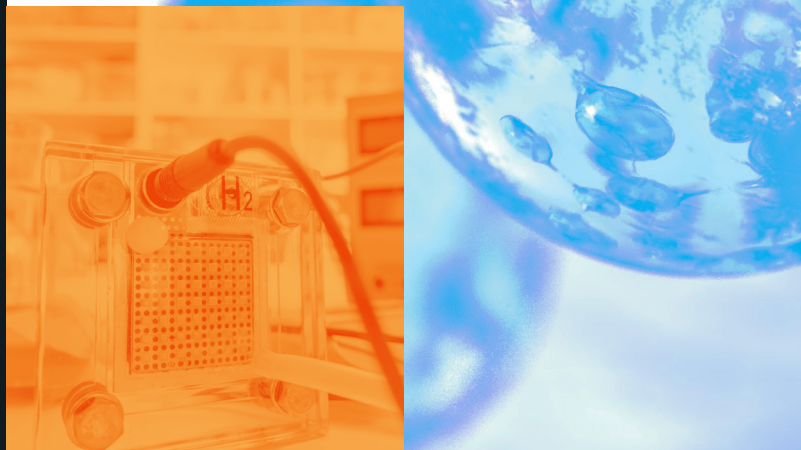


PERSPECTIEF VOOR DUURZAME
GROEI DOOR WATERSTOF

Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie

Oktober 2019

Kansen en mogelijkheden H2MaakNL





Opgesteld in opdracht van
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en
het Ministerie van Economische Zaken en
Klimaat (EZK)

Auteurs: Jaco Reijerkerk (Ekinetix) en Gigi van Rhee (Stratelligence)

De slag om waterstof

Waterstof is als energiedrager één van de grote beloftes van een succesvolle energietransitie én van de Nederlandse economie. Waterstoftechnologie heeft de potentie om het belangrijkste exportproduct van Nederland te worden. Dat biedt enorme mogelijkheden voor industriële bedrijven; de technologische industrie kan de vele nieuwe toepassingen van waterstof mogelijk maken. Daarom heeft FME, samen met het ministerie van EZK, in kaart gebracht waar de kansen en mogelijkheden liggen om de positie van het bedrijfsleven en daarmee het waterstof-ecosysteem in Nederland te versterken. Dit rapport laat zien hoeveel Nederlandse ondernemingen nu al actief zijn in de waterstofindustrie. Nationaal en internationaal, want waterstof is een wereldmarkt in wording.

Waterstof kan niet alleen helpen onze ambitieuze klimaatdoelen te halen, maar kan ook duurzame economische groei en banen scheppen. Nederland wil dan ook koploper worden bij het produceren, gebruiken en exporteren van waterstof en heeft daartoe een goede uitgangspositie: een uitstekende gasinfrastructuur die her-inzetbaar is voor transport van duurzame waterstof, een groot potentieel aan offshore-wind voor de productie van groene waterstof en een industrie die de sterke wil heeft om te verduurzamen.

Maar om over te stappen op waterstof als belangrijkste energiedrager, is een grote verbouwing in de industrie, vergelijkbaar met die van de overstap van kolen naar aardgas in de jaren zestig van de vorige eeuw, noodzakelijk. Technologisch gezien is alles mogelijk, maar de kosten van alle aanpassingen zijn hoog en de sector moet wel concurrerend blijven. Dat kan zij niet alleen.

Oranje

FME is pas geleden gestart met een waterstofplatform voor FME-leden. De komende tijd zullen steeds meer samenwerkingsverbanden ontstaan om zowel nationaal als internationaal Nederlandse waterstoftechnologiebedrijven te verbinden en te ondersteunen. We hebben het steeds over groene, grijze en blauwe waterstof, maar waterstof moet oranje worden door optimaal gebruik te maken van Nederlandse technologie voor de productie en toepassing.

Dus overheid: durf te kiezen. Trek substantieel geld uit voor de implementatie van waterstof. Ga wet- en regelgeving voor waterstof landelijk coördineren, zodat projecten op lokaal niveau kunnen worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld voor het installeren van waterstof-tankstations. En Tweede Kamer: spits subsidiëringinstrumenten toe op de productie en het gebruik van waterstof.

De waterstofsector moet de aandacht en financiering krijgen die het, gezien de enorme potentie voor de CO₂-doelstellingen en de Nederlandse economie, verdient. Zodat bedrijven niet alleen in volle vaart vooruit kunnen met waterstof, maar zodat ook nieuwe bedrijven de waterstofmarkt kunnen betreden. Wij hopen van harte dat dit rapport spoedig aan een nieuwe druk toe is.



Ineke Dezentjé Hamming-Bluemink
Voorzitter FME



Noé van Hulst
Waterstof gezant bij Ministerie EZK



Inhoud

Voorwoord	3
Waterstof: Kansen voor de Nederlandse industrie	6
1. INLEIDING	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Onderzoeksvraag	12
1.3 Aanpak	12
1.4 Doelgroep	13
1.5 Leeswijzer	13
2. WATERSTOFKETENS EN SPELERS	14
2.1 Integrale waterstofproductieketen	15
2.2 Systemen in integrale waterstofproductieketen	15
2.3 Systeemleveranciers per product-marktcombinatie	18
2.4 Productieketen per product-marktcombinatie	18
2.5 Leveranciers per product-marktcombinatie	20
2.6 Marktpartijen	20
3. METHODIEK VOOR VINDEN KANSEN EN MOGELIJKHEDEN	26
3.1 SWOT-Analyse Nederland en strategische implicaties	26
3.2 'Omgekeerde' Ansoff-matrix	28
3.3 Specifieke eigenschappen waterstof en brandstofcellen	30
3.4 Kansrijke product-marktcombinaties	31
3.5 Beleidsmaatregelen	32
4. ANALYSE KANSRIJKE VOORBEELDEN	33
4.1 Toepassingsgebieden waterstof	33
4.2 Distributiesystemen waterstof	35
4.3 Opslag en overslagsystemen waterstof	35
4.4 Waterstofproductiesystemen	36
4.5 Aanvullende diensten m.b.t. waterstof	37
4.6 Toeleveringsmarkten m.b.t. waterstof	38
5. UITWERKING CASES	40
5.1 Case 1: Elektrolyse	40
5.2 Case 2: De (waterstof) CV-ketel	46
5.3 Case 3: Hogedruktank	53
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	61
6.1 Waterstof biedt kansen voor Nederlandse industrie	61
6.2 Witte vlekken zijn beperkt en kunnen nog deels ingevuld worden	62
6.3 Gewenste ondersteuning van industrie is afhankelijk van knelpunt	63
6.4 Aanbevelingen	64
7. GERAADPLEEGDE BRONNEN	65
APPENDICES	68
Bedrijvenlijst	68
Eigenschappen van waterstof	74

Waterstof: Kansen voor de Nederlandse industrie

Kansen en mogelijkheden

Waar kunnen snelle stappen gemaakt worden om de waterstofketen vorm te geven en wat is daarvoor nodig?

Vele landen en regio's zien waterstof als de sleutel naar een schone, betrouwbare en betaalbare energie- en grondstofvoorziening.

Nederland wil internationaal koploper zijn in de ontwikkeling van de markt voor waterstoftoepassingen. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en FME hebben daarom behoefte aan inzicht in de huidige positie(s) van de Nederlandse maakindustrie op het gebied van waterstof, ook met oog op hoe deze sector beter kan worden ondersteund. De Nederlandse industrie scoort internationaal in het algemeen zeer goed. Op de wereldranglijst van industrielanden staat Nederland al jaren in de top 10. De grote industrielanden in de wereld, zoals Duitsland, Japan, China, USA en Korea, hebben allemaal een actieve en toonaangevende industrie op het gebied van waterstof en brandstofcellen.

In dit rapport vindt u een eerste verkenning van waar de kansen en mogelijkheden liggen om de positie voor het bedrijfsleven en het waterstofecosysteem in Nederland te versterken. Deze eerste verkenning bestaat uit een analyse van de verschillende waterstofketens en de potentie van de segmenten en biedt een overzicht van de bestaande spelers. Zichtbaar is dat er twee grotere clusters aanwezig zijn met bedrijven die zich al met waterstof bezighouden: in Zuid-Holland rondom Rotterdam en in Gelderland rondom Arnhem. Maar belangrijker is dat overal in Nederland bedrijven actief zijn en worden geïnspireerd door de vele regionale initiatieven en projecten. Een reden van het relatief grote aantal actieve bedrijven is dat Nederland na Duitsland de grootste

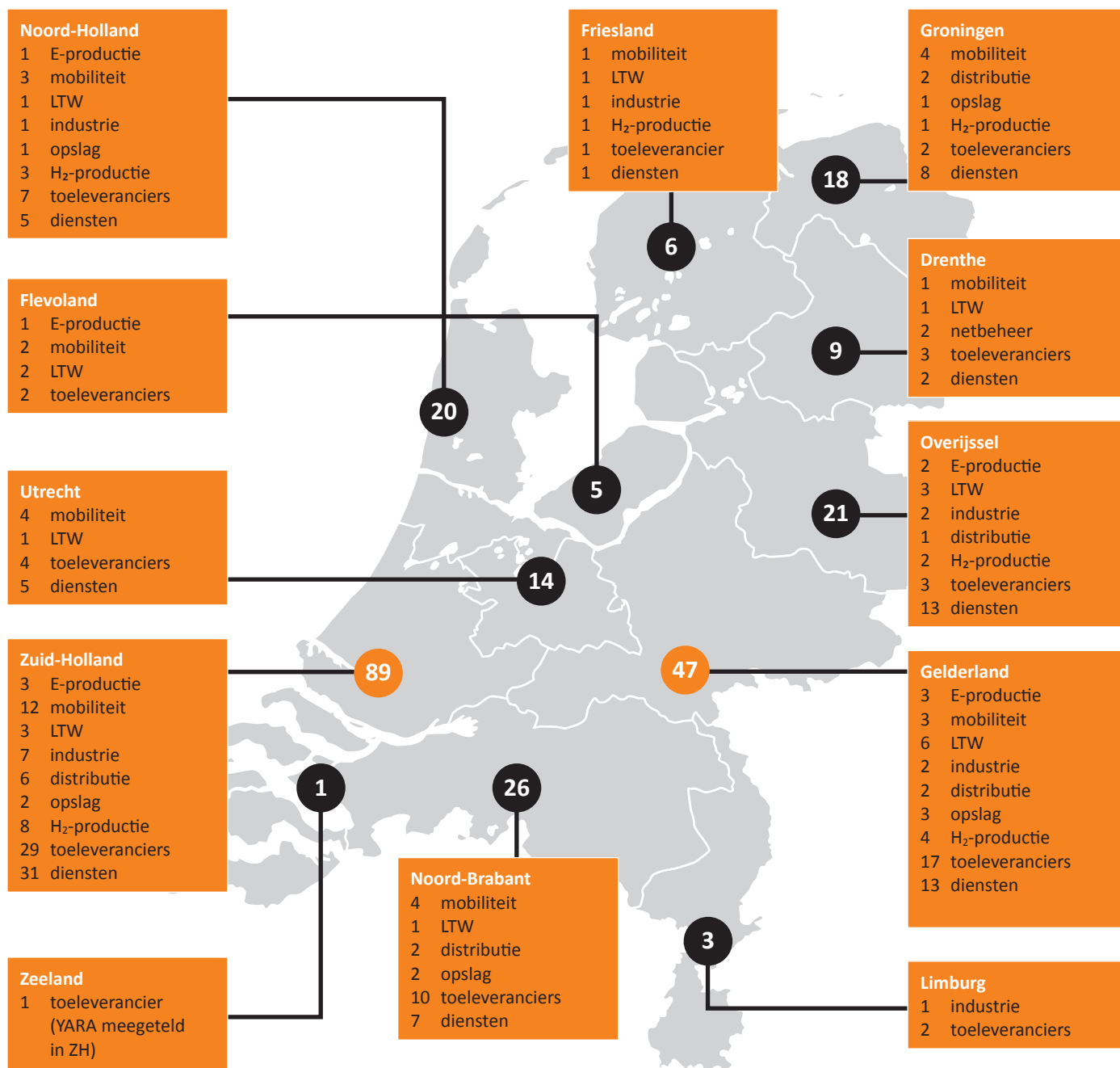
waterstofproducent is binnen Europa. In Nederland wordt op jaarbasis ca. 8 mrd. m³ waterstof weg geproduceerd, veelal uit aardgas en stoom (SMR) ten behoeve van de aanwezige kunstmest- en petrochemische industrie.

zie figuur 1

Voor de identificatie van kansen op het gebied van waterstof is gekeken naar de verschillende (toekomstige) toepassingsgebieden van waterstof en de bijbehorende toeleveringsketen, maar ook naar de specifieke eigenschappen van waterstof en hoe deze om bepaalde oplossingen en producten vragen. Deze specifieke eigenschappen bieden kansen voor bedrijven uit de Nederlandse (hightech) maakindustrie. Naast een analyse van de integrale waterstofketen ligt de nadruk op drie onderdelen van de keten: PEM-elektrolyse, de waterstof-CV-ketel en hogedruktanks.

