderzoek nodig voordat deze installatie gebouwd kan worden.
- Twee projecten hebben de rol van ammoniak als opslagmedium voor hernieuwbare energie onderzocht. **FlexNH3** kan als opstap voor het grotere **Power to ammonia** worden beschouwd. Conclusie was dat het maken van waterstof uit elektrolyse nog te duur is door zowel hoge investeringen als variabele kosten. Dalende kosten van elektrolyzers en elektriciteit, mede door handig opereren op de elektriciteitsmarkt, een hogere CO₂-prijs, subsidies en een premie voor groene ammoniak zouden de business case tegen 2030 rendabel kunnen maken. Recent hebben Yara (betrokken bij Power to ammonia) en

windparkexploitant Ørsted aangekondigd om 100 MW elektrolyse te bouwen voor groene ammoniakproductie bij Yara in Sluiskil.

Import van waterstof

- Het importeren van waterstof is verkend in **HyChain** en **Ontwikkeling zonnebrandstof**. Het geschetste perspectief is een gefaseerde aanpak van ontwikkeling van de blauwe route (Noors aardgas met CCS) op korte termijn (tot 2030), ontwikkeling van de groene route (Noordzeewind) op middellange termijn (2030-2035) en de zonnebrandstofroute (import uit Middellandse Zeegebied, Midden Oosten, e.a.) nadien. HyChain 1,2 en 3 bestudeerde waterstof- en energieketens van de toekomst en leverde respectievelijk een statusrapportage, een analyse van de kostenimplicaties en een technology assessment op.

Wensen voor toekomstige programmering

In de 41 gesprekken met projecteigenaren en -deelnemers is ook gevraagd welke thema's in toekomstige tenders aandacht zouden moeten krijgen, welke wensen er zijn over de inrichting van de regelingen, en over andersoortige ondersteuning. Daarvan wordt een overzicht gegeven in bijlage 6. Het betreft uitdrukkelijk meningen van de gesprekspartners en niet standpunten van TKI Nieuw Gas. Vertrouwelijk meegedeelde projectideeën zijn niet vermeld.

4. Beknopte analyse van waterstofprojecten DKTI-Transport

Gaandeweg is besloten om ook de waterstofprojecten uit DKTI-Transport mee te nemen in de analyse. Voor deze projecten had RVO geen projectendatabase beschikbaar. Er zijn ook geen openbare eindrapporten beschikbaar. Er heeft geen afzonderlijke (video)belronde met projecteigenaren plaatsgevonden.

Het gaat hier om 31 projecten (14 uit tender 2017, 17 uit tender 2019). Hiervan zijn projectfiches opgenomen in bijlage 5. Het totale subsidiebedrag voor de 31 projecten is € 32,6 miljoen. Dit is dus meer dan het subsidiebudget voor de 76 TSE-projecten. Dat komt doordat veel DKTI-projecten zich op relatief kostbare demonstratie- en toepassingsprojecten richten.

De volgende tabel geeft een verdeling van de projecten over thema's en innovatiefase. De indeling in innovatiefase volgt de categorisering in de DKTI-regeling. Deze komt overeen met:

- Experimentele ontwikkeling: TRL 5-6
- Proeftuin: TRL 6-7
- Cofinanciering van tankstations: TRL 8.

Thema	Experimentele ontwikkeling	Proeftuin	Cofinanciering	Haalbaarheidsstudie	# Projecten	Subsidiebedragen
Tankstation			13	2	15	€ 13.582.839
Zwaar wegvervoer	2	8		1	11	€ 15.003.638
Mobiele machines	1	1			2	€ 918.628
Vaartuigen		3			3	€ 3.117.686
Totaal	3	12	13	3	31	€ 32.622.791

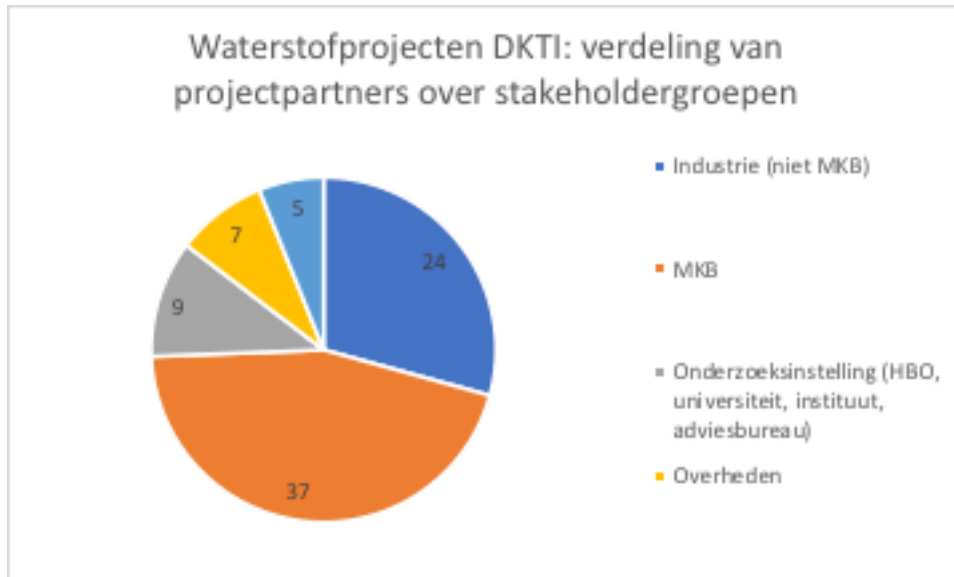
De doelstelling van de DKTI-regeling is het versnellen van de productontwikkeling in de gehele transportsector. Voor waterstof is hierbij de keuze gemaakt om de inzet van subsidie te richten op demonstratieprojecten in met name zwaar vervoer (zwaar wegvervoer, mobiele machine en vaartuigen) en de opbouw van tankinfrastructuur. De resultaten van de tenders weerspiegelen dit uiteraard. Een groot deel van de projecten en een nog groter deel van het subsidiebudget betreft cofinanciering van waterstoftankstations en proeftuinprojecten waarin vaak ook tankfaciliteiten worden gebouwd, en soms elektrolyzers worden geplaatst.

Van de geplande tankstations met DKTI-ondersteuning zijn er nog weinig gebouwd en operationeel: dat geldt alleen voor de stations in Arnhem, Den Haag en bij Schiphol. Samen met langer bestaande stations in Rhooen en Helmond brengt dat het voorlopige totaal op 5.

Het gemiddelde aantal partners per project is 3. De spreiding is van 1 tot en met 11 partners per project. De mediaan is 2. De modus (het meest voorkomende aantal partners per project) is 1. Dit betreft de 13 cofinancieringsprojecten voor tankstations.

Het aantal unieke partijen bedraagt 82. De verdeling van deze unieke partijen over verschillende stakeholdergroepen is als volgt:

- Industrie (niet MKB): 24
- MKB: 37
- Onderzoeksinstelling (HBO, universiteit, instituut, adviesbureau): 9
- Overheden/overheidsbedrijven: 7
- Intermediaire organisaties: 5



5. Conclusies en aanbevelingen

De voor deze projectenanalyse gestelde vragen luiden:

In welke mate hebben de projecten bijgedragen of zullen ze naar verwachting bijdragen aan het richting de markt brengen van producten en diensten? Waar stonden ze aan het begin qua TRL- en CRI-fase, en waar aan het eind? Kunnen we daaruit vaststellen dat het innovatiesysteem zich goed ontwikkeld heeft? En welke terreinen missen we nog?

TRL en CRI-fasen

Van de 76 TSE-waterstofprojecten richt(t)en zich er 32 op conceptuele en systeemverkenningen (13% van subsidiebudget). 44 projecten betreffen technische O&O, demonstratie en deployment (87% van subsidiebudget). Dit betreft soms vervolgpiloten op basis van uitkomsten van projecten uit de eerste groep, maar vaak ook niet. Sommige haalbaarheidstudies hadden als uitkomst dat een ontwikkeling niet kansrijk was, of dat een andere combinatie meer potentieel zou bieden. Andere zijn baanbrekende studies gebleken waaruit nieuwe themagebieden en projecten zijn voortgekomen, zoals de Stroomstudie power-to-gas (2014) en Power-to-products (2015). De studies over mierenzuur en ammoniak als alternatieve energiedrager passen hier ook bij.

De vraag “waar stonden projecten aan het begin qua TRL- en CRI-fase, en waar aan het eind?” is beantwoord met het overzicht in de [tabel in paragraaf 2.6](#). De projecten zijn (soms door de projecteigenaar, meestal door RVO en/of de opsteller van dit rapport) in een TRL-fase geplaatst. Als het project succesvol is kan de ontwikkeling doorgaan naar de volgende TRL-fase. In de gesprekken is deels inzicht verkregen in activiteiten gericht op de volgende TRL-fasen, maar dit was niet altijd al duidelijk, of de plannen zijn vertrouwelijk meegedeeld. Een groot deel van de projecten is nog niet afgerond.

Er zijn meerdere voorbeelden van techniek-product-markt-combinaties die in opeenvolgende projecten een “mars door de TRL's” laten zien, zoals bij de ontwikkeling van elektrolyzers, Power-to-X in Nieuwegein, “Cyrus Smith”, of waterstofvaartuigen. Soms blijven een project en diens opvolger binnen dezelfde TRL, zoals de voorbereiding op en vervolgens uitvoering van de elektrolysecentrale Delfzijl of het Power-to-X-project in Nieuwegein. Eén project (Hyplasma) leidde juist tot vervolgpiloten in programma's voor meer fundamenteel onderzoek. Andere projecten zijn voortgezet in DKTI-Transport (vervoerstoepassingen) en Aardgasvrije wijken (gebouwde omgeving) of in Europese programma's. Andersom geldt ook dat in projecten die vallen onder andere (waaronder Europese en regionale) programma's kennis wordt opgedaan en ideeën ontstaan voor nieuwe projecten die via de Topsector Energie zijn of worden uitgewerkt.

De Commercial Readiness Index' (CRI) geeft aan in hoeverre de markt ontvankelijk is voor grootschalige toepassing van de technologie. De meeste TSE-projecten bevinden zich nog in CRI-fase 1 (hypothetische propositie) en sommige in CRI-fase 2 (commercial trial). Nemen we DKTI-projecten erbij, dan kan men van tankstations en personenauto's op waterstof zeggen dat deze in CRI-fase 3 (commercial scale-up), misschien 4 (multiple commercial applications) zitten. Voor andere voertuigtypen geldt dat nog niet, die zitten nog in CRI-fase 2 en 3 (heftrucks wel in fase 4).

Uit de ontwikkeling van de TRL-fasen en CRI-niveaus kunnen we dus vaststellen dat het innovatiesysteem zich voor *sommige* delen van de innovatieketen goed heeft ontwikkeld omdat er stappen zijn gezet naar hogere TRL-fasen. Alle projecten zitten echter nog in de lage CRI.

Aanbeveling: vraag projectuitvoerders zowel in de aanvraag als in de eindrapportage om een inschatting van de TRL- en CRI-fasen aan het begin van het project en beoogd resp. behaald aan het eind. Dit vergemakkelijkt een projectanalyse zoals hier is uitgevoerd.

Key Performance Indicators

Wat projecten hebben bijgedragen aan de techniekontwikkeling (“beyond state-of-the-art”) is meestal niet uit de rapportages te halen. Misschien juist omdat het openbare rapportages betreft ontbreken veelal de kwantitatieve gegevens achter de conclusies. Om in de toekomst wel dergelijke informatie te verzamelen is het aan te bevelen om hier in de uitvraag van tenders en in projectrapportages naar te vragen. Het Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking heeft Key Performance Indicators voor state-of-the-art en toekomstdoelen gedefinieerd voor een reeks waterstofproducten en -systemen (<https://www.fch.europa.eu/soa-and-targets>).

Aanbeveling: vraag aan projectconsortia waar hun techniek wat betreft de door FCH JU gehanteerde KPI's staat ten opzichte van de state-of-the art (vóór en na het project), en welke verbetering op KPI's men wil behalen resp. is behaald met het project.

Observaties per projectencluster

In hoeverre de projecten hebben bijgedragen of zullen bijdragen aan het richting de markt brengen van producten en diensten is beter vast te stellen door naar de projectenclusters te kijken. Hier volgt een bloemlezing voor de grotere clusters (wat betreft aantal projecten en/of subsidiebudget):

- **PEM elektrolyse** (8 projecten): In een cluster van onderzoeksprojecten is Nederlandse elektrolysetechnologie ontwikkeld. Centrale spelers hierbij zijn startup Hydron Energy en onderzoeksinstituut ECN/TNO. De ambitie is om een Nederlandse industrie op te bouwen rondom het MW Testcentrum. Hiervoor is het projectvoorstel Hyscaling bedoeld.
- **Alkalische elektrolyse** (2-3 projecten): Met name Nouryon wil als launching customer innovatie voor alkalische elektrolyse versnellen. Voor pilotfabriek DJEWELS in Delfzijl is gekozen voor alkalische elektrolyzers van een Franse firma. De kennis uit TSE-projecten is gebruikt bij de techniekselectie. Alkalische elektrolyse is ook onderwerp van Hyscaling.
- **Offshore elektrolyse** (4 projecten): Er wordt in nationale en Europese plannen veel verwacht van waterstofproductie in combinatie met wind op zee. Er zijn onder meer in TSE-projecten verkennende studies uitgevoerd en er is een pilotproject gedefinieerd om de technische en economische haalbaarheid te bewijzen. Dit wacht nog op financiering.
- **Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie** (6-7 projecten): In alle industrieclusters staat waterstof sterk in de belangstelling, in de TSE-projecten betreft het met name havencomplex Rotterdam en chemiepark Delfzijl. H-Vision heeft een advies uitgebracht over finale voorbereiding voor een grootschalige pilot voor de Rotterdamse regio. Dit initiatief wordt verder uitgewerkt. Voor Delfzijl heeft TSE bijgedragen aan de voorbereidingsstudie voor en aan de voorgenomen bouw van de tot dusver grootste elektrolysefabriek van Europa (20 MW). Dit is het grootste individuele project in de TSE-portfolio van waterstofprojecten.
- **Waterstof uit overschot lokale energie-opwek** (2-3 projecten): Op de waterzuivering in Nieuwegein is de bedoeling om met elektrolyse waterstof te maken met lokaal opgewekte elektriciteit uit eerst zon en later ook wind. De waterstof wordt benut voor mobiliteit. Dit moet een blauwdruk opleveren voor decentrale waterstofproductie op andere locaties met wind- en zonne-energie met afname voor mobiliteit.
- **Buffering lokaal energienet** (4 projecten): Geleerd is dat waterstofopslag voor een individuele woning of gebouw om deze zelfvoorzienend te maken een dure oplossing is die veel ruimte vraagt. In nieuwe projecten wordt gekeken naar energieopslag in waterstof als onderdeel van een microgrid op wijkniveau.

- **Bijmengen in aardgasnet** (5 projecten): In meerdere projecten zijn bouwstenen voor het gebruiken van het aardgasnet als overstort of transportmedium voor waterstof ontwikkeld, zoals sensortechnologie voor aardgas/waterstof-samenstelling en techniek voor extractie van waterstof uit het aardgasnet. Vooral nog lijken voor deze producten alleen toepassingen in het buitenland te zijn.
- **Tankstations** (4 projecten): Opbouw van een netwerk is doelstelling van de DKTI-regeling en hier wordt flink in geïnvesteerd (15 projecten voor cofinanciering van tankstations, en daarnaast tankstations als onderdeel van 11 proeftuinprojecten). De TSE-projecten zijn bedoeld voor doorontwikkeling en verbetering van tankvoorzieningen om de betrouwbaarheid te verhogen en kosten te verlagen.
- **Vaartuigen** (4 projecten): Het project FELMAR heeft een op waterstof-brandstofcel gebaseerde voortstuwings-configuratie voor scheepvaart opgeleverd, met klasse-typegoedkeuring. Vervolgens is een pilot voorbereid voor het eerste (nieuwbouw) binnenvaartschip met een brandstofcel voor het varen op waterstof. Voor de pilot is een aanvraag gedaan bij DKTI maar deze is afgewezen, daardoor is er nog een gat in de financiering. DKTI ondersteunt wel 3 andere proeftuinprojecten met (kleinere) schepen.
- **Zwaar wegvervoer en mobiele machines** (2 projecten): TSE ondersteunt twee en DKTI-Transport 13 projecten voor zwaar wegvervoer en mobiele machines op waterstof. Het gaat om experimentele ontwikkeling en proeftuin (pilot)-projecten. De eerste producten zijn recent gedemonstreerd, zoals een terminaltrekker en een veegmachine op waterstof.
- **Waterstof voor synthese in industrie** (4-5 projecten): Naast vergroenen van het huidige waterstofaanbod zijn nieuwe toepassingen voor waterstof onderzocht om de footprint van de industrie te verbeteren. Dit betreft met name conceptuele studies, maar ook het opstellen van een businessplan met uitwerking van de haalbaarheid van een synthetische kerosine pilotfabriek. Project DJEWELS zal waterstof voor (o.a.) methanolproductie leveren.
- **Waterstof in gebouwde omgeving** (7 projecten): in dit projectencluster is en wordt aan diverse apparatuur voor verwarming van woningen en gebouwen gewerkt. Deze set projecten lijkt alle aspecten goed af te dekken. Naast technische aspecten komen in meerdere projecten ook maatschappelijke aspecten met betrekking tot veiligheid aan bod. Er is een blauwdruk ontwikkeld voor waterstoftoepassing in een wijk in Hogeveen. Voor realisatie heeft Hogeveen recent een subsidie ontvangen uit de Aardgasvrije-wijkenregeling (net als Stad aan 't Haringvliet).

Twee terreinen waar slechts enkele projecten voor zijn uitgevoerd verdienen meer aandacht omdat het gaat om toepassingen waar weinig tot geen duurzame alternatieven bestaan voor waterstof:

- **Industriële verwarming** (3 projecten): De glas/metaal/steen-industrie is afhankelijk van aardgas voor directe verhittingsprocessen, waterstof is hier een alternatief, in pure vorm of bijgemengd bij aardgas. Tot nu toe is er maar een enkel project op dit vlak, wel met een grote groep partners, en er zijn ideeën voor vervolgpiloten. Het gaat om verspreid gelegen industrie die mogelijk pas laat op een waterstofbackbone aangesloten kan worden.
- **Gasturbine voor waterstof** (1 project): Net als bij industriële branders is waterstof hier het enige alternatief om koolstofvrij te worden. Dit veronderstelt dat het belang van stuurbare elektriciteitsproductie in aanvulling op fluctuerend aanbod van wind- en zonenergie wordt onderkend. Natuur en Milieu heeft dit recent bepleit.⁸ Demonstraties zullen vanwege de grote volumes benodigd waterstof al snel veel budget vragen, dus zijn oplossingen nodig om voor het afdekken van de onrendabele top tussen aardgas en waterstof.

Aanbeveling: ontwikkel specifieke innovatietrajecten voor toepassing van waterstof voor industriële verwarming en gasturbines voor regelbare CO₂-vrije elektriciteitsopwekking, met onder

⁸ https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2020/11/Visie-Vergroenen-Gascentrales_Natuur-Milieu.pdf

meer grootschalige demonstratieprojecten met onrendabele topafdekking voor de benodigde waterstofvolumes.

Andere lacunes

In de 41 gesprekken met projecteigenaren en -deelnemers is gevraagd welke thema's in toekomstige tenders aandacht zouden moeten krijgen, welke wensen er zijn over de inrichting van de regelingen, en over andersoortige ondersteuning. Het betreft uitdrukkelijk meningen van de gesprekspartners en niet standpunten van TKI Nieuw Gas. Vertrouwelijk meegedeelde projectideeën zijn niet vermeld.

De top-5 aan wensen en voorstellen (keuze RH) is de volgende:

- Er worden veel losse projecten gestart, "lean" opgezet om kosten te beperken. Daarbij zijn geen back-ups ingepland voor waterstoflevering, dispenser, e.d. Idee is om een **gedeelde back-up capaciteit** te organiseren en collectief te financieren voor de projecten in Nederland.
- Waterstofopslag is tot nu toe vooral bekeken vanuit de betekenis voor flexibiliteit, maar aardgasopslag dient nu voor seizoensbalans en strategische reserve. Wat is de rol van waterstofopslag voor **energiezekerheid** en hoeveel is dit waard, immers waterstof is (voorlopig) duur, dus een voorraad aanleggen ook.
- Er zou meer ondersteuning moeten komen voor **Nederlandse industrieopbouw**. Andere landen hebben dat als speerpunt en hun industrie concurreert vervolgens op de Nederlandse/Europese markt tegen niet gesteunde Nederlandse industrie. Nederland laat kansen liggen met creëren van werkgelegenheid en moet hier actiever ermee omgaan.
- Er is bij de projecten in de gebouwde omgeving veel interesse vanuit gemeenten. Idee is om een **ondersteunende tool** te maken om gemeenten door de eerste stappen te helpen, met een bijbehorende **kennisbank/-centrum** en ondersteuningsvouchers voor belangstellende gemeenten. Daarnaast is er bij projectuitvoerders behoefte aan een **expertpool** om de zoektocht naar specifieke kennis te vergemakkelijken. Zelf het wiel uitvinden over veiligheidsvraagstukken bijvoorbeeld kost veel tijd en moeite.
- Een belangrijke vraag is **hoe de opschaling kan worden bereikt**. Er zijn tot nu toe veel studies en kleinschalige pilots, maar om op grote schaal te demonstreren is infrastructuur en onrendabele top-ondersteuning nodig. Instrumenten voor ondersteuning op de schaal boven 20 MW elektrolyse ontbreken, en ook voor elektriciteitsopwekking met grote waterstofturbines. Dekking van onrendabele top tussen grijze en groene waterstof is niet voldoende als groene waterstof aardgas vervangt.

Meer wensen en voorstellen zijn opgenomen in bijlage 6.

Bijlage 1: Niet meegenomen projecten

De volgende projecten van de TSE-projectenwebsite zijn niet meegenomen in de analyse omdat waterstof hierin een te kleine rol speelt. De redenen zijn aangegeven:

DOAble Elestor Decentrale Opslag van Alternatieve Elektriciteit; Flexstore; MEGA WATERstof bromide flow BATTERIJ	Een waterstofbromide flowbatterij bestaat uit een membraan met aan de ene kant een waterstoftank en aan de andere een tank waterstofbromide. Bij elektrisch laden en ontladen trekken protonen door het membraan. Omdat er geen waterstof in of uit het systeem gaat is ervoor gekozen deze projecten niet mee te nemen in de analyse. ⁹
Katalytische opwerking Pyrolyseolie voor de productie van transportbrandstoffen	In dit project gaat het erom het utiliteitsgebruik over de gehele keten te reduceren, vooral waterstofconsumptie. Bij de opwerking van pyrolyseolie wordt waterstof gebruikt.
Blue Battery en Waterstofauto als duurzame en lokale elektriciteitsopslag in (micro)grids	Het project test een technisch energiebeheer- en aansturingssysteem voor lokale inpassing in een elektriciteitsnetwerk met gebruikers en producenten, waarbij slim wordt ingespeeld op veranderingen in vraag en aanbod van elektriciteit, en een efficiënte integratie en samenwerking wordt beoogd tussen de verschillende opwekbronnen (zon en wind), verbruikers (kantoor en wooneenheden) en opslagmethodes (zoet-zout water Blue Battery en waterstofauto). Waterstof speelt een kleine rol, het gaat hierbij om één auto.
Geo-energie voor vergroening bedrijfsvoering in de procesindustrie	In dit project wordt voor enkele industrieën gekeken of, en in combinatie met welke andere technieken (waaronder waterstof, HTO, etc.), geo-energie kan worden toegepast om een innovatief energieconcept te ontwikkelen voor een duurzamere bedrijfsvoering.
Gasreinigingsmodule voor Hoogwaardige Utilisatie Biomassa	Het gaat hier om de reiniging van syngas waarbij waterstof enkel een <u>mogelijk</u> eindproduct is. In het project krijgt waterstof echter weinig aandacht.

Om andere redenen niet meegenomen:

Hychain 4 en 5	Niet opgenomen in de projectendatabase, mogelijk nog geen projectbeschikking ontvangen.
GW-schaal elektrolysefabriek van de toekomst; Analyse en modeling. Project van het cluster Systeem Integratie van het Institute for Sustainable Process Technology (ISPT)	Om onbekende reden niet opgenomen in de projectendatabase. TKI Energie & Industrie kende binnen haar programmaliijn 'Systeemintegratie – Elektrificatie en Flexibilisering' een toeslag toe aan twee projecten van dit consortium, namelijk MW-testcentrum om verschillende types elektrolyse te testen (wel meegenomen in de analyse) en GW-schaal elektrolysefabriek (niet meegenomen).

⁹ Dat het project Flexnode (reversibele brandstofcel met waterstofopslag) wel is meegenomen is enigszins inconsequent.

Bijlage 2: Projectpartners

In deze bijlage is de lijst van projectpartners opgenomen, verdeeld over stakeholdergroepen, en vermelding van het aantal projecten waarin elke partner deelneemt.

Topsector Energie

Industrie (niet MKB)	Aantal
N.V. Nederlandse Gasunie, Gasunie Trade & Supply, Gasunie Transport Services, Energystock B.V.	13
Nouryon Industrial Chemicals, AKZO Nobel Industrial Chemicals B.V.	8
Alliander N.V., N.V. Continuon Netbeheer	6
Energie Beheer Nederland B.V.	5
ENGIE Energie Nederland N.V., Cofely Energy Solutions BV, ENGIE E&P Nederland B.V., Engie Services Nederland N.V. Stedin B.V. Vattenfall AB Benelux Branch, NUON Power Generation B.V.	4
Enexis B.V. Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) B.V. SHELL Nederland B.V., Shell Global Solutions International B.V. Total E&P Nederland, Pitpoint.H2 B.V., Pitpoint.LNG B.V.	3
Air Liquide Industrie B.V. DELTA N.V., Delta Infra B.V. OCI Nitrogen B.V. Stork Nederland B.V., Stork Thermeq B.V. Taqa Offshore B.V. Tata Steel Nederland Technology B.V. TenneT TSO B.V.	2
ABB B.V. Ansaldo Thomassen B.V. Arcelormittal Belgium ATAG Verwarming Nederland B.V. Avebe U.A. AVR Afvalverwerking B.V. BAM Infra Leidingen & Industrie BP Raffinaderij Rotterdam B.V. Damen Shipyards Gorinchem DOW Benelux B.V. Eneco New Energy B.V. E.ON Benelux N.V. Frieslandcampina Nederland B.V. Fujifilm Europe B.V. Koninklijke Luchtvaart Maatschappij N.V. Linde Gas Benelux B.V. Lyondell Chemie Nederland B.V. Nedmag Industries Mining & Manufacturing B.V. Nippon Electric Glass Co., Ltd Oiltanking Europe B.V. Opra Turbines International B.V. SGD Pharma Saint-Gobain Construction Products Nederland B.V. Siemens Nederland N.V. Smurfit Kappa European Paper Sourcing B.V. Statoil Petroleum As SUEZ Employment B.V. Sita Reenergy Roosendaal Theo Pouw Secundaire Bouwstoffen B.V. Toyota Material Handling Nederland B.V. Twence B.V. Yara Visser & Smit Hanab Distributie B.V. Vitro Architectural Glass Vopak Management Netherlands B.V.	1
Totaal: 53	

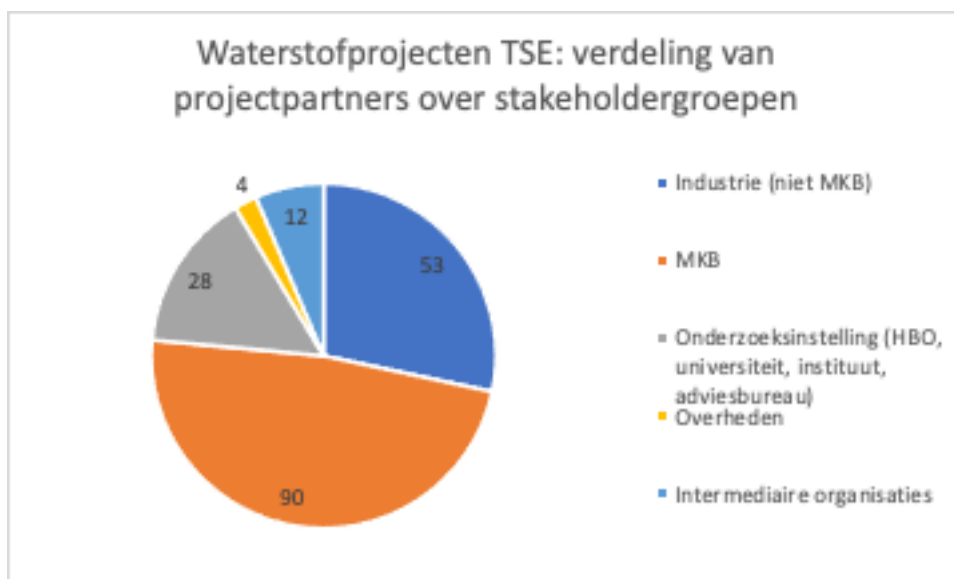
MKB	Aantal
Hydron Energy BV	10
Nedstack fuel cell technology B.V.	6
Hygear B.V.	5
Frames Energy Systems BV Hyet Hydrogen B.V.	4
Bekaert Combustion Technology B.V. Composite Agency Coöperatieve Windenergie Vereniging Zeeuwind UA Flamco B.V. Hymatters Operations B.V., Hymatters V.O.F. Proton Ventures B.V.	2
Accenda B.V. AGC Nederland Holding B.V. Allied Waters B.V. Aqua Navis B.V. ARC France Ardagh Glass Benelux Aveco de Bondt B.V. Beutech Bio Energy Netherlands B.V. BKS Verkoop en Advies B.V. Blueterra Energy Experts B.V. Bredenoord B.V. Bronkhorst High-Tech B.V. BTG Biomass Technology Group Ch Energy Zernike B.V. Conoship International B.V. Coöperatie Peel Energie UA Coval Energy B.V. Dens Hydrogen B.V. DNWG Infra B.V. E2Anders BV Eekels Technology/TBI Croonwouter&dros/JP van Eesteren ebm-papst Heating Systems B.V. Ecovolt Emmtec Services B.V. Energiewacht Installatie B.V. E-Trucks Europe B.V. Fluidwell B.V. Fust Energy B.V. Future Proof Shipping B.V. Garage71 gAvilar B.V. GP Groot Brandstoffen en Oliehandel B.V. Green Projects Invest B.V. Holland Ship Electric B.V. HOREV Vastgoed B.V. In-Energy B.V. JP-Energiesystemen B.V. Hartevelt Stomerij B.V. H. Lenten Scheepvaart Huygen Ingenieurs & Adviseurs B.V. Hygro B.V. Hyox B.V. Hysolar B.V. Ideate VOF Intecsea B.V. Its Jules Energy B.V. Monarch Nederland B.V. MSN B.V. Koedood Dieselservice B.V. KWR Water B.V. MAGNETO special anodes B.V. Mobiele Stroom B.V. MTSA Technopower B.V. Nederlandse Particuliere Rijnvaart-Centrale Coöperatie U.A. (Bij Afkorting Coöperatie N.P.R.C. U.A.) New Electric B.V. N-Tra B.V. O3 Systems Energy B.V. Offshore Service Facilities B.V. O-I Manufacturing Netherlands B.V. Poinsetot B.V. Polymer Technology Group Eindhoven B.V. Process Design Center B.V. Purac Biochem B.V. Recoy B.V. Rijngas B.V. Skyng B.V. Solution 2 Nature B.V. Spectral Enterprise B.V. Techmacon B.V. Thermo Dynamic Solution Provider B.V. Tielo-Tech B.V. Tieluk B.V. Trigas Tronox Pigments (Holland) B.V. Fa. gebr. Van der Lee Verallia Packaging Villa Ville sustainable developments Zantingh B.V.	1
Totaal: 90	

Onderzoeksinstituting	Aantal
Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO, TNO Earth, Life and Social Sciences	19
Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), ECN part of TNO	11
Technische Universiteit Delft	7
DNVGL Netherlands B.V., N.V. KEMA, KEMA Nederland B.V. Stichting Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN)	6
Stichting Hanzehogeschool Groningen	5
Berenschot B.V., Berenschot Groep B.V. CE Delft	4
H2Consultancy B.V.	3
HaskoningDHV Nederland B.V. Technische Universiteit Eindhoven	2
Cornelissen Consulting Services B.V. Energy Matters FOM incl. instituten AMOLF, DIFFER en NIKHEF Food & Biobased Research (WUR) GFSC Consultants and Engineers B.V. Haagse Hogeschool J-OB - Joining Objectives Kalavasta B.V. Koers & Vaart B.V. Marin Odura Advies en Projecten B.V. Pia Support B.V. Quintel Intelligence B.V. Rijksuniversiteit Groningen Schipco Consultancy B.V. Universiteit Twente Universiteit Utrecht	1
Totaal: 28	

Overheid	Aantal
Havenbedrijf Amsterdam N.V.	2
Havenbedrijf Rotterdam Groningen Seaports Waternet	1
Totaal: 4	

Intermediaire organisatie	Aantal
Stichting TKI-ISPT, Stichting Public Private Partnership Institute for Sustainable Process Technology	7
Stichting New Energy Coalition, Stichting Energy Valley	3
Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPa) Deltalinqs	2
Association FME-CWM Het Internet Huis Nederlands Normalisatie-Instituut (NEN) Stichting Hoger Beroepsonderwijs Haaglanden Rotterdam Climate Initiative Synerco Communicatie Ver. Koninklijke Nederlandse Bouwkeramiek Vereniging Nexstep	1
Totaal: 12	

Totaal: 186 unieke partijen.