Conclusie van deze verkenning is dat de waterstofproductieketen een nieuw perspectief biedt voor zowel de bestaande (aard)-gassector als voor andere sectoren in de maakindustrie die relevante (toe)leveranciers zijn voor specifieke systemen, componenten en onderdelen nodig in de waterstofketen. In het kader van het Klimaatakkoord zal er een substantieel waterstofprogramma worden opgezet. Deze programmatische aanpak moet leiden tot kostenreductie en opschaling van groene waterstof, en tot de ontwikkeling van een infrastructuur. Dit zal mede bewerkstelligd worden door een uitgebreid innovatieprogramma. Het is belangrijk om hierin ook structureel aandacht te

Figuur 1: geografische verdeling bedrijven in Nederland
(zie waterstofbedrijvenlijst)



Per bedrijf zijn meerdere rollen mogelijk. Hierdoor kan totaal van alle ketenposities hoger uitvallen dan totaal aantal bedrijven.

besteden aan de Nederlandse maak industrie. Zij zullen immers met hun technologie en bijbehorende diensten de vele nieuwe toepassingen van waterstof mogelijk moeten maken. Daarnaast kunnen de brancheorganisaties de industrie ondersteunen met het informeren over de mogelijkheden, het marktpotentieel en de productspecificaties waaraan behoefte is. Het organiseren van regionale en landelijke netwerken, en bijeenkomsten zal hieraan bijdragen.

In samenspraak met de bedrijven en clusters is het voorts nuttig om kansrijke segmenten nader uit te werken en gezamenlijk stappenplannen op te stellen: bijvoorbeeld composietonderdelen met composiet NL.

Nederland heeft op basis van de huidige uitgangspositie en de waterstofambities van het klimaatakkoord een unieke kans om een gidsland te worden op het gebied van duurzame waterstof.

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

De aandacht voor waterstof als energiedrager is de afgelopen twee jaar wereldwijd en in Nederland sterk toegenomen. Vele landen en regio's, zien waterstof naast duurzame elektriciteit en warmte als dé koolstofvrije energiedrager voor een schone, betrouwbare en betaalbare energie- en grondstofvoorziening. De robuuste rol die duurzame waterstof in de Nederlandse economie en energievoorziening kan vervullen staat uitgebreid beschreven in de in 2018 in opdracht van EZK gepubliceerde Contouren van een Routekaart Waterstof. De ambities die Nederland op dit vlak heeft ontwikkeld komen uitgebreid aan de orde in het Klimaatakkoord en de bijbehorende Kamerbrief.

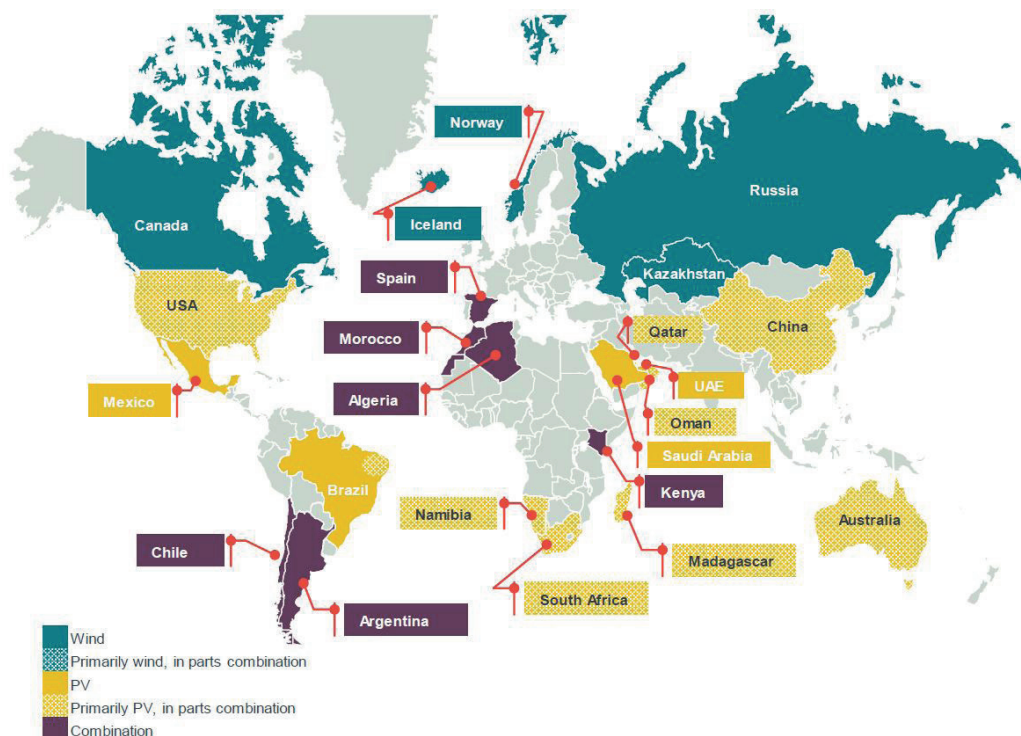
Waterstof is nodig naast groene stroom om de klimaatafspraken te halen

Waterstof maakt transport en grootschalige opslag van duurzame en koolstofvrije energie mogelijk. Waterstof is daarmee cruciaal om de klimaatafspraken van de Conferentie van de partijen (COP21) te halen, die de 28 lidstaten van de EU net als overige 167 landen in Parijs ondertekend en grotendeels geratificeerd hebben. Doel is de opwarming van de aarde "ruim onder de 2 graden Celsius boven het

pre-industriële niveau te houden en inspanningen te blijven leveren om de temperatuurstijging nog verder te beperken tot 1,5 graden Celsius." Om deze klimaatdoelen te kunnen bereiken, dient de uitstoot van CO₂ maximaal te worden gereduceerd en het gebruik van energie en grondstoffen in industrie, mobiliteit en de gebouwde omgeving zo duurzaam mogelijk te worden ingevuld. Elektrificatie van deze energievraag alleen is niet genoeg. (Waterstof)moleculen zullen een deel van de rol die aardgas nu vervult op zich moeten nemen.

Waterstof wordt nu al gebruikt als grondstof en hulpstof in de chemie en raffinaderijen, maar kan ook als grondstof dienen voor nieuwe producten, zoals chemicaliën en synthetische brandstoffen (bijvoorbeeld SkyNRG, Delfzijl). Waterstof is een energiedrager geschikt voor de productie van hogetemperatuurwarmte voor de industrie en lagetemperatuurwarmte voor de gebouwde omgeving, de productie van elektriciteit en als brandstof voor transport en mobiliteit. In combinatie met efficiënte opwekking, opslag en gebruik van duurzame energie, warmte, CO₂ en afval, kan waterstof aardgas in allerlei mogelijke toepassingen vervangen. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de bestaande aardgasinfrastructuur², ook voor de seizoensopslag en het bufferen van energie.

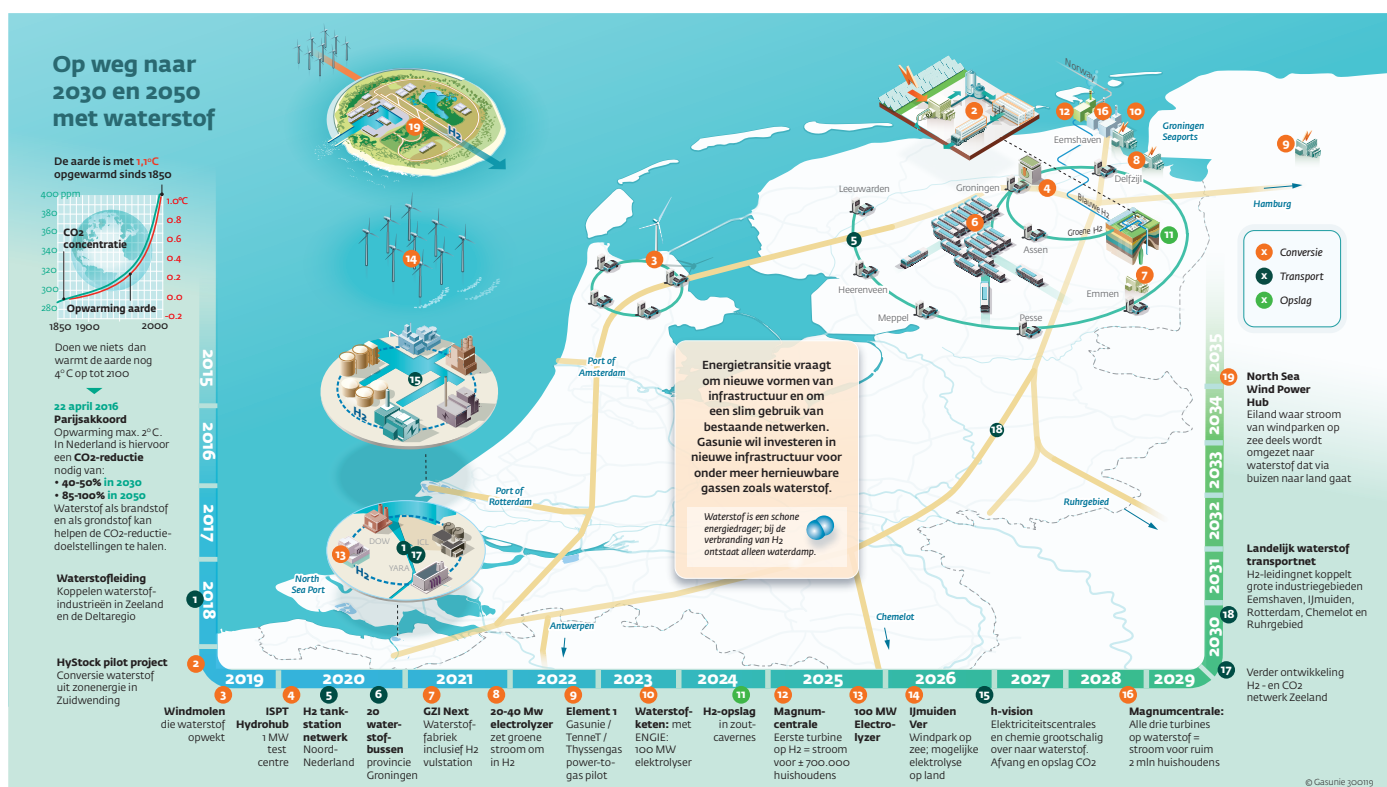
Figuur 2: gebieden met groot potentieel voor goedkope wind- of zonne-energie.



Source: Frontier Economics

Note: Illustrative presentation of the strongest RES potentials only; not an extensive list of all countries.

Figuur 3: waterstofroutekaart Gasunie



Kosten groene waterstof dalen sterk door dalende kosten groene stroom

Een belangrijke driver is het ontstaan van nieuwe waardeketens door grootschalig aanbod van elektriciteit uit zon en wind. In gebieden met een hoge gemiddelde zonninstraling of veel wind (zie Figuur 2) kan naar verwachting binnen 10 jaar voor minder dan 1 dollarcent per kWh, stroom worden geproduceerd². Op termijn kan er met (geïmporteerde) groene waterstof een volledig duurzame energievoorziening ontstaan en kan er een wereldmarkt tot stand komen voor hernieuwbare energie.

zie figuur 2

Internationaal waterstof breed opgepakt

Vele landen en regio's, maar ook grote bedrijven, verenigd in de Hydrogen Council³, en recent ook de Europese Unie⁴ en IEA, hebben daarom waterstof omarmd. Een gezaghebbend rapport is het in juni 2019 tijdens een G20 bijeenkomst in Japan gepubliceerde waterstofrapport van het IEA.⁹

Landen die nu relatief voorop lopen in de waterstofeconomie zijn: VS, Canada, Duitsland, Oostenrijk, VK, Nederland, Frankrijk, België, Noorwegen, Japan, Korea, en China. Japan is het eerste land met een nationale waterstofstrategie, wordt gezien als koploper en zal in 2020 de olympische spelen in het teken zetten van waterstof en Europa heeft al geruime tijd een actief innovatieprogramma Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking. Er zijn vele organisaties en initiatieven zoals van Hydrogen Europe, H2Mobility en een mogelijke Elektrolyser Alliance.^{5,6}

NEDERLAND IS MET INHAALSLAG BEZIG

Nederland bevindt zich in de voorhoede van de internationale ontwikkelingen. Waterstof komt uitgebreid aan bod in het Nederlandse Klimaatakkoord. Partijen hebben zich verbonden aan een substantieel waterstofprogramma.

*Ed Nijpels (voorzitter van het Nationaal Klimaatakkoord):
"Waterstof is de sleutel naar de klimaattransitie."*

Daarnaast zijn er op regionaal niveau vele initiatieven. Met name in Noord-Nederland zag men al in een vroeg stadium de kansen voor de regio.

Diverse partijen waaronder de Noord-Nederlandse Innovation Board en Gasunie zetten zich in voor de transitie van een aardgaseconomie naar een groene waterstofeconomie. De plannen werden in oktober 2017⁷ gepresenteerd en zijn sindsdien opgevolgd door verschillende projectinitiatieven (Figuur 3). Een mooi overzicht wordt geboden in de in het voorjaar van 2019 opgestelde waterstof-investeringsagenda van Noord-Nederland. In september 2019 werd bekend dat Noord-Nederland geselecteerd is als de eerste Hydrogen Valley van Europa, en daarvoor een subsidie van 20 miljoen euro zal ontvangen van de Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking, het waterstofonderzoeksprogramma van de EU.

zie figuur 3



Legenda

<ul style="list-style-type: none"> Gasleidingen van Gasunie Bestaande waterstofinfra 	<p>Bunker en circulair</p> <ul style="list-style-type: none"> Bunker H2 binnenvaart Vulstation tube trailers Circulaire materialenkringloop 	<p>Waterstofchemie en brandstofproductie</p> <ul style="list-style-type: none"> Blauwe waterstofproductie Afvang, transport CO2 Elektrolyse Productie elektriciteit + stoom Productie synthetische brandstoffen Productie synthetische kerosine Productie synthetische chemicaliën
<p>Nieuwe waterstofinfrastructuur</p> <ul style="list-style-type: none"> Hoge kwaliteit waterstofleiding Lage kwaliteit waterstofleiding Aansluiting backbone met haven Waterstofbackbone van Gasunie 	<p>Import en conversiepark</p> <ul style="list-style-type: none"> Aanlanding offshore wind Grootschalige elektrolyse Waterstofelektriciteitscentrale Import vloeibare waterstof (LH2) Biomassavergassing Export CO2 Demiwaterproductie 	
<p>Import, op- en overslagfaciliteiten</p> <ul style="list-style-type: none"> Ammoniak MCH Biomassa 		

Figuur 4: Beoogde ontwikkeling waterstoffaciliteiten in Rotterdamse haven met het Haven Industrieel Complex (uit groene waterstofvisie Zuid-Holland)²

Zuid-Holland kent sinds 2018 het waterstofconvenant H2G-O.⁸ Daarin verklaarden 28 overheden, kennisinstellingen en bedrijfsleven economisch kansrijke waterstofprojecten te zullen onderzoeken en waar mogelijk uit te voeren op het eiland Goeree-Overflakkee. Daar bestaat de ambitie een proeftuin voor ‘groene’ waterstofprojecten te worden.⁸ Dit initiatief vormt onderdeel van een bredere ‘routekaart’ voor de provincie Zuid-Holland, die in maart 2019 werd gepresenteerd.² Deze visie beschrijft de dubbeldoelstelling: niet alleen de rol in de verduurzaming van het energiesysteem maar ook de kansen voor een nieuwe waterstofketen ter vervanging van de fossiele bedrijvigheid, toegevoegde waarde en banen. Ook wordt een visie en actie-agenda gegeven voor wat nodig is om de transitie in aansluiting op Noord-Nederland voor Zuid-Holland te realiseren (zie o.a. Figuur 4). Met name de activiteit in de havens, o.a. import en overslagactiviteiten en gebruik van bestaande (aard)gasinfrastructuur sluiten goed aan op de kansen die door IEA⁹ zijn geformuleerd.

zie figuur 4

Nieuw perspectief voor ‘fossiele’ industrie

De Nederlandse economie is door de aardgasvoorraad in Groningen mede gebouwd op de beschikbaarheid van voldoende goedkope energie. Nederland met de Rotterdamse haven vervult daarnaast vanwege haar ligging een cruciale rol in de import, bewerking en export van olie, gas en kolen. Alleen met de overgang naar een duurzaam energiesysteem kan Nederland deze economische positie en rol behouden. Vier van de negen Nederlandse topsectoren zijn immers sterk afhankelijk van goedkope energie, de energie-intensieve chemie, transport en logistiek, de tuinbouw, en de agri & foodsector (zie Figuur 5). Ook de energiesector zelf is een van de topsectoren met een hoge toegevoegde waarde en werkgelegenheid die afhankelijk is van fossiele energie. Samen vertegenwoordigen de energie-intensieve sectoren bijna 650.000 banen en meer dan € 80 miljard aan bbp.

zie tabel 1

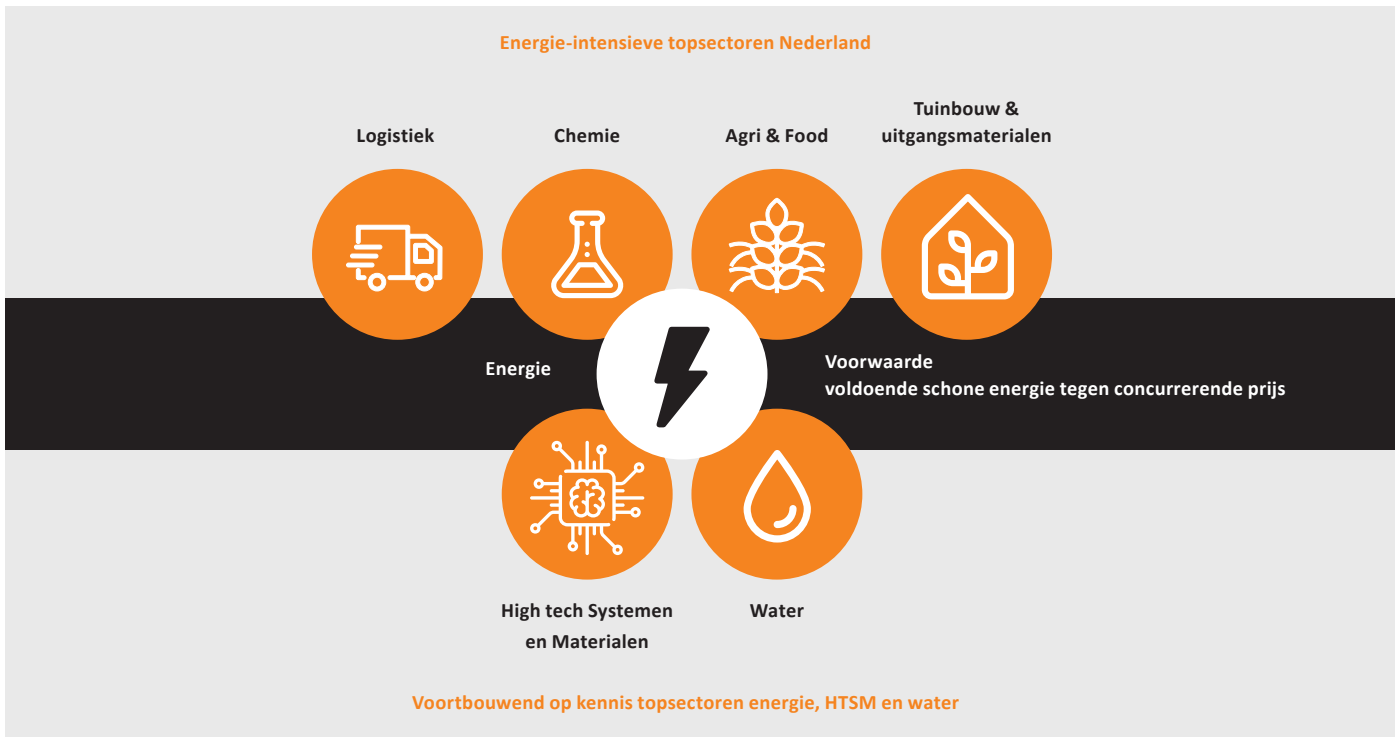
Voor behoud van de Nederlandse positie in invoer, opslag, verwerking en doorvoer van (nu fossiele) energie en deze topsectoren is tijdig overstappen naar duurzame energiebronnen en energiedragers noodzakelijk. Daarvoor zou kunnen worden voortgebouwd op de sterkten en positie van de topsectoren energie, water en High Tech Systemen en Materialen. Deze vertegenwoordigden in 2016 10% van de economie (€ 67 miljard toegevoegde waarde) en 8% van de arbeidsplaatsen (569.000 fte).

zie figuur 5

Tabel 1: economisch belang topsectoren¹⁰

Sector (cijfers over 2016)	Toegevoegde waarde (in € mln.)	Arbeidsplaatsen (in 1000 fte)	Toegevoegde waarde per fte
Totaal NL	€ 634.824	7.114	€ 89.236
Agri & Food (voedingsmiddelenindustrie - geen primaire productie)	€ 12.535	108	€ 116.065
Chemie	€ 14.721	76	€ 193.697
Transport/opslag	€ 27.724	279	€ 99.369
Tuinbouw	€ 10.257	104	€ 98.625
Energie	€ 16.681	76	€ 219.487
Energie-intensief	€ 81.918	643	€ 127.400
High Tech Systems en Materialen	€ 47.201	466	€ 101.290
Water- en deltatechnologie excl. scheepsbouw	€ 2.700	27	€ 100.000
Sectoren als basis voor waterstofeconomie (excl. Energie)	€ 49.901	493	€ 101.219
Sectoren als basis voor waterstofeconomie (incl. Energie)	€ 66.582	569	€ 117.016

Figuur 5: relevante topsectoren voor waterstofeconomie



Om nieuwe economische activiteiten op basis van waterstof van de grond te krijgen en de uitrol ervan te versnellen is inzicht nodig in welke bedrijven de waterstofsysteem, componenten, technologie, kennis en bijbehorende diensten hiervoor (kunnen) leveren. Waar is nog behoefte aan en waar liggen de kansen voor bedrijven en hoe kunnen die het beste verzilverd worden?

1.2. Onderzoeksvraag

Welke kansen ontstaan er voor het Nederlandse bedrijfsleven wanneer waterstof een belangrijke energiedrager wordt en hoe kan het bedrijfsleven het beste ondersteund worden bij het verzilveren van deze kansen. Wellicht zijn er voor Nederland als 'Gasland' bijzondere startposities te herkennen? Nederlandse bedrijven leveren nu al materialen, producten, kennis en diensten aan de internationale waterstofindustrie. Bedrijven betrekken hun materialen en componenten vaak van over de gehele wereld. Sommige (internationale) leveranciers hebben reeds vertegenwoordigingen in Nederland en er vinden internationale samenwerkingen en strategische overnames op het gebied van waterstof plaats.¹¹ Is het mogelijk om zicht te krijgen op de positie die Nederland nu al heeft in deze markt?

Deze behoefte vertaalt zich in de volgende deelvragen:

1. Wat zijn de meest relevante en interessante onderdelen in de toeleveringsketen voor waterstof? Waar zijn marktkansen? Wat zijn de uitdagingen van deze industrie?
2. Wat zijn bestaande en potentiële spelers? Hoe verhoudt het Nederlands bedrijfsleven zich ten opzichte van de internationale markt met betrekking tot materialen, halfproducten, componenten en systemen voor waterstoftechnologie?
3. Hoe kan de overheid samen met kennisinstellingen en brancheorganisaties de industrie ondersteunen?

Bij de inventarisatie naar de meest interessante onderdelen en systemen in de toeleveringsketen voor waterstof beperkte dit onderzoek zich tot de hogere technologie readiness levels (vanaf TRL-niveaus 6/7 en hoger). TRL 6 houdt in dat de werking van de technologie in een relevante omgeving is gedemonstreerd. In TRL 7 is de technologie geïntegreerd in de uiteindelijke operationele omgeving. De focus ligt dan op zaken zoals productie en certificering. Uiteraard zijn onderzoek en ontwikkeling ook in Nederland mogelijk en wenselijk (lagere TRL niveaus), maar de economische impact daarvan is vaak niet op de korte termijn.