DKTI

Industrie (niet MKB)	Aantal
PitPoint.CNG B.V., PitPoint.H2 B.V.	4
Joulz Diensten B.V. Shell Nederland Verkoopmaatschappij B.V. Truckland B.V.	2
Aebi Schmidt Nederland Allied Waters B.V. Arentis B.V. Autobedrijven ESA Groningen Century Autogroep B.V. Contrall Projectrealisatie B.V. Damen Shipyards Gorinchem B.V. De Graaf Logistics D.G. O. Express B.V. EnergyStock B.V. Engie Services West B.V. Geesink B.V. Ginaf Trucks Nederland GP Groot B.V. Hysolar B.V. Oegema Transport Dedemsvaart B.V. Ravo Holding B.V. Sent Waninge Hoogeveen B.V. Terberg Benschop B.V. Van Tilburg-Bastianen	1
Totaal: 24	

MKB	Aantal
E-Trucks Europe B.V.	3
Green Planet Real Estate BV Holthausen Energy Points B.V., Holthausen Clean Technology B.V. OrangeGas B.V. Tankpunt B.V.	2
Aannemersbedrijf Jos Scholman B.V. Autobedrijf Loven-Trucks Bakkerij Faber B.V. Bosch Beton Holding B.V. Bouwaanvoeders B.V. Composite Agency Conoship International B.V. De Burgh Eindhoven Diverto Technologies B.V. E Moss Mobile Systems B.V. Fleetcraft B.V. Greenpoint Power To H2 B.V. H2 Storage B.V. Hyet Hydrogen Hygro B.V. Koen van der Knaap Marine Service Noord B.V. Mission Zero Leasing Mobiele Stroom B.V. Mokum Mariteam B.V. Necon Tech B.V. NedStack fuel cell technology B.V. NPS Diesel B.V. Resato International B.V. Qumey Metaalindustrie B.V. Sikking Controls B.V. Tankstation Laan der VN C.V. Van Campen Ecotechniek zepp.solutions B.V. Westerman Multimodal Wijnne en Barends B.V. Zoev City B.V.	1
Totaal: 37	

Onderzoeksinstelling	Aantal
TNO	5
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen	2
ECN – Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland H2Consultancy B.V. Hanze Hogeschool Groningen Hogeschool van Amsterdam – Lectoraat City Logistiek Hytruck consult B.V. KWR Water B.V. TU Delft	1
Totaal: 9	

Overheid	Aantal
Gemeente Amsterdam Gemeente Groningen Gemeente Oosterhout Havenbedrijf Amsterdam N.V. Ontwikkelingsbedrijf Noord Holland Noord N.V. Port of Den Helder WRK	1
Totaal: 7	

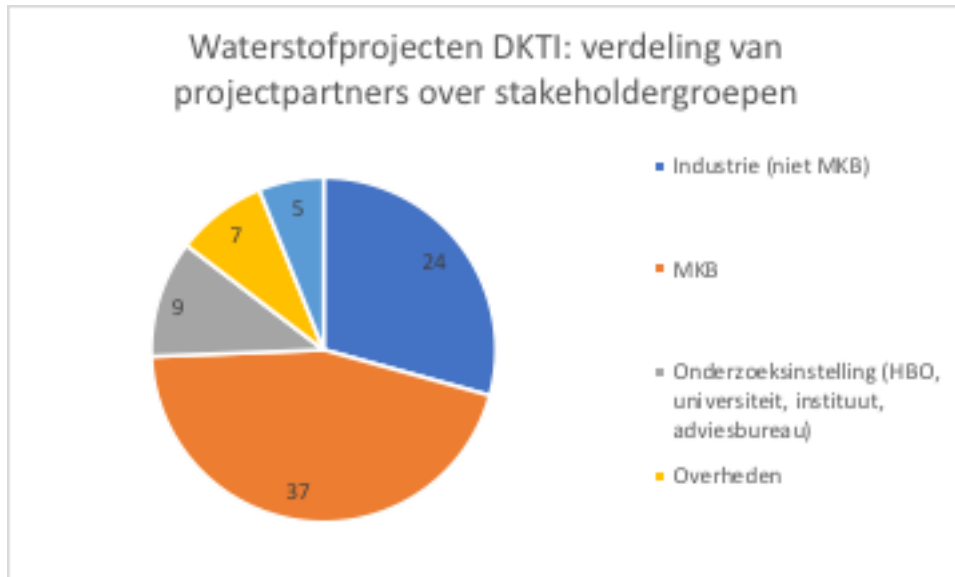
Intermediaire organisatie	Aantal
New Energy Coalition	2
Beta Bureau Veritas Marine B.V. RINA Netherlands B.V. Waterstofnet VZW	1
Totaal: 5	

Totaal: 82 unieke partijen.

Het aantal partijen dat in zowel TSE- als DKTI-projecten deelneemt is beperkt:

- Industrie (niet MKB): 6
- MKB: 6
- Onderzoeksinstelling (HBO, universiteit, instituut, adviesbureau): 7
- Overheden: 1
- Intermediaire organisaties: 1

Het totale aantal unieke partijen komt daarmee op 244.

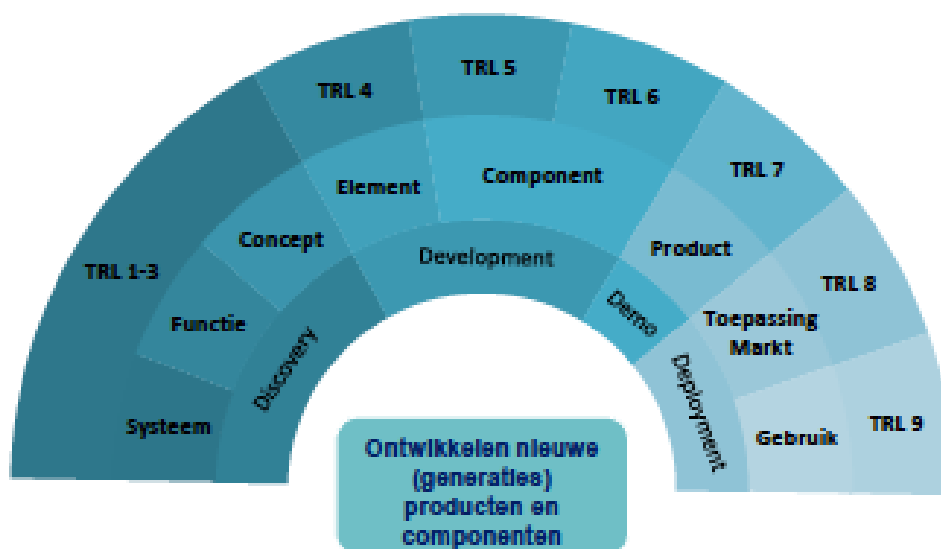


Bijlage 3: Toepassing van RVO's objectmodel

RVO hanteert binnende Topsector Energie verschillende classificaties voor productontwikkeling:¹⁰

- Het **objectmodel** voor innovatie wordt gebruikt voor de beschrijving van de resultaten van een innovatieproject.
- **TRL's** worden gebruikt voor discussies over de voortgang van product- en technologieontwikkeling. De TRL's kunnen worden bepaald via het objectmodel.
- Het **fasemodel** (Discovery, Development, Demonstration, Deployment, 4D's) wordt gebruikt voor bepaling van de productontwikkelingsfase van een innovatieproject.

De volgende figuur toont de samenhang tussen "object", TRL en fase.

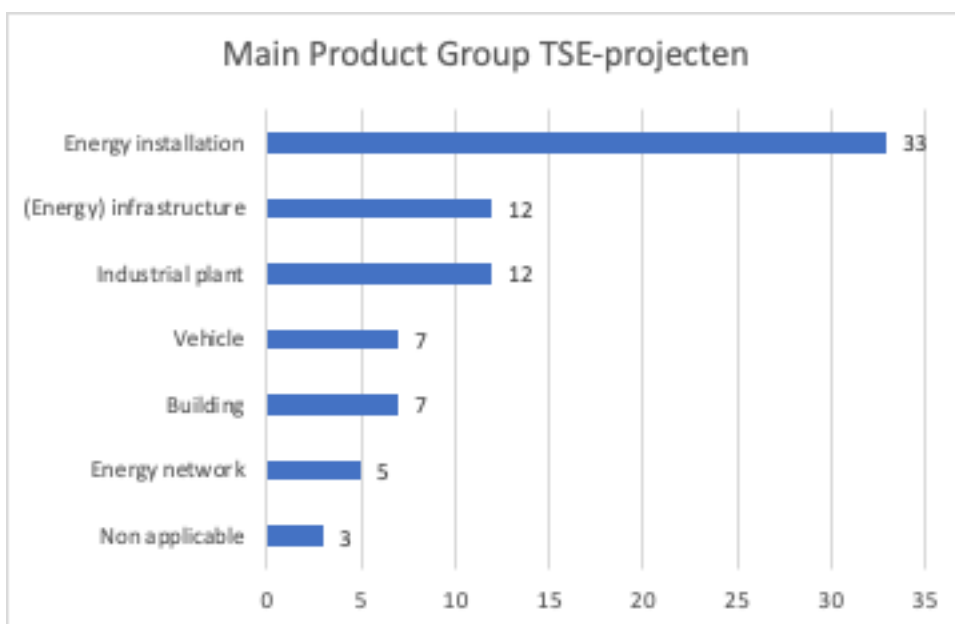


RVO heeft aan de projecten in de database categorieën toegekend, volgens het "Objectmodel". In dat objectmodel wordt per project bepaald wat het "product" is dat uiteindelijk opgeleverd gaat worden (doorgaans niet direct na afloop van een project; het project levert slechts een stap in die richting op).

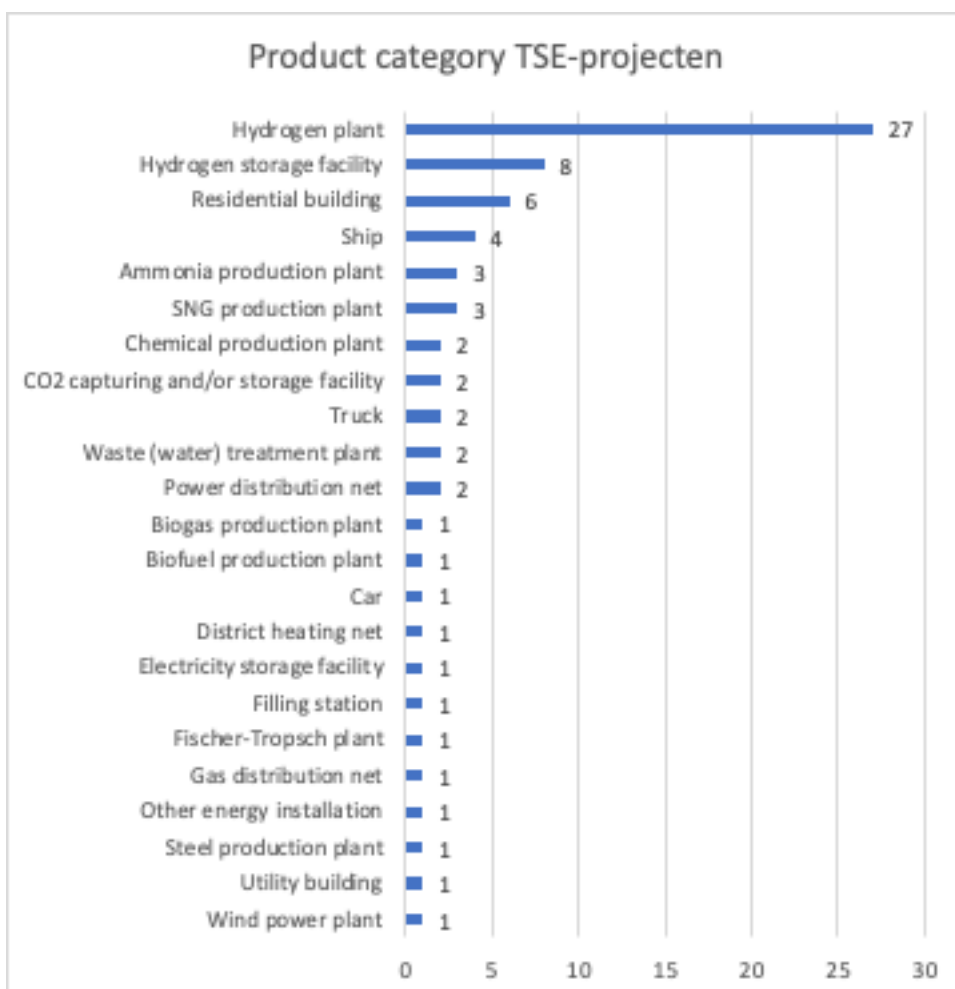
- Bijvoorbeeld: wanneer gewerkt wordt aan een nieuw type isolatie, met als doel om een nul-op-de-meter-(NOM)-woning te realiseren, dan is de naam van het "Product" bijvoorbeeld "een NOM-woning in nieuwbouwwijk X".
- Omdat deze naamgeving niet consistent is (en dus het indelen van projecten in categorieën niet echt makkelijker maakt) is hier ook nog een indeling volgens een vaste lijst voor. Dat zijn de "Main Product Groups", met een niveau daaronder de "Product category".
- De "Main Product Group" betreft de hoofdindeling (bijvoorbeeld een "Industrial Plant") en de "Product category" is een verdere onderverdeling (bijvoorbeeld een "Paper manufacturing plant").
- In het voorbeeld van de NOM-woning zou dit "Building" zijn als Main Product Group en "Residential building" als "Product category".

De volgende grafiek geeft de indeling van de TSE-projecten volgens "Main Product Group". Dit bevestigt het beeld dat de projecten zich met name richten op productie van waterstof en infrastructuur, en in mindere mate op toepassingen.

¹⁰ Het gebruik van TRL's in de Topsector Energie, Tom Monné/Joost Koch versie 10-2017.



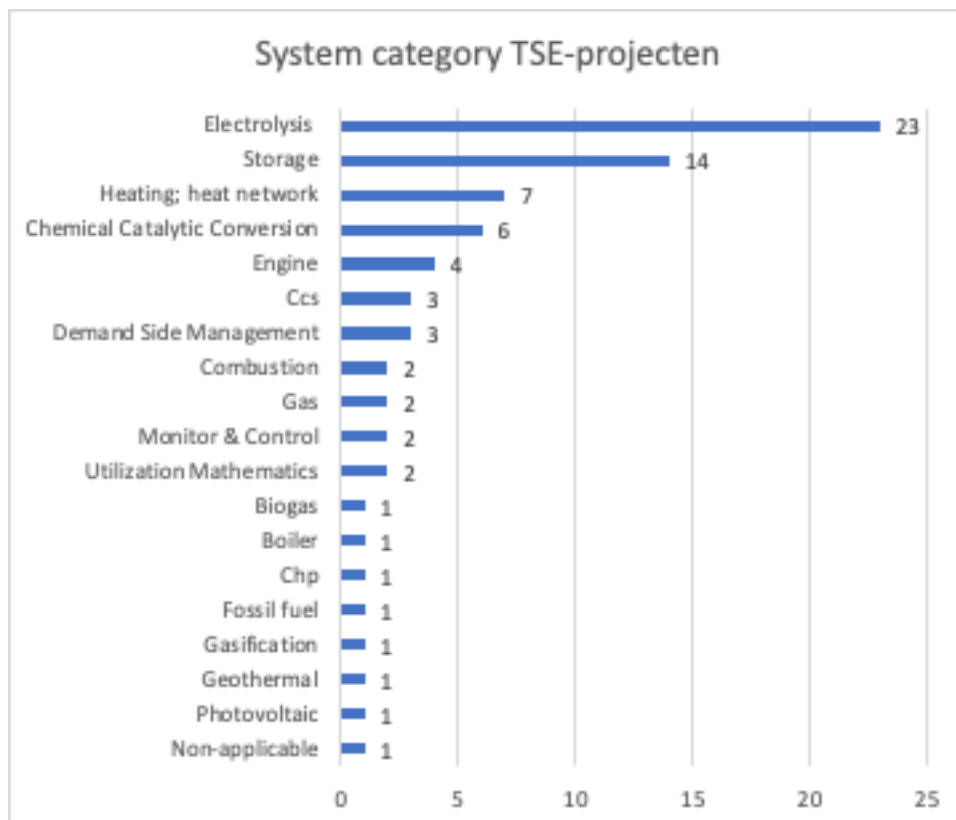
De indeling in “Product category” laat het volgende beeld zien. Deze grafiek toont weer de nadruk op waterstofproductie, maar ook de diversiteit van toepassingsgebieden voor waterstof. (Projecten kunnen meerdere “product category” labels hebben, waardoor de som uitkomt op 77.)



Naast het product, dat meer abstract is, wordt ook bepaald wat het “onderwerp” van een project is. Wat wordt er binnen het huidige project precies onderzocht waarmee de technologie een stapje meer richting het eindproduct gebracht wordt, of in andere woorden, wat wordt onderzocht waardoor de technologie een hogere TRL bereikt? Dit onderwerp krijgt een naam, maar die kan vrij worden opgegeven en maakt het indelen van projecten op deze naam niet mogelijk. Daarom bestaat daar ook een vaste indeling voor, namelijk de “System Category”.

Met “System Category” wordt hetgeen in het project onderzocht wordt in het energiesysteem geplaatst. Als het Product een “Schip dat op waterstof kan varen” is, en in het project wordt bekeken hoe de motor van het schip kan worden aangepast zodat die ook op waterstof kan worden aangedreven, dan is de System Category “Engine”. Maar als de belemmering bijvoorbeeld zit in de beschikbaarheid van waterstof, en men zoekt naar een methode om dit efficiënter te produceren, dan is de System Category bijvoorbeeld “Electrolysis”.

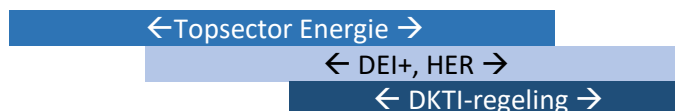
De volgende grafiek laat de onderwerpen van de projecten zien. Veel projecten gaan over elektrolyse, op afstand gevolgd door opslag/buffering, verwarming en chemische omzetting van waterstof.



Indeling volgens innovatiefase en TRL's

Technological Readiness Levels worden gebruikt om de voortgang van technologische innovaties te meten. Het is daarmee ook een fasemodel. Een fasemodel op hoger niveau is het 4D-model (oftewel Uitvinding, Onderzoek & Ontwikkeling, Demonstratie en Marktontwikkeling). De samenhang wordt gegeven in de volgende figuur. Hierbij is ook aangegeven op welke TRL's de Topsector Energie en DKTi zich voornamelijk richten.

Uitvinding			Onderzoek & Ontwikkeling			Demonstratie		Markt
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
Fundamenteel onderzoek	Toegepast onderzoek	Experimenteel onderzoek	Prototype-ontwikkeling	Prototype-validatie	Technologie demonstratie	Operationele demonstratie	Markt-introductie	Uitrol
Basisprincipes	Technologisch concept	Proof-of-concept	Prototype op lab-schaal	Gevalideerd prototype	Pilot	Demonstratie	Gecertificeerd product	Competitieve productie
Systeem	Functie	Concept	Element	Component		Product	Toepassing	Gebruik



De volgende tabel geeft definities van de TRL's.

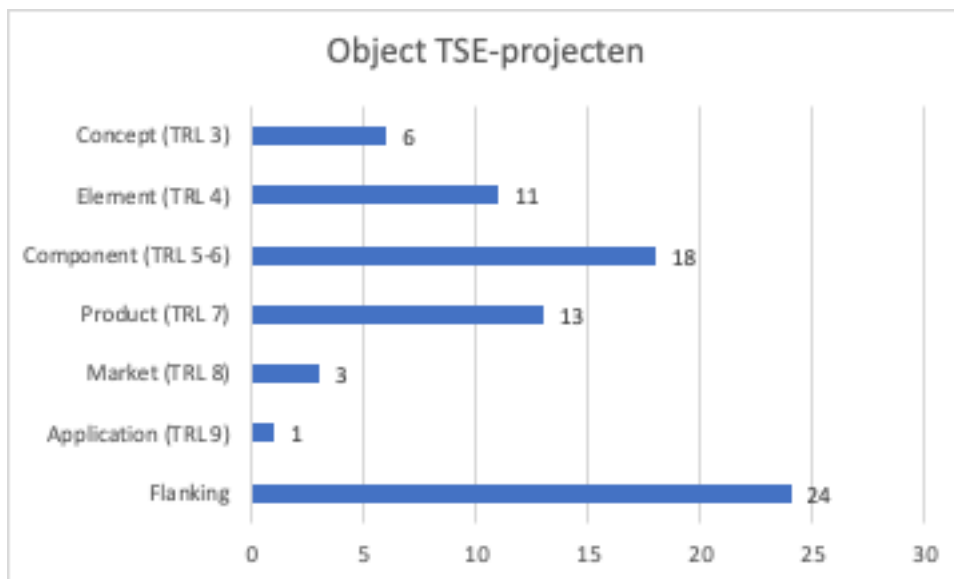
TRL	Definitie
1	Basis principes zijn geobserveerd en gerapporteerd
2	Technologisch concept en/of toepassing is geformuleerd
3	Kritische functie of karakteristiek is analytisch en experimenteel bewezen
4	Component of experimenteel model is gevalideerd in laboratorium omgeving
5	Component of experimenteel model is gevalideerd in relevante omgeving
6	Systeem / subsysteem model of prototype is gedemonstreerd in een relevante omgeving
7	Prototype van het systeem is gedemonstreerd in een operationele omgeving
8	Daadwerkelijk systeem is compleet en gekwalificeerd door test en demonstratie
9	Daadwerkelijk systeem is bewezen door succesvol operationeel bedrijf

Een innovatie als geheel kan in een bepaalde TRL-fase worden geplaatst, maar het kan ook verschillen per ontwikkelaar en daarmee per project. RVO maakt een indeling per project en gebruikt daarbij het objectmodel: de TRL van een project wordt via het onderwerp bepaald. Dit gebeurt door het project een "Object" mee te geven. Deze indeling kent de volgende variaties: Systeem, Functie, Concept, Element, Component, Product, Markt, Toepassing. Dit weerspiegelt hoe een idee via de S-curve richting de markt gaat en kan worden vertaald naar een TRL of innovatiefase.

De volgende figuur geeft de indeling van de projecten naar innovatiefase en TRL's. Hierbij is de door RVO gemaakte indeling van de projecten volgens het objectmodel als startpunt genomen, maar de indeling is bijgesteld op grond van de beschikbare rapportages en contacten in de (video)belronde met projectbetrokkenen.

De nadruk ligt in de projecten op TRL's 4-7, in overeenstemming met de doelen van de TSE-programmering. De TSE-projecten betreffen met name TRL 3-7, maar ze kunnen ook gebruik maken van DEI- en HER-regelingen en die gaan tot TRL 8.

Flankerende projecten zijn projecten waar geen TRL aan gekoppeld kan worden, omdat zij gericht zijn op veranderingen in instituties (zoals regelgeving), gedrag en maatschappelijke acceptatie ten aanzien van technologische vernieuwingen. De volgende figuur geeft de indeling volgens het Objectmodel, waarbij de toekenning van projecten is gedaan door RVO.



Een (te) groot deel van de projecten heeft de toekenning flankerend gekregen. Hier zijn ook projecten in ondergebracht waarin ketenanalyses en marktstudies worden uitgevoerd, en waarbij complete concepten op de schaal van een industriecluster worden ontwikkeld. Voor zulke projecten werkt de indeling in TRL-fasen niet goed, deze veronderstelt eigenlijk dat er daadwerkelijk iets wordt ontworpen, gebouwd, gemeten, gedemonstreerd etc., dus dat er fysieke handelingen worden uitgevoerd. Ook engineering en misschien haalbaarheid passen nog mits op realisatie is gericht.

Bij veel O&O-projecten is het bovendien dat ze flankerende elementen bevatten doordat ze ook aandacht geven aan regelgeving, gedrag en maatschappelijke acceptatie. Dit geldt met name voor de projecten in de gebouwde omgeving.

Daarom is voor deze analyse een nieuwe indeling gemaakt, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen projecten die zich richten op conceptuele en systeemverkenningen, en projecten voor technische O&O, demonstratie en deployment. Aan de eerste groep projecten zijn geen TRL's toegekend, aan de tweede groep wel. TRL 2 (technologisch concept) is niet van toepassing op de eerste groep omdat het gaat om verkenningen en haalbaarheidstudies van combinaties en configuraties van waterstoftechnieken, dus om systeemconcepten en niet om nieuwe technologische concepten.

De resultaten van deze indeling staan in paragraaf 2.5

Bijlage 4: Projectfiches Topsector Energie

Uitgangspunt voor deze fiches waren de projectsamenvattingen uit de projectendatabase van RVO. De behaalde resultaten volgen uit de eindrapporten (voor zover beschikbaar) en een (video)belronde in september/oktober 2020. Na de fiches volgt een lijst met contactpersonen.

Productie van waterstof

Titel	Flexibele energie infrastructuur door kosteneffectieve en efficiënte PEM-elektrolyse en Sorption (FLEX-P2G)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 4)
Doelstelling	- Ontwikkeling van robuuste, flexibele en kosteneffectieve power-to-gas technologie om een koppeling tussen het elektriciteitsnetwerk en het gasnetwerk mogelijk te maken.		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Beproeving van 20 verschillende membraan-electrode-assemblages (MEA) en selectie van de beste MEA-configuratie voor stacks. - Bouw van een prototype 50 kW PEMWE-elektrolyser, die werd geïntegreerd in een systeem met alle randapparatuur. De elektrolysestack is modulair opschaalbaar naar MW-schaal. - Proof-of-concept in een laboratoriumomgeving van een nieuw type methanisatie-reactor gedemonstreerd (sorption enhanced methanisation). - Randvoorwaarden bepaald voor commerciële toepassing van elektrolyse en P2G-methaan, zoals de CO₂-bronnen voor methanisatie, inpassing in het energiesysteem, marktkansen en business-modellen. 		
Vervolg	- Vervolgprojecten ELECTRE, NEXTGEN P2H2, AMPERE, INCOME		
Partners	ECN Frames Energy Systems Hydron Energy Hanzehogeschool Groningen		
Subsidiebedrag	€ 500.000	Jan 2015 – sep 2017	Eindrapport: ja

Titel	Evaluating lifetime of electrolyzers managing fluctuating supply of renewable energy (ELECTRE)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 4)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Verlenging van de levensduur van PEM-elektrolyzers en daarmee kostenreductie. - Bepalen van de belangrijkste processen in de PEM-elektrolyser die bijdragen aan de achteruitgang van de prestaties onder wisselende belasting bij fluctuerend aanbod van hernieuwbare elektriciteit. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Inzicht in de specifieke degradatiemechanismen van de Hydron Energy stack en hoe deze te verminderen om de levensduur van de stack te verlengen. - Ontwerp en bouw van drie teststations voor onderzoek naar dynamische belastingprofielen bij verschillende drukken. Deze zijn leverbaar aan derden. - Accelerated Stress protocollen zijn opgesteld en er is een aanvang gemaakt met Europese harmonisering van testprotocollen voor elektrolyzers om prestatie en levensduur te bepalen. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - De teststations zijn gebruikt in vervolgprojecten NEXTGEN P2H2, AMPERE en INCOME. - De testprotocollen worden nu standaard toegepast en zijn Europees geharmoniseerd. 		
Partners	ECN Hydron Energy		
Subsidiebedrag	€ 446.441	Jan 2016 – feb 2018	Eindrapport: ja

Titel	Cost reduction industrial PEM electrolyzers (NEXTGEN P2H2)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Uitvoerig testen van het in FLEX-P2G ontwikkelde 50 kW stack en systeem om te kunnen komen tot verbeterde prestaties, verdere kostenreductie en opschaling van het systeem naar 1 MW. - Inzet van de in ELECTRE ontwikkelde kennis over verbetering van levensduur onder sterk wisselende belasting en het teststation om de levensduur van de Hydron stack te verbeteren. - Testen van componenten van Nederlandse leveranciers om Nederlandse maakindustrie toegang te geven tot kennis van de elektrolysetechnologie en inzicht in de markt voor -componenten. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Realisatie van 50 kW testplatform voor het bedrijven van stacks. - Ontwikkeling van Hydron's tweede generatie EEL500 PEMWE -stack (50 kW, 1 kg H₂/dag), goedkoper, energie-efficiënter, en met langere levensduur. Gevalideerd op het testplatform. Prestaties en bedrijfszekerheid zijn gevalideerd in de markt. - Conceptueel ontwerp voor 1 MW waterstofproductie systeem. Met de ontwikkeling van dit systeem vindt de Nederlandse technologie aansluiting bij de internationale stand van zaken. 		

Vervolg	- Uitwerking van een demonstratieproject op MW-schaal inclusief locatiekeuze en business case. Hydron levert een van de twee stacks aan het Hydrohub MW Test Centre voor stresstesten - Het project heeft geholpen om Nederlandse toeleveranciers te mobiliseren en een PEM supply chain te ontwikkelen voor eventuele toekomstige productie van elektrolyzers in Nederland. Project Hyscaling is mede hiervoor bedoeld: ontwikkeling van nieuwe technologie voor PEM en alkalische elektrolyzers in een consortium van 30 partijen.		
Partners	ECN part of TNO Frames Energy Systems Hydron Energy		
Subsidiebedrag	€ 898.129	Nov 2017 – okt 2019	Eindrapport: ja

Titel	Advanced Materials for PEM Electrolyzers Reducing cost and enhancing lifetime (AMPERE)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 4)
Doelstelling	- Bieden van een laagdrempelig platform voor toeleveranciers voor het testen en karakteriseren van componenten, voortbouwend op eerdere projecten zoals ELECTRE en FlexP2G. - Testen van een verbeterde en goedkopere elektrolyserstack-technologie op basis van innovatieve componenten die in dit project geïdentificeerd en ontwikkeld worden, waaronder membranen. - Tot stand brengen van een intensieve en structurele samenwerking tussen de elektrolyser-kennisdragers, i.e. de fabrikanten van elektrolyzers en de kennisinstututen, en Nederlandse component toeleveranciers.		
Resultaat	- Referentie MEA en celbehuizing waarmee alternatieve innovatieve componenten van toeleveranciers getest kunnen worden; vaststelling MEA prestatie baseline; procedures om alternatieve componenten te implementeren in de referentie MEA en celbehuizing. - Openbaar document met functionele specificaties van de belangrijkste componenten van de elektrolyser als richtlijn voor potentiële elektrolyser-component toeleveranciers. - Overzicht en synthese van geselecteerde veel belovende niet-fluor polymeer gebaseerde membranen en eerste aanzet tot het experimenteel toepassen van deze membraanmaterialen. - Roadmap voor kosteneffectiever elektrolyser-componenten.		
Vervolg	- Vervolgproject voor voortzetting van membranenonderzoek (projectaanvraag ingediend bij RVO).		
Partners	ECN part of TNO Fujifilm Europe Hydron Energy Polymer Technology Group Eindhoven		
Subsidiebedrag	€ 249.299	Jan 2018 – dec 2019	Eindrapport: ja

Titel	Development of an advanced MEA production route for PEM electrolyzers (MEAPRO)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Vergaande kostenreductie van PEM-elektrolyseapparatuur door de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie voor hét belangrijkste halffabricaat: de membraan electrode samenstelling (MEA), verantwoordelijk voor 40% van de totale kosten van een PEM-stack. - De productiemethode vergroot tevens de uniformiteit van de MEA's, waardoor de prestatie en het rendement van elektrolyser verbetert en de OPEX wordt verminderd. - Ontwikkeling van modulaire en schaalbare pre-pilot R&D MEA-productieapparatuur (specifiek: geavanceerde electrode-depositie-apparatuur) waarmee de kwaliteit en uniformiteit van de MEA's kan worden verbeterd en de kosten kunnen worden gereduceerd.		
Resultaat	- Bijdrage aan kostenverlaging van PEMWE-apparatuur door kostenreductie van MEA-technologie met behulp van geavanceerde productieprocessen, en kennis en kunde op het gebied van productieprocessen MEA's voor PEMWE. - Concrete resultaten zijn: Analyse van kosteneffectieve electrode-depositietechnieken; Conceptueel ontwerp van een pilot MEA-fabricagelij; Ontwikkeling van een geavanceerd electrode-depositieproces; Validatie van pre-pilot MEA productieproces middels de productie en screening van MEA's in gestandaardiseerde test infrastructuur.		
Vervolg	- Hydron en TNO willen een pilot MEA productielijn ontwikkelen op basis van een flexibel ingericht roll-to-roll proces. Project Hyscaling is mede hiervoor bedoeld: ontwikkeling van nieuwe technologie voor PEM en alkalische elektrolyzers in een consortium van 30 partijen.		
Partners	Hydron Energy ECN part of TNO		
Subsidiebedrag	€ 241.022	Aug 2018 – jul 2019	Eindrapport: ja

Titel	INnovative COmponents & Materials for Electrolysis (INCOME)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenreductie voor productie van groene waterstof met PEM-elektrolyse via twee paden: <ol style="list-style-type: none"> 1) Ontwikkeling van innovatieve elektrode-architectuur voor kostenverlaging van de katalysator en de poreuze transportlaag (PTL). Een nieuw PTL-ontwerp richt zich op een minimale transportweerstand voor gas en vloeistof van en naar de elektrode en een optimaal elektrisch contact met de katalysator-deeltjes. 2) Co-productie van waterstof en ozon. Ozon wordt gebruikt bij waterzuivering en in papier-industrie. Gebruik van zuurstof in plaats van lucht om ozon te maken vermindert het energiegebruik. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Vervaardiging en verificatie van de prestaties van een verbeterde poreuze elektrodeconstructuur in een PEM-elektrolysecel. Kostentarget voor de PTL is 1800 €/m², een kostenreductie van 50%. - Ontwikkeling van een nieuwe aanbrengmethode voor de katalysator waardoor de katalysatordeeltjes effectiever benut kunnen worden. Streven is de belading terug te brengen van 1 mg/cm² naar 0.1 mg/cm² zonder teruggang in de prestaties. - Verificatie van de stabiliteit van de nieuwe PTL-architectuur en katalysator aangebracht met de alternatieve depositie methode via versnelde levensduur testen. - Business case voor coproductie van waterstof en ozon waarbij de kosten van waterstof 25% worden gereduceerd door de valorisatie van zuurstof en het leveren van een proof-of-principle van hoog-efficiënte ozonproductie uit zuivere zuurstof. 		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog geruime tijd.		
Partners	Hydron Energy MAGNETO special anodes O3 Systems Energy TNO		
Subsidiebedrag	€ 464.226	Jan 2020 – sep 2021	Eindrapport: nee

Titel	Power to Clean Gas		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en testen van een PEM elektrolyser-systeem, specifiek voor de opkomende power-to-gas-markt, met een lage aanschafprijs. Huidige industriële alkalische elektrolyzers zijn geoptimaliseerd voor de productie van waterstof voor industrie. De kapitaalkosten zijn te hoog voor een positieve businesscase voor power-to-gas toepassingen. - Een hogedruk PEM elektrolyser-stack wordt gekoppeld met een door HyGear ontwikkelde zuiveringsstap. De dure nazuivering- en drogingssystemen worden vervangen door een goedkope oplossing. De hoge kwaliteitseisen voor mobiele toepassingen van waterstof worden bereikt. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerp van een innovatief elektrolyser-systeem met nazuivering. - Bouw van prototype 50kW elektrolyser-zuiveringssysteem en testen onder reële omstandigheden op de waterstoffabriek van Hygear. - Op basis van de testresultaten is een ontwerp gemaakt van een 1MW elektrolyser-systeem. Daadwerkelijk bouw en demonstratie van een MW-elektrolyser valt buiten het project. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Project is afgerond maar het testen gaat door om meer levensduurdata te verkrijgen. - Voor de demonstratiefase moet er een oplossing komen voor de onrendabele top van elektrolyse. 		
Partners	Hygear		
Subsidiebedrag	€ 304.914	Feb 2019 – sep 2020	Eindrapport: nee

Titel	MegaWatt Test Centre		
Innovatieketen	Productie van waterstof	PEM elektrolyser	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerpen, bouwen en exploiteren van een open-innovatie MW-testcentrum voor elektrolyse bij EnTranCe in Groningen, om onderzoeken, proeven en stresstesten op industriële schaal uit te voeren. Dit is nodig om de mogelijkheden van opschaling naar GW-schaal (factor 100 groter dan vandaag) te ontdekken. Ook moet de efficiëntie van de elektrolyse worden verhoogd tot 80%. - Vanwege het strategische belang heeft de Nederlandse procesindustrie afgesproken de krachten te bundelen en het initiatief te nemen voor dit gezamenlijk onderzoeksinitiatief, dat moet leiden tot verminderen van technische en commerciële risico's (efficiency, stabiliteit, werkdruk, prijs per kW). 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ingerichte testfaciliteit die in staat zal zijn om uitvindingen van TRL 4 naar TRL 7 te brengen en zo een kritische tussenstap te bieden voor de valorisatie van uitvindingen. Voor zowel PEM als alkalische elektrolysetechnologieën worden stacks geïnstalleerd met celafmetingen die in de buurt van commerciële units liggen (orde van 0,5 m²). - Uitvoeren van twee soorten tests: 1) Testen van nieuwe componenten zoals membranen, elektroden en celontwerpen, afkomstig van kennisinstututen of leveranciers. 2) Grensverleggende tests waarbij de 		

	elektrolyser over zijn typische grenzen wordt geduwd met betrekking tot temperatuur, druk, stroomdichtheid, etc. De prestaties van de elektrolyser worden vergeleken met de benchmark. - De testfaciliteit wordt een innovatieve omgeving die openstaat voor andere organisaties, ideeën en onderzoek om ze aan te trekken en vooruit te helpen, en kan zo een basis zijn voor het creëren van een innovatief ecosysteem rond het onderwerp waterstof en elektrolyse.		
Vervolg	- Project loopt nog geruime tijd door. - Project Hyscaling wordt verbonden met het MW Test Centre: ontwikkeling van nieuwe technologie voor PEM en alkalische elektrolyzers in een consortium van 30 partijen.		
Partners	Nouryon Shell Gasunie Yara Groningen Seaports Frames ISPT ECN.TNO Hanzehogeschool Rijksuniversiteit Groningen		
Subsidiebedrag	€ 1.866.000	Nov 2018 – nov 2022	Eindrapport: nee

Titel	Alkaliflex: vergroting van de flexibiliteit en productiecapaciteit van alkalische water elektrolyse		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Alkalische elektrolyser	O&O (TRL 4)
Doelstelling	- Vergroting van de flexibiliteit en het verlagen van de kapitaalkosten van alkalische water elektrolyse-technologie, leidend tot een kostprijs van 2.0 €/kg in 2025 en 1.5 €/kg in 2030. Concrete doelen zijn: - Analyse van de flexibiliteit en productiecapaciteit van alkalische water elektrolyse technologie - Vinden van achterliggende technische oorzaken die flexibiliteit en productiviteit van de alkalische water elektrolysetechnologie bepalen - Technische verbetervoorstellen om de technologie flexibeler en productiever te maken - Verificatie van technische oorzaken en testen van verbetermogelijkheden in een lab-opstelling.		
Resultaat	- Vier flexibiliteitslimiteringen zijn geïdentificeerd: gelijkrichters, gas zuiverheid, warmtemanagement en gas-vloeistofgedrag. Voor de meeste van deze limiteringen zijn oplossingen beschikbaar om de flexibiliteit te verhogen en alkalische technologie is dan ook niet inherent inflexibel. Deze oplossingen om de flexibiliteitslimiteringen weg te nemen kosten geld en er zal per project bepaald moeten worden of dit aantrekkelijk is. - Prototype van een nieuwe efficiëntere laboratorium-elektrolyser met betere elektrodestructuren en dunneren membranen op basis van 3D-print technieken, die al beter presteert dan een commercieel verkrijgbare laboratorium-elektrolyser.		
Vervolg	- Omdat het onderzoek liet zien dat er kansen lijken te zijn voor efficiëntere elektrolyser-ontwerpen is het vervolgproject Alkaliboost opgezet dat zich daarop richt.		
Partners	AKZO Nobel Technische Universiteit Eindhoven		
Subsidiebedrag	€ 250.000	Feb 2018 – dec 2019	Eindrapport: ja

Titel	Alkaliboost		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Alkalische elektrolyser	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Ontwikkelen en testen van nieuwe alkalische stack-ontwerpen die bij een veel hogere stroomdichtheid opereren, waardoor de effectieve kosten van de 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. - Als dit doel wordt behaald kunnen de investeringskosten voor grootschalige water elektrolyse (1 GW+) dalen tot 350 €/kW in 2030, waarmee het qua investeringskosten vergelijkbaar wordt met SMR. Als ook de variabele kosten van beide technologieën vergelijkbaar worden, wordt groene waterstof competitief met grijze/blauwe waterstof. Dit zal afhangen van de uitrol van wind op zee.		
Resultaat (beoogd)	- Identificeren en testen bij realistische elektrolysecondities (90 °C, tot 50 bar) van nieuwe celontwerpen waarvan de kapitaalkosten voor de stack onder de 100 €/kW liggen. Deze ontwerpen zullen vervolgens nog uitgebreider moeten worden getest en worden gecommercialiseerd. Dit zal niet door Nouryon of TU/e gedaan worden, maar kan door een bestaande buitenlandse leverancier of door een nieuwe Nederlandse partij worden opgepakt.		
Vervolg	- De hoop is dat het onderzoek zal leiden tot een nieuw type alkalische elektrolyzers. Dit biedt kansen voor een eventuele start-up op dit gebied. Project Hyscaling is mede hiervoor bedoeld: ontwikkeling van nieuwe technologie voor PEM en alkalische elektrolyzers in een consortium van 30 partijen.		
Partners	AKZO Nobel Technische Universiteit Eindhoven		
Subsidiebedrag	€ 500.000	Mei 2019 – mei 2023	Eindrapport: ja

Titel	TKI systeemintegratiestudie Wind op zee naar waterstof Mobiliteit (W2H2)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Offshore elektrolyse	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Aantonen dat de omzetting van offshore windenergie naar waterstof, toegepast in de mobiliteits-sector, leidt tot lagere kosten en een hogere waarde (euro/MWh). In kaart brengen van kosten en opbrengsten per onderdeel in de keten. Vaststellen welk onderzoek nodig is voor verdere optimalisatie & integratie en welk overheidsbeleid daarbij noodzakelijk is. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Waterstof geproduceerd met water-elektrolyse geïntegreerd in een offshore windturbine, waarbij de waterstof in de turbine op hogedruk (350 tot 700 bar) wordt gebracht om het vervolgens met flexibele composiet hogedruk pijpleidingen naar land te transporteren, kan tegen een kostprijs worden gerealiseerd waarmee het kan concurreren met brandstoffen zoals diesel bij mobiliteit. - De kans voor waterstof in vergelijking met offshore wind elektriciteit ligt niet zo zeer bij "het opslaan van elektriciteit als het hard waait", maar in een integrale eigen infrastructuur van wind tot wiel. De grootste uitdaging daarbij is de gehele keten nieuw is en slechts beperkt gebruik kan maken van reeds bestaande (infra)-structuren en ondersteuningsmogelijkheden. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - DKTI-demonstratieproject Duwaal, dat 100 vrachtwagens op waterstof wil introduceren in Noord-Holland inclusief de bouw van de noodzakelijke tankinfrastructuur en de waterstofproductie met een windturbine met geïntegreerde elektrolyse. Een windturbine in Wieringermeer is hiervoor gereserveerd en wordt omgebouwd zodra SDE++-subsidie voor groene waterstof verkregen wordt. - Een tweede vervolgproject is HYGRO HPS over hogedruktransportcontainers. 		
Partners	Composite Agency ECN Stichting Energy Expo Energy Valley Techmacon		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Aug 2016 – jun 2017	Eindrapport: ja

Titel	Pre-Pilot Power to Gas Offshore		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Offshore elektrolyse	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Technische haalbaarheid toetsen van offshore-elektrolyse op een olie-/gasplatform en daarmee of de ambities voor waterstof uit wind op zee reëel zijn. Hiertoe wordt een praktijktest voorbereid als eerste stap voor opschaling naar 1-10 MW, vervolgens 10-250 MW en uiteindelijk > 250 MW. - Vragen zijn: kan de kwetsbare elektrolysetechniek de offshore omstandigheden aan (harde wind, zout komt overal), is er voldoende plek op het platform voor een zeecontainer met elektrolyser, is het gewicht toelaatbaar, kan het proces op afstand bestuurd, voldoet de purificatie van water? Wat zijn praktijkkosten van installatie, bedrijf en onderhoud van een elektrolyser in offshore omgeving? - De locatie kan dienen als testcentrum voor innovatieve P2G technologie en systemen. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Afronding van conceptontwikkeling en basic engineering van de eerste offshore elektrolyse-pilot, als input voor detailengineering, procurement en bouw. - Criteria opgesteld en toegepast voor keuze van het meest geschikte offshore-platform. Het moet een actief platform zijn anders zijn er geen elektrische voorzieningen in gebruik. Keuze viel op Q13a van Neptune, 12 km buiten Scheveningen. Dit platform ontvangt via een kabel groene stroom. Het is een satellietplatform van P15 van Taqa. Idee is: elektrolyse op Q13a, levering van waterstof in de aardgasstroom aan P15 en dan naar wal. Als deze gasstroom naar SMR gaat komt waterstof er daar weer uit en hoeft je het niet op het platform te scheiden. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Ondersteuning wordt gezocht voor het beoogd pilotproject onder de naam PosHYdon. - Eerst wordt PEM getest, in een volgende fase mogelijk ook andere elektrolysetechnologie. 		
Partners	ENGIE Energie Beheer Nederland NAM TNO Taqa Total Vereniging Nexstep		
Subsidiebedrag	€ 160.119	Dec 2018 – aug 2019	Eindrapport: ja

Titel	Feasibility system integration gas + wind energy island IJmuiden Ver		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Offshore elektrolyse	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Inventarisatie van de kansen, uitdagingen, kosten en planning van de productie van waterstof op een kunstmatig eiland met elektriciteit van de windparken in het gebied IJmuiden Ver. - Vaststellen van de technische en financiële haalbaarheid (inclusief risico's), en onderscheiden van de juridische, ecologische, stakeholder- en vergunningsvraagstukken. - Opstellen van een advies aan de projectontwikkelaar Offshore Service Facilities hoe verder te gaan met de ontwikkeling van het eiland, rekening houdend met de omstandigheden van waterstof en CCS. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Eerste studie waarbij een energie-eiland is doorgerekend met niet-hypothetische inputgegevens. - 2x2 scenario's voor 2 GW windenergie-omzetting en afvoer naar land: waterstofproductie op het eiland of aan land, en volledige omzetting naar waterstof of waterstofproductie in combinatie met 		

	directe netlevering van windstroom. Technisch-economisch gezien scoort de optie onshore beter, maar de verschillen met de offshore waterstofproductie zijn klein. - Conclusie is dat deze specifieke locatie wellicht (nu) niet zo geschikt is voor een positieve case maar in algemene zin zijn er wel goede kansen voor dergelijke eilanden. Vanaf 2030 is er meer wind op zee elektriciteit dan afgevoerd kan worden. Er zijn schaalvoordelen te behalen naarmate de omvang en multifunctionaliteit van het eiland groter is. - Aanleg van een pilot-eiland op de beoogde locatie in het gebied IJmuiden Ver biedt de mogelijkheid om te leren, te innoveren en een koploperpositie te verwerven voor toekomstige grotere, verdere offshore ontwikkelingen van multifunctionele eilanden.		
Vervolg	- Het is nog de vraag of een private partij een dergelijk eiland offshore zal mogen ontwikkelen. - In de studie is aansluiting tot de kust bestudeerd. Voor vergelijking met het alternatief om elektriciteit af te voeren via het hoogspanningsnet is nodig om te beschouwen welke extra kosten in het binnenlandse net ontstaan na aanlanding.		
Partners	CE Delft Intecsea Offshore Service Facilities HAN New Energy Coalition TNO		
Subsidiebedrag	€ 216.053	Feb 2019 – jul 2020	Eindrapport: niet openbaar

Titel	Hydrogen from seawater via Membrane Distillation and Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis (SEA2H2)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Offshore elektrolyse	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Verlagen van de kostprijs van H ₂ door verlaging van de investerings- en operationele kosten van het geïntegreerde offshore H ₂ -uit-zeewater productieproces. - Ontwikkeling en testen van een geïntegreerde pre-pilot installatie, waarin membraandestillatie (MD) voor de productie van Ultra Pure Water uit zeewater en PEM-elektrolyse worden gekoppeld. Hierbij gebruikt MD restwarmte van het PEMWE-proces en wordt bespaard op koeling van de elektrolyser. - On-site ontzilting van zeewater met membraandestillatie biedt meerwaarde boven het standaardproces (zuiverder productwater, minder elektriciteits- en chemicaliënverbruik, compactere installatie).		
Resultaat (beoogd)	- Leveren van proof-of-concept voor kosteneffectieve offshore productie van groene waterstof uit zeewater, door het koppelen van membraandestillatie en het PEM-elektrolyseproces. - Waardevolle kennis en kunde van de technische vereisten voor integratie van water- en warmtestromen van de MD en PEMWE processen, de 'echte wereld' prestatie-indices van het integrale proces en de kostenopbouw voor de technologie. - Pre-pilot installatie die als blauwdruk dient voor grootschalige offshore H ₂ -productie-installaties.		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog geruime tijd.		
Partners	Food & Biobased Research (WUR) Hydron Energy		
Subsidiebedrag	€ 415.000	Okt 2019 – okt 2021	Eindrapport: nee

Titel	Hydrogen production by plasma conversion of carbon dioxide and water (Hyplasma)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Plasmaconversie	O&O (TRL 3)
Doelstelling	- Kennisontwikkeling over waterstofproductie uit water en CO ₂ door plasmaconversie als alternatief voor elektrolyse. Plasmaconversie biedt in potentie voordelen bij hoge vermogens waardoor het systeem compacter kan zijn, een hogere productdoorvoer kan hebben, snel reageert op wisselend aanbod van energie grondstoffen, en geen schaarse materialen gebruikt. De energie-efficiëntie, doorgaans vertaald naar kosten, is vergelijkbaar met die van elektrolyse.		
Resultaat	- Proof-of-concept van een 1 kW plasmareactor, beter begrip van het proces en een basisontwerp voor een reactor van industriële omvang. - Plasmaconversie van CO ₂ naar CO, waarna met een watergasshiftreactie waterstof gemaakt kan worden, heeft een veel hogere energie-efficiëntie dan plasmaconversie van water (50% vs. 1% volgens laboratoriummetingen; 80% is het einddoel). - Een uitgevoerde systeemanalyse heeft laten zien dat "Plasma-P2G" technisch haalbaar, schaalbaar en toepasbaar in het energiesysteem is.		
Vervolg	- Hyplasma was startpunt voor meerdere STW-Alliander en NWO projecten, zoals Plasma Power-to-gas, SolidStatePlasma, Synplasma, en Electricity to Chemistry Catalysis for Energy Storage. - Een nieuw project beoogt opschaling van plasmareactoren naar 10 kW met potentie voor 1 MW.		
Partners	Alliander FOM incl. instituten AMOLF, DIFFER en NIKHEF		
Subsidiebedrag	€ 98.160	Jan 2014 – mrt 2017	Eindrapport: ja

Titel	Duurzame transportbrandstof via vergassing van pyrolyseolie (Biomass4transport)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Biomassa	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkelen van een keten voor de productie van duurzame, 2e generatie biobrandstoffen voor transportdoeleinden, zowel benzine- en dieselvangers en CNG als waterstof. - Centraal staat de productie van synthegas ($H_2 + CO$) uit pyrolyseolie, de ontbrekende stap in de beoogde keten. De productie van pyrolyseolie is op commerciële schaal aangetoond, net als de synthese van brandstoffen uit synthegas. - Aantonen van 95% omzettingsrendement van pyrolyseolie naar syngas in een 10 kW testopstelling van een autotherm katalytisch reformingsysteem. - Lab-onderzoek naar chemisch/fysische mechanismes achter de snelle verhitting van pyrolyseolie. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Aantonen dat schoon syngas geproduceerd kan worden uit pyrolyseolie en dat daarmee de complete productieketen van biomassa naar brandstoffen technisch mogelijk is. - Met pyrolyse als voorbewerking kunnen biomassa-reststromen met een lage as-smelt temperatuur, die voor directe vergassing niet geschikt zijn, toch via vergassing omgezet worden. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Opschaling naar pilot, dit maakt uitvoering gemakkelijker (met name verspreiding van pyrolyseolie). - Uitwerking van een hybride systeem met twee waterstofstromen uit 1) elektrolyse en 2) uit vergassing van pyrolyseolie met behulp van zuurstof uit de elektrolyse en gevolgd door zuivering met watergasshiftreactie. Pyrolyseolie en zuurstof vormen een buffer voor perioden met weinig zon/wind. 		
Partners	BTG Biomass Technology Group Technische Universiteit Delft		
Subsidiebedrag	€ 494.340	Jan 2020 – dec 2022	Eindrapport: nee

Titel	Hydrogen production from residual biomass (BIOMASS2H2)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Biomassa	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling, bouw en test van een gas-opwaardeersysteem gekoppeld aan een vergasser voor het lokaal produceren van groene waterstof uit biomassa. De omzetting verloopt in twee stappen: CO wordt met stoom omgezet naar H_2 en CO_2, waarna het gas met een drukwisselsysteem wordt gezuiverd tot waterstof. De reststroom wordt ingezet voor levering van proceswarmte. - De toepasbaarheid wordt gevalideerd op kleine schaal met een productiecapaciteit van $10 Nm^3/uur$ waterstof en waterstofzuiverheid 5.0, en een ontwerp op volle schaal wordt gemaakt. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerp op volle schaal van een modulair schaalbaar systeem dat synthegas afkomstig uit een biomassa-vergasser omzet naar waterstof. Het ontwerp is op kleinere schaal getest en gevalideerd. De reinigingsstap van de vergasser is aangepast om geschikt biosynthesegas te kunnen produceren. - Geprojecteerde kostprijs van groene waterstof van 5.5 €/kg voor het prototype systeem. 		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog door.		
Partners	Bio Energy Netherlands Hygear		
Subsidiebedrag	€ 446.064	Feb 2019 – jan 2021	Eindrapport: nee

Titel	Conversie van aardgas naar waterstof (BT_CH4_H2)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Blaauwe waterstof	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Haalbaarheidsonderzoek van het op korte termijn en op grote schaal overstappen op CO_2-vrij waterstof (uit geconverteerd aardgas) in de industrie. Hiertoe worden de technische, economische en institutionele haalbaarheid van het concept getoetst, met onder andere aandacht voor synergiën met de huidige industrie, de energie-infrastructuur en andere duurzame initiatieven. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Getoetste haalbaarheid van de conversie van aardgas naar waterstof in verschillende systeem-configuraties, in combinatie met pre-combustion CCS, om daarmee een volledige verduurzaming van de industrie te realiseren. - Identificatie van mogelijke vervolgprojecten voor verdere technische verkenning en demonstratie, om de kansen verder uit te werken en te overwinnen knelpunten met betrekking tot deze technologie aan te pakken, zoals Waterstofversneller 		
Vervolg	- Op de resultaten is voortgebouwd in ELEGANCY, H-vision en Waterstofversneller (zie fiches).		
Partners	Berenschot Energie Beheer Nederland Gasunie NOGEPa TNO		
Subsidiebedrag	€ 47.350	Jun 2017 – dec 2017	Eindrapport: ja