Concrete gevraagde resultaten van deze studie zijn:

- Inventarisatie van de mogelijkheden voor Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen voor producten en diensten voor de rol van waterstof in de energietransitie.
- Overzicht van realistische kansen voor bedrijven en kennisinstellingen die nu al een positie in waterstof hebben of een positie die uit te breiden is naar de waterstofketen.
- Openbare rapportage met daarin:
 - a. Lijst van partijen;
 - b. Analyse van positie Nederlandse partijen t.o.v. internationale partijen;
 - c. Sterkte-zwakteanalyse van de Nederlandse industrie in relatie tot kansen en bedreigingen in de markt (SWOT: strengths-weaknesses-opportunities-threats) per technologiegebied (3 cases);
 - d. Identificatie van ontbrekende schakels/witte vlekken. Dat wil zeggen onderdelen in de productieketen waar in Nederland geen bedrijven actief zijn;
 - e. Conclusies en aanbevelingen.

1.3. Aanpak

De volgende activiteiten zijn uitgevoerd om de onderzoeksvraag te beantwoorden:

- Allereerst is de integrale waterstofproductieketen in beeld gebracht. Daarbij is onderscheid gemaakt in markttoepassing, het type dienstverlening (product of dienst), of het gaat om een systeemleverancier of toeleverancier.
- Per deelsegment is op basis van literatuur en expert judgement kwalitatief en op hoofdlijnen bepaald of de markt in principe aantrekkelijk is. Hierbij is een categorisering gebruikt gebaseerd op de Ansoff-matrix.
- Vervolgens zijn bedrijven geïnventariseerd die zich in Nederland met waterstof bezighouden of belangstelling hiervoor hebben. Of er belangstelling is, is afgemeten aan deelname aan brancheorganisaties, netwerken, projecten, normeringsactiviteiten.
- De geïnventariseerde partijen zijn beoordeeld en ingedeeld in de verschillende waterstofproductieketens.
- De positie van Nederlandse partijen ten opzichte van internationale partijen is beoordeeld en gebruikt om conclusies te trekken over de kansen. Deze conclusies zijn getoetst bij stakeholders (bedrijven en brancheorganisaties).
- Voor een drietal cases is een verdiepingsslag uitgevoerd. Dit betreft PEM-elektrolyzers, waterstof-CV-ketels en hogedruktanks.
- Om kansrijke segmenten en bedrijven optimaal te faciliteren zijn aanbevelingen gedaan voor relevante ondersteuning die past bij het type kans.

1.4. Doelgroep

Deze verkenning is bedoeld voor diverse doelgroepen:

1. Beleidsmakers bij provincies, ontwikkelingsmaatschappijen of gemeenten, die inzicht willen krijgen in de kansen die de waterstofketen voor de bedrijvigheid in hun regio kan bieden, de meest interessante product-marktcombinaties (PMC's) en het type ondersteuning waaraan behoefte is;
2. Brancheorganisaties die inzicht willen krijgen in de belangrijkste kansen voor hun achterban en de wijze waarop zij hun achterban kunnen helpen deze kansen waar te maken;
3. Bedrijven die op zoek zijn naar nieuwe marktkansen en een rol zouden kunnen spelen in de waterstofketen. Deze verkenning kan hen helpen deze marktkansen te identificeren en ketenpartners te vinden waarmee kan worden samengewerkt.

1.5. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de integrale waterstofproductieketen en de segmentering die in deze studie gehanteerd is. Ook vatten we de Nederlandse en internationale organisaties en spelers samen. In de bijlage zijn gedetailleerde lijsten te vinden van partijen die beschouwd zijn. In hoofdstuk 3 komt de methodiek aan bod die gebruikt is om de kansen en mogelijkheden voor Nederland te bepalen. In hoofdstuk 4 volgen de analyse en de resultaten. In hoofdstuk 5 worden de drie cases uitgewerkt. Dit zijn:

1. PEM-elektrolyse voor duurzame productie van waterstof;
2. Waterstof-CV-ketels voor verwarming in de gebouwde omgeving;
3. Hogedruktanks voor de opslag van waterstof.

Hoofdstuk 6 brengt de bevindingen en analyses samen in conclusies en aanbevelingen over de kansen voor de industrie.

In de bijlagen is achtergrondinformatie opgenomen over o.a. geïdentificeerde bedrijven.

Bronvermeldingen:

- 1 DNV GL, *Verkenning waterstofinfrastructuur*, november 2017
- 2 Wijk, A. van et al, *Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland, een visie voor 2030*, maart 2019.
- 3 Hydrogen Council, *How Hydrogen empowers the energy transition*, januari 2017
- 4 IEA, *The Hydrogen initiative*, september 2018
- 5 *50% Hydrogen for Europe: a manifesto, A sustainable energy supply for everyone*, mei 2019
- 6 Hydrogen Europe, *Hydrogen enabling a zero emission Europe—Technology Roadmaps –Full Pack*, september 2018
- 7 NIB, *The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands*, oktober 2017
- 8 H2G-O, *Convenant Groene Waterstofeconomie Goeree-Overflakkee*, december 2017
- 9 IEA, *The future of hydrogen*, juni 2019.
- 10 CBS, *Monitor Topsectoren 2018, 2018*.
- 11 *Bronnen nieuwsberichten: Bosch gaat in Fuel Cells, Air Liquide investeert in Hydrogenics, Nikola en Nel zetten HRS netwerk op*

2. Waterstofketens en spelers

Waterstof

Waterstof (H₂) is het meest voorkomende element in het universum, dat voor 63% uit waterstof(atomen) bestaat. Meestal komt waterstof voor in verbinding met andere atomen, zoals met zuurstof als water H₂O of met koolstof in koolwaterstoffen (aardolie, methaan). Waterstof als molecuul kent vele eigenschappen, die het veelzijdig inzetbaar maken. Technologie die bedoeld is voor gebruik met waterstof moet ontworpen zijn rekening houdend met deze eigenschappen. Sommige eigenschappen kunnen voor een bepaalde toepassing voordelig zijn, andere nadelig.

Eigenschappen van waterstof die veel invloed hebben op componenten en toepassingen:

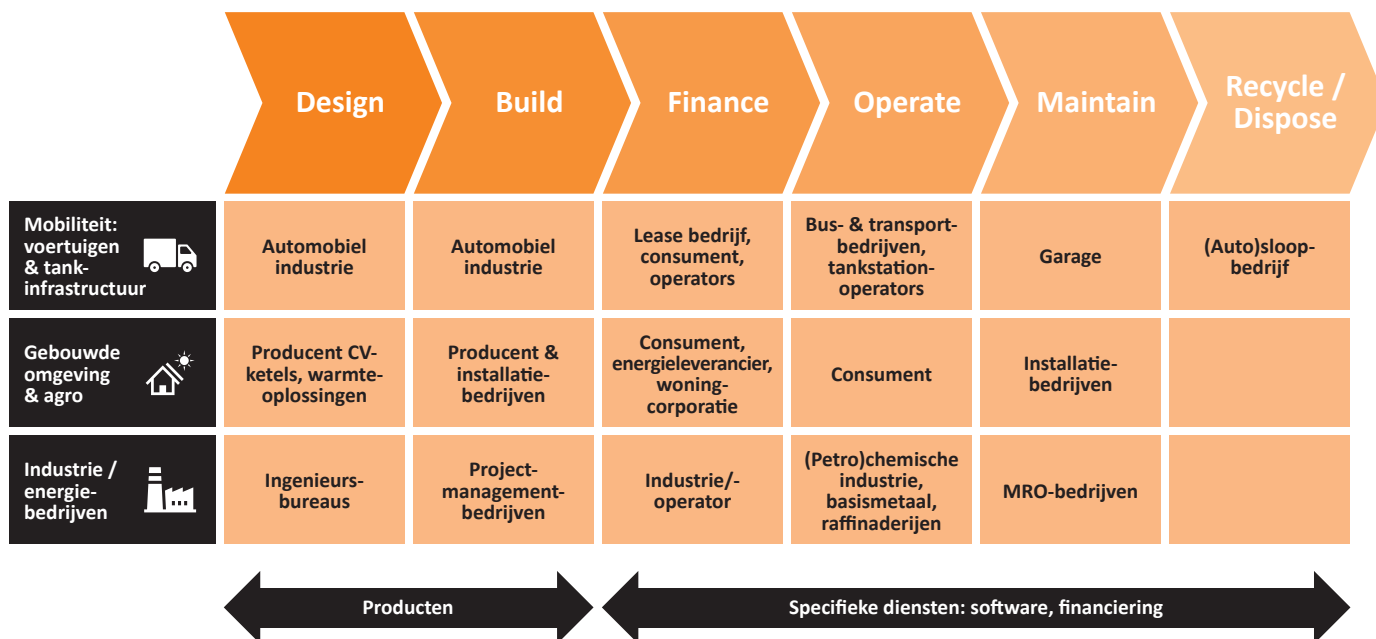
- Licht ontvlambaar brandbaar gas
- Veel lichter dan lucht
- Moleculen zijn zeer klein
- Kleurloos
- Geurloos
- Hoge gravimetrische energiedichtheid, maar relatief lage volumetrische energiedichtheid (ca. 1/3 van aardgas)
- Heeft erg weinig ontstekingsenergie nodig om (in aanwezigheid van zuurstof) te kunnen ontbranden
- Kan in een bepaalde mengverhouding met zuurstof explosief ontbranden
- Brandt (door afwezigheid van koolstof) met een nagenoeg onzichtbare vlam. De vlam geeft daarnaast weinig IR-straling (warmte) af
- De atomen kunnen zich in het metaalrooster van bepaalde metalen nestelen, waardoor de materiaaleigenschappen daarvan negatief beïnvloed kunnen worden
- Vloeibaar enkel door zeer sterk afkoelen (-253 °C)

Productieketen

Voor het bepalen van de kansen in waterstof voor de Nederlandse technologie-industrie is het concept van de productieketen gebruikt. Daarbij gaat het om ketens van meer bedrijven, waarmee de waterstofindustrie kan worden gedefinieerd. De productieketen is een netwerk van organisaties, mensen en activiteiten die informatie en/of producten uitwisselen. Dit netwerk is een logistieke keten die ervoor zorgt dat het product of de dienst bij de gebruiker komt. Het netwerk transformeert ruwe materialen en halfproducten tot eindproducten. Actoren in de keten kunnen een of meer van deze deelprocessen voor hun rekening nemen.

Een productieketen (supply chain) is het economische proces van grondstof tot consument of gebruiker.

Figuur 6: verschillende levensfasen waterstofsysteem



2.1. Integrale waterstofproductieketen

Om te bepalen wat de meest relevante en interessante onderdelen van de waterstofproductieketen zijn, beschouwen we de integrale H₂-productieketen (zie Figuur 7). Dit gaat verder dan de keten van grondstof tot gebruiker. Mogelijke interessante kansen voor Nederland kunnen liggen in diensten die nuttig zijn na oplevering van een product, zoals onderhoud, recycling en ondersteunende diensten en in de toepassing van het product. Nederland is immers een land waarin de dienstverlening een grote rol speelt. Hiervoor lopen we de levenscyclus van verschillende systemen langs.

zie figuur 6

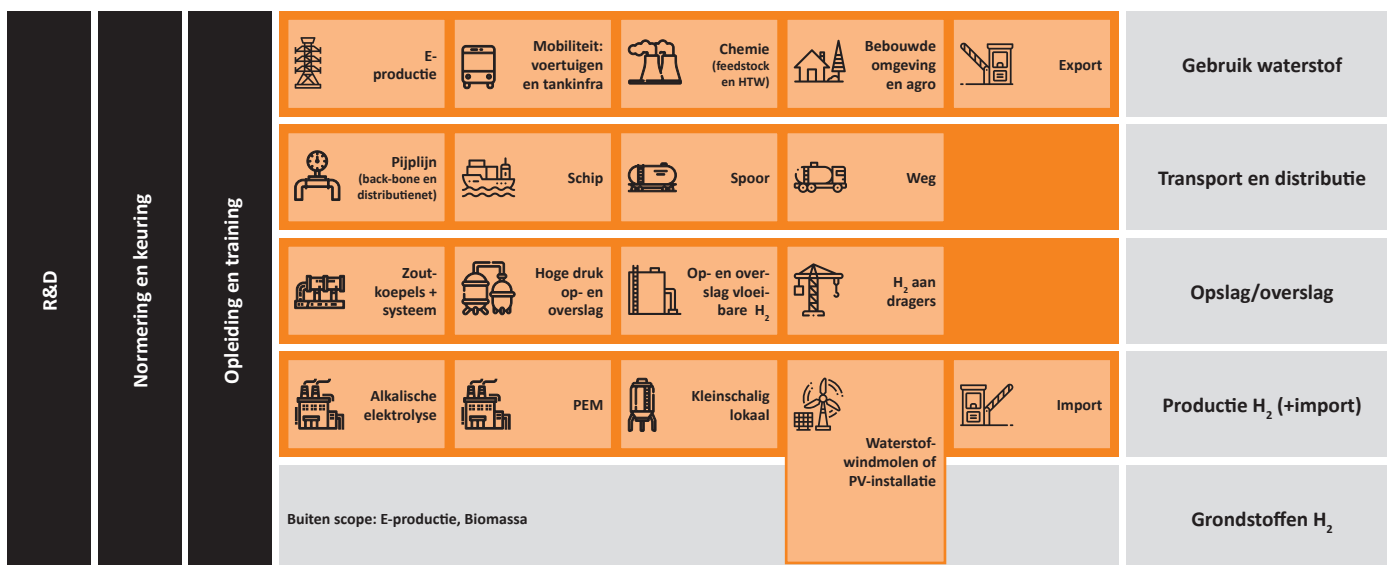
2.2. Systemen in integrale waterstofproductieketen