Titel	Groene Waterstofproductie door Continuous Catalytic Re-cracking (GWCC)		
Innovatieketen	Productie van waterstof	Blauw waterstof	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Bepalen of het technisch en economisch haalbaar is om een nieuw katalytisch proces te ontwikkelen, dat op een duurzame wijze waterstof kan produceren. - Bouw van een rudimentair prototype om de werkingsprincipes te onderzoeken en toetsen. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Oplossingsrichtingen voor een prototypeontwerp van het Continuous Catalytic Re-cracking (CCR)-proces waarmee waterstof geproduceerd wordt uit aardgas zonder CO₂-uitstoot en met een relatief laag energieverbruik. Het is onbekend of dit resultaat behaald is. 		
Vervolg	- Onbekend.		
Partners	Ch Energy Zernike Solution 2 Nature		
Subsidiebedrag	€ 49.998	Sep 2018 – mei 2019	Eindrapport: nee

Buffering, transport, distributie en (seizoens)-opslag voor een flexibel en voorzieningszeker energiesysteem

Titel	Large-Scale Energy Storage in Salt Caverns and Depleted Gas Fields		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Ondergrondse opslag	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Verbetering van inzicht in de rol die grootschalige ondergrondse energieopslagopties kunnen spelen door flexibiliteit te bieden aan het huidige en toekomstige energiesysteem. - Verminderen van technische, economische, maatschappelijke en regelgevende uitdagingen en risico's voor specifieke grootschalige ondergrondse energieopslagtechnologieën, met name waterstof- en perslucht-energieopslag in zoutcavernes en waterstofopslag in lege gasvelden. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Techno-economische haalbaarheid van de geselecteerde opslagopties is in kaart gebracht. Over waterstofopslag in zoutcavernes is al veel bekend en worden ook testen voorbereid. Voor lege gasvelden zijn nog vragen over interactie van waterstof met gesteente en water in de ondergrond en effecten bij snel laden/ontladen. Kennis verkregen op basis van aardgasopslag volstaat niet. - Wet- en regelgeving, juridisch kader en sociale inbedding zijn verkend. Risicoanalyse en aanbevelingen zijn gedaan voor een aanpak om risico's te beperken. Belangrijkste risico voor realisatie is maatschappelijk draagvlak voor ondergrondse energieopslag. - Met energiesysteemmodellen is de toekomstige rol en behoefte aan flexibiliteit in het energiesysteem in verschillende scenario's beoordeeld, voor waterstof en meerdere alternatieven. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Testen van opslag van waterstof in zoutcavernes zijn al voorzien (volgend fiche). Voor gasvelden zijn eerst laboratoriumproeven nodig om geochemische en biochemische reacties te verkennen. - Kostenoptimalisatie-modelstudies voor het Europees energiesysteem met inbreng van een waterstofmarkt en met interactie tussen alternatieve flexibiliteitsopties naast waterstofopslag. - Onderzoek naar rol van opslag voor leveringszekerheid. Waterstofopslag is tot nu toe vooral bekeken vanuit flexibiliteit, maar aardgasopslag dient nu voor seizoensbalans en strategische reserve. 		
Partners	AKZO Nobel Energie Beheer Nederland Gasunie NAM TNO		
Subsidiebedrag	€ 300.000	Apr 2019 – aug 2020	Eindrapport: nee

Titel	Testen van opslag waterstof in zoutcaverne ter flexibilisering duurzaam energiesysteem		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Ondergrondse opslag	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Aantonen dat ondergrondse opslag van waterstof in zoutcavernes veilig is. Internationaal is er wel ervaring mee maar niet in Nederland. De met dit project te verwerven kennis en inzichten zijn de noodzakelijke laatste stap om grootschalige waterstofopslag in ondergrondse zoutruimtes technisch te kunnen realiseren, met draagvlak bij alle stakeholders en op efficiënte manier. - Eerste stap is het testen van boorgatafdichtingen en materialen daarvoor. Volgende stap is het testen en valideren van een installatie onder reële omstandigheden om waterstof te injecteren voor opslag in zoutcavernes, en uit te zenden. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Het pilotproject moet de technische integriteit, geologische dichtheid, stabiliteit en veiligheid van een ondergronds waterstofopslagsysteem valideren. - Op basis van dit pilotproject zal Energystock samen met het bevoegd gezag een definitief ontwerp vaststellen voor toekomstige commerciële installaties. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - In 2026 is een eerste caverne gereed voor ondergrondse opslag van waterstof. Per caverne ontstaat een opslagcapaciteit van circa 1 miljoen m³ geometrisch volume. Dit volume gevuld met waterstofgas onder hoge druk staat gelijk aan 250 à 300 GWh aan energie. 		
Partners	Energystock TNO		
Subsidiebedrag	€ 382.639	Aug 2019 – sep 2020 (uitstel)	Eindrapport: nee

Titel	High Pressure integrated storage, transport & distribution Solution (HYGRO HPS)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Hogedruktransportmodule	Concept
Doelstelling	- Zoeken en optimaliseren van een geïntegreerde en gestandaardiseerde oplossing voor transport, opslag en distributie-oplossing om de kostprijs per kg waterstof van windturbine naar verschillende eindgebruikers zo laag mogelijk te maken. Daarbij dient om kosten te besparen de waterstof bij voorkeur niet meer overgeheveld te worden van een tank naar een andere tank.		
Resultaat	- Selectie van een standaardeenheid uitwisselbaar tanksysteem, bestaand uit een bundel van op de markt beschikbare composiet IV 500 bar tanks die tezamen een blok ("HPS") vormen die met een vorkheftruck te verplaatsen is. Met een dispenser eraan kan een voertuig tanken. - Simulaties laten zien dat een standaard hogedruk opslageenheid 4 dagen op bijna -40° Celsius kan worden gehouden, hetgeen nodig is om een 700-bar tank met de internationaal vastgestelde veiligheidsnorm vanuit deze HPS te kunnen afvullen.		
Vervolg	- Het gekozen HPS-concept zal worden toegepast in het DKTI-project Duwaal. Hierbij worden ook de verkregen inzichten toegepast over de temperatuur-ontwikkeling bij waterstofexpansie in relatie tot de omvang van een TYPE IV composiettank. Deze kennis is relevant voor de tanksnelheid en/of aangeboden waterstoftemperatuur, met name bij het tanken van zware voertuigen.		
Partners	Hygro Composite Agency E-Trucks Europe GP Groot Brandstoffen en Oliehandel Nederlands Normalisatie-Instituut (NEN) Schipco Consultancy Toyota Material Handling		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Mei 2017 – mrt 2018	Eindrapport: ja

Titel	Systeemstudie voor P2G routes		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Bijmengen in aardgasnet	Concept
Doelstelling	- Onderzoek met als hoofdvraag: onder welke omstandigheden en in welke situaties spelen Power-to-Gas-(P2G)-toepassingen een rol in de transitie naar een duurzamere energiehuishouding, daarbij rekening houdend met de complexiteit van het energiesysteem? - Waar kan de P2G-optie vanuit systeemperspectief het meest kostenefficiënt worden ingezet: via een vergassingsroute in bijv. de industrie, of via de elektrificatieroute met synthese van waterstof en CO ₂ ?		
Resultaat	- P2G speelt een robuuste rol in het toekomstige Nederlandse energiesysteem als onderdeel van een technologiemix die vergaande reductie van CO ₂ -emissies mogelijk maakt via vergaande implementatie van wind- en zonne-energie. - Als het alleen gaat om het voorzien in flexibiliteit die nodig is als gevolg van de inpassing van variabele duurzame energiebronnen als wind en zon, zijn er meerdere alternatieven die op basis van de laagste maatschappelijke kosten gunstiger zijn dan P2G. - Voorzien werd dat P2G in een toekomstig Nederlands energiesysteem vooral wordt ingezet voor de productie en gebruik van waterstof (power-to-hydrogen), en in mindere mate voor de verdere omzetting naar en gebruik van synthetisch methaan (power-to-methane).		
Vervolg	- Deze studie heeft bijgedragen aan verhoogde belangstelling voor waterstof als power-to-gas optie.		
Partners	ECN Alliander Energie Beheer Nederland Enexis KEMA Gasunie Rotterdam Climate Initiative Energy Valley TenneT Vattenfall		
Subsidiebedrag	€ 281.472	Nov 2012 – mrt 2014	Eindrapport: ja

Titel	Power2Gas and the power of methane		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Bijmengen in aardgasnet	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	- Aantonen dat het mogelijk is om overschotten aan elektriciteit om te zetten in waterstof en via methanisering met CO ₂ op te werken naar methaan, en dit methaan in distributienetten in te voeden. De methanisering is nodig omdat H ₂ -bijmenging in het aardgasnet begrensd is.		
Resultaat	- Met zonnepanelen opgewekte elektriciteit is omgezet in waterstof, dat met CO ₂ is gemethaniseerd tot synthetisch gas van aardgaskwaliteit. De apparatuur is ingebouwd in 2 zeecontainers. Het gas is toegepast in een gasgestookte ketel van een nabijgelegen appartementencomplex in Rozenburg. - De installatie kon binnen ca. 40 minuten worden opgeschakeld vanuit stilstand naar volle capaciteit (4 min. voor het opstarten van de elektrolyser, 35 min. voor de methanisatie). Omdat een verouderde elektrolyser werd gebruikt was het energetisch rendement van het hele proces 35% (47% elektrolyser, 73% methanisatie). Verwachte toekomstige rendementen zijn 75% elektrolyser en 90% methanisatie. - Het synthetisch aardgas voldeed aan de specificaties die gelden voor invoeding op het Nederlandse gasnet. Het rendement kan echter omhoog als er meer waterstof in het methaan mag zitten. De		

	omzetting bleek veilig en betrouwbaar en de eindgebruikers van het gas, de huurders van de woningbouwcorporatie, ondervonden geen hinder.		
Vervolg	- Voortzetting van testlocatie. De locatie wordt ook gebruikt voor veldproeven van andere partijen, waaronder Hyet met hun project PurifHy		
Partners	KEMA Stedin		
Subsidiebedrag	€ 375.759	Okt 2012 – jun 2015	Eindrapport: ja

Titel	Power2Biomethane – Voor een stabiel elektriciteitsnetwerk en opslag van duurzame energie		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Bijmengen in aardgasnet	Concept
Doelstelling	- Onderzoeken of energieopslag van tijdelijke elektriciteitsoverschotten in methaan economisch en thermodynamisch zinnig is. Door waterstof uit elektrolyse van water te mengen met syngas uit een biomassavergasser kan de methaniseringsinstallatie tijdelijk meer methaan produceren.		
Resultaat	- Elektrolyse zou goed ingepast kunnen worden in het technologisch ontwerp van een biomassavergasser. Huidige elektriciteitsprijzen zijn echter te hoog in vergelijking met de biomassaprijzen om vervanging van brandstof rendabel te maken. - In de toekomst zal, met name door toenemende capaciteit van PV-installaties op het net, de prijs van elektriciteit steeds vaker in de richting van 0 €/MWh bewegen maar in het komend decennium komt dit nog weinig voor. Opslag van overschotten duurzame elektriciteit in groen gas, is daarom de komende jaren niet economisch haalbaar zonder subsidie.		
Vervolg	- Niet bekend.		
Partners	Cornelissen Consulting Services Green Projects Invest		
Subsidiebedrag	€ 49.700	Jan 2016 – dec 2016	Eindrapport: ja

Titel	PurifHy		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Bijmengen in aardgasnet	O&O (TRL 4)
Doelstelling	- Beoordeling in hoeverre HyET's elektrochemische zuiveringstechnologie (EHC) geschikt is voor het verwijderen van waterstof uit groen gas, zodat dit voldoet aan de vereisten voor gasnetvoeding. - Ontwikkeling van een mobiel testapparaat voor de elektrochemische scheiding. Hiermee is in het lab proefgedraaid met bioSNG aangeleverd in gasflessen, vervolgens is het geïntegreerd in de bioSNG-installatie van ECN, en daarna is het toegepast bij de Power2Gas-installatie van Stedin in Rozenburg.		
Resultaat	- De EHC technologie blijkt in staat om relatief hoge waterstofconcentraties uit het gas te verwijderen. Hierdoor kan het methaniseringsproces worden vereenvoudigd en de kosten significant omlaag. - Gekozen is om een zo hoog mogelijke recovery rate te behalen om de concentratie in het bioSNG zo laag mogelijk te krijgen. Het kost echter relatief veel energie om de laatste hoeveelheid waterstof uit het aardgas te halen. Dit aspect moet economisch afgewogen worden tegen de prijs van waterstof. - EHC lijkt ook potentie te hebben voor het op specificatie brengen van zg. 'off spec' gas in een pijpleiding. Hierdoor kan de entry spec (deels) worden verruimd, door een dergelijk systeem op een strategische plaats in het net toe te passen voordat het gas de afnemers bereikt.		
Vervolg	- Europees project HyGrids met als doel om 10% waterstof bij te mengen in aardgas (Hygear) en er weer uit halen met palladiummembraan (TU/e) en EHC (HyET). Demo op testterrein van Hygear in 2021 met een 350x grotere volumestroom dan PurifHy. In Brussel is na aanvankelijke skepsis voor dit project inmiddels interesse om het aardgasnet te gebruiken voor waterstofdistributie. - Er zijn ook commerciële projecten uit PurifHy voortgekomen, een op grotere schaal dan HyGrids.		
Partners	ECN Hyet Hydrogen KEMA Stedin		
Subsidiebedrag	€ 250.000	Jan 2014 – mei 2016	Eindrapport: ja

Titel	Sensor technologie voor waterstof in het gasnetwerk (SENSH2GRID)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Bijmengen in aardgasnet	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Ontwikkeling van sensortechnologie om op een kosteneffectieve manier en voldoende nauwkeurigheid de samenstelling van aardgas/waterstof mengsels te meten. Integratie in standaard flowmeters. - Om op voldoende punten waterstof te kunnen bijmengen en eenzelfde niveau van leveringszekerheid en veiligheid te bereiken als met aardgas, is het nodig om op veel meetlocaties de kwaliteit van het gas te meten; de bestaande technologie met gaschromatografie is hiervoor te duur.		
Resultaat (beoogd)	- Prototype gascompositiesensor die geschikt is voor het meten van de samenstelling van aardgas/waterstof mengsels met concentraties waterstof tussen 0 en 90 vol%.		

	- Labtesten op selectiviteit, nauwkeurigheid, responstijd en temperatuur- en drukgevoeligheid. Bewezen potentie voor het hele werkingsgebied tot 100% waterstof. Vraag is nu waar meer markt zit: meten van aandeel waterstof in aardgas, of van verontreinigingen in puur waterstof. - Veldtest uitgevoerd in Engeland op een injectiepunt van waterstof in het aardgasnet.		
Vervolg	- Technische werkzaamheid is voldoende bewezen, in vervolgonderzoek is aandacht nodig voor explosieveiligheid, communicatieprotocollen, uitlezen op afstand, en energiegebruik van de meters.		
Partners	Bronkhorst High-Tech Enexis Gasunie Continuon TNO		
Subsidiebedrag	€ 224.877	Mrt 2019 – dec 2020	Eindrapport: nee

Titel	Haalbaarheid van kleinschalige energieopslag van duurzame elektriciteit met waterstof (Archypel)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Opslag in lokaal energienet	Concept
Doelstelling	- Technische en economische haalbaarheidsstudie naar een 100% duurzame autarkische woning zonder netaansluitingen, waarbij een huis alle energie op eigen terrein opwekt en opslaat in waterstof en batterijen. Het energiesysteem is opgebouwd uit de componenten elektrolyser, waterstofcompressor, brandstofcel, warmtepomp, waterstofopslagtank(s), batterij, regelsysteem en AC/DC converter.		
Resultaat	- Het Archypel-systeem is technisch mogelijk, maar de business case is niet gunstig. De benodigde ruimte voor alle zonnepanelen en windturbines is voor de meeste woningen te groot. Voor de winterperiode is een waterstofopslagtank nodig van ~10 m ³ . Ook zijn de kosten nog te hoog. - Er zijn betere kansen voor een Archypel systeem dat verbonden is met het elektriciteitsnet, of aaneengeschakelde microgrids, waardoor het systeem kleiner en goedkoper kan worden (lagere investeringskosten) en gebruik kan maken van de infrastructuur in Nederland.		
Vervolg	- Voor zover bekend geen vervolg. Naar verluidt hebben startups het concept opgepakt.		
Partners	Stichting ISPT Alliander HAN Hyet Hydron Energy MTSA Nedstack Process Design Center		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Sep 2016 – jul 2017	Eindrapport: ja

Titel	Verkennde studie naar de stationaire toepassing van waterstof op wijkniveau (StaTWaGo)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Opslag in lokaal energienet	Concept
Doelstelling	- Verkennde studie naar de technische en commerciële geschiktheid van waterstof voor seizoenbuffering op wijkniveau (toegepast op een gebouwencluster in Arnhem met museum, scholen en kantoren) waarbij gebruik wordt gemaakt van lokaal opgewekte duurzame energie uit zon- en windenergie zodat dit cluster gedurende het gehele jaar in de eigen energievraag kan voorzien.		
Resultaat	- Modelleren en doorrekenen van vijf scenario's met bijbehorende business cases. In het model zijn 8 componenten gedefinieerd: brandstofcel, batterijopslag, stroomconverter, elektriciteitsnet, elektrolyser, waterstoftank en PV panelen. De energiehuishouding van het Museum Arnhem stond centraal, de gebouwen in het cluster leveren met hun PV-panelen de benodigde energie. - Het is mogelijk om voor het museum een volledige off-grid situatie te creëren. De gekozen optie is technisch haalbaar maar leidt op dit moment tot een flinke kostenverhoging van de elektriciteit. Toekomstige kostendaling van componenten verbetert het kostenplaatje.		
Vervolg	- Standaardisering is nodig om kosten te drukken, daarom verschuiving naar de woningvoorraad, inspelend op "van gas af" doelstellingen van coöperaties. Integrale aanpak ontwikkelen met meerdere technieken waaronder waterstof. Opslag is cruciaal, dat kan op niveau van meerdere woningen.		
Partners	Alliander GFSC Consultants and Engineers HAN Synerco Communicatie		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Jun 2018 – mrt 2019	Eindrapport: ja

Titel	Flexibele Opslag met lokale energie-uitwisseling (FODEO)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Opslag in lokaal energienet	<i>Wat waterstof betreft</i> Concept
Doelstelling	- Ontwikkeling van een aanpak voor het organiseren, financieren, technische realiseren en exploiteren van een lokale energie-infrastructuur voor zelfvoorzienendheid op wijkniveau. - Toepassing van Smart Energy Management op woningniveau en van een Lokaal Energie Community System op wijkniveau, dat zorgt voor aggregatie, aansturing van opslagsystemen en aansluiting op energiemarkten. - Ontwerp van een "open opslagsysteem" met behulp van waterstof voor conversie van opgewekte zonenergie, waarbij ook restwarmte benut wordt.		
Resultaat (beoogd)	- Pilotproject waarin drie clusters van 7-10 woningen met het verhandelingsmechanisme via Lokaal Energie Community Systeem (LECS) kunnen proefdraaien.		

	- Optimalisatie van installatiecomponenten van een testinstallatie waterstofconversie/brandstofcel op basis van werkelijke data van de pilot. - Business en marktmodel, juridische modellen, feedback van gebruikerservaringen		
Vervolg	Huygen Ingenieurs & Adviseurs ABB Ideate VOF J-OB - Joining Objectives Nedstack Poincelot Spectral Enterprise Villa Ville sustainable developments		
Subsidiebedrag	€ 458.785	Mrt 2020 – feb 2022	Eindrapport: nee

Titel	FlexNode: Onderzoek naar mogelijke toepassingen voor een decentrale reversibele brandstofcel		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Opslag in lokaal energienet	O&O (TRL 4)
Doelstelling	- Ontwikkelen en beproeven op laboratoriumschaal van een reversibele brandstofcel (RBC) die waterstof maakt uit elektrolyse, deze buffert en later weer omzet in elektriciteit en warmte. - Ontwikkelen van business modellen met behulp van model-based forecasting voor de inzet van RBC's op knooppunten van de infrastructuur voor elektrische energieopslag en handelen met onbalans, met eventuele benutting van restwarmte voor lokale warmtenetten.		
Resultaat	- Testopstelling van een uit componenten op basis van PEM-technologie samengestelde RBC waarmee aansturing en inpassing in het energiesysteem onderzocht kon worden. Hierbij kwamen systeembetrouwbaarheid en veiligheid als aandachtspunten naar voren. - Uit onderzoek naar de marktkansen blijkt dat de RBC het voor korte-termijnopslag aflegt tegen netverzwaring of batterijen en voor lange-termijnopslag tegen grootschalige waterstof toepassingen. - Zwakke punten voor de business case van de RBC zijn het conversierendement en het beperkte aantal draaiuren dat het systeem kan maken in de toepassing om overschotten hernieuwbare energie op te slaan. Ook is de waterstofopslag een duur onderdeel gezien het lage aantal laad-ontlaad-cycli.		
Vervolg	- Er is geen marktperspectief voor RBC-toepassingen. Het lijkt logischer om de elektrolyser te plaatsen bij een duurzame bron en de brandstofcel juist te plaatsen bij een eindgebruiker of afnamepunt.		
Partners	Alliander Energy Matters Gasunie Hydron Energy Jules Energy KEMA Hanzehogeschool		
Subsidiebedrag	€ 368.833	Feb 2016 – jul 2018	Eindrapport: ja

Titel	Systeemontwerp Power to X (SPX)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Conversie opwekoverschot	Demonstratie (TRL 7)
Doelstelling	- Ontwikkelen van een full-scale demonstratie van het Power to X systeem, waarbij lokaal opgewekte hernieuwbare energie wordt benut in de vorm van warmte, waterstof en/of elektriciteit. - Dit behelst het combineren van het elektriciteitsnet, waterstofsysteem, warmtenet, technische en niet-technische systeemintegratie, en marktontwikkeling voor de Power to X-producten.		
Resultaat	- Blauwdruk voor de realisatie van een full-scale Power to X demonstratie op de waterzuivering in Nieuwegein, waar een 9,3 MWp PV-installatie gebouwd wordt. Gekozen wordt voor 2 MW PEM-elektrolyse met een jaarproductie van 250 ton waterstof tegen € 5/kg kostprijs. Hiertoe moet de elektrolyser 7.000 uur per jaar draaien en is 14,7 GWh/jaar aan stroom nodig. Met de zonneparken en aftrek van stroom voor de pompen van de waterzuivering en een warmtepomp blijft er 2,2 GWh/jaar over voor de elektrolyser. De rest van de stroom (12,5 GWh/jaar) zal voorlopig uit het net moeten komen. Indien er drie 3.2 MW windturbines worden toegevoegd, is het mogelijk om ruim 8 GWh/jaar aan stroom direct uit duurzame bronnen te halen, en is nog ca 6,7 GWh/jaar stroom uit het net nodig. - Rekenmodel Power-to-X dat voor verschillende scenario's een energiebalans per uur kan opstellen en economische berekeningen kan ondersteunen.		
Vervolg	- Vervolgprojecten H-Flex en DKTI-project 'Groen op weg'. Warmtelevering is in de uitwerking van bouwplannen voor de wijk niet tot stand gekomen, waardoor men zich geheel richt op waterstof. - Oprichting van firma Hysolar voor lokale productie van groene waterstof ten behoeve van mobiliteit, met name zwaar vervoer.		
Partners	Allied Waters Aveco de Bondt KWR Water Pitpoint.H2 TU Delft Waternet		
Subsidiebedrag	€ 701.999	Sep 2017 – dec 2019	Eindrapport: ja

Titel	Groene waterstof in een flexibel elektriciteitssysteem (H-Flex)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Conversie opwekoverschot	Demonstratie (TRL 7)
Doelstelling	- De volgende stap realiseren in het Power to X systeem: bijdragen aan flexibilisering van het elektriciteitssysteem door: het omzetten van duurzame energie uit een zonnepark in groene waterstof; onderzoek naar integratie en werking van een elektrolyser in een flexibel elektriciteits-		

	systeem; en technieken te ontwikkelen om de efficiency van de elektrolyser te verhogen en/of zoveel mogelijk lokale groene stroom te benutten.		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Bouw van een flexibel elektriciteitssysteem met een 2MW elektrolyser-installatie met compressie en opslag van waterstof. Hiermee wordt jaarlijks 250 ton groene waterstof geproduceerd. - Toepassing van nieuwe technische oplossingen om de efficiency en flexibiliteit van het systeem te vergroten: hergebruik van warmte die door de elektrolyser wordt geproduceerd; een extra energie-opslagsysteem om het net te ontlasten en de elektrolyser zo veel mogelijk op lokale stroom te laten werken; en slimme aansturing en integratie met het Power-to-X model. - Bijdrage aan flexibilisering: 430 (bij alleen zon)-15.220 MWh (met 3 windturbines) extra gebruik duurzame energie door flexibiliteit van de elektrolyser.. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Bedrijven van de installaties en afzet naar aan te schaffen waterstofvoertuigen. - Herhalingsprojecten op andere plekken met lokale opwekking van hernieuwbare energie (zon, wind). 		
Partners	Hysolar		
Subsidiebedrag	€ 446.000	Mei 2020 – apr 2024	Eindrapport: nee

Titel	Haalbaarheidsstudie efficiënte lokale opslag van lokaal opgewekte groene energie (De Peelbatterij)		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Netbalancering	Concept
Doelstelling	- Onderzoek naar opslag van overschotten van door het 20 MW Windpark Egchelse Heide in Peel en Maas opgewekte elektriciteit in batterijen of in waterstof of ammoniak, de mogelijkheid om deze energie te verhandelen en/of te gebruiken voor balancering van het elektriciteitsnet.		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - In onderzochte cases voor lokale energieopslag bij het windpark is sprake van een forse onrendabele top. Opslag bij lage en verkoop bij hoge stroomprijzen levert te weinig inkomsten om de conversieverliezen te compenseren. Inkomsten zijn wel mogelijk door het leveren van netwerkdiensten. - De meest interessante case is de toepassing van een battolyzer, een nikkelijzerbatterij die elektriciteit kan opslaan en leveren zoals een batterij. Als de batterij vol is, gaat de installatie verder met elektrolyse van water. Het meest aantrekkelijke business model, hoewel niet rendabel, is het aanbieden van netdiensten (frequentieherstel en balanshandhaving) en noodvermogendiensten. Als er een afnemer is voor de waterstof verbetert dit de case. 		
Vervolg	- De coöperatie wil investeren in een pilot-battolyzerinstallatie om netdiensten en waterstof te leveren. De battolyzer met een capaciteit van 1 MW en uit te breiden tot 20 MW wordt aangesloten bij het nabijgelegen hoogspanningsstation. Er wordt een DEI-aanvraag voorbereid.		
Partners	TNO Coöperatie Peel Energie E2Anders		
Subsidiebedrag	€ 34.898	Dec 2018 – mei 2019	Eindrapport: ja

Titel	Cyrus Smith		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Netbalancering	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling van een installatie die drie functionaliteiten combineert: 1) spanningondersteuning van het lokale laag- en middenspanningnet, dat door de invoeding van duurzame elektriciteit buiten de daarvoor geldende spanningsnormen komt; 2) lokale balancering van opgewekte duurzame elektriciteit en vraag naar elektriciteit, en 3) lokaal beschikbaar maken van waterstof voor bijv. heftrucks, grondverzetmachines, tractoren en/of machines voor de groenvoorziening. - Technische haalbaarheid en de economische waarde van het netinteractie deel van de beschreven installatie bepalen en valideren. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Technische definitie en ontwerp van het netinteractiedeel van de installatie op componentniveau om de technische haalbaarheid van netondersteuningdiensten (spanningstabilisatie) te kunnen bepalen. - Bouw van een 15kW mobiele simulator, met essentiële onderdelen en een load. Deze is op locaties getest en gedemonstreerd. - Bepaling van de economische waarde van een mobiele installatie die netondersteuning biedt en groene waterstof levert, met de waarde van de netondersteuningsdiensten als focus. Er is een business case ontwikkeld voor een installatie van 15 kW voor lokale situaties. 		
Vervolg	- Vervolgproject Cyrus Smith 2.0		
Partners	H2Consultancy Hymatters Hogeschool van Arnhem en Nijmegen		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Dec 2018 – nov 2019	Eindrapport: ja

Titel	Cyrus Smith 2.0		
Innovatieketen	Buffering, distributie, opslag	Netbalancering	O&O (TRL 4)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en demonstratie van een installatie die het lokale laagspanningsnet ondersteunt door op de gewenste plekken en momenten elektriciteit af te nemen en om te zetten in waterstof. - Een haalbaarheidsonderzoek (NEFUSTA, 2018) gaf voldoende informatie en zekerheid over de technische, veiligheidstechnische en economische haalbaarheid, en dankzij het technisch validatieproject (Cyrus Smith "1.0") van netinteractie zijn basisregelstrategieën met bijbehorende netinterface beschikbaar gekomen. Dit vervolgpriject dient proof-of-principle te leveren. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Project 2.0 bouwt een demonstrator met 15 kW elektrolyser, droger, compressor, dispenser op een aanhangwagen. Verwachte productie is zo'n 6 kg/dag, geschikt voor lokale vraag zoals heftrucks. - Inzet op locaties om de combinatie van netondersteuning en waterstofproductie te demonstreren op beperkte schaal. Dit levert de inzichten die nodig zijn om netondersteuning op een grotere schaal haalbaar te maken. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Schaalbaar maken/opschaling van kW en optimalisering van integratie van componenten, verbeteren van controleregeling. Marktbehoefte uitzoeken om de juiste afmetingen te leveren. 		
Partners	H2Consultancy Hymatters Hogeschool van Arnhem en Nijmegen		
Subsidiebedrag	€ 291.198	Apr 2020 – sep 2021	Eindrapport: nee

Decarbonisatie van mobiliteit en transport

Titel	Waterstoftankinstallatie met elektrochemische compressie (WEC)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Tankstations	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling van een proof-of-concept waterstoftankinstallatie met een elektrochemische compressor en het testen ervan in de praktijk in het 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. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerp, bouw en test van een tankstation met elektrochemische compressie. Het systeem is generiek en geschikt om verschillende waterstofbronnen te kunnen verwerken (pijplijn, trailer, reformer of elektrolyser). Het systeem is onder normale bedrijfsomstandigheden toegepast. - Eerste stappen voor serieproductie van stacks met parallelle membranen voor de compressor. - Het testen van de modules heeft laten zien dat een druk van 400 bar uit de elektrochemische compressor stabiel geleverd kan worden bij een stroomsterkte van 100A. Onder deze condities kan 123 kg/dag worden gecomprimeerd. De stroomsterkte kan tijdelijk verhoogd worden op een stabiel punt om een groter debiet waterstof te kunnen comprimeren. - De berekende, verwachte kosten van waterstofcompressie door middel van elektrochemische compressoren zijn gunstiger dan die van huidige mechanische compressoren. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Naast de nodige duurtesten zijn er kansen voor verdere integratie van systemen van Hygear en HyET. - De droging van waterstof is een cruciaal en complex onderdeel voor de tankzuil bij grotere belastingen. Hiervoor is een nieuw ontwerp nodig voor de grootschalige uitrol van deze technologie. Dit is onderwerp van het TSE-vervolgpriject High pressure, high purity, dry hydrogen. 		
Partners	Hyet Hydrogen Hygear		
Subsidiebedrag	€ 817.405	Mei 2018 – mei 2019	Eindrapport: ja

Titel	Hydrogen dispensing – custody transfer (Ijkwaardige H ₂ -aflevering)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Tankstations	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Bouw van een ijkwaardige, her-kalibreerbare meetopstelling voor het afleveren van waterstof uit tankwagens (gas en cryogeen) en opstellen van een door het ijkwezen gevalideerde ijkprocedure. Dit binnen de operationele omstandigheden van waterstoftransfer (van oplegger naar grootgebruiker/tankstation). De meetopstelling en procedure zijn noodzakelijk om een kostenefficiënte en doelmatige oplossing te hebben bij het bevoorraden van o.a. tankstations. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Een door marktpartijen gedragen systeemoplossing voor ijkwaardige transfer van waterstof, zowel gasvormig als vloeibaar. Dit systeem is de basis voor wetgeving m.b.t. ijkwaardige meetinrichtingen voor waterstof (MID). Certificering is verleend in november 2019. 		