Om de verschillende systemen in de integrale waterstofproductieketen in kaart te brengen, is de productieketen opgedeeld van productie van waterstof, via opslag en distributie naar de toepassing van waterstof. Per niveau zijn alle mogelijke alternatieven in kaart gebracht. Deze alternatieven kunnen

gecombineerd worden met de verschillende alternatieven van een ander niveau. Bijvoorbeeld: groene waterstof uit elektrolyse in Nederland of buitenland kan vloeibaar gemaakt worden en per schip vervoerd worden naar de industrie, maar ook gasvormig via een leidingnetwerk naar de industrie gedistribueerd worden. De supply-chain niveaus zijn aangevuld met meer algemene functies zoals onderzoek, inspectie en training. Voor elk alternatief zijn vervolgens de verschillende systemen en systeemleveranciers (OEM's) benoemd. Bijvoorbeeld bussen en bunkerstations voor het marktniveau van transport en mobiliteit. Waterstofscheepen en havens zijn een voorbeeld voor het niveau distributie en het transport over water. Hogedruktanks en compressoren zijn voorbeelden van systemen voor opslag van waterstof onder druk. Een elektrolysefabriek is een mogelijkheid voor de productie van waterstof.

Er is voor gekozen ruwe materialen en grondstoffen voor de productie van groene waterstof en (groene) waterstofsysteem niet mee te nemen in deze studie. Productie van waterstof uit biomassa en aardgas (grijze of blauwe waterstof) vallen ook buiten de scope, net als de productie van de (oorsprongs-) elektriciteit voor elektrolyse. Zodra waterstof geproduceerd is, is er geen verschil meer tussen waterstofmoleculen die via elektrolyse, of op andere wijze, bijvoorbeeld uit aardgas, zijn geproduceerd. Het zijn technisch / chemisch dezelfde moleculen. Het enige verschil kan zijn dat uit elektrolyse in beginsel een zuiverder gas ontstaat met minder verontreinigingen dan uit bijvoorbeeld steam reforming van aardgas zonder reinigingsstap. Verder is de wijze van productie niet

Figuur 7: integrale waterstofproductieketen



meer van belang voor de vervolgstappen in de keten en dus ook niet voor de eventuele maatregelen die nodig zijn voor een versnelling van de markt. Maatregelen en conclusies gelden daarom voor alle soorten waterstof vanaf het niveau van productie.

zie figuur 7

Marktoepassing

Er zijn op hoofdlijnen vier toepassingsgebieden voor waterstof: industrie, elektriciteitsproductie, mobiliteit en gebouwde omgeving.

1. Industrie: de huidige inzet van waterstof voor de industrie, uitgebreid met nieuwe toepassingen als grondstof (groene chemie en synthetische brandstoffen) en aangevuld met het gebruik van waterstof als vervanger van aardgas voor hoge temperatuurwarmte (HTW).
2. Mobiliteit: inzet van waterstof in brandstofcellen voor personenauto's, vrachtwagens, bussen, speciale voertuigen, treinen, luchtvaart incl. drones, schepen et cetera.
3. Elektriciteitsproductie: inzet van waterstof als brandstof voor flexibele elektriciteitscentrales op waterstof (of als energiedrager om decentraal elektriciteit op te wekken).
4. Gebouwde omgeving: inzet van waterstof (inclusief via brandstofcellen) voor de verwarming van woningen en gebouwen (lage temperatuurverwarming LTW).

Naast deze toepassingsgebieden op de Nederlandse markt, kunnen waterstofproducten ook geëxporteerd worden.

Distributie

De alternatieven die voor distributie en transport zijn beschouwd, zijn transport over de weg, over water, via het spoor door pijpleidingen.

- Over de weg wordt waterstof doorgaans onder hoge druk (veelal 200-300 bar) vervoerd in tubetrailers (bijvoorbeeld naar industriële afnemers en waterstoftankstations). Soms gebeurt dat ook in vloeibare vorm. Op termijn zou distributie in vloeibare vorm net als LNG grootschalig kunnen plaatsvinden.
- Per schip zal distributie zich naar verwachting ofwel in vloeibare vorm of gebonden aan een drager (ammoniak, methylcyclohexaan, ...) afspelen. Gebonden aan een drager is het streven om daarvoor bestaande tankschepen te gebruiken. Eventueel kan de binnenvaart ook waterstof in hogedruktanks transporteren. Voor transport van vloeibare waterstof zijn (zee) schepen in ontwikkeling.
- Distributie per spoor kan in de vorm van hoge druk/vloeibaar/ gebonden aan een drager. Dat eerste komt al vaker voor.
- Per pijplijn wordt waterstof onder druk gedistribueerd net als aardgas. Doorvoer van waterstof naar de rest van Europa kan voor Nederland een kans zijn. Mogelijk kan Nederland zo een rol spelen in conversie van windstroom in waterstof voor andere (Noordzee)landen.

NB: Er ligt in Nederland een dedicated netwerk van private waterstofleidingen dat de grens richting België en Frankrijk passeert.

Opslag en overslag

Voor op- en overslag is gekeken naar waterstof onder druk, vloeibare waterstof, gasvormige opslag in cavernes en waterstof gebonden aan een drager. Opslag in metaal-hydrides is voor nu buiten beschouwing gelaten, maar vindt toepassing bijvoorbeeld in onderzeeërs en kleine portable of mobiele apparaten. Op zich is dit een ontwikkelde technologie, maar het systeemgewicht is vaak een beperkende factor. Grootchalige opslag in lege offshore (gas)velden is ook buiten beschouwing gelaten.

- Waterstof onder druk is de vorm waarin kleinere volumes waterstof nu worden opgeslagen. Bijvoorbeeld voor gebruik in mobiliteit is dat onder een druk van 350 bar voor bussen en vrachtwagens en 700 bar voor personenauto's. De industriële gassensector hanteert flessen (cilinders) en tanks van diverse drukken en inhoud, van enkele grammen per fles tot vele honderden kilo's inhoud voor opslagtanks en (gas)trailers.
- Waterstof wordt vloeibaar bij -253 graden Celsius, en vervoerd per tankwagen voor afnemers waar een zeer hoge productzuiverheid, of een grote levering op korte termijn van belang is. In Nederland staat in Rozenburg een relatief kleine vloeistoffabriek (5.4 ton per dag), een van de drie installaties in Europa. Het gebruik als brandstof voor raketmotoren is een bekend internationaal voorbeeld. Het proces voor het maken van vloeibare waterstof is vergelijkbaar met het vloeibaar maken van aardgas (LNG bij -162 graden Celsius). Dit geldt eveneens voor het transport per schip, en de op- en overslag.

- Waterstof gebonden aan een drager: Er zijn talloze mogelijkheden en er vindt wereldwijd veel onderzoek plaats op dit gebied. Een van de mogelijke aantrekkelijke dragers voor waterstof is methylcyclohexaan (MCH). De waterstof is hier gebonden aan toluen. MCH is een vloeistof die per olietanker kan worden vervoerd en in normale olietanks kan worden opgeslagen. Na het transport maakt men de waterstof weer los van het toluen. Het toluen wordt daarbij gerecycled. Een andere mogelijk aantrekkelijke waterstofdrager is ammoniak. Ammoniak (NH_3) is een chemische basisgrondstof, die in grote hoeveelheden gebruikt wordt om kunstmest van te maken. Ammoniak wordt gemaakt door stikstof, afkomstig uit de lucht te binden aan waterstof. Ammoniak is bij -33 graden Celsius vloeibaar en wordt per schip vervoerd over zee. Ammoniak kan direct dienen als grondstof of als brandstof, of weer worden omgezet in waterstof en stikstof. Weer andere dragers zijn methanol (CH_3OH) of natriumborhydride ($NaBH_4$) of mierenzuur (CH_2O_2). Naar deze laatste twee wordt in Nederland toegepast onderzoek gedaan. De firma H2Fuel onderzoekt de technische haalbaarheid van $NaBH_4$ in maritieme systemen. Team FAST uit regio Eindhoven bouwde samen met VDL een prototype bus met mierenzuur aan boord als bron voor waterstof voor de brandstofcel. Beide initiatieven zijn noemenswaardige ontwikkelingen, maar met een te laag TRL-niveau voor een verdere uitwerking in deze studie (TRL < 6).

Figuur 8: systemen in waterstofketens



Productie

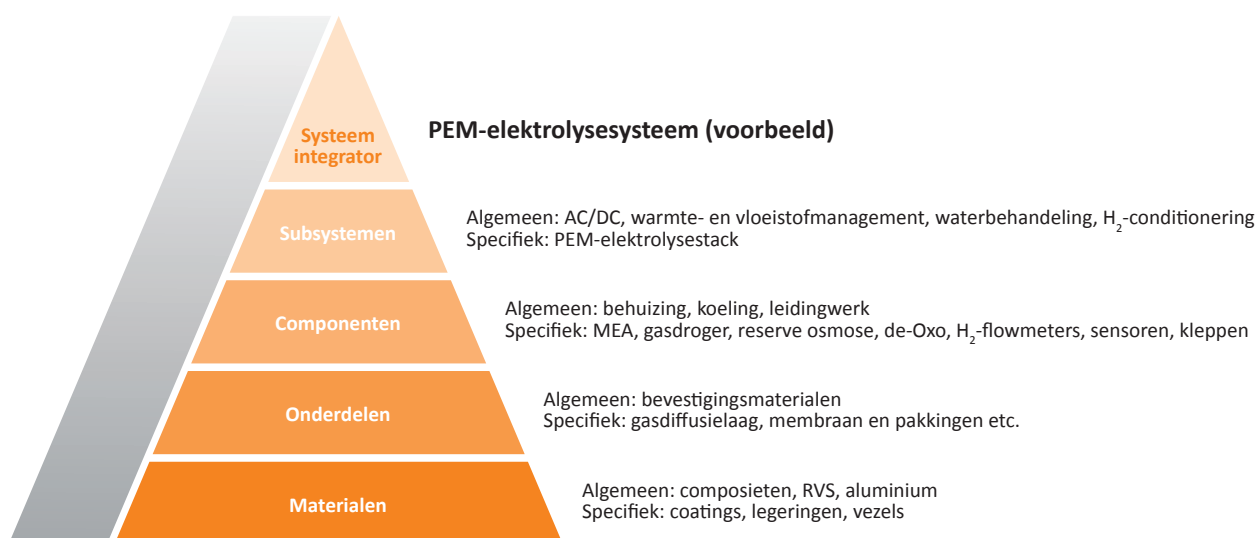
De productielaag in de waterstofketen volgens Figuur 8 is beperkt tot groene waterstofproductie via elektrolyse. De hogere lagen in de keten d.w.z. de transport, opslag-, en distributiefaciliteiten voor waterstof en de markttoepassingen maken geen onderscheid. Bij deze afbakening van de groene waterstofproductie kijken we naar vier vormen:

- Grootschalige alkalische elektrolyse, zoals nu ook gebruikt in de chloorproductie;
- Grootschalige PEM-elektrolyse;
- Kleinschalige lokale productiemethoden op basis van lokaal geproduceerde elektriciteit of netstroom; en
- Combinatie van productie en elektriciteitsopwekking zoals in een windmolen of PV-paneel die waterstof produceren (hybride).

Ook wordt import meegenomen als bron voor waterstof, omdat dit op termijn een belangrijke rol zal spelen en juist voor Nederland, als transport- en distributieland, er kansen kunnen liggen in het verder distribueren (doorvoeren, al dan niet omgezet) van dit aanbod. Voor de productie van waterstof uit water via elektrolyse is demineralisering van regulier zoetwater nodig. Voor Nederland kan dit een kans zijn vanwege uitgebreide kennis en ervaring met waterzuivering.

zie figuur 8

Figuur 9: waterstofketen voor een product-marktcombinatie



2.3. Systeemleveranciers per product-marktcombinatie

Voor alle combinaties van systemen en markten is in beeld gebracht welke systeemleveranciers er in Nederland actief zijn, die nu een rol in de waterstofproductieketen gaan vervullen. Partijen die bijvoorbeeld in de aardgasproductieketen actief zijn, zijn mogelijk kansrijke partijen om een vergelijkbare rol in de waterstofproductieketen te gaan innemen, zie bestaande en kansrijke systeemleveranciers.

zie tabel 2

2.4. Productieketen per product-marktcombinatie

De volgende stap bestaat uit het verder ingaan op de productieketen per systeem. Vertrekkend vanuit het hoofdsysteem kan een systeem voor elke product-marktcombinatie worden opgedeeld in deelsystemen (voor zover van toepassing), elk deelsysteem kan worden opgedeeld in componenten, componenten in onderdelen en onderdelen in benodigde materialen (zie Figuur 9). Per niveau is onderscheid te maken tussen algemene elementen en elementen die specifiek zijn voor de waterstofproductieketen. Voor algemene elementen liggen er voor Nederland vooral kansen als er al partijen zijn die een goede positie hebben in de bestaande markt. Deze markt kan dan groter worden of een nieuw perspectief krijgen, een voorbeeld: (regel)kleppen voor de aardgassector. Voor specifieke elementen liggen er ook kansen voor spelers die nieuw zijn in de (waterstof)markt. Technieken moeten nog verfijnd of aangepast, of gecertificeerd worden voor gebruik met waterstof en in veel gevallen is er nog ruimte voor toetreders op de markt.

zie figuur 9

Tabel 2: bestaande en kansrijke systeemleveranciers (voorbeelden – niet uitputtend)

Alternatief	Systeem	Partijen
Toepassingsgebieden		
Industrie	Productie, conditionering	Air Liquide, Air Products, Linde, Nouryon
Gebouwde omgeving	CV-ketels	Remeha (BDR), Bekaert, ATAG
Transport mobiliteit	Personenauto's	n.v.t.
Transport mobiliteit	Tankstations	Pitpoint, Resato
Transport mobiliteit	Bussen	VDL, Ebusco
Transport mobiliteit	Vrachtwagens	DAF, ETrucks, GINAF, VDL
Transport mobiliteit	Bijzondere voertuigen	Spijkstaal, Terberg, Kenbri, Holthausen, Alstom
Transport mobiliteit	Binnenvaartschepen	VEKA
Elektriciteitsproductie	E-centrales	Nuon/Vattenfall, Engie
Elektriciteitsproductie	Aggregaten	Bredenoord
Distributie		
Distributie- pijplijn	Backbone	Gasunie (TSO)
Distributie- pijplijn	Distributienet	Netbeheerders (DSO)
Distributie- schip	Waterstoftankschip	Onbekend
Distributie- spoor	Waterstoftrein	Onbekend
Distributie- weg	Vrachtovervoer	Schenk, Jongeneel
Opslag en overslag		
Opslag en overslag- cavernes	Zoutcavernes incl. installaties	Energystock
Opslag en overslag- hogedruk	Tanks en compressoren	Vopak, Gasunie, Howden
Opslag en overslag- vloeibaar	Tanks en koelinstallaties	Vopak, Gasunie
Opslag en overslag- dragers	Omzettinginstallaties	Onbekend
Productie		
Alkalische elektrolyse	Fabriek	Nouryon
Alkalische & PEM-elektrolyse	Demiwater/waterzuivering	Waterbedrijven (Bijvoorbeeld Evides)
PEM-elektrolyse	Fabriek	Siemens
Kleinschalige elektrolyse	Lokale installatie op E-net	Hydron, HyGear
Combinatie E-opwekking/waterstofproductie	Waterstofmolen	Hygro
Combinatie E-opwekking/waterstofproductie	Waterstofzonnepaneel	Onbekend (KU Leuven/Differ) TRL <6
Algemeen		
Onderzoek	Kennisinstelling	TNO/ECN, Differ
Opleiding en training	Universiteit	TU Delft, TU Eindhoven, TU Twente
Opleiding en training	Hbo	HAN, Haagse Hogeschool, Hanzehogeschool Groningen, Noorderpoort
Opleiding en training	Mbo	Noorderpoort
Opleiding en training	Beroepsopl./brandweer/politie	IFV, Falck, STC
Normering en testen		DNV GL, KIWA, Vincotte

2.5. Leveranciers per product-marktcombinatie

Voor de verschillende PMC's zijn de subsystemen, componenten en onderdelen op hoofdlijnen nagelopen en is geconstateerd, dat er op de lagere niveaus verschillende elementen zijn die meerdere keren voorkomen. Bijvoorbeeld hogedruktanks zijn niet alleen voor de stationaire opslag van waterstof onder hoge druk nodig, maar ook in voertuigen en vaartuigen, in tankstations, in elektrolyse-fabrieken et cetera.

zie figuur 10

Een sterke marktpositie op een van deze gebieden heeft daardoor het voordeel dat men minder afhankelijk is van een specifiek marktsegment. Bovendien kan er in principe aan verschillende concurrerende systeemleveranciers binnen een segment geleverd worden. Het ligt anders wanneer een OEM alle onderdelen als strategisch beschouwd en in eigen beheer wil produceren of exclusieve levering eist. Voor Nederland kunnen deze deelmarkten in het bijzonder interessant zijn wanneer dezelfde typen onderdelen ook al aan andere productieketens worden geleverd zoals de aerospace, automotive, maritime, industriële gassen of de bredere metaalindustrie of als de productie vergelijkbare kennis en vaardigheden vraagt. Gegeven de huidige marktpositie van Nederlandse bedrijven in deze productieketens zijn de toetredingsdrempels voor de waterstofketen naar verwachting kleiner. Hier kunnen de sterke positie, kennis en vaardigheden van vergelijkbare markten bedrijven helpen relatief snel een marktpositie in waterstof te verwerven.

In Nederland zijn verschillende spelers die een dergelijke rol in de levering van componenten, onderdelen en materialen (kunnen) vervullen.

zie figuur 11

Zie voor een meer volledig overzicht de bedrijvenlijst in de bijlage of de cases in hoofdstuk 5.

2.6. Marktpartijen

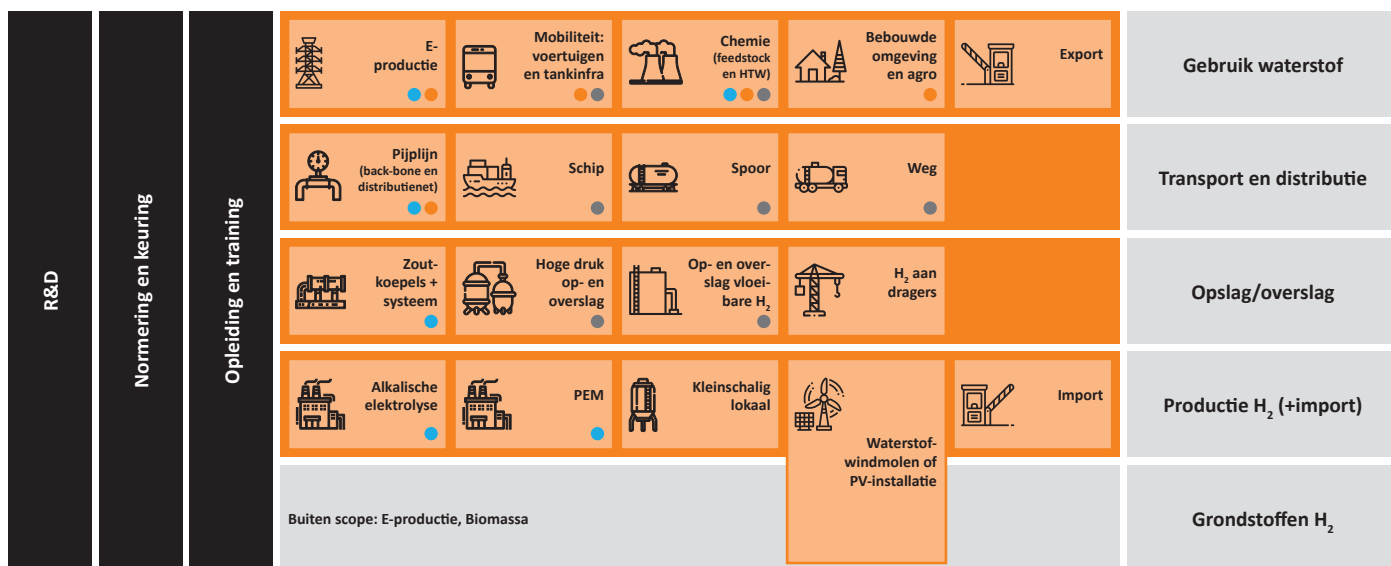
In de waterstofketen zijn nu al verschillende spelers actief, zowel binnen als buiten Nederland. Om deze spelers te identificeren zijn de leden van verschillende (branche)organisaties geïdentificeerd en partijen die waterstofpatenten hebben aangevraagd of meedoen aan bekende waterstofprojecten.

Nationaal

Op nationaal niveau zijn de volgende organisaties meegenomen:

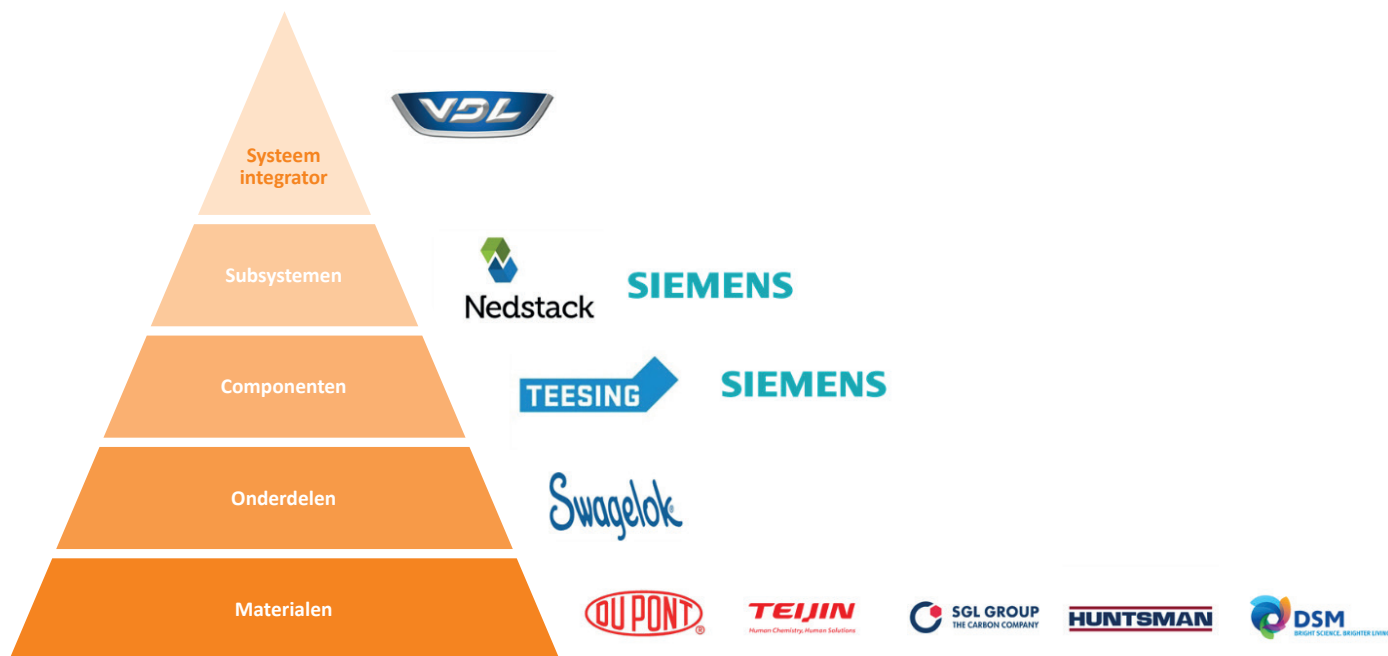
- Waterstof Platform (H2P)
- NWBA, Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Associatie
- Waterstofnet (NL/Vlaamse samenwerking)
- FME Waterstof
- Hydrogreenn (Regionaal Netwerk: Noord-Nederland)
- NEN Normcommissie Waterstof en Brandstofcellen (NC310197)
- Platform waterstof in de gebouwde omgeving (H2G-O)
- H2G-O, Energy Island Goeree-Overflakkee
- KIEMT Waterstofcluster