	- Voor de deelnemers is het resultaat een leidende positie in deze nog te ontwikkelen markt. Na afloop van het project is het product uitgeleverd aan de eerste klant, en inmiddels rijdt de helft van de 400 waterstoftankwagens in Europa met het systeem; de rest volgt waarschijnlijk.		
Vervolg	- Spin-offprojecten voor toepassingen zoals het her-kalibreren van waterstoftankstations en ontwikkelen van een verbeterd ontwerp van tankstations.		
Partners	Fluidwell Its Trigas		
Subsidiebedrag	€ 174.816	Jul 2018 – dec 2018	Eindrapport: ja

Titel	Fast fill dispenser met vortex koeling (Vortex-Filler)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Tankstations	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling, bouw en test van een low-cost fast fill dispenser, bedoeld voor het vullen van brandstofcel-aangedreven heftrucks in kleine tot middelgrote distributiecentra. - Ontwerp gebaseerd op expansiekoeling met een HyGear Ranque-Hilsch vortex koeler, samengebouwd met de compressor en buffers tot een low-cost dispensersysteem. Tests voor het vullen van brandstofcelvoertuigen op het waterstoftankstation in Arnhem. - Technische doelen voor het ontwerp van de installatie zijn: investeringskosten verlagen met 25% (en in combinatie met de elektrochemische compressor 40% lager); stabiele levering op 350 bar; hoge tanksnelheden van 8.000 Nm³/h halen op 20 graden Celsius; conform klanteisen en heersende veiligheidsnormen; compacte installatie die weinig ruimte op een logistiek centrum in neemt. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwerp, bouw en praktijktest van een low-cost fast-fill waterstofdispenser specifiek voor de interne logistiek volgens de richtlijnen in relatie tot veiligheidstechnische aspecten van waterstoftanken voor wegvoertuigen (PGS 35). Ontwerp is afgerond, de bouwfase start nu. - Na afloop is een compleet samengebouwd transporteerbaar dispensing- en opslagsysteem beschikbaar dat kan worden ingezet voor toekomstige demonstratieprojecten (in distributiecentra, maar eventueel ook voor personenauto's). 		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog geruime tijd door.		
Partners	Hygear Rijngas		
Subsidiebedrag	€ 412.233	Sep 2019 – mrt 2022	Eindrapport: nee

Titel	High pressure, high purity, dry hydrogen		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Tankstations	O&O (TRL 4)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling van nieuwe droogtechnologie en moleculaire modellen voor verwerking van gecomprimeerde H₂ tot 875 bar. Tijdens elektrochemische waterstofcompressie is water nodig voor optimale prestaties, waardoor de waterstof onder hoge druk wordt verzadigd met water. "Nat waterstof" was voor eerdere toepassingen geen bezwaar maar hoogzuivere, droge waterstof is vereist voor tankstations en een optimale werking van brandstofcellen (<5 ppm water). - Verbeteren van het fysisch-chemische begrip van de thermodynamica, het massatransport en de kinetische verschijnselen die plaatsvinden op/in de membraan-elektrode-assemblage (MEA) tijdens compressie van waterstof tot hoge drukken (875 bar) om de waterstofproductie te optimaliseren. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Opstellen en valideren van rekenmodellen met accurate thermofysische eigenschappen van waterstof met water bij zeer hoge drukken, omdat deze nog niet bestaan. - Inrichten van een proefopstelling bij TU Delft. Vooralsnog worden twee droogstappen voorzien: afkoelen tot 5°C en dan water afvoeren, en daarna een nog te bepalen 2e stap, en dit toegepast voor de standaard stack die 10 kg/dag verwerkt, en voor een compressorstation dat 120 kg/dag verwerkt. - Parallel nadenken over opschalen. 		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog geruime tijd. Er is interesse van klanten uit de tankstationwereld.		
Partners	Hyet Hydrogen Technische Universiteit Delft Tielo-Tech		
Subsidiebedrag	€ 453.284	Okt 2019 – okt 2021	Eindrapport: nee

Titel	Alternatieve Brandstoffen voor de Scheepvaart (VABS)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Scheepvaart	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Onderzoeken in welke situatie waterstof en/of methanol voor de scheepvaart kan worden ingezet vanuit het perspectief van operationele inzet, techniek, veiligheid en rentabiliteit. - Bepalen welke configuraties (op termijn) economisch aantrekkelijk zijn voor welke vaartuigen en welke bunkerinstallaties aan de wal nodig zijn. 		

	- Bepalen welke ontwikkeling van architectuur, componenten en deelsystemen nodig is om kosten en risico's te verlagen en te voldoen aan de regelgeving voor brandstoffen met een laag vlampunt.		
Resultaat	- Project is door omstandigheden gewijzigd, niet alle onderdelen zijn uitgevoerd. - Vastgesteld is dat voor de zeevaart methanol een beter alternatief is dan waterstof vanwege de hogere energiedichtheid en gemakkelijkere handling (geen hoge druk of cryogeen). Voor methanol zijn al beproefde motoren (gebruikt op methanoltankers).		
Vervolg	- Gedurende het project is de basis gelegd voor het TKI Maritiem project Green Maritime Methanol. (http://greenmaritimemethanol.nl) Hierin werken 30 partijen uit de scheepvaart samen om de toepasbaarheid van methanol te onderzoeken. Er vinden proefstandtesten plaats met twee motortypes en er worden basisontwerpen gemaakt voor meerdere scheepstypen.		
Partners	Koers & Vaart B.V. PitPoint.LNG		
Subsidiebedrag	€ 74.304	Sep 2018 – dec 2019	Eindrapport: nee

Titel	H2 Power Module voor de binnenvaart		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Scheepvaart	Concept
Doelstelling	- Vaststellen van kansrijke opties, voorwaarden, vragen en doelen voor nader onderzoek en ontwikkeling van een verwisselbare H2 Power Module op een binnenvaartschip, dat ingezet kan worden voor containertransport op het traject Rotterdam/Terneuzen en Parijs. - Aspecten zijn: verbeteren van performance en verminderen van kosten voor opslag van waterstof; tankinfrastructuur; veiligheid op schip, vaarwater en omgeving; aanpassingen in scheepsontwerp voor integratie van H2 Power Module; wet- en regelgeving; business case binnenvaart.		
Resultaat	- De zwakte van het concept ligt in de huidige hoge waterstofprijs vergeleken met andere (bio)-brandstoffen. Ook zijn de opslagtanks zwaar ten opzichte van de vervoerd hoeveelheid waterstof, en is de infrastructuur voor waterstof voor de binnenvaart niet ontwikkeld. De H2 Power Module komt in de plaats van een ladingcontainer en derft inkomsten, dit tikt juist bij kleine containerschepen door. - De kansen liggen op het vlak van uitwisselbaarheid. Het leveren van een energie-opwekkende installatie zonder investering van de schipper/eigenaar, via het pay-per-use/power-on-demand principe, is een interessante optie om de kleine binnenvaart te verduurzamen.		
Vervolg	- DKTI-project Energie op maat: ontwikkeling van een energieleverende container voor gebruik aan boord van binnenvaartschepen. Door toepassing van een microturbine kan de unit voor meerdere brandstoffen geschikt worden gemaakt.		
Partners	Mobiele Stroom Aqua Navis Conoship International		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Okt 2018 – Apr 2019	Eindrapport: ja

Titel	'Marinisering' en integratie van waterstoftechniek voor binnenvaart en short-sea (FELMAR)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Scheepvaart	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Ontwikkelen en 'mariniseren' van een op waterstof-brandstofcel gebaseerde voortstuwing-configuratie voor de regionale scheepvaart geschikt voor klasse-typegoedkeuring. - Certificering-klaar maken van systeem(componenten) voor toepassing in een maritieme omgeving. - Komen tot een generiek scheepsvoortstuwingssysteemontwerp op basis van 'systems engineering approach', waarbij de brandstofcel een integrale rol speelt in een scheepsaandrijfsysteem. - Beproeven en onderzoeken van het geïntegreerde systeem voor toepassing in de scheepvaart.		
Resultaat	- Betrouwbaar, getest, opschaalbaar en geoptimaliseerd 100 kW brandstofcel-batterij voortstuwingssysteem voorzien van de relevante certificaten en aantoonbaar geschikt voor binnenvaart en kustvaart. Een wereldwijde primeur. - Het brandstofcelsysteem is in bedrijf gesteld en beproefd op de bewegingssimulator van MARIN. - Ontwerpvragestukken zijn besproken en uitgewerkt voor een concrete case, een binnenvaartschip van Future Proof Shipping dat omgebouwd wordt naar een waterstof-brandstofcel aandrijving. - De systeemopzet en de achterliggende ontwerpmethodiek zijn actief gedeeld met de industrie door het beschikbaar stellen van de op de system engineering benadering gebaseerd resultaten. - Het ontwikkelde testbed en testmethodiek is inzetbaar voor verdere ontwikkelingen indien zich nieuwe componenten of hybride oplossingen aandienen. De inzet op standaardisering en certificering-klaar maken biedt belangrijke potentie voor kostenreductie en betrouwbaarheid.		
Vervolg	- Vervolgproject Waterstof-Elektrisch Vrachtschip Antonie (WEVA) - Spin-offs zijn commerciële levering aan GE voor cruiseschepen, projecten met Future Proof Shipping, project Waddenfonds met walstroomaggegaat, DKTI-project HY-4-EVER.		

Partners	Damen Shipyards Future Proof Shipping Holland Ship Electric MSN Marin Nedstack		
Subsidiebedrag	€ 492.164	Okt 2018 – dec 2019	Eindrapport: ja

Titel	Waterstof-Elektrisch Vrachtschip Antonie (WEVA)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Scheepvaart	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	- Opzetten van één waterstof-pilot voor de binnenvaart, waarvoor draagvlak aanwezig is bij de partners van de Waterstof Coalitie. Dit betreft het realiseren van het eerste (nieuwbouw) binnenvaartschip uitgerust met een brandstofcel voor het varen op waterstof. Het 135-meter schip maakt gebruik van een nieuwe aanpak met waterstofopslag in (een) container(s).		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Prototype van de nieuwe brandstofcel, geschikt om in vrachtschepen te worden gebruikt. - Ontwikkeling van de scheepsconfiguratie van een brandstofcel, converter, verbindingen, interfaces en opslag, inclusief alle brandstofcelcomponenten, samenstellen en noodzakelijke overige technische componenten voor een nieuw schip van 135 m. (3700 ton). - Ontwikkeling van de overige brandstofcel-elektrische componenten aan boord, inclusief accupakket, besturingssystemen, verbindingen, alarmeringen en voorstuwingsapparaten (elektromotoren) die de schroefas aandrijven voor een nieuw schip van 135 m. (3700 ton), - Definitief design van technische invulling van een nieuw waterstofschip van 135 m. voor de binnenvaart. Hierbij wordt de meest optimale en economische combinatie vastgesteld in het bijzonder in relatie tot de opslag en het laden van waterstof. 		
Vervolg	- Voortzetting van WEVA is geprobeerd via een aanvraag bij DKTI maar deze is afgewezen, daardoor is er nog een gat in de financiering.		
Partners	H. Lenten Scheepvaart Koedood Dieselservice Coöperatie N.P.R.C. U.A.) Nedstack		
Subsidiebedrag	€ 259.236	Sep 2019 – aug 2021	Eindrapport: nee

Titel	Seriematig produceerbare conversiekit voor wegtransport: van diesel naar Plug-in Fuel Cell Electric (PFCEV)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Heavy duty/scheepvaart	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Ontwikkeling van een conversiekit, pilotvoertuig en ontwerp van een productielijn voor een 30kW Plug-in Fuel Cell Electric Vehicle (PFCEV) voor transport in de grootstedelijke omgeving. Doel is om werkingsprincipes te kunnen testen en bewijzen, en de business case te kunnen valideren met potentiële klanten. Het project richt zich op het integrale aandrijfsysteem voor generieke retrofit van bakwagens en binnenvaartschepen. Seriematige produceerbaarheid staat centraal.		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Proof-of-concept van een PFCEV conversiekit, ingebouwd in een 8-tons bakwagen. - Ontwerp van een productielijn voor dergelijke PFCEV-conversiekits. - Toepassing van de PFCEV-kit in retrofittoepassingen voor bakwagens voor binnenlands transport, binnenvaartuigen, kranen en bulldozers. 		
Vervolg	- Bij succes van dit project inrichten van een productielijn in Nederland voor de seriematige productie van conversiekits voor de professionele ombouw van dieselaandrijving naar PFCEV.		
Partners	New Electric Garage71 H2Consultancy		
Subsidiebedrag	€ 461.205	Jan 2019 – dec 2020	Eindrapport: nee

Titel	Waterstof voor off-grid toepassingen (H2OG)		
Innovatieketen	Decarbonisatie van mobiliteit	Mobiele machines	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Haalbaarheidsstudie: voor welke off-grid toepassingen kan voor waterstof een met dieselaggregaten of batterijen concurrerende business case worden gemaakt? - Use cases: 1) Leveren van walstroom aan zee-cruiseschepen, 2) Inzet van brandstofcelaggregaten op bouwplaatsen, en 3) Inzet van brandstofcelaggregaten op festivalterreinen en evenementlocaties zonder (of met kleine) netaansluiting. - Verschillende business modellen zijn onderzocht: alleen aggregaatverhuur, aggregaatverhuur met waterstoflevering, en aggregaatverhuur met waterstofproductie en -levering. 		
Resultaat	- De onderzochte business cases bleken niet economisch haalbaar. De stroomprijzen die off-grid gevraagd kunnen worden zijn niet hoog genoeg om een gezonde marge te maken op de ingekochte waterstof of op de elektriciteitskosten voor elektrolyse. Toekomstige kostendaling van brandstofcelaggregaten en elektrolyzers leidt tot verbetering, maar niet voldoende om in de toekomst een positieve business case te krijgen.		

Vervolg	- Green Shipping project (Waddenfonds): Eekels Technology (onderdeel van TBI), Nedstack en Bredenoord ontwikkelen met ondersteuning van FME een mobiel brandstofcel-aggregaat op waterstof voor de havens van Groningen Seaports, Den Helder en Harlingen. Vanwege de significante onrendabele top zal er aanspraak gemaakt moeten worden op subsidie zoals de SDE++ en DEI++.		
Partners	Recoy TNO Nedstack Bredenoord TBI Croonwolter&dros/JP van Eesteren Port of Amsterdam Air Liquide Ecovolt		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Sep 2018 – jan 2019	Eindrapport: ja

Hernieuwbare grondstof voor chemie

Titel	Power to Products		
Innovatieketen	Grondstof voor groene chemie	Waterstof voor synthese	Concept
Doelstelling	- Onderzoek naar op welke wijze (technisch, operationeel en organisatorisch), tegen welke kosten en opbrengsten en onder welke voorwaarden demand side management kan worden gerealiseerd in de procesindustrie.		
Resultaat	<p>- De procesindustrie kan bij elektrificatie op twee manieren flexibel regelvermogen aanbieden. De ene is door energie op de goedkope momenten op te slaan (in chemische producten, tussenproducten zoals waterstof, of als druk, warmte of koude) en dit later op de duurder momenten weer in te zetten. De andere manier is om de productie tijdelijk iets terug te regelen waardoor de stroomvraag op dure momenten daalt, en dit later weer in te halen op de goedkopere momenten.</p> <p>- Uitwerking in vijf business cases hoe vraagflexibilisering in de energie-intensieve industrie kan worden gerealiseerd om het aanbod van en de vraag naar elektriciteit op elkaar af te stemmen. Bedrijven kunnen de business cases gebruiken om investeringsplannen uit te werken.</p> <p>- Het inzetten van industrie voor flexibilisering blijkt vaak lastig: stimuleringsregelingen zijn er niet op toegesneden, de markt is er nog niet want er is nog te weinig wind- en zonenergie om tot grote prijsverschillen te leiden. Van de onderzochte cases was power-to-gas een van de minst lucratieve.</p>		
Vervolg	- De casus "Akzo Nobel groene chloorproductie" heeft geleid tot aandacht voor flexibele water-elektrolyse, en dit was aanjager van meerdere Akzo Nobel resp. Nouryon projecten in dit overzicht. AkzoNobel kan tientallen MW afschakelbaar flexvermogen leveren met de chloorplant in de Botlek.		
Partners	AKZO Nobel FME-CWM Avebe Berenschot CE Delft Cofely Vereniging Zeeuwind DELTA DOW Eneco Frieslandcampina HaskoningDHV Siemens Smurfit Kappa ISPT TenneT		
Subsidiebedrag	€ 272.100	Okt 2014 – okt 2015	Eindrapport: ja

Titel	Carbon dioxide to UREa (CURE)		
Innovatieketen	Grondstof voor groene chemie	Waterstof voor synthese	Concept
Doelstelling	<p>- Inschatting maken voor de productie van een waardevol product door conversie van CO en CO₂ uit de ijzer- en staalindustrie en waterstof gemaakt met hernieuwbare elektriciteit.</p> <p>- Inschatting van het potentieel van deze aanpak voor zowel de flexibiliteit van het energiesysteem als voor de vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen en CO₂-uitstoot.</p>		
Resultaat	<p>- Er is een kansrijke business case voor conversie naar ureum van waterstof gemaakt met hernieuwbare elektriciteit en H₂, CO- en CO₂-rijke hoogoven- en convertorgassen uit de staalindustrie. De hoogoven- en convertorgassen, nu veelal benut voor elektriciteitsopwekking in de fabriek, bevatten verschillende aandelen CO₂, CO en H₂. Op momenten van een groot overschot aan elektriciteit kan het hoogoven-gas (lage H₂/N₂-verhouding) worden gebruikt. Bij schaarste aan hernieuwbare elektriciteit kan het proces doorlopen worden met het convertorgas, want hier hoeft geen of zeer weinig waterstof aan toegevoegd te worden.</p> <p>- Potentieel rendabele productie ten opzichte van ureum uit aardgas indien de convertorgasprijs gunstig is ten opzichte van de aardgasprijs.</p>		
Vervolg	- Onbekend.		
Partners	Arcelormittal Belgium ECN Hydron Energy		
Subsidiebedrag	€ 40.034	Sep 2016 – mrt 2017	Eindrapport: ja

Titel	Feasibility study Power-2-X demonstration Roosendaal (ReFuel1)		
Innovatieketen	Grondstof voor groene chemie	Waterstof voor synthese	Concept
Doelstelling	- Haalbaarheidsstudie naar het ReFuel-concept voor productie van groene waterstof en Fischer-Tropsch-producten in de Suez ReEnergy Waste-to-Energy fabriek in Roosendaal, overdraagbaar naar andere projecten met een Waste-to-Energy-fabriek en hernieuwbare elektriciteit.		

	- Doel is om tot een flexibele industriële demonstratie (8.000 h/a) te komen. Eerst moet de technologie op pilotschaal worden getest en moet de haalbaarheid worden aangetoond.		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Technische en bedrijfskundige uitwerking van een waardeketen voor elektrochemische productie, opslag en gebruik van waterstof en Fischer-Tropsch producten inclusief voorwaarden (technisch, organisatorisch, economisch, maatschappelijke draagvlak etc.). - Conceptueel procesontwerp en modellering van verschillende routes om groene waterstof en Fischer-Tropsch producten te produceren, op te slaan en transporteren. Overzicht van technische, economische en andere parameters. Uitwerking van de business case inclusief markttoepassingen. - De studie laat zien dat de productiekosten voor groene waterstof op een geschikte locatie zoals de ReEnergy-fabriek niet veel hoger zijn dan de huidige zeer lage prijzen voor fossiel waterstof. Bij een pilotplant is wel sprake van een onrendabele top. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Voorbereiden van een pilot plant met 7 MW elektrolyse middels het uitwerken van een projectplan inclusief conceptueel ontwerp, concept budget en motivering. - Refuel1 is eerst op zoek naar een afnemer van de waterstof. Een project in de DEI-regeling zou een goede vervolgstap zijn maar de voorwaarden sluiten niet aan bij de wensen van de bedrijven. 		
Partners	Engie Services Odura Advies en Projecten SUEZ Sita ReEnergy Roosendaal TNO		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Sep 2018 – apr 2019	Eindrapport: ja

Titel	Ontwikkelen van een businessplan voor een synthetische kerosine pilot fabriek (Synkero)		
Innovatieketen	Grondstof voor groene chemie	Waterstof voor synthese	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Gedetailleerd businessplan voor een pilotfabriek voor synthetische kerosineproductie in het Noordzeekanaalgebied. Dit type kerosine voor gebruik in de luchtvaart kan worden gemaakt door synthese van waterstof met koolstof uit industriële restgassen. - De waterstof kan worden betrokken van de 100(+) MW waterstoffabriek die Gasunie, Nouryon en Tata plannen (H2ERMES) en de CO₂ zou van Tata kunnen komen. - Onderdelen zijn: analyse van de marktcondities; technologische verdieping en haalbaarheid; analyse wetgevingskader omtrent brandstoffen gemaakt uit CO₂ + allocatie van CO₂; financiële businesscase voor een pilotfabriek; vervolgstappen inclusief financieringsplan voor pilotfabriek. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Businessplan met uitwerking van de haalbaarheid van een synthetische kerosine pilotfabriek in het Noordzeekanaalgebied, met facetten van zowel de markt, technische en financiële haalbaarheid en het wetgevingskader. - Investeringsplan om de pilotfabriek te ontwikkelen. - De elektriciteitsprijs is de belangrijkste kostenfactor voor de business case. 		
Vervolg	- De resultaten stellen het consortium in staat om vervolgafspraken te maken die noodzakelijk zijn voor de bouw van een pilotfabriek.		
Partners	SkyNRG Havenbedrijf Amsterdam KLM Oiltanking Tata Steel		
Subsidiebedrag	€ 99.357	Nov 2018 – Okt 2019	Eindrapport: vertrouwelijk

Verduurzaming warmteproductie industrie

Titel	Proof-of-concept van HYOX technologie voor Early Adopters (H2-EAP)		
Innovatieketen	Warmteproductie industrie	Industriële branders	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Testen en bewijzen van het principe van waterstofgasinjectie in aardgasbranders en afgassen voor industriële processen in een pilotproject. Waterstofgas oftewel hydroxy is een stoichiometrisch mengsel van waterstof en zuurstof dat per plekke wordt gegenereerd door elektrochemische splitsing van water en wordt geïnjecteerd in de luchtinlaat van de gasbrander, waar het fungeert als katalysator voor het verbrandingsproces van de bestaande brandstof (hier aardgas). - Aantonen van energiebesparing in een reële procesomgeving van 15-20% op het gasverbruik (tot 25% met een hydroxygas verrijkte naverbrander) bij klantspecifieke processen (in dit project asfaltrecycling en stomerij), en van een emissiereductie van CO, NOx en fijnstof. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - De behaalde energiebesparing tijdens beide pilots was minder dan verwacht. Er zal meer waterstofgas toegevoegd moeten worden en er zijn aanpassingen nodig aan de aanvoer om deze doelstellingen te behalen. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig. De huidige naverbrander is veel te 'groot' (> 3 MW) voor de hoeveelheid waterstofgas die Hyox aanvoert. De generieke instelling van de dutycycle van de naverbrander moet worden aangepast en de gehele productielijn moet worden geremd om genoeg gas te maken en een emissievoordeel te behalen. 		
Vervolg	- De firma Hyox bestaat niet meer, initiatiefnemer werkt via een nieuwe entiteit verder.		