Figuur 10: voorbeelden van onderdelen die in meerdere product-marktcombinaties terugkomen



- Proces control / management
- Gas flowmeters
- Hogedruktanks

Figuur 11: voorbeelden van spelers op subsysteem, component of onderdeelniveau

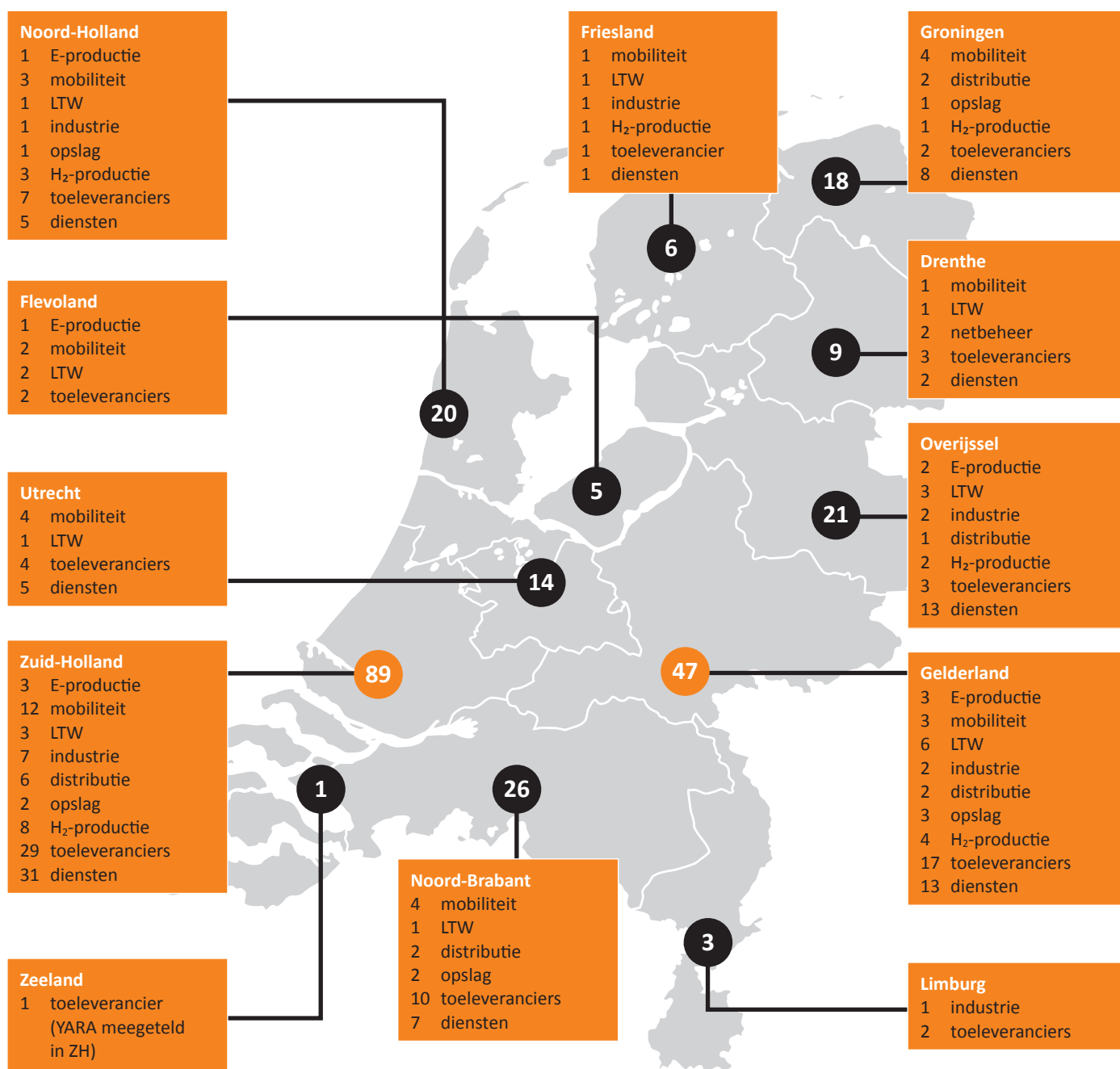


Daarnaast is gekeken naar indieners van waterstofsubsidie-aanvragen bij RVO, de Nederlandse leden van internationale waterstoforganisaties en deelnemers aan de waterstofbeurs in Hannover in 2019. Deze partijen zijn ingedeeld in een of meer van de verschillende segmenten in de integrale waterstofketen (zie waterstofbedrijvenlijst). De geografische verdeling is te zien in Figuur 12. Zichtbaar is dat er twee grotere clusters aanwezig zijn met bedrijven die zich al met waterstof bezighouden: in Zuid-

Holland rondom Rotterdam, en in Gelderland rondom Arnhem. Uiteraard zijn ook in andere regio's partijen actief, soms op grote schaal al is het aantal per regio lager. Zo is Nederland na Duitsland de grootste waterstofspeler binnen Europa, mede door waterstofproductie in Limburg en Zeeland.

zie figuur 12

Figuur 12: geografische verdeling bedrijven in Nederland (zie waterstofbedrijvenlijst)



Per bedrijf zijn meerdere rollen mogelijk. Hierdoor kan totaal van alle ketenposities hoger uitvallen dan totaal aantal bedrijven.

Zuid-Holland heeft veel bedrijven o.a. vanwege de Rotterdamse haven. Rondom Arnhem zijn veel bedrijven ontstaan in de nabijheid van het Energiepark (met TenneT) de voormalige KEMA- en AKZO-locaties. In enkele gevallen is de verdeling vertekend, doordat de hoofdvestiging in de Randstad zit (YARA Vlaardingen), maar de locatie waar productie plaatsvindt elders ligt (Sluiskil).

In Nederland zijn in de meeste marktsegmenten partijen aanwezig. Witte vlekken zijn te vinden voor systemen/OEM's die waterstof-tankers, tankwagens en treinen produceren. OEM's die bunker-schepen en kleinere schepen op waterstof kunnen bouwen zijn er wel in Nederland. Een OEM voor personenvoertuigen die op waterstof rijden is er niet. Waterstofauto's worden via een importeur geleverd.

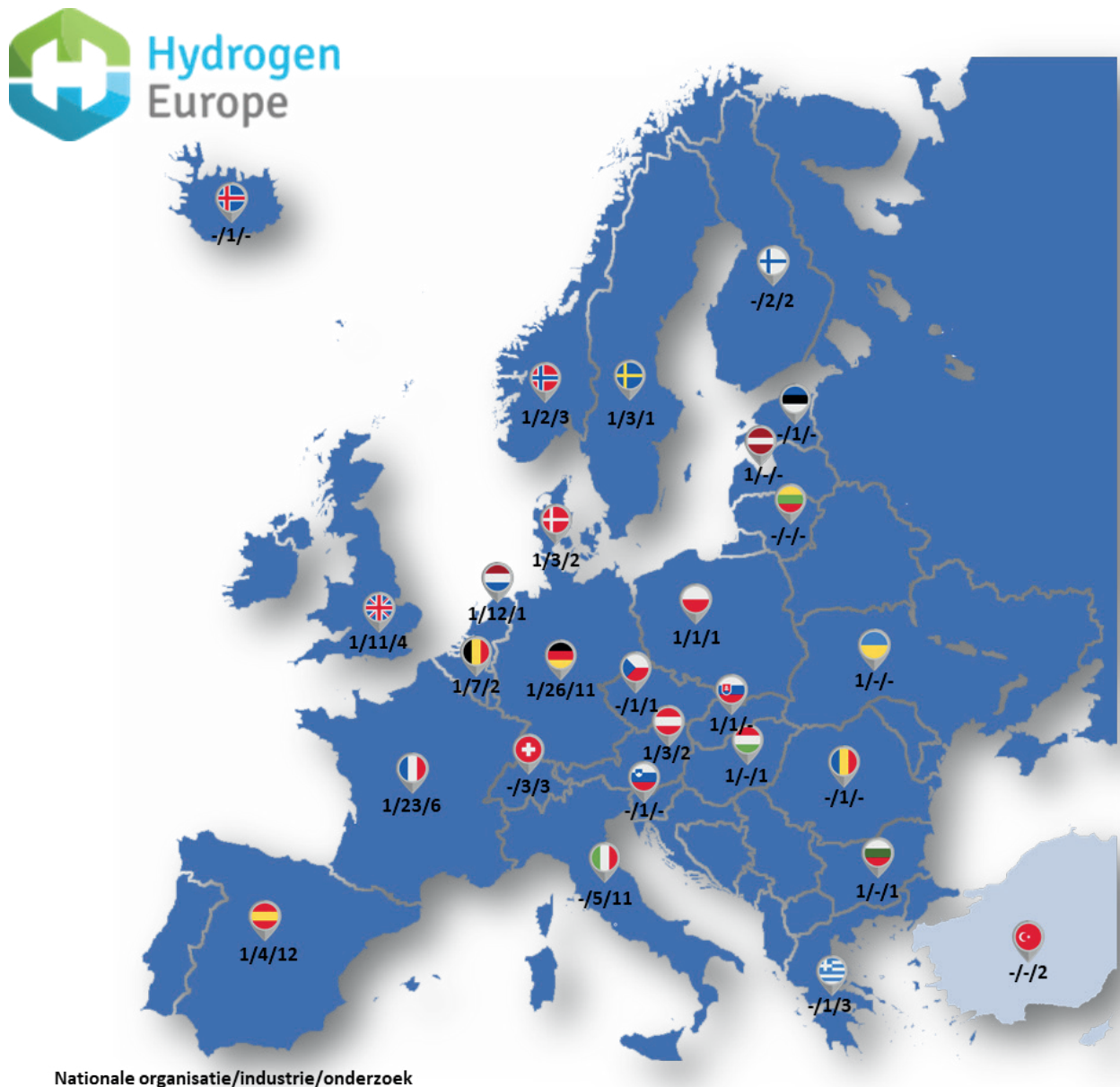
Op het moment zijn er geen Nederlandse OEM's die grootschalige elektrolyzers ontwikkelen (alkalisch en PEM). Siemens is hier wel gevestigd (Den Haag).

Internationaal - Europa

Internationaal zijn er een aantal organisaties en netwerken zeer actief met waterstof en brandstofcellen. Naast nationale associaties is op Europees gebied in de eerste plaats de specifiek op waterstof en brandstofcellen gerichte public private FCH-JU (Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking) te noemen en de daaraan gekoppelde bedrijvenorganisatie Hydrogen Europe.

zie figuur 13

Figuur 13: Hydrogen Europe, stand juli 2019 (Nationale organisaties/Industry/Research-deelnemers)



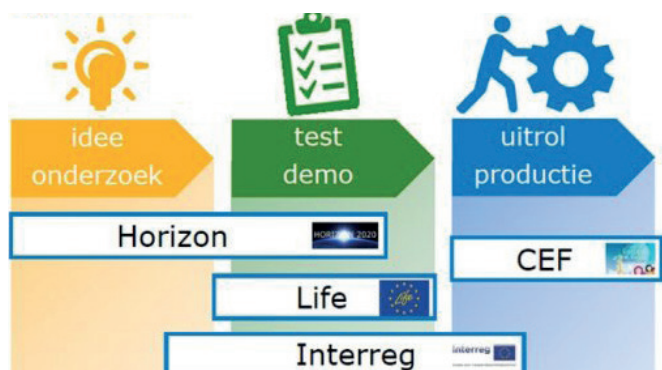
Het zwaartepunt van de industriedeelnemers aan FCH-JU en Hydrogen Europe ligt in Noordwest-Europa. Zuid- en Oost-Europa zijn minder sterk vertegenwoordigd en er ligt meer focus op research. Niet overal is een nationale organisatie actief of lid van Hydrogen Europe.

Sommige Nederlandse bedrijven en de overheid zijn lid en actief in deze organisaties. De overheid is vertegenwoordigd in IPHE. Het Nederlandse Waterstofplatform (H2P) en enkele bedrijven afzonderlijk, zijn lid van Hydrogen Europe.