Partners	Hyox BKS Verkoop en Advies Hartevelt Stomerij Theo Pouw Secundaire Bouwstoffen		
Subsidiebedrag	€ 159.280	Sep 2014 – nov 2016	Eindrapport: ja

Titel	Waterstof als brandstof voor industriële verhitting (HBI)		
Innovatieketen	Warmteproductie industrie	Industriële branders	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Bestaande gasbrander(type)s flexibel maken voor gasmengsels met 0-100% aardgas/waterstof voor directe en indirecte verwarmingsprocessen zonder verlies van procesefficiëntie en productkwaliteit. - Ontwikkeling van een adaptief retrofit branderbesturingsysteem om een ononderbroken werking van de installatie te garanderen voor perioden met wisselende waterstoftoevoer. Het adaptief branderregelsysteem gebruikt een verbrandingsalgoritme om een optimale verbranding te behouden wanneer waterstof wordt toegevoegd aan aardgas. - Testen met drie industriële brandertypes voor hoge-temperatuurprocessen en één brander voor lage-temperatuurprocessen in het verbrandingslaboratorium van DNVGL. Aspecten hierbij zijn: <ul style="list-style-type: none"> - Test van NOx-controlestrategieën bij gebruik van aardgas/waterstofmengsels (0-100% H₂); het gebruik van waterstof met zuivere zuurstof als oxidatiemiddel onderzoeken voor directe verwarmingsprocessen; test van een in-situ CO, O₂, H₂O lasersensor door CelSian voor het regelen van de O₂-gasmengselverhouding naar de branders; test en verdere ontwikkeling van een nieuw branderconcept van Stork Thermeq voor indirecte verwarming. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Het regelsysteem kan direct worden geïmplementeerd om grootschalige proefprojecten op fabrieksterreinen mogelijk te maken voor het gebruik van waterstof of het mengen met aardgas als brandstof voor verwarmingsprocessen. - Lage-temperatuurbrander van Zantingh (voor stoom en warm water) is succesvol aangepast: deze bleek geschikt voor 100% bandbreedte. NOx-emissie was zoals verwacht 3x zo hoog door hogere vlamtemperatuur; door toepassen van externe rookgasrecirculatie kon NOx-emissie weer naar nivo van aardgasverbranding worden teruggebracht. Testen met hoge-temperatuurbranders volgen. - Proof-of-principle van een waterstof/pure-zuurstofbrander (500 kW), bedoeld voor hoge temperatuurwarmte voor stoomketels of fornuizen met water als enige emissie (Stork Thermeq). Aandachtspunt is veiligheid (knaalgas). 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - In dit project is geen aandacht voor effect op productkwaliteit, dat is thema voor een vervolgproject. - Voor de lage-temperatuurbrander komt een pilotproject bij Nedmag (ontwateren van brijn). - Stork Thermeq overweegt in bijv. de DEI-regeling een waterstof/pure-zuurstofbrander op volledige schaal (typisch 5MW) te demonstreren bij een launching customer. 		
Partners	AGC Nederland ARC France Ardagh Glass DNVGL Fa. gebr. Van der Lee Gasunie Linde Gas Monarch Nederland Nedmag Industries Nippon Electric Glass O-I Manufacturing Purac Biochem SGD Pharma Saint-Gobain Stork Thermeq Tata Steel Ver. Koninklijke Nederlandse Bouwkeramiek Verallia Packaging Vitro Architectural Glass Zantingh		
Subsidiebedrag	€ 277.891	Okt 2019 – okt 2021	Eindrapport: nee

Titel	Groene Stoom in de Botlek		
Innovatieketen	Warmteproductie industrie	Industriële boiler	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Haalbaarheidsonderzoek van de productie van groene/CO₂-neutrale stoom, een technische, economische en infrastructurele analyse van een (combinatie van) vier vergroeningsopties als alternatief voor aardgasgestookte boilers voor stoom, te weten: industriële restwarmte zoals stoom van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's); volledige elektrificatie of een hybride vorm van huidige gasgestookte boilers op basis van beschikbare duurzame energie; post-combustion CO₂-afvang, opslag en/of hergebruik; waterstof gestookte boilers. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - De beste optie bij de huidige stand van techniek is elektrificatie van boilers. Er is geen commercieel aanbod van boilers met het benodigde formaat, zodat een innovatief ontwerp moet worden gemaakt. - Vervolgens is de vraag waar de groene elektriciteit vandaan moet komen. Rechtstreeks betrekken uit een windpark is niet mogelijk. Een mogelijkheid is om groene waterstof te gebruiken voor on-site elektriciteitsopwekking. Hoewel dit een extra conversiestap betekent kan het toch gunstig zijn. - De hoeveelheid zelf op te wekken stoom zal verminderen bij aansluiting op het stoomnet van AVR. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - De investeringsbeslissing om boilers te elektrificeren is genomen. Dit vergt waarschijnlijk vervolgstudie en een demonstratieproject. Implementatie moet samengaan met een moment van groot onderhoud (elke 5 jaar). 		
Partners	Lyondell Chemie Nederland		
Subsidiebedrag	€ 100.257	Nov 2019 – sep 2020	Eindrapport: nee

Regelbare flexibele elektriciteitsproductie

Titel	High hydrogen gas turbine retrofit to eliminate carbon emissions		
Innovatieketen	Regelbare flexibele elektriciteitsproductie	O&O (TRL 5)	
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling van een emissiearme gasturbinebrander voor een flexibele verbranding van 100% aardgas naar 100% waterstof en elk mengsel daartussen. Deze flexibiliteit is essentieel omdat niet te verwachten is dat aanbod en vraag van waterstof gelijk oplopen, er zal een transitie zijn. - Rendabele retrofit voor gasturbines in een bereik van 1 tot 300 MW, met een terugverdientijd voor de klant binnen 2-3 jaar. Voor kleinere motoren zijn ook nieuwe installaties toepasbaar. - Lage emissies van NO_x, CO (minder dan 9 ppm) en CO₂ in lijn met toekomstige milieueisen wanneer aardgas in het brandstofmengsel zit; nul uitstoot van CO en koolstof bij gebruik van 100% waterstof. - Brede operationele flexibiliteit met de mogelijkheid om snel op en af te schakelen in belasting om te voldoen aan de behoeften van een stabiel energienet, met concurrerende onderhoudsinspectie-intervallen van minimaal 32.000 uur of 1.200 starts. - Aantonen van succesvolle werking met echte motorhardware onder atmosferische testomstandigheden, wat vervolgens zal leiden tot hogedruk- en commerciële demonstratie tegen 2022. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Bewezen retrofit, geschikt voor 0-100% aardgas-waterstof mengsels, toepasbaar op de meeste industriële gasturbines. Basisontwerp gereed voor verschillende schalen gasturbines. De ontwikkelde technologie zal de volgende fasen van hogedruk- en commerciële demonstratie voeden. - Vanwege beschikbaarheid en prijs van groene waterstof is elektriciteit met gasturbine (voorlopig te duur voor continubedrijf, maar wel kansrijk voor back-upvoorziening bij te weinig zon en wind. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Toepassing van bevindingen in de verdere ontwikkeling en demonstratie van Ansaldo's FlameSheet™-technologie. - Voorbereiden van een pilot/demonstratie in fasen: kleine schaal (2 MW), middenschaal (30-40 MW) naar grote schaal (honderden MW). Concrete pilot- en demonstratielocaties zijn in beeld. 		
Partners	Ansaldo Thomassen Emmtec Services Nouryon Vattenfall Opra Turbines TU Delft		
Subsidiebedrag	€ 499.952	Jan 2019 – aug 2020	Eindrapport: november 2020

Verduurzaming verwarming gebouwde omgeving

Titel	H2 serie CV Ketel		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de woning	O&O (TRL 5)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkelen van een brandersysteem dat de huidige aardgasbrander kan vervangen. Hierdoor kunnen toekomstige CV-ketels voor waterstof geproduceerd worden, maar kunnen ook geïnstalleerde CV-ketels met een retrofit omgebouwd worden om een toekomstige transitie van aardgas naar waterstof te vereenvoudigen en betaalbaar te maken. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - HyGear levert de technologie van (katalytische) waterstofverbranding en bijbehorende veiligheidssysteem. ATAG Verwarming integreert deze in haar i-serie CV-ketellijn om zo tot een waterstofgevoede CV-ketel te komen: de H2-serie. - De werking is technisch bewezen, de laatste testen lopen nu. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Volgende fase is een veldtest met levensduurtest. De eindgebruiker verwacht dezelfde levensduur (15 jaar) en betrouwbaarheid (weinig onderhoud) als bij een gasketel, en willen niet meer betalen dan anders. Dit maakt een veldtest voor leveranciers een dure onderneming omdat de kosten na een meerjarige test doorlopen bij een onzekere prijsontwikkeling. 		
Partners	ATAG Verwarming Hygear		
Subsidiebedrag	€ 250.000	Jan 2018 – okt 2020	Eindrapport: nee

Titel	H2 Ready CV ketel (H2 CV)		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de woning	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en praktijktest van een cv-ketel die klaar zal zijn voor de inzet van waterstof als energiedrager, maar ook (nog) geschikt is om aardgas te kunnen gebruiken. Dit kan netbeheerders motiveren om hun netwerken geschikt te maken voor de doorvoer van waterstof en aardgas. - 10 proefwoningen worden voorzien van deze cv-ketel samen met een waterstofgenerator die bij vraag lokaal waterstof opwekt. Deze woningen worden permanent digitaal uitgelezen om de functie van de cv-ketel en van de waterstofgenerator te beoordelen. 		

Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Oplevering van een veilige H2 ready cv-ketel die geschikt is voor aardgas, voor (100%) waterstof en voor een mix van beide brandstoffen. Zo kunnen klanten die op korte termijn hun huidige cv-ketel gaan vervangen of een eerste aanschaf moeten doen, kiezen voor een verwarmingsapparaat dat klaar is voor een aardgasloze situatie. Later kan de energieleverancier dan inregelen dat aardgas vervangen wordt door een mix van aardgas en waterstof of tot 100% waterstof. - De kostprijs van deze cv-ketel zal fors lager zijn dan van een warmtepomp en de total costs of ownership zullen aanzienlijk lager zijn dan in de huidige situatie. Het aantonen van absoluut veilige werking in project verbetert de maatschappelijke acceptatie. 		
Vervolg	- Nog niet bekend, project loopt nog.		
Partners	ebm-papst Heating Systems Bekaert Combustion Technology Tieluk		
Subsidiebedrag	€ 361.051	Nov 2018 – dec 2020	Eindrapport: nee

Titel	Hydrogen Heating (H2) Studies (HH-S)		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de woning	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Aantonen dat waterstof technisch past bij de warmtevraag (ruimteverwarming, tapwater, hoge/lage temperatuur verwarming, isolatiegraad), economisch interessant is (kosten van installatie, brandstof en onderhoud), veilig is (explosiegevaar, lekkages, waterstofverbrossing) en haalbaar is (door het wegnemen van twijfel in de discussie over toepassing van waterstof, op basis van de bovenstaande gerealiseerde doelen) en daardoor de stap naar “van (aard)gas los” versnelt. 		
Resultaat (beoogd)	<p>De werkzaamheden in het project leveren de volgende resultaten op:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installatie van vier waterstofgestookte warmte-installaties in Waterstofstraat Green Village in Delft, te weten CV-ketel, hybride warmtepomp, katalytische verbranding en brandstofcel met restwarmte en gebruik van elektriciteit voor een warmtepomp. - Metingen van omzettingsrendement van de installaties onder diverse bedrijfscondities. - Berekende woonlasten bij toepassing van deze installaties op basis van gemeten stook-, investering- en onderhoudskosten, volgens praktijkgegevens van partners en schattingen van prijsontwikkelingen. - Meetplan met technische specificaties van de metingen en meetapparatuur voor het meten van het omzettingsrendement van waterstofgestookte warmte-installaties en de veiligheidsissues bij het gebruik van waterstof voor verwarmen. 		
Vervolg	- Nog niet bepaald. Project Waterstofstraat heeft vanwege de milieuvergunningsaanvraag stilgestaan, maar in oktober kan waterstof in het gasnet.		
Partners	Accenda Energiewacht Installatie Flamco Haagse Hogeschool HAN TU Delft		
Subsidiebedrag	€ 374.092	Jan 2020 – sep 2020 (uitstel)	Eindrapport: nee

Titel	H2@Home		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de woning	Pilot (TRL 6)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Overwinnen van technische, economische en maatschappelijke barrières in het laatste deel van de gasinfrastructuur – van het middendruk distributienet in de straat tot aan de waterstofketel – om toepassing van waterstof binnenshuis mogelijk te maken. - Ontwikkeling en testen van een kosteneffectief retrofit gasdrukregelaar voor waterstof en van een slimme gastoevoerafsluiting voor de vereiste veiligheids- en beheersbaarheidsmaatregelen. - Onderzoek naar aanpassingen van gasmeter en leidingwerk vanwege de hogere stroomsnelheid en volumes waterstof die kunnen leiden tot geluidsoverlast en onwenselijke resonanties in de installatie. - Ontwikkeling van een app die een klep in de gastoevoerafsluiting bedient als een sensor lekkage bemerkt, en netbeheerders en bewoners waarschuwt om zo het gevoel van veiligheid te versterken. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Productontwikkelingen gasdrukregelaar, slimme gastoevoerafsluiting, gasmeter, leidingwerk. - Blueprint die inzicht geeft in de richtlijnen, vereisten voor veilig gebruik en de mogelijkheden voor kosteneffectief toepassen van waterstof in de gebouwde omgeving. - Eerste toepassing op Waterstofstraat The Green Village in Delft, en inzicht om dit breed uit te rollen op verschillende locaties in Nederland. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Inbreng van kennis bij praktijkprojecten zoals Hoogeveen, Stad aan 't Haringvliet, Lochem, etc. - Dichten van kennislacunes in risicoanalyse en regelgeving voor gebruik van waterstof binnenshuis. 		
Partners	gAvilar Beutech Enexis Flamco Het Internet Huis Pia Support		
Subsidiebedrag	€ 353.680	Jul 2019 – dec 2021	Eindrapport: nee

Titel	Integratie emissieloze katalytische verbrander en warmtemotor		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de woning	O&O (TRL 4)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en testen van een micro-warmtekrachtunit geschikt voor meerdere gassen waaronder H₂, op basis van een vrije-zuiger Stirlingmotor met katalytische brander voor gebruik in gebouwen. - Onderzoek naar het meest effectieve ontwerp van de katalytische brander en de "heat acceptors" van de warmtemotor, voor een optimale wisseling van radiatie- en convectiewarmte. - Het eerste prototype krijgt een elektrisch vermogen van 1.0 kW en een thermisch vermogen van 6.0 kW, later opgevoerd tot 24.0 kW. De technologie kan naar verwachting een oudere woning goedkoper dan alternatieven van duurzame warmte, tapwater en elektriciteit voorzien. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Prototype van een gastype-neutrale micro-warmtekrachtcentrale gebouwd en getest. Met de nieuwe brander bereikt de machine een aanmerkelijk hogere elektrische efficiency. Toepassing van meer katalysator materiaal verhoogt de efficiency van de brander maar ook de kosten. - Resultaten wijzen op bredere toepasbaarheid dan aanvankelijk gedacht (niet alleen "label G"). - Voordelen ten opzichte van brandstofcel-micro-wkk zijn dat het waterstof onzuiver mag zijn; factor 10 langere levensduur; en bij bedrijf op aardgas is geen reformer nodig (kosten- en energiebesparing). 		
Vervolg	- Duurtesten op aardgas/propana, en ontwerp verbeteren voor waterstof-specifieke eigenschappen richting serieuze productie en certificering. Doel blijft multifuel, niet meerdere producten, en daarmee een oplossing bieden die past in de transitie van het gasnet.		
Partners	Thermo Dynamic Solution Provider HOREV Vastgoed		
Subsidiebedrag	€ 120.735	Sep 2019 – aug 2020	Eindrapport: nee

Titel	Haalbaarheid waterstof in de gebouwde omgeving van Middelburg (Waterstof Middelburg)		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de wijk	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Technisch-economische haalbaarheidsstudie van een waterstofwijkcentrale in Middelburg, met groene waterstof uit Zeeland. Onderzochte elementen zijn de conversie van zonnestroom naar waterstof in de regio; een met restwarmte en waterstof gevoed warmtenet in (een deel van) de wijk Dauwendaele (met omvang 833 woningen); de keten inclusief transport en opslag van waterstof; en eventueel fungeren van de waterstofwijkcentrale als hoofdroplossing voor het geplande warmtenet. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Vergelijking van verschillende configuraties voor een warmtenet gevoed met lokale duurzame energiebronnen in de wijk: (1) een warmtenet met industriële restwarmte, (2) een warmtenet zonder restwarmte en (3) een warmtenet met een waterstof-warmtekrachtkoppeling. Voor elk van deze situaties is gekeken naar de invloed van een warmtepomp en/of warmteopslag. In alle situaties is er een waterstofketel als back-up (en indien van toepassing piekvoorziening). - Business cases voor het warmtebedrijf voor elke configuratie, met gelijkblijvende kosten voor de bewoner. Meerdere rendabele business cases blijken mogelijk voor een warmtenet in de wijk, waarbij het warmtenet een bescheiden rendement heeft bij gebruik van restwarmte. Bij inzet van lokale wind- en zonne-energie kan het warmtenet kostendekkend draaien inclusief exploitatie. In vrijwel alle varianten is enige inzet van waterstof wenselijk om de seizoenspieken op te vangen. Ook zorgt de waterstofketel voor leveringszekerheid in een koude windstille winter. 		
Vervolg	- De studie toonde de haalbaarheid aan van de technische opzet voor een 100% duurzaam warmtenet op lokale bronnen, maar leidde nog niet tot een realiseerbaar plan. Er wordt een definitiestudie voorzien, waarin gedetailleerde technische tekeningen en een projectbegroting worden gemaakt, en een financiële risicoanalyse wordt uitgevoerd voor de exploitatie.		
Partners	Berenschot Coöperatieve Windenergie Vereniging Zeeuwind Delta Infra		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Sep 2018 – mrt 2019	Eindrapport: ja

Titel	Waterstofwijk Hoogeveen (H2W)		
Innovatieketen	Verwarming gebouwde omgeving	CV in de wijk	O&O (TRL 3)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Oplevering van een blauwdruk en bijbehorende technologie om de warmtevoorziening (warm tapwater en ruimteverwarming) met waterstof CV-ketels van 80 woningen in een wijk in Hoogeveen, op 100% waterstof te laten functioneren. Deze blauwdruk en technologie moeten vertaalbaar zijn naar bestaande woonwijken elders. - De blauwdruk zal niet enkel technologisch en economisch zijn, ook de maatschappelijke businesscase, sourcing strategie en het draagvlak onder bewoners zal worden meegenomen. - Naast reductie van aardgasgebruik wordt ook een marktkans voor betrokken partijen gecreëerd. 		

Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Een derde van projectkosten zijn besteed aan ontwikkeling en testen van waterstofketels, met als randvoorwaarde een op een vervanging van ketels. Testen van de waterstofketels bij EnTranCe toonden aan dat de NOx-emissie lager was dan verwacht. - Gekozen wordt alleen voor verwarming. Voor koken werkt elektrisch prima, en voor de boiler hoeven weinig leidingen binnenshuis te lopen, dat is voor koken meer. Over koken op waterstof is wel contact met het Britse project H4heat. - Voor waterstof zijn de investeringen flink lager dan voor een warmtepomp, de kansen hangen met name af van de waterstofprijs. Inschattingen zijn dat waterstof voor 1 miljoen woningen een serieuze optie is om van het aardgas af te gaan. - Overige deliverables: juridisch raamwerk, business cases, SCBA, standards en certificering (input geleverd aan NEN), verkenning sociaal draagvlak, investeringsagenda en opleidingen monteurs. - Eerste realisatie in de nieuwe wijk Nijestad Oost, huizen zijn naar verwachting in Q3 2021 klaar. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Voor fase 2 realisatie in nevengelegen wijk Erflanden (bestaande bouw) is een subsidie ontvangen uit de Aardgasvrije-wijkenregeling voor 417 van 1.100 woningen. - In fase 1+2 is nog sprake van externe aanvoer van waterstof. In fase 3 komt er lokale productie van waterstof naast de twee wijken (Q3 2022). - Als er te zijner tijd een waterstofbackbone in Nederland komt profiteert Hoogeveen, de leiding komt er zowat langs en levert dan goedkopere waterstof. 		
Partners	BAM Infra Bekaert Combustion Technology HaskoningDHV JP-Energiesystemen N-Tra KEMA Nedstack Fuel Cell Technology Hanzehogeschool Stork Visser & Smit Hanab		
Subsidiebedrag	€ 472.359	Okt 2018 – jul 2020	Eindrapport: nee

Integrale projecten waterstofproductie voor industrie en energie

Titel	Enabling a Low-Carbon Economy via Hydrogen and CCS (ELEGANCY)		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Havencomplex Rotterdam	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Onderzoek naar het benutten van synergieën tussen twee koolstofarmetechnologieën: Carbon Capture and Storage en waterstof, door: - verbetering van waterstofproductie met CCS uit Life Cycle Analysis-perspectief; verbetering van ons begrip van CO₂-opslag, met name afkomstig van waterstofproductie; nieuwe marktmodellen om koolstofarme H₂-productie met fossiele koolstof of biomassa mogelijk te maken; het ontwerpen van kostenoptimale en CO₂-voetafdruk-optimale H₂- en CO₂-netwerken; en beoordeling van landspecifieke uitdagingen en kansen, en identificatie van haalbare landspecifieke trajecten naar een waterstofeconomie in combinatie met CCS. - Eén van de case studies betreft: Develop a roadmap for decarbonizing the Rotterdam industry. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Focus in de Nederlandse case studie lag op industriële restgassen (refinery fuel gases, RFG) als feedstock voor H₂-productie. Nu worden RFG ingezet voor stoomboilers met hoge CO₂-emissie, door RFG te reformen wordt pre-combustion CCS mogelijk. Blauwe waterstof uit aardgas inzetten voor HT-warmte helpt de industrie niet van de restgassen af, en snelle opschaling naar groene H₂ ook niet. - Een ruimtelijk model is ontwikkeld om te voorspellen hoe een infranetwerk zou kunnen ontstaan voor H₂ en CO₂. Bij full deployment van waterstof met CCS is de beschikbare opslag ruim voor 2050 helemaal vol. Dit geeft een extra reden om snelle opschaling van elektrolyzers te bewerkstelligen. - Er kan een mismatch optreden tussen plannen van Gasunie voor een backbone en industriële toepassingen. Gasunie wil een hoge kwaliteitseis (nog te bepalen), maar voor HT-warmte volstaat ATR 96%. Opwaarderen met PSA consumeert 10% H₂, verlies verminderen vergt investeringen en energie. - Uniper (ex-Eon) en Onyx (van een US investeringsmaatschappij, nam centrale van ENGIE over) zijn vanuit ELEGANCY ondersteund bij planvorming over decarbonisatie van de kolencentrales. - De roadmap voor Nederland is nog niet gereed. 		
Vervolg	- H-vision (volgend fiche) kwam voort uit de industriële gebruikersgroep die in ELEGANCY is opgezet.		
Partners	NO: SINTEF Energy Research AdeB AKSO Gassco - UK: ICL BGS SDL Scottish Enterprise INEOS - CH: ETH PSI Climeworks First Climate - NL: ECN TNO UU Shell - DE: RUB Open Grid Europe Uniper Energy Storage - GERG Swerea-MEFOS		
Subsidiebedrag	€ 1.255.122 (op € 15,6 miljoen)	Aug 2017 – Aug 2020	Eindrapport: nee

Titel	H-vision : Grootschalige toepassing van blauwe waterstof als vervanging van aardgas in de Rotterdamse regio		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Havencomplex Rotterdam	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Haalbaarheidsstudie van invoering van blauwe waterstof uit aardgas en industriële restgassen, als vervanger van aardgas in de industrie, startend in de periode 2025-2030, om een aanzienlijke bijdrage te leveren aan de reductie van de CO₂-emissies in de Rotterdamse regio. - Pre-Pilot study leidend tot advies aan mogelijke toekomstige investeerders, gebruikers en de nationale overheid over hoe een finale voorbereiding voor een kosteneffectieve implementatie van een grootschalige pilot (de H-vision Pilot) voor de Rotterdamse regio dient te worden aangepakt. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Verschillende varianten zijn doorgerekend. Bevindingen uit de referentievariant zijn: - H-vision kan op korte termijn een CO₂-reductie behalen van 2,2 Mton in 2026 oplopend tot 4,3 Mton in 2031. T.o.v. de CO₂-uitstoot van de industrie in Rotterdam (26,4 miljoen ton in 2018) leidt gebruik van blauwe waterstof als energiedrager in de industrie tot een emissiereductie van 16%. - De te bouwen H-vision waterstofinstallaties krijgen een productiecapaciteit van ruim 700 kiloton op jaarbasis ofwel circa 3200 MW. Daarmee kan de industrie in Rotterdam 20% van de benodigde warmte en stroom op basis van blauwe waterstof produceren. - De bouw van de waterstofinstallaties voor H-vision vergt in de referentievariant een investering van circa €1,3 miljard. Inclusief infrastructuur en technische aanpassingen aan industrie-zijde komt de totale investering op naar schatting €2 miljard. 		
Vervolg	- In juni is de volgende ontwikkelingsfase gestart (aangekondigd in persbericht januari 2020). Naar verwachting volgt in 2021 een finaal investeringsbesluit.		
Partners	Air Liquide BP Raffinaderij Deltalinqs E.ON ENGIE Havenbedrijf Rotterdam Linde Gas Gasunie OCI Nitrogen Shell Statoil TNO Taqa Offshore Vopak		
Subsidiebedrag	€ 594.884	Aug 2018 – jul 2019	Eindrapport: ja

Titel	Waterstofversneller		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Havencomplex Rotterdam	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Het bepalen van de economische en technische potentie voor de “zuurstofsynergie” bij waterstofproductie met elektrolyse (waarbij zuurstof vrij komt) en uit aardgas (waarbij zuurstof kan worden ingezet) door het uitzetten van technische, economische en institutionele aspecten. - Uitwerken van een specifieke demonstratieopstelling en het uitzetten van de behaalde extra efficiëntie en mogelijk te overkomen drempels (technisch/economisch/institutioneel). 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - De zuurstofsynergie leidt tot reductie van CO₂-uitstoot en kosten en verdient daarom om meegenomen te worden in ontwikkeling van waterstofproductiecapaciteit. De reductie ontstaat doordat zuurstof uit elektrolyse zuurstof uit luchtscheidingsfabrieken vervangt. - De zuurstofsynergie verbetert de business case van groene waterstof weinig (enkele ct/kg). - Er zijn mogelijkheden om de zuurstofsynergie toe te passen bij diverse grote projecten die in onderzoek zijn (H-vision, Magnum, GW-project, e.a.) In voorkomende gevallen kan gebruik worden gemaakt van het zuurstofleidingennet, en/of opslag in vloeibare vorm. 		
Vervolg	- Een demonstratieproject is geïdentificeerd tussen twee industriële partijen in de Rotterdamse haven. Hiervoor is een globale technische opzet gemaakt, met haalbaarheidsonderzoek naar de noodzaak van flexibiliteit of opslag van zuurstof. Dit heeft geleid tot een vervolgproject: Electrolysis Technology for H ₂ and O ₂ production in Rotterdam (AVR en Trionox met TNO en Deltalinqs).		
Partners	Berenschot Energie Beheer Nederland Gasunie NOGEP A TNO		
Subsidiebedrag	€ 50.000	Jan 2019 – okt 2019	Eindrapport: ja

Titel	Electrolysis Technology for H ₂ and O ₂ production in Rotterdam (e-THOR)		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Havencomplex Rotterdam	Concept
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - AVR in de Rotterdamse haven wekt warmte op voor stoom en elektriciteitsopwekking. Buurman Trionox gebruikt stoom van AVR en elektriciteit van het net, en heeft een CO₂-rijke reststroom. - Technische en economische haalbaarheid onderzoeken om bij AVR elektrolyse te plaatsen (gevoed met eigen elektriciteit) voor levering van waterstof aan derden en inzet van zuurstof voor synthese met CO van Trionox. Hiervoor zijn verschillende scenario's doorgerekend. In eerste instantie 5 MW omdat dat gemakkelijk in te passen is op locatie, maar ook extrapolatie naar 100 MW. 		

Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - De kostprijs van de waterstof is hoog. Schaalvergroting van 5 MW naar 100 MW verlaagt de kostprijs maar de waterstof blijft duur ten opzichte van de grijze waterstofprijzen in de Rijnmond en moet daarom in een nichemarkt ingezet worden. De sweetspot (optimum van jaarlijkse bedrijfsuren tussen CAPEX en OPEX-lasten) is bepaald op 75%. - Symbiose met Tronox is mogelijk door e-methanol te maken (maar ook duur) of via watergasshift meer waterstof te maken en zuivere CO₂ voor afvang, beide om toe te voegen aan AVR-volumina. 		
Vervolg	- Vervolgstappen zijn afhankelijk van het sluiten van een leveringscontract voor de groene waterstof, liefst aan mobiliteit.		
Partners	AVR Afvalverwerking Deltalinqs TNO Tronox Pigments		
Subsidiebedrag	€ 42.661	Okt 2019 – mei 2020	Eindrapport: ja

Titel	MegaWatt Design Delfzijl		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Elektrolyse Delfzijl	Demonstratie (TRL 7)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Het uitvoeren van een voorbereidingsstudie voor een demonstratieproject van een 20 MWe waterelektrolysefabriek en de benodigde waterstofinfrastructuur op het Chemiepark Delfzijl. Dit zal de tot dusver grootste waterelektrolysefabriek in Europa worden met capaciteit voor 3,5 kiloton groene waterstof per jaar. - Het maken van een kostenschattting voor het project. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Keuze van alkalische elektrolysertechnologie vanwege lagere investeringskosten en lager energieverbruik; de hogere flexibiliteit en het lagere gewicht van de PEM-technologie wegen hier momenteel niet voldoende tegenop. Ook alkalische elektrolyzers kunnen flexibel ingezet worden. - Keuze van een specifieke locatie op het Chemiepark. - De schaalvoordelen van elektrolyzers zijn beperkt, maar deze gelden wel voor de apparatuur eromheen en veel andere projectkosten, zoals de elektriciteitsaansluiting en de civiele kosten. De kostenvoordelen zijn aanmerkelijk groter bij 100 MWe, maar de 20 MWe fabriek is wel een vereiste technologische opschalingsstap alvorens tot deze grotere fabrieken te komen. - De afnemende chemische bedrijven hebben geen flexibele vraag, daarom is een zekere mate van opslag van groene waterstof nodig, zoals in zoutcavernes. Voor het 20 MWe project is een zoutcaverne nog te groot en zal een aparte kleinschalige waterstofopslag worden gebouwd. - Er is meer onderzoek nodig naar de veiligheidsaspecten van elektrolyse onder druk. - Er is voorlopig geen nuttige toepassing voor de vrijkomende zuivere zuurstof. - Het flexibel opereren van de fabriek zal gebeuren door een slim algoritme dat reageert op de condities in de elektriciteitsmarkt. 		
Vervolg	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk, zie volgende fiche. - Maken van een "basic engineering package", waarin wordt vastgelegd hoe de fabriek eruit zal zien. Daarna volgt de bouw van de fabriek, die naar verwachting in 2022 operationeel zal zijn. 		
Partners	Nouryon Gasunie		
Subsidiebedrag	€ 133.602	Jul 2018 – mei 2019	Eindrapport: ja

Titel	Pilotproject waterstoffabriek ter balancerings elektriciteitsnetwerk (DJEWELS)		
Innovatieketen	Integrale projecten Productie voor industrie en energie	Elektrolyse Delfzijl	Demonstratie (TRL 7)
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotproject om de grootste waterstofelektrolyse-installatie (20 MWe) van Europa onder reële omstandigheden te testen en te valideren, om ca. 4.000 Nm³ / uur duurzaam (groen) waterstof op te kunnen wekken. Het pilotproject moet de technische integriteit en werkingsprincipes, stabiliteit en veiligheid van een grootschalige waterstof elektrolyse installatie valideren. - Uitvoeren van veldtesten met de daarbij geldende industriële standaarden rondom bijvoorbeeld veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid. Deze testen dienen ter validatie, monitoring en analyse van de beoogde installatie onder reële omstandigheden. - Uitgangspunt is om een zo groot mogelijk deel van het opgestelde vermogen als flexibiliteit aan het net aan te bieden, rekening houdend met de waterstofafname van de gecontracteerde afnemers. Dit vraagt om een installatie die zeer snel moet kunnen op- en afschakelen. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Realiseren van een pilotinstallatie voor grootschalige elektrolyse van waterstof op het Chemiepark te Delfzijl, met aangetoonde zeer hoge mate van betrouwbaarheid in de productie. - Operationeel model voor netbalancing en de levering van waterstof aan industriële afnemers. - Generieke methode om herhaling van soortgelijke projecten te ondersteunen. 		

	- De te verwerven kennis en inzichten zijn een noodzakelijke tussenstap om opschaling naar grotere installaties (1 GW schaal) in de toekomst mogelijk te maken en de kostprijs van groene waterstof te verlagen. Uiteindelijk resultaat is dat er binnen 5-10 jaar meerdere waterelektrolyse-installaties van >20MWe gerealiseerd zijn en opschaling tot 500 à 1000 MWe mogelijk zal zijn.		
Vervolg	- Mogelijke verhoging van de capaciteit van 20 MW tot 60 MW om te kunnen voldoen aan de vraag naar groene waterstof voor de productie van duurzame vliegtuigbrandstof.		
Partners	Gasunie Nouryon partners in FCH-JU project DJEWELS zijn McPhy, BioMCN, De Nora, Hincio		
Subsidiebedrag	€ 5.911.140, tevens € 11 mio FCH-JU, € 5 mio Waddenfonds	Jan 2020 – dec 2023	Eindrapport: nee

Ketenstudies voor waterstof en alternatieve energiedragers

Titel	Ontwikkeling zonnebrandstof		
Innovatieketen	Ketenstudies	Ketenanalyse	Concept
Doelstelling	- Haalbaarheidsstudie van productie en import van "zonnebrandstof" (waterstof of daarop gebaseerde energiedragers) uit Zuid-Europa, Noord-Afrika of het Midden-Oosten.		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Ketenmodel voor zonnebrandstof, op basis van kostenstructuren, ketenoptimalisatie, opbouw van de kostprijs van zonnebrandstoffen en haalbare rendementen voor de schakels in de keten. - Overzicht van sterkten en zwakten van import in vergelijking tot binnenlandse alternatieven voor de productie van waterstof en ammoniak. - Routekaart voor ketenontwikkeling met benodigde stappen, tijdpad en rolverdeling voor actoren. Het geschetste perspectief is een gefaseerde aanpak van ontwikkeling van de blauwe route (Noors aardgas met CCS) op korte termijn (tot 2030), ontwikkeling van de groene route (Noordzeewind) op middellange termijn (2030-2035) en de zonnebrandstofroute nadien. 		
Vervolg	- Meerdere studies naar de betekenis van waterstofimport voor havens en industrieclusters.		
Partners	CE Delft Gasunie NUON Power Generation		
Subsidiebedrag	€ 13.185	Jul 2017 – mei 2018	Eindrapport: ja

Titel	Assessment in Future Trends in Industrial Hydrogen Demand and Transport (HyChain-1)		
Innovatieketen	Ketenstudies	Ketenanalyse	Flankerend
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Beoordeling van de huidige stand van zaken en toekomstige trends met als onderzoeksvraag: wat is de potentiële toekomstige vraag naar klimaatneutrale en hernieuwbare waterstof energiedragers? - Projectie van de vraag naar waterstof in de industrie en inzicht in de huidige en verwachte beschikbare infrastructuur om aan deze behoeften te voldoen. Dit vereist niet alleen inzicht in hoeveel H₂ er gevraagd zal worden, maar ook wat de implicaties zijn van concurrerende energiedragers om aan die vraag voor verschillende toepassingen te voldoen. Implicaties (kosten en effecten die verband houden met conversie voor downstream-processen) worden onderzocht, waarbij de impact van toekomstige trends zal worden beoordeeld aan de hand van enkele toekomstscenario's. 		
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> - Literatuuroverzicht van de huidige en toekomstige industriële waterstofvraag, infrastructuur en distributie in Nederland en NW-Europa, met beschrijvingen van potentiële geografische sleutellocaties van zowel bestaande infrastructuur als waarschijnlijke waterstofvraagcentra. - De focus lag op scenario's voor de industrie, maar een ruwe schatting (volume en locatie) voor gebouwde omgeving en mobiliteit werd meegenomen om de bovengrens van de vraag te bepalen. 		
Vervolg	- HyChain-1 is onderdeel van een om subsidieredenen in vijf delen geknipt totaalproject.		
Partners	Quintel Intelligence Stichting TKI-ISPT		
Subsidiebedrag	€ 75.000	Sep 2018 – mrt 2019	Eindrapport: ja

Titel	Kostenimplicaties van Nederlandse import, export, transport en opslag van hernieuwbare energiedragers (HyChain-2)		
Innovatieketen	Ketenstudies	Ketenanalyse	Flankerend
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Economische analyse van de productie van energiedragers, import, transport en opslag, om beter te begrijpen wat de kosten van de volledige waardeketen van productie, transport, opslag en conversie van verschillende energiedragers binnen en buiten Nederland kunnen zijn. - Welke stromen van duurzame energiedragers afgeleid van duurzame elektriciteit (en van welke omvang) zouden, op basis van laagste kosten, door een klimaatneutraal Nederland kunnen lopen? 		
Resultaat	- Rekenmodel waarmee een gebruiker, voor een selectie van energiedragers, aan de hand van ingevulde productie-, transport- en opslagprijzen (vanuit andere ISPT-projecten of naar eigen inzicht) zien in welke mate het goedkoper danwel duurder is om een energiedrager te importeren dan zelf te		

	produceren, voor een selectie van energiedragers waaronder waterstof. - Scenariostudie waarin wordt ingegaan op de implicaties voor zowel investeringen als voor het energiesysteem, op basis van: 1) elektrolyse in Nederland met via hoogspanning gelijkstroomkabels geïmporteerde elektriciteit; 2) waterstofimport met pijpleidingen vanuit elektrolyse in andere landen, 3) waterstofimport in de vorm van verschillende energiedragers met tankschepen.		
Vervolg	- HyChain-2 is onderdeel van een om subsidieredenen in vijf delen geknipt totaalproject.		
Partners	Kalavasta Stichting TKI-ISPT		
Subsidiebedrag	€ 75.000	Mei 2018 – dec 2018	Eindrapport: ja

Titel	HyChain-3		
Innovatieketen	Ketenstudies	Ketenanalyse	Flankerend
Doelstelling	- Aanleggen van een centrale kennisbank met de belangrijkste onderzoeksvragen: wat zijn de belangrijkste technologieën in de waardeketen van waterstofproductie, conversie, opslag en transport? Welke parameters (sociaal, economisch, technologisch en ecologisch) zullen het toekomstige gebruik van deze technologieën in de waardeketen bepalen? Hoe scoren de technologieën op elk van deze parameters?		
Resultaat	- Openbare database met opties en technologieën voor de productie, conversie, transport en opslag van waterstof, met de belangrijkste kenmerken van deze technologieën en ecologische, sociale, economische en technologische parameters zoals CO ₂ e-emissies, typische CAPEX en OPEX, TRL-niveaus en bestaande en verwachte leercurves voor de technologieën, etc. - Factsheets over elk van de onderzochte technologieën met documentatie over de database en stroomdiagrammen om meer inzicht te geven in de kostenstructuren van bepaalde technologieën.		
Vervolg	- HyChain-4 brengt resultaten van HyChain 1,2 en 3 samen in een integraal model, dat bedrijven helpt kiezen uit verduurzamingsopties waaronder waterstof. De keuze is locatieafhankelijk, daarom wordt rekening gehouden met omstandigheden zoals nabije energieopwek en infrastructuur. Project onder TKI Energie en Industrie. Hierna volgt nog HyChain-5 onder de NWO-lijn Systeemintegratie.		
Partners	Frames Energy Systems Stichting TKI-ISPT		
Subsidiebedrag	€ 75.000	Sep 2018 – jun 2019	Eindrapport: nee

Titel	Mierenzuur als integrale energiedrager		
Innovatieketen	Alternatieve energiedrager	Mierenzuur	Concept
Doelstelling	- Onderzoeken hoe mierenzuur kan fungeren als integrale energiedrager voor opslag van elektrische energie en vraagsturing, als transportbrandstof in plaats van waterstof en/of voor CO ₂ -emissiereductie in de petrochemische industrie. - Vaststellen van economische haalbaarheid en eventuele issues voor maatschappelijke acceptatie.		
Resultaat	- De combinatie van elektrificatie, groeiend fluctuerend aanbod van hernieuwbare energie, en sluiten van kringlopen (hergebruik van CO ₂) biedt kansen voor energiedragers zoals mierenzuur. - De kostprijs van waterstof en mierenzuur per eenheid energie is ongeveer gelijk. Bij elektrochemische synthese is de prijs van mierenzuur iets hoger dan die van waterstof als gevolg van het minder volwassen proces. - Elektro-katalytische omzetting van CO ₂ naar mierenzuur vergt aanzienlijk minder energie dan andere productiemethoden voor mierenzuur. - Op korte termijn is decentrale elektrochemische productie van mierenzuur vanwege de marktomvang kansrijker dan grootschalige centrale productie.		
Vervolg	- De partners werken aan een gepatenteerde technologie om CO ₂ via elektrochemie direct om te zetten in mierenzuur. Dit wordt door Coval Energy verder ontwikkeld, o.a. in project Phecarn.		
Partners	Fust Energy In-Energy		
Subsidiebedrag	€ 46.250	Jul 2015 – Feb 2016	Eindrapport: ja

Titel	Vorbereiding pilot hergebruik CO ₂ afvalverwerking naar mierenzuur (Phecarn)		
Innovatieketen	Alternatieve energiedrager	Mierenzuur	O&O (TRL 5)
Doelstelling	- Onderzoek om het ontwerpbestek van een pilotinstallatie te kunnen opstellen die afgevangen CO ₂ kan omzetten naar mierenzuur van marktqualiteit via een elektrochemisch proces. Vertrekpunt is hierbij de bereikte resultaten met de technologie van Coval Energy. - Projectonderdelen zijn: reactoronderzoek om de optimale procescondities te bepalen; purificatie van mierenzuur naar marktqualiteit; ontwerpbestek; business case; maatschappelijke acceptatie.		
Resultaat	- Testresultaten met reactor bij TU Delft.		

	- Ontwerpbestek voor een pilotinstallatie, dat alle ontwerputgangspunten beschrijft die nodig zijn om een pilotinstallatie daadwerkelijk te bouwen op een specifieke locatie binnen de installaties van afvalverwerker Twence, gebruik makend van CO ₂ uit een bestaande, kleinere CO ₂ afvanginstallatie. - Er zijn nog validerende testen nodig voordat kan worden besloten om de pilotinstallatie te bouwen.		
Vervolg	- Projectvoorstel ingediend bij MOOI-regeling voor onder meer validerende testen. Voornemen blijft om (zodra de financiering rond is) de pilotinstallatie gaan bouwen.		
Partners	Twence Coval Energy Technische Universiteit Delft TNO		
Subsidiebedrag	€ 458.920	Feb 2019 – jul 2020	Eindrapport: ja

Titel	DENS Hydrogen on-demand		
Innovatieketen	Alternatieve energiedrager	Mierenzuur	Concept
Doelstelling	- Onderzoeken van technische en economische haalbaarheid van lokale waterstofproductie uit mierenzuur door deskresearch en simulaties. - Lokale productie van waterstof kan een veilig alternatief zijn op locaties waar grootschalige opslag van waterstof geen optie is. Bijvoorbeeld voor de verwarming van industriële processen.		
Resultaat (beoogd)	- Inzicht in de technische en economische haalbaarheid van de DENS Hydrogen On-demand installatie, waaronder de werking van de reformer onder verschillende drukken, zuiverheid van de verkregen waterstof en het afgescheiden CO ₂ , kosteninschattingen in de supply chain van waterstof, benodigde investeringen in een installatie, en een marktanalyse van de locaties waar een dergelijke installatie geplaatst kan worden en welke omvang daarbij optimaal is.		
Vervolg	- Indien haalbaar wordt een proefopstelling gebouwd om enkele werkingsprincipes aan te tonen. Daarna wordt een pilotproductie-unit ontwikkeld die 50 kg/dag waterstof kan produceren (18 ton op jaarbasis) om de technologie te testen in een representatieve praktijkomgeving.		
Partners	DENS Hydrogen		
Subsidiebedrag	€ 63.000	Apr 2020 – jan 2021	Eindrapport: nee

Titel	Rethinking the role of ammonia - from a value-added product to a flexible energy carrier (FlexNH ₃)		
Innovatieketen	Alternatieve energiedrager	Ammoniak	Concept
Doelstelling	- Technisch, economisch, sociaal en juridisch haalbaarheidstudie naar het omzetten van elektriciteit in ammoniak en het gebruik van ammoniak als energiedrager of voor andere industriële applicaties.		
Resultaat (beoogd)	- Ammoniak kan gebruikt worden als mest, chemisch basisproduct, de-NOx agent en energiedrager. Dit flexibele gebruik, en het feit dat de ondersteunende infrastructuur, distributie en gebruik van ammoniak al aanwezig is, maakt ammoniak geschikt als een grootschalige energiedrager, zonder CO ₂ uitstoot, voor de toekomst.		
Vervolg	- Power to ammonia (hiernavolgend), en er zijn plannen uitgewerkt voor een groene ammoniakfabriek met elektriciteit van windparken (op Goeree-Overflakkee H2GO-programma).		
Partners	Proton Ventures Stichting Energy Valley Stichting Hanzehogeschool Groningen		
Subsidiebedrag	€ 48.990	Okt 2015 – apr 2016	Eindrapport: nee

Titel	Power to ammonia		
Innovatieketen	Alternatieve energiedrager	Ammoniak	Concept
Doelstelling	- Uitwerken van twee waardeketens voor elektrochemische productie, opslag en gebruik van ammoniak voor een landelijke (Goeree-Overflakkee) en voor een industriële omgeving (Eemshaven). - De gedachte is dat elektrochemische ammoniakproductie kansen biedt voor de industrie om duurzame elektriciteit op te slaan in producten op het moment dat het aanbod groter is dan de vraag en de prijs laag. Overtollige elektriciteit kan worden gebruikt om waterstof en stikstof te binden tot CO ₂ -vrije ammoniak, dat vloeibaar kan worden gemaakt voor compacte opslag.		
Resultaat (beoogd)	- De conclusie was dat het maken van waterstof uit elektrolyse nog te duur is door zowel hoge investeringen als variabele kosten. Dalende kosten van elektrolyzers en elektriciteit, mede door handig opereren op de elektriciteitsmarkt, een hogere CO ₂ -prijs, subsidies en een premie voor groene ammoniak kunnen de business case tegen 2030 rendabel maken. Er is ook zeer veel duurzame elektriciteit voor nodig: overstappen van SMR naar elektrolyse voor de huidige productie van OCI en Yara samen vraagt 20% meer elektriciteit dan Nederland nu opwekt.		
Vervolg	- Indirect gevolg is de recente aankondiging van Yara en windparkexploitant Ørsted om 100 MW elektrolyse te bouwen voor groene ammoniakproductie bij Yara in Sluiskil.		

Partners	AKZO Nobel Industrial Chemicals CE Delft ECN NUON Power Generation Oci Nitrogen Proton Ventures Stedin Stichting TKI-ISPT Technische Universiteit Delft Universiteit Twente		
Subsidiebedrag	€ 284.839	Jan 2016 –feb 2017	Eindrapport: ja

Informanten over de TSE projecten

Organisatie	Namen
Ansaldo Thomassen	Robin Lieve
Bronkhorst	Egbert van der Woude
BTG	Evert Leijenhorst
CE Delft	Frans Rooijers
Coval Energy & Fust	Rien van Haperen
Deltalinqs	Alice Krekt, Harry van Dijk
Dens Hydrogen	Thomas Stroes
DIFFER	Waldo Bongers
DNVGL	Sander Gersen
Energystock	Steven Zijlstra
Fluidwell	Eric Rath
gAvilar	Lianne Mostert
GFSC-Group	Ron van Wijk
Hydron	Sander ten Hoopen
HyET Hydrogen	Leonard Raymakers
Hygear	Ellart de Wit
HYGRO	Jan Willem Langeraar
Hymatters	Dick Breteler
ISPT	Andreas ten Cate
Koers & Vaart	Pieter 't Hart
KWR/Hysolar	Jos Boere
LyondellBasell	Mark Koek
Mobiele Stroom	Leen Schipper
Nedstack	Roel van de Pas
New Electric	Anne Kloppenburg
Nexstep	Jacqueline Vaessen
Nouryon	Thijs de Groot, Sikke Klein, Ton Pichel
Recoy	Robert Kleiburg
Skynrg	Oskar Meijerink
Stork	Willem Hazenberg
Stork Thermeq	Nutte Dijkstra
TDSP	Hans Leliveld
TNO	Yvonne van Delft, Remco Groenberg, Robert de Kler
TU Delft Green Village	Lidewij van Trigt
Twence	Sake Bloemhof
Vattenfall	Jeffrey Haspels, Geert Laagland

Bijlage 5: Projectfiches DKTI

Voor de DKTI-projecten op het gebied van waterstof had RVO geen projectendatabase beschikbaar. Er zijn ook geen eindrapporten beschikbaar. Er heeft geen afzonderlijke (video)belronde met projecteigenaren plaatsgevonden, maar soms bleken uitvoerders van TSE-projecten ook bij DKTI-projecten betrokken.

Tankstations

Titel	H2Nodes		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Ontwikkelen, testen en demonstrenen van een 700 bar waterstoftankstation in Arnhem voor personenauto's met een geïntegreerde installatie waar groene waterstof wordt geproduceerd.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is operationeel. - Binnen 10 jaar worden 200 personenauto's bediend met waterstof.		
Partijen	PitPoint.CNG		
Subsidiebedrag	€ 1.620.000	2017	

Titel	H2-tankpunt Green Planet Pesse		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een openbaar waterstoftankpunt voor auto's en zware voertuigen op het tankstation van Green Planet aan de A28 bij Pesse.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. - Het wordt door Energystock (Gasunie) voorzien van duurzaam geproduceerd waterstof.		
Partijen	Green Planet Real Estate		
Subsidiebedrag	€ 475.734	2017	

Titel	Hydrogen Mobility Europe 2, HRS deployment and operation in The Hague		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bedrijven van een waterstofvulpunt in Den Haag inclusief opslag, compressie en afgifte (350/700 bar) dat later uitgebreid kan worden met een elektrolyse unit voor lokale waterstofproductie.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is operationeel. Het HRS kan uiteindelijk circa 200 kilogram waterstof brandstof per dag leveren aan waterstofvoertuigen. Hiermee kunnen 250 voertuigen per week getankt worden. In 2023 zullen ca. 60-70 waterstofvoertuigen per week gebruik maken van het station.		
Partijen	Joulz Diensten		
Subsidiebedrag	€ 804.934	2017	

Titel	Models for Economic Hydrogen Refueling Infrastructure (MEHRLIN), HRS deployment and operation in Oude Tonge (Rotterdam South)		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bedrijven van een voor elektrolyse geschikt lokaal waterstofvulpunt op Oude Tonge inclusief opslag, compressie en afgifte (350/700bar), en een trailer-vulstation met 2 trailers.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. Het HRS heeft de capaciteit om circa 100 kilogram waterstof per dag te leveren aan waterstofvoertuigen geschikt voor vervoer op de weg. Hiermee kunnen circa 100 waterstofvoertuigen per week worden getankt. Het trailer-vulstation kan circa 2.500 kilogram waterstof per week afleveren aan (kleine) regionale stations.		
Partijen	Joulz Diensten		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2017	

Titel	H2Benelux: Waterstoftankstation Schiphol		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een waterstoftankstation ter bediening van het gebied rond Schiphol.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is operationeel. - Binnen een periode van 5 jaar worden circa 300 waterstofauto's bediend met waterstof.		
Partijen	Shell Nederland Verkoopmaatschappij		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2017	

Titel	H2Benelux: Waterstoftankstation Amsterdam		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Realisatie van een waterstoftankstation ter bediening van het gebied rond de Amsterdamse Zuid-As.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. - Binnen 5 jaar worden circa 300 waterstofauto's bediend met waterstof.		
Partijen	Shell Nederland Verkoopmaatschappij		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2017	

Titel	Waterstofregio 2.0: Waterstoftankstation Breda		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een waterstoftankstation voor zowel heavy duty als personenauto's (350/700 bar) met geïntegreerde waterstofproductiefaciliteit.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. - Binnen 10 jaar worden 200 auto's en 10 huisvuilwagens vervangen door waterstofvoertuigen.		
Partijen	PitPoint.H2		
Subsidiebedrag	€ 1.597.226	2017	

Titel	H2Benelux: Waterstoftankstation Rotterdam		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een 700 bar waterstoftankstation in Rotterdam van ontwerp en vergunningaanvraag tot de ingebruikname. Gedurende een jaar wordt een demonstratie uitgevoerd met minstens 10 waterstofauto's.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. - Binnen 10 jaar worden ca. 200 personenauto's vervangen door waterstofauto's.		
Partijen	PitPoint.H2		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000		

Titel	H2Benelux: Waterstoftankstation Utrecht		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een 700 bar waterstoftankstation in Nieuwegein van ontwerp en vergunning tot de realisatie en de ingebruikname van het tankstation. Gedurende een jaar wordt met het tankstation een demonstratie uitgevoerd met minstens 10 waterstofauto's.		
Resultaat (beoogd)	- Het tankstation is nog niet operationeel. - Binnen 10 jaar worden ca. 200 personenauto's vervangen door waterstofauto's.		
Partijen	PitPoint.H2		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2017	

Titel	H2Point Roosendaal		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een openbaar solitair (groen) waterstofpunt met een 350 en 700 bar tankinstallatie aan de rand van het logistiek bedrijvenpark Borchwerf II in Roosendaal en rijksweg A17.		
Resultaat (beoogd)	- Een publiek toegankelijk waterstoftankstation (nog niet operationeel).		
Partijen	Tankpunt		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2019	

Titel	Waterstoftankstation Laan der VN Dordrecht		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van waterstofstation (350/700 bar) in Dordrecht door het familiebedrijf Koninklijke Van Twist dat gaat investeren in de verplaatsing van haar tankstation. Het is zo ontworpen dat het bij toenemende vraag kan worden uitgebreid met een elektrolyser voor lokale opwekking of extra buffertank voor 350 bar tanken.		
Resultaat (beoogd)	- Een publiek toegankelijk waterstoftankstation (nog niet operationeel).		
Partijen	Tankstation Laan der VN		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2019	

Titel	Realisatie waterstof-tanklocatie te Amsterdam		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een waterstof-tanklocatie in Amsterdam, op de bestaande tanklocatie van OrangeGas op industrieterrein Westpoort te Amsterdam.		
Resultaat (beoogd)	- Een publiek toegankelijk waterstof-tankstation (nog niet operationeel).		
Partijen	OrangeGas		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2019	

Titel	Realisatie waterstof-tanklocatie te Utrecht		
Thema	DKTI	Tankstation	Cofinanciering
Doelstelling	- Bouw van een waterstof-tanklocatie in Amsterdam, op de bestaande tanklocatie van OrangeGas op bedrijventerrein Lageweide te Utrecht.		
Resultaat (beoogd)	- Een publiek toegankelijk waterstof-tankstation (nog niet operationeel).		
Partijen	OrangeGas		
Subsidiebedrag	€ 1.000.000	2019	

Titel	Rotterdams Tankstation van de Toekomst		
Thema	DKTI	Tankstation	Haalbaarheidstudie
Doelstelling	- Onderzoeken van de technische en economische haalbaarheid van een tankstation met tenminste één waterstofstation met twee uitgiftepunten en enkele snelladers voor elektrische voertuigen. - Energie wordt zoveel mogelijk lokaal opgewekt met zonnepanelen, waaronder bij tuinders in de omliggende omgeving, waarbij de afzet via het tankstation mede dient voor netbalancing.		
Resultaat (beoogd)	- Technische verkenning, planvorming, voorbereiding vergunningen, financiering, business case.. - Format voor toekomstige tankstations als energiehub, kennisdeling via Belangenvereniging Tankstations (Beta).		
Partijen	Koen van der Knaap Beta		
Subsidiebedrag	€ 42.020	2019	

Titel	Benutting overcapaciteit windturbine naar waterstof		
Thema	DKTI	Tankstation	Haalbaarheidstudie
Doelstelling	- Studie naar haalbaarheid van de benutting van overcapaciteit van 6 bestaande windturbines op industrieterrein Weststad in Oosterhout en innovatieve softwarematige aansturing door tijdens gestelde daluren de opgewekte energie te laten omzetten in waterstof voor transportdoeleinden.		
Resultaat (beoogd)	- Technische, economisch en juridisch plan van aanpak om een experimentele ontwikkeling uit te voeren. Daarbij zal een openbaar vulpunt gerealiseerd worden waar onder andere het naastgelegen distributiecentrum van Ikea en De Graaf Logistics hun commitment aan hebben gegeven.		
Partijen	Tankpunt De Graaf Logistics Gemeente Oosterhout		
Subsidiebedrag	€ 42.925	2019	

Zwaar wegvervoer

Titel	HY-4-EVER: Ontwikkeling en demonstratie van een waterstof range extender aandrijving voor stadsreiniging (vuilniswagen)		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Experimentele ontwikkeling
Doelstelling	- Ontwikkelen van een waterstof range extender aandrijfsysteem en uitvoering van een pilot in Rotterdam om te demonstreren dat een range van 250 km bij een vuilniswagen (achterlader, 3-assig, 26T) mogelijk is zonder CO ₂ -uitstoot. Hiervoor zullen de partners een vuilniswagen geheel opnieuw ontwerpen en configureren, een range extender ontwikkelen die geschikt is voor deze toepassing en deze te integreren in de aandrijflijn, het chassis en opbouw.		
Resultaat (beoogd)	- Vergroting van actieradius en stille aandrijving maakt mogelijk dat vuilniswagens eenvoudiger ook 's nachts kunnen worden ingezet.		
Partijen	Emoss Mobile Systems NedStack fuel cell technology Geesink		
Subsidiebedrag	€ 500.000	2017	

Titel	Ontwikkeling en Demonstratie van een Schaalbaar Zero Emissie Batterij-Brandstofcel Systeem voor Heavy-duty en Commerciële Voertuigen		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Experimentele ontwikkeling
Doelstelling	- Ontwikkeling van een zero emissie batterij-brandstofcel systeem, getest en gedemonstreerd voor toepassing in commerciële voertuigen. Het systeem wordt ontwikkeld met een generieke interface, zodat het makkelijk aanpasbaar is voor toepassing in N2 en N3 voertuigen, bussen, terminal (zeehaven) voertuigen, luchthaven apparatuur, distributievoertuigen en maritieme applicaties.		
Resultaat (beoogd)	- Een volledig getest en gevalideerd batterij-brandstofcelsysteem, dat in een vervolgproject door zepp.solutions in verschillende markten geïntroduceerd kan worden. - Demonstratie van een waterstof-brandstofcel aangedreven yard tractor.		
Partijen	zepp.solutions Terberg Benschop		
Subsidiebedrag	€ 500.000	2017	

Titel	H2WasteCollect: Grootstedelijke zero-emissie afvalinzameling o.b.v. circulaire waterstof		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	- Ontwikkeling en testen van een zero-emissie afvalinzamelingssysteem op basis van hernieuwbare waterstof dat wordt opgewekt door elektrolyse met energie uit (het biogene deel van het) afval. - Bouw van een tankstation op de gemeentewerf, een elektrolyser, en vuilniswagens		
Resultaat (beoogd)	- Eind 2020 rijden er in Amsterdam zeker zes H ₂ -elektrische vuilniswagens die worden beleverd met circulaire waterstof afkomstig van het gerealiseerde H ₂ -tankstation op de gemeentewerf. - Een gedemonstreerde en gevalideerde leveringsketen voor hernieuwbare waterstof en een zero-emissie logistiek concept voor stedelijke afvalinzameling.		
Partijen	Holthausen Energy Points Gemeente Amsterdam Truckland E-Trucks Europe Hogeschool van Amsterdam – Lectoraat City Logistiek		
Subsidiebedrag	€ 1.841.500	2017	

Titel	H2GROw: Op weg met waterstof in Groningen		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	- De keten van hernieuwbare H ₂ -productie, distributie, aflevering en gebruik in H ₂ -elektrische voertuigen in een realistische gebruiksomgeving testen, doorontwikkelen en demonstreren. - Ervaring opdoen met ombouw van conventionele voertuigen naar waterstof.		
Resultaat (beoogd)	- Bouw van een fast-fill vulpunt gebaseerd op technologie van Nederlandse bodem en van 12 voertuigen met waterstof-elektrische aandrijflijn door ombouw van conventionele voertuigen. - Geteste/gevalideerde ontwerpen, tools, procedures, etc. voor ombouw van traditioneel aangedreven voertuigen naar waterstof(hybride) aandrijving, alsmede onderhouds- en serviceplannen hiervoor. Ervaring met (TCO, beheer/onderhoud, bereik, veiligheid, betrouwbaarheid, etc). - Gedemonstreerde en gevalideerde leveringsketen voor hernieuwbare waterstof.		
Partijen	Holthausen Energy Points EnergyStock C.G. Holthausen Resato International Autobedrijven ESA Groningen Century Autogroep		
Subsidiebedrag	€ 2.000.000	2017	

Titel	Duwaal Proeftuin Amsterdam West (DPAW)		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	- Het aanbieden van een integraal waterstofconcept (van Wind tot Wiel) en experimenteren met waterstofvoertuigen in de binnenstad. Dit project is onderdeel van een groter programma om binnen 5 jaar ca. 500 voertuigen van brandstofceltechnologie te voorzien in de regio Amsterdam.		
Resultaat (beoogd)	- Bouw van een hogedruktankstation, en uitrusten van 3 voertuigen met een brandstofcel. - Buiten de scope, maar wel gekoppeld aan de proeftuin levert een windmolen op testterrein ECN waterstof leveren, direct op druk gebracht om belangrijke voordelen in de keten te behalen.		
Partijen	Hygro Ravo Holding GP Groot Etrucks-Europe Fleetcraft ECN Composite Agency Ontwikkelingsbedrijf Noord Holland Noord		
Subsidiebedrag	€ 1.953.595	2017	

Titel	H2RENT: Waterstof ReiNigingsTrucks		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Proeftuin H2RenT wil 6 vuilniswagens (5 achterladers en 1 kraankipper) inzetten voor demonstraties. Twee vuilniswagens zullen voor een langdurige demonstratie gelinkt worden aan een vast/bestaand of te bouwen waterstoftankstation; vier vuilniswagens worden voor kortdurende kennismakingsdemonstraties beschikbaar gesteld samen met een mobiel waterstof vulpunt. - Inrichting van een landelijk gespreid net van onderhoudsbedrijven en van een opleidingscentrum. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ervaringen met demonstraties, die een methodologie voor TCO-berekening opleveren en inzicht geven in vereisten op vlak van onderhoud en vergunningen - Roadmap voor de uitrol van waterstofvuilniswagens binnen convenant zero-emissie vuilniswagens. - Handleiding voor aanpassingen werkplaatsen en opleiding personeel voor onderhoudsbedrijven. - Informatiecentrum voor vuilniswagens op waterstof waarin kennis geborgd en gedeeld wordt. 		
Partijen	Waterstofnet Autobedrijf Loven-Trucks Van Tilburg-Bastianen Autobedrijven ESA Groningen De Burgh Eindhoven Truckland E-Trucks Europe		
Subsidiebedrag	€ 1.629.844	2019	

Titel	HyLoad		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling van een 50 ton waterstoftruck ism Ginaf, toepassing in de praktijk om een gebruiksanalyse uit te voeren. Deze waterstoftruck zal de eerste zijn van zijn type, binnen Europa, die geschikt is voor dit laadvermogen. - Ombouw van diesel MB Actros naar waterstof-elektrische aandrijving, etsten en homologatie. - Inzet bij vervoerder voor dagelijks gebruik, waarbij de truck gemonitord wordt en ervaringen van chauffeurs, planners en monteurs worden verzameld. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Op basis van data bepaalde performance van de truck en opgestelde verbeterpunten voor het voertuig en de bijbehorende infrastructuur. - Blauwdruk voor en ervaring met het ombouwen van diesel naar waterstof-elektrische aandrijving. 		
Partijen	TNO Ginaf Trucks Nederland Westerman Multimodal		
Subsidiebedrag	€ 875.031	2019	

Titel	Green Hydrogen-TNI Proef: Lokale groene waterstof voor zwaar Transport Nederlandse Industrie		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en demonstratie van een hybride waterstof-elektrische truck met elektrisch aangedreven plaatsingskraan; bouw van waterstofvulinstallatie met on-site opwekking en opslag voor groene waterstof op de locatie van Bosch Beton B.V. te Barneveld. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Experimentele ontwikkeling van de efficiënte hybride H₂/EV truck met elektrische plaatsingskraan en geoptimaliseerde innovatieve as geschikt voor zwaar transport. - Waterstofinstallatie voor circa 400kg opwekking, maximale technische capaciteit per dag. - Realisatie proeftuin opstelling inclusief H₂/EV infrastructuur 		
Partijen	Bosch Beton Holding Hogeschool van Arnhem en Nijmegen HyET Hydrogen		
Subsidiebedrag	€ 1.922.878		

Titel	Hy-speed for H2-trucks		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Versnellen van de productontwikkeling op het gebied van H2-trucks door de werking van een snelle waterstoftankinstallatie met hoog debiet in een realistische gebruiksomgeving aan te tonen. - Overtuigen van transporteurs van de praktische toepasbaarheid van groene waterstof als energiedrager voor transport. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstratie van een openbare hoog debiet tankfaciliteit (7,2 kg H₂ per minuut @ 350 bar) voor H2-trucks met voldoende afzetcapaciteit (ca. 900 kg/dag) - Ontwikkeling en demonstratie van tank- en vulappendages die hiervoor geschikt zijn. - Inzicht verkregen in de aspecten voor H2-tankinstallaties en H2-tank- en appendagetechniek voor H2-trucks voor vulsnelheden van ca 7,2 tot 10 kg H₂/min @ 700 bar. 		
Partijen	Green Planet Real Estate Contrall Projectrealisatie Sent Waninge H2 Storage Hytruck consult New Energy Coalition Necon Tech D.G. O. Express Oegema Transport Bakkerij Faber TNO		
Subsidiebedrag	€ 1.899.468	2019	

Titel	'Groen op weg' – Lokale productie en afname van groene waterstof voor transport		
Thema	DKTI	Zwaar wegvervoer	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Proof-of-concept dat het lokaal koppelen van duurzaam transport aan lokale duurzame en flexibele energieproductie rendabel is voor zowel de producent als de afnemer van groene waterstof. - Investering in en de implementatie van 1) vernieuwende PEM elektrolysertechnologie voor waterstofproductie, 2) openbare tankinfrastructuur en 3) emissiearme voertuigen. - Blauwdruk om deze aanpak te herhalen op andere locaties. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Een zonneweide op het terrein van WRK in Nieuwegein gaat duurzaam opgewekte elektriciteit leveren voor de productie van groene waterstof. Deze groene waterstof wordt geleverd aan een bedrijf dat deze zal gebruiken voor de aandrijving van nieuw aan te schaffen brandstofcel-elektrische voertuigen. Deze voertuigen zullen vooral in Midden-Nederland ingezet worden voor het vervoer van materialen en goederen van en naar opdrachtlocaties. 		
Partijen	Aannemersbedrijf Jos Scholman KWR Water Allied Waters Hysolar WRK		
Subsidiebedrag	€ 1.831.967	2019	

Titel	Vergelijk van verbrandingsconcepten voor waterstofmotoren		
Thema	DKTI	Verbrandingsmotoren	Haalbaarheidstudie
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Onderzoeken welke verbrandingsvorm het best geschikt is voor twee verschillende scenario's: de variabele snelheid toepassing (toepassing in voertuigen), en de vaste snelheid toepassing (toepassing op vaste locatie zoals generator sets). - Technische haalbaarheid en marktverkenning van verbrandingsconcepten zoals lean burn, lambda1, vonkonthekking, en nieuwe concepten zoals RCCI, voor zware motoren. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Inzicht in de potentie van waterstof als brandstof voor verbrandingsmotoren. Voor de marktpartijen levert het inzicht op in welke concepten zij zich het best kunnen richten met hun ontwikkelingsspanning. Voor beleidsmakers geeft het een beeld wat zij in de tijd kunnen verwachten. 		
Partijen	TNO NPS Diesel		
Subsidiebedrag	€ 49.355	2019	

Mobiele machines

Titel	H2Mobile PSM Equip: Public Space Maintenance Equipment		
Thema	DKTI	Mobiele machines	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling, testen en met leveranciers en eindgebruikers demonstreren van een standaardoplossing (H₂E Powerpack met wisselfles) voor mobiele machines zoals veegmachines en veegwagens. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkelde en geteste H₂E Powerpack met monitoring en power management module, die als "H₂-batterij" inpasbaar is als alternatief voor een "standaard" Li-ion batterij in mobiele equipment. - Uitlevering van 3+2 met toepassing van het H₂E Powerpack-concept geëlektrificeerde veegwagens resp. veegmachines aan eindgebruikers. - Ontwikkeld en getest H₂ wisselflesconcept (ca. 1 kg) voor toepassing met de H₂E Powerpack, bedoeld als thuishomen/buffer om minder afhankelijk te zijn van beschikbare waterstofstations. 		
Partijen	Holthausen Clean Technology Hogeschool Arnhem Nijmegen Aebi Schmidt Nederland Van Campen Ecotechniek Mission Zero Leasing		
Subsidiebedrag	€ 433.670	2019	

Titel	ELEVATE		
Thema	DKTI	Mobiele machines	Experimentele ontwikkeling
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Development of a performance oriented modular machine platform solution with Zero Emission architecture for the off-road mobile machinery market. Focus will be on a hydrogen fuel cell range extended solution with coupled infrastructure in the market segment of 56kW-130kW. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Complete electric powertrain laboratory and field tested in Off-Road machine environments. - Cost and technology validated prototype, with a focus on the powertrain. - Hydrogen infrastructure assessment and supply solutions for fleet machines returning to home bases daily, machines that use public stations and machines for changing work sites. - Assessment for the business cases and business models of the entire value chain (component suppliers, manufacturers, energy suppliers, dealers/maintenance, end users). 		
Partijen	Diverto Technologies TNO Arentis Greenpoint Power To H2		
Subsidiebedrag	€ 484.958	2019	

Vaartuigen

Titel	Proeftuin: H2 in de haven van Den Helder		
Thema	DKTI	Vaartuigen	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Technisch en commercieel valideren van innovatieve waterstoftechnologie voor vaartuigen in een realistische gebruiksomgeving en valideren van de business cases van de ketenpartners. - Ontwikkeling van regelgeving en certificeringseisen voor waterstof in de maritieme sector. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkeling en demonstratie van elektrisch aangedreven vaartuig met waterstof range extender. - Bouw van openbaar waterstofpunt Den Helder voor vaartuigen en voertuigen. - Bedrijven van een 1 MW elektrolyser voor productie van groene waterstof en netbalancing, 		
Partijen	Damen Shipyards TU Delft Engie Services West Bureau Veritas Marine Port of Den Helder Pitpoint.H2 New Energy Coalition		
Subsidiebedrag	€ 1.365.960	2019	

Titel	Proeftuin waterstof-Elektrische Binnenvaart Bouwtransport (PEBB)		
Thema	DKTI	Vaartuigen	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkelen en testen van een 'proeftuin' waarin 2 hybride (elektrisch-waterstof range extender) aangedreven duwboten zo efficiënt mogelijk worden ingezet in de bestaande logistieke planning van grond- en afvaltransport tussen steden liggend aan het Noordzeekanaal, Het IJ en het Amsterdam-Rijnkanaal. Maakt gebruik van nieuw te ontwikkelen waterstofpunt in haven Amsterdam. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstratie van gecertificeerde modulaire waterstof-elektrisch hybride aandrijfsystemen in de binnenvaart voor toepassing in bouwtransport over water. Na dit project zal dit verder worden opgeschaald naar andere toepassingen en grotere aantallen. - Planning-software om zo de optimale tank-/laadmomenten voor de schepen te bepalen op basis van opdrachten, routes, e.d. in logistieke operaties. 		
Partijen	Zoev City TNO Havenbedrijf Amsterdam H2Consultancy Mokum Mariteam Bouwaanvoerders		
Subsidiebedrag	€ 1.514.479	2019	

Titel	Energie op maat		
Thema	DKTI	Vaartuigen	Proeftuin
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> - Ombouwen van een Mobiele Stroom unit (20-voets container waarin leidingwerk, veiligheidsmaatregelen, microturbine e.d. zijn opgenomen) conform regelgeving om een Marine Approval te krijgen. De bestaande unit is geschikt als mobiele landbased oplossing voor energielevering met LNG/CNG/waterstof/methanol als brandstof. - Toepassing op een nieuw containerschip voor transport tussen Delfzijl en Rotterdam. De Mobiele Stroom unit(s) vormen daarbij de basis voor de voortstuwing. Het concept waarin de energievoorziening losgekoppeld is van het schip geeft een aantal ontwerpvrijheden voor dit schip. 		
Resultaat (beoogd)	<ul style="list-style-type: none"> - Een voor verschillende biobrandstoffen en waterstof goedgekeurde, van Marine Approval voorziene, energieleverende Mobiele Stroom unit. De gebruikte microturbine heeft deze approval al. - Blaudruk voor het toepassen van losse energie-units aan boord van binnenvaartschepen. 		
Partijen	Mobiele Stroom Conoship International Marine Service Noord Wijnne en Barends RINA Sikking Controls Qumey Metaalindustrie		
Subsidiebedrag	€ 237.247	2019	

Bijlage 6: Wensen voor toekomstige programmering

In de 41 gesprekken met projecteigenaren en -deelnemers is gevraagd welke thema's in toekomstige subsidieregelingen aandacht zouden moeten krijgen, welke wensen er zijn over de inrichting van de regelingen, en over andersoortige ondersteuning. Het betreft uitdrukkelijk meningen van de gesprekspartners en niet standpunten van TKI Nieuw Gas. Vertrouwelijk meegedeelde projectideeën zijn niet vermeld. Er is niet getoetst of deze wensen realistisch en/of haalbaar zijn. Ze worden hier vastgelegd omdat het waardevolle informatie bevat voor de toekomstige inrichting van het instrumentarium. Overigens lijken de wensen soms ver uit elkaar te liggen; zo wordt bijvoorbeeld tegelijk gepleit voor focus en voor verbreding van programma's.

Productie van waterstof

- Kostenreductie blijft een belangrijk R&D-thema om in de komende jaren elektrolyzers neer te kunnen zetten zonder subsidie.
- Er zijn (naast wind op zee) meer plekken waar in waterstof omzetten van elektriciteitsoverschotten problemen kan wegnemen, ook op land (zoals het oplossen van netcongestie). Hier zou TSE gericht studie naar kunnen laten doen met een marginale kostenbenadering: waar doen de knelpunten zich voor en hoe kun je die met waterstof oplossen (in vergelijking met andere oplossingen)? De energieverliezen bij elektrolyse kunnen opwegen tegen de extra kosten van andere oplossingen.
- Er moet echter niet alleen worden gedacht in termen van elektriciteitsoverschot. Waterstof is een extra manier om energie van zon en wind te benutten en in het energiesysteem te integreren, inclusief als bouwsteen voor duurzame chemie.
- Vraag is ook welk additioneel vermogen nodig is als er geen wind en zon is. Naast groene waterstof uit elektrolyse met energie uit fluctuerende bronnen is er ook behoefte aan permanente, groene productie. Dat kan bijvoorbeeld met duurzame biomassa (naast blauwe waterstof). Voorwaarde zou dan moeten zijn dat naast de waterstof voor energie ook de koolstof nuttig wordt gebruikt voor chemie. De eenzijdige nadruk op elektrolyse met wind en zon wordt als onverstandig gezien.
- Er liggen kansen voor het ontwikkelen van hybride productiesystemen die fluctuerende elektrolyse combineren met schakelbare wijze van opwekking, zoals vergassing van bio-olie. Hierbij kan dan ook zuurstof uit elektrolyse worden benut. "Hybride systemen" is een opkomend thema in EU-calls. Als de vrijkomende CO₂ dan ook nuttig wordt gebruikt is een koolstofnegatieve keten mogelijk.
- Voor plekken waar geen grote waterstofopslag mogelijk is kan waterstof lokaal vanuit mierenzuur worden vrijgemaakt. Dit kan oplossingen bieden voor waterstoftankstations en inzet voor mobiele werktuigen zoals graafmachines, kranen e.d. Dit geldt ook voor methanol.

Gebruik van waterstof

- Er wordt aandacht gevraagd voor andere eindgebruikstechnieken voor waterstof dan brandstofcellen, zoals verbrandingsmotoren en warmtemotoren. Deze technieken zijn voorlopig goedkoper en robuuster (lange levensduur, minder zuiver waterstof nodig), maar zijn minder efficiënt. Ze kunnen dienen als opstap zolang brandstofcellen duur zijn. Aan de andere kant worden ze minder snel goedkoop door opschaling als gebruikers kiezen voor de meer conventionele oplossingen.
- Dieselmotoren kunnen geschikt worden gemaakt voor verbranding van waterstof en dan dual-fuel worden ingezet zodat de gebruiker minder afhankelijk is van waterstofaanvoer. Micro-gasturbines kunnen op verschillende brandstoffen werken waaronder waterstof, en zijn een goedkopere oplossing dan een brandstofcel. Warmtemotoren (Stirling) kunnen ook flexibel op meerdere gasvormige brandstoffen worden ingezet.

- Ontwikkeling van sensortechnologie is belangrijk uit oogpunt van veiligheid (waterstofdetectie). Er zou ruimte voor moeten komen in programma's en regelingen om hiervoor producten te ontwikkelen. Veiligheid heeft ook veel aandacht in Brussel.
- Ruimte voor vloeibare waterstof in regelingen. Kleinschalige vervloeiing is een uitdaging, de kleinste beschikbare is 5 ton/dag. Vloeibare waterstof vereist een nieuwe keten van productie tot aan eindgebruik, en moet dus ook als ketenproject worden benaderd. Belangrijk is te bepalen waar synergievoordelen gelden of conversiestappen vermeden kunnen worden. Zo kan de kou van vloeibaar waterstof worden benut voor koeling van de brandstofcel.

Toepassing in industrie

- Er wordt veel verwacht van inzet van waterstof in de industrie als vervanger van aardgas voor verwarming van processen, maar er zijn nog weinig projecten op dit vlak behalve het project voor een flexibele brander die werkt op een 0-100% aardgas-waterstof-mengsel. Er zijn meer projecten op dit thema gewenst. Mogelijke onderwerpen zijn de volgende.
- Ontwikkeling van een dedicated waterstofbrander met interne i.p.v. externe rookgascirculatie. Hierdoor is een kosten- en energie-efficiency-voordeel te behalen. Nadeel is dat je met een dedicated brander niet terug kunt naar aardgas, dus dit is pas iets voor latere fase van de transitie.
- Onderzoek naar het effect van waterstof op productkwaliteit in de keramische industrie. Waterstofverbranding levert meer water en geen CO₂ op, dit heeft effect op de kwaliteit van bijvoorbeeld kleiproducten, wat moet je daaraan doen? Waterstof stoken in plaats van aardgas leidt tot een andere warmteoverdracht, wat betekent dit voor benodigde aanpassingen in de installatie van ovens (anders dan de branders)? Hoe zuiver moet het gasmengsel zijn? Rookgas reageert met het product en de samenstelling van waterstof heeft dus effect op het product. Welke CH₄/H₂-mix is geschikt?
- Planningsstudies: waar en hoeveel waterstof is nodig als de glas/metaal/steenindustrie waterstof wil gebruiken? Hoe moet dat worden aangeleverd? Het gaat om verspreide industrie, vaak standalone buiten clusters. Deze industrie wordt niet vaak betrokken in de discussie over waterstof in de industrie.
- Veel industrie kan nog 30-40% energiebesparing bereiken door omschakeling op nieuwe technieken en het wegnemen van in de loop van de tijd ontstane inefficiënties bij uitbreidingen van installaties (aldus Deltalinqs). Er is veel energieverkwisting, en dat kan omdat (fossiele) energie goedkoop is. Energiebesparing verlaagt de lat voor overstap naar duurzaam. De trias energetica wordt te weinig integraal toegepast, daar zou Topsector meer aandacht aan moeten geven.

Infrastructuur, back-up en opslag

- Er worden veel losse projecten gestart, "lean" opgezet om kosten te beperken. Daarbij zijn geen back-ups ingepland voor waterstoflevering, dispenser, e.d. Je kunt echter niet zomaar waterstof bestellen als je elektrolyser het niet doet, want er is in Europa geen restcapaciteit van waterstoftransporttrailers. Voor elk project apart back-up regelen is weer heel duur. Een idee is om een gedeelde back-up capaciteit te organiseren en collectief te financieren voor de pool van projecten in Nederland.
- Een struikelblok voor waterstof voor mobiele toepassingen zoals aggregaten is de kosten van logistiek. Je moet veel gewicht en volume verplaatsen voor waterstof en dat vertaalt zich naar kosten. Dat wordt pas minder bij een uitgebreide infrastructuur, of bij "rondje om de kerk". Een structurele back-up leveringsketen kan ook hier bijdragen aan kostenverlaging.
- Er is onderzoek nodig naar hoe waterstofpijpleidingen zich gedragen bij fluctuaties van invoeding op de leiding. De pijpleiding heeft de functie van transport en opslag, maar de mate van opslag kan verschillen, zo is productie met windenergie hoger op een winderige dag. Productiewisselingen leveren drukverschillen op in de veelal stalen leiding, kan die daar goed

mee omgaan, en volgen daar invoedingseisen of beperkingen uit? Gasnetbeheerders zijn met aardgas niet gewend aan fluctuaties.

- Er is meer onderzoek nodig naar het vraagstuk van de rol van opslag voor leveringszekerheid. Waterstofopslag is tot nu toe vooral bekeken vanuit de betekenis voor flexibiliteit, maar aardgasopslag dient nu voor seizoensbalans en strategische reserve. Als je die rol ook aan waterstof wilt geven, wat betekent dat dan? Hoeveel is leveringszekerheid waard, immers waterstof is (voorlopig) duur, dus een voorraad aanleggen ook.
- In het licht van maatschappelijk draagvlak hebben partijen behoefte aan een Rijksvisie op nut en noodzaak van ondergrondse energieopslag voor de werking van het toekomstig energiesysteem, en welke opties daarvoor in aanmerking komen. Dat geeft partijen een steun in de rug bij discussies met stakeholders over individuele projecten. In de toekomst gaat vergunningverlening verlopen via projectbesluiten, waarbij een verplichting is om in een vroeg stadium in gesprek te gaan met stakeholders over alternatieve opties. Het participatieproces is niet gedefinieerd. Nadeel kan zijn dat dit projectontwikkelaars afschrikt vanwege risico op vertragingen en blokkades.

Stimuleren maakindustrie

- Er is begrip voor de inzet op megawattschaal-productie, maar de kleine schaal biedt ook innovatieve kansen voor lokale projecten en is beter te behappen voor het MKB. De aandacht is nu helemaal op industrie gericht, op “groot en zwaar”. Richt je subsidieregelingen exclusief op grote schaal dan sorteert je voor op grote bedrijven en zet je het MKB op achterstand, zo wordt gewaarschuwd.
- Er zou meer ondersteuning moeten komen voor Nederlandse industrieopbouw. Andere landen hebben dat als speerpunt en hun industrie concurreert vervolgens op de Nederlandse/Europese markt tegen niet gesteunde Nederlandse industrie. In de RVO-regelingen is geen aandacht voor dit aspect van industrieopbouw. Nederland laat kansen liggen met creëren van werkgelegenheid en moet hier actiever ermee omgaan. Vgl. het “internetmoment”, er komt een aardverschuiving in de economie, zegt een ondernemer.
- Tegelijk is voor Nederlandse industrieopbouw ook samenwerking met partners in andere landen nodig, want niet alle specifieke expertise is hier te vinden. Dit kan in EU-projecten, maar de voorwaarden daarvoor zijn moeilijk (in Horizon2020 bijv.). Geopperd wordt om in Nederlandse regelingen een luik te maken voor bilaterale projecten met buitenlandse partijen, als de kennisopbouw aantoonbaar ten goede komt aan eigen industrie. Een ander voorstel is om Nederlands MKB ondersteuning te geven om in EU-projecten deel te nemen, bijvoorbeeld bij consortiumbouw.
- Er wordt bepleit dat in toekomstige regelingen meer aandacht moet zijn voor strategisch voorwerk voor projecten. Regelingen zoals MOOI zijn semi-gericht opgezet, wel vanuit missies maar daaronder “mag alles”. Een regeling zou eerst haalbaarheidsonderzoek / roadmapping door groepen stakeholders onder begeleiding van kennisinstituten kunnen ondersteunen om de meest effectieve innovatieprojecten te definiëren en prioriteren. Daarbij moet niet de TRL van individuele technieken centraal staan, maar de te behalen verbetering bij toepassing van technieken in hun context. Bijvoorbeeld: er is al jaren veel aandacht voor stackontwikkeling, maar die is maar voor 20% van kosten van elektrolyser verantwoordelijk, wellicht is nu veel meer winst te halen bij elektronica.

Kennisverspreiding en regelgeving

- Er is bij de projecten in de gebouwde omgeving veel interesse uit andere gemeenten. In het project in Hoogeveen wordt een congres voor gemeenten georganiseerd. Voorstel is ook om een ondersteunende tool te maken om gemeenten door de eerste stappen te helpen, met een bijbehorende kennisbank/kenniscentrum. Hierbij zouden ook ondersteuningsvouchers kunnen worden verstrekt aan belangstellende gemeenten.

- Er is bij projectuitvoerders behoefte aan een soort expertpool om de zoektocht naar specifieke kennis te vergemakkelijken. Zelf het wiel uitvinden over veiligheidsvraagstukken bijvoorbeeld kost veel tijd en moeite. Hier zou de overheid bij kunnen helpen.
- Met elektrolyse waterstof maken, op welke schaal dan ook, vereist een vergunning voor chemische vervaardiging van een product. Dat kan al gauw een half jaar duren. Er zou een lichte procedure moeten komen voor projecten die weinig waterstof maken, veelal O&O-projecten.

Vergelijkende studies

- De markt is veelal nog niet overtuigd dat waterstof “het wordt”, er zijn nog diverse alternatieve kandidaten. Het blijft daarom belangrijk om vergelijkende studies te doen, en vergelijkende pilots en demonstraties.
- Zo zoekt de scheepvaart nog steeds naar geschikte duurzamere brandstoffen. Studies zijn er, technische oplossingen ook maar er wordt veel naar elkaar gekeken. Er is behoefte aan beproeving en demonstratie, waarbij naast waterstof ook alternatieve energiedragers op basis van waterstof worden verkend, zoals ammoniak en e-methanol. De hogere energiedichtheid en eenvoudiger handling is een pre voor deze vloeistoffen.
- Het is nuttig om vergelijkende studies na verloop van tijd te herhalen want de parameters gaan veranderen. De waarde zit in de exercitie, niet alleen in de (eenmalige) uitkomsten.
- Het zou zinvol zijn om een meta-analyse te doen over de diverse haalbaarheidsstudies die onder de TKI's zijn uitgevoerd. Welke conclusies kunnen worden getrokken over de gedane analyses en berekeningen?

Toekomstige regelingen

- Verschillende partijen pleiten voor open regelingen zoals de waterstofregeling van TSE, zodat de aanvrager zelf kan bepalen waar hij een project op richt. Belangrijk dat regelingen vrijheid bieden, en niet veel kaders stellen zoals bepaalde innovatiefases of TRL's, want dat beperkt de mogelijkheden en dwingt partijen zich in bochten te wringen om aan kaders te voldoen. Er zijn meerdere voorbeelden van projecten die geen gebruik konden of kunnen maken van DEI omdat de regeling niet openstaat voor de betreffende projectfase (bijv. demonstratie op locatie). Bij DKTI was er ruimte voor een enkel schip en veel beperkende voorwaarden. Daardoor wordt de slaagkans klein en het risico om vergeefs een project in te dienen groot.
- Sommige regelingen zijn zo ingewikkeld geworden dat je een gespecialiseerd bedrijf moet inhuren om je voorstel te schrijven. Vereenvoudiging is wenselijk.
- Vergeleken met Europese regelingen zijn de subsidiepercentages van RVO-regelingen laag, maar Brusselse regelingen zijn lastig met beperkende regels (aantal partners, herkomst etc.) en kennen een log administratief systeem. RVO biedt minder ruime ondersteuning maar is wel meer benaderbaar, volgens partijen. Een partij heeft juist betere ervaringen met Brussel dan RVO als het gaat om meedenken met projectformulering en uitvoering.
- Bij waterstofprojecten zijn de hardwarekosten hoog. Dat leidt ertoe dat partijen het liefst papieren haalbaarheidsonderzoek doen waarbij ze alleen uren opvoeren, volgens een MKB. Het zou goed zijn als RVO hardwarekosten (bijna) volledig kan vergoeden en dat partijen hun uren als cofinanciering in kunnen brengen, oppert een MKB. Een oplossing kan ook zijn dat hardware kan worden ingekocht door een publieke partij die deze uitleent of verhuurt aan MKB voor projecten. Vgl. shared services concepten, Plant One, of H2lab, maar dan niet alleen aanbieden van testfaciliteiten maar ook van sommige hardware.

Opschaling

- Voor de grote spelers is nu de belangrijkste vraag hoe de opschaling kan worden bereikt. Er zijn tot nu toe wel veel studies en kleinschalige demonstraties, maar om op grote schaal te demonstreren is infrastructuur en onrendabele top-ondersteuning nodig. Instrumenten voor ondersteuning op de schaal boven 20 MW elektrolyse ontbreken, en ook voor elektriciteitsopwekking met grote waterstofturbines.
- Voorwaardelijk voor de opschaling van toepassingsprojecten zijn het zakken van de waterstofprijzen en de uitbreiding van (tank)infrastructuur en het op orde krijgen van de wetgeving daarvoor. Dit verbetert het playing field voor alle partijen.
- SDE++ zal voor inzet van groene versus grijze waterstof helpen, maar is voor inzet van gasturbines onvoldoende. Het gaat in dat geval niet om de onrendabele top tussen groene en grijze waterstof, maar tussen groene waterstof en aardgas. Zolang groene waterstof nog weinig beschikbaar is, zou blauwe ingezet kunnen worden, maar dan gaat het dus om het verschil tussen blauwe waterstof en aardgas.
- Belangrijk voor de levensvatbaarheid van groene waterstofprojecten is ook hoe je groene waterstof "telt". Geldt de daadwerkelijke elektriciteitsmix als basis voor stimulering of kun je ook onrendabele top subsidies krijgen bij vergroening met GvO's?
- Onder de SDE+-regeling wordt onderscheid gemaakt tussen netlevering en niet-netlevering. De tweede categorie is per definitie 100% groen en dient daarom niet te worden afgerekend op basis van de nationale productiemix. Waterstofproductie op basis van elektriciteit zonder netlevering kan daarom zonder Brusselse bezwaren ondersteund worden.