Diverse Europese programma's doen toenemend projectuitvragen met waterstof als thema, zoals Horizon2020 (o.a. via de PPP (Public Private Partnership) FCH), Life, Interreg, CEF. Waar FCH zich vooral richt op de toepassingen en demonstratie van de technologie, zijn andere programma's bijvoorbeeld vooral gericht op cross-border energie (CEF Ten-E) en transportinfrastructuur (CEF Ten-T).

zie figuur 14

Figuur 14: projectfasen¹²



Figuur 15: leden hydrogen council¹³



Het Nederlandse TSO 2020 project is het grootste toekende project in de EU Connecting Europe Facility (CEF). Het EU CEF-programma is gericht op het versnellen van investeringen op het gebied van trans-Europese netwerken op het gebied van transport, energie en telecommunicatie.

Met Horizon 2020 willen de Europese Commissie (EC) en de Nederlandse overheid wetenschap en innovatie stimuleren in het bedrijfsleven en de academische wereld. Zo kunnen zij het concurrentievermogen van Europa vergroten. Het Horizon 2020 programma sluit aan bij de Europese doelen voor werkgelegenheid en groei.

Internationaal - Wereld

Op mondiaal niveau is de private Hydrogen Council (zie Figuur 15) zeer relevant en het publieke IPHE (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy).

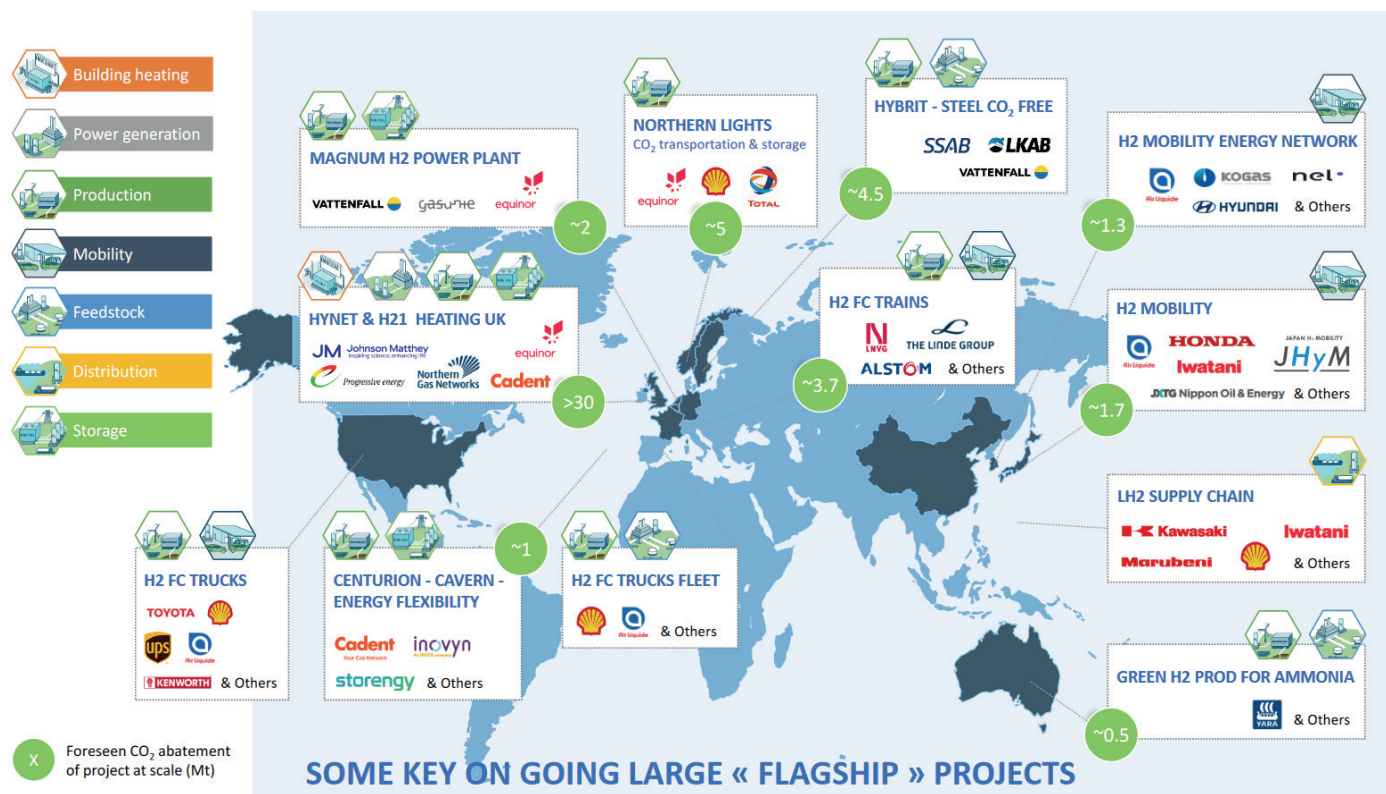
De Hydrogen Council is door private partijen opgericht in 2017, gevestigd in Brussel en telde bij aanvang 13 (nu ca. 60) leden op CEO-niveau. Europese partijen zijn sterk vertegenwoordigd in de Council. Bijna de helft van alle leden en meer dan de helft van de stuurgroepleden is Europees. Nederland is met twee partijen vertegenwoordigd: Shell zit in de stuurgroep en Vopak is supporting member.

zie figuur 15

De ambitie voor de deelnemende bedrijven is tweeledig:

- Versnellen van hun investering in de ontwikkeling en commercialisering van waterstof en brandstofcellen.
- Overtuigen van belangrijke stakeholders om hun steun voor waterstof ook te vergroten als onderdeel van de toekomstige energiemix met passend beleid en ondersteunende regelingen.

Figuur 16: voorbeelden flagship projecten¹⁴



De Hydrogen Council heeft in februari 2019 een plan gepresenteerd met 23 Flagship projecten (zie Figuur 16). Daarvan zijn er drie in Nederland:

- Hydrogen to Magnum (H2M), samen met Noorwegen
- HyNetherlands
- H-Vision

zie figuur 16

In Nederland zijn o.a. de volgende initiatieven in de pers gecommuniceerd (selectie, zonder volgorde, stand juni 2019)¹⁵:

1. TSO2020: Hystock EnergyStock 1 MW Elektrolyse, Caverne opslag, Pesse Tankstation
2. North Sea Wind en Power Hub, Gasunie, PoR, Tennet, Energinet.dk, (Doggersbank)
3. RWE + Innogy, 100 MW Elektrolyse, Eemshaven
4. HyNetherlands: Engie + Gasunie, 100 MW Eemshaven, Flagship Project
5. ISPT 1 GW Study: Shell, Nouryon, Orsted, Gasunie, OCI, YARA, DOW, etc.
6. Hydrohub EnTranCe, 1 MW Elektrolyse
7. Hoogeveen, Stad aan't Haringvliet, waterstof(demo)wijken
8. H2M Hydrogen to Magnum: Nuon Magnum Centrale, Eemshaven, Flagship Project
9. Nouryon + Gasunie 20 MW Elektrolyse, gaat naar 60 MW (SkyNRG), Delfzijl
10. H-Vision Rotterdam, Flagship Project
11. Hydrogen Backbone waterstofleiding, Gasunie
12. Waterstofleiding tussen Dow en Yara, Zeeland (gereed)
13. Green Hydrogen voor raffinaderij, BP, Nouryon, Havenbedrijf Rotterdam,
14. "Element 1" 100 MW Elektrolyse, Gasunie Duitsland, Tennet, Thyssengas (D)
15. Waterstofrein tussen Groningen en Leeuwarden

Bronvermeldingen:

- 12 Website RVO (<https://www.rvo.nl/onderwerpen/internationaal-ondernemen/netwerken-en-contacten/internationale-organisaties/welke-organisaties/europese-unie>)
- 13 website Hydrogen Council (<http://hydrogencouncil.com>)
- 14 Hydrogen Council, Mission Innovation Hydrogen Valleys, maart 2019 (https://fch.europa.eu/sites/default/files/214-MI_Antwerp-H2_Valleys-HydrogenCouncil-update.pdf)
- 15 Diverse bronnen, o.a.: Investeringsagenda waterstof Noord-Nederland, februari 2019

3. Methodiek voor vinden kansen en mogelijkheden

Om de partijen en segmenten te vinden die de grootste kansen en mogelijkheden bieden voor Nederland, beoordelen we de aantrekkelijkheid van de verschillende marktsegmenten (op hoofdlijnen) en de positie van Nederland en Nederlandse spelers. De grootste kansen liggen in die segmenten waar een aantrekkelijke markt gecombineerd wordt met een (potentieel) sterke positie van een Nederlandse partij.

3.1. SWOT-Analyse Nederland en strategische implicaties

Om de kansrijke markten voor Nederland te inventariseren, is een SWOT-analyse uitgevoerd en zijn hieruit conclusies getrokken.

Jeroen van Hoof, voorzitter van de WEC Nederland:

“We zijn in Noordwest-Europa uitstekend gepositioneerd om deze route naar schone moleculen te bewandelen. Vanwege de aanwezigheid van innovatieve en efficiënte energie-intensieve industrie, die al geruime tijd ervaring heeft verworven en infrastructuur heeft gebouwd. Vanwege de ambitieuze projecten voor windenergie onder andere op de Noordzee, vanwege de relatief dichtbevolkte en koopkrachtige economie, én vanwege het feit dat in Europa de roep om de Parijsdoelen ook echt te gaan halen heel sterk is. Door in te zetten op een schone waterstofeconomie nemen we niet alleen als Europa het initiatief richting een klimaatneutrale wereld, maar creëren we ook nog eens een krachtige schone concurrerende industrie.”

SWOT-analyse

Een SWOT-analyse geeft een waardeoordeel over de positie van een onderneming of in dit geval de Nederlandse industrie (de interne omgeving – de sterkten en zwakten) en over de ontwikkelingen in de externe omgeving die een kans en/of bedreiging vormen. De SWOT-analyse zorgt voor de input voor het trekken van strategische conclusies, met een overzicht van sterktes en zwaktes van een organisatie of in dit geval de organisaties in Nederland en een overzicht van kansen en bedreigingen in de markt.

zie tabel 3

Strategische implicaties SWOT-analyse

Met deze resultaten zijn conclusies getrokken voor beleid (zie Tabel 4). In de analyse zijn de sterkten en zwakten (van Nederland) gecombineerd met de kansen en bedreigingen in de markt en vertaald in conclusies voor de strategie of het beleid.

zie tabel 4

Tabel 4: strategische implicaties voor Nederland en groene waterstofeconomie op basis van SWOT

	Kansen	Bedreigingen
Sterkten	<ul style="list-style-type: none">Focus op componenten en materialen, in het bijzonder degene die in verschillende productieketens voorkomen en op enkele gespecialiseerde PMC's.Benut aardgaspositie om voorsprong te creëren.	<ul style="list-style-type: none">Verhoog de investeringen in windenergie, ontwikkel waterstof-hotspots in de buurt van aanvoerpunten, converteer gasinfrastructuur, pas wetgeving aan.
Zwakten	<ul style="list-style-type: none">Zoek naar samenwerking met OEM's.Stimuleer buitenlandse elektrolyser-OEM zich in Nederland te vestigen.Investeer in training en onderwijs.Ontwikkel meerjarenprogramma.	<ul style="list-style-type: none">Ontwikkeling van import- en exportpositie in waterstof naast nationale en lokale productie win Nederland zodat geprofiteerd kan worden van kostenvoordelen en technische ontwikkelingen elders.

Tabel 3: SWOT-overzicht voor Nederland en (duurzame) waterstofketen

<p>Sterkten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Positie in verschillende toeleveringsketens als subsysteem- en componentfabrikant. • Aanwezige industrie in grootschalige (grijze) waterstofproductie voor de chemie. De tweede positie binnen Europa, na Duitsland. • Kennis en ervaring gas- en procestechnologie, beschikbaarheid van kennis en organisatie(s) rond (aard)gas. • Gasassets en infrastructuur, beschikbaarheid van hoogwaardige (aard)gasinfrastructuur. • Hightech materialen, ervaring met composietmaterialen. • Efficiëntie, productiviteit en toegevoegde waarde. • Diensten (optimalisatie & voorspellingssoftware, financiering, testen, logistiek). • Topsectoren Chemie, Logistiek, Water, Energie, Agri&Food, Tuinbouw, High Tech Materials en Systemen, (Creatieve Industrie, life sciences & health). 	<p>Zwakten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beperkt aantal NL OEM's in waterstofketen. • Beschikbaarheid personeel techniek en onderzoek. • Kleine thuismarkt voor eindgebruikers/consumenten. • Toegang tot schaarse en dure materialen. • Relatief lage investeringen in onderzoek en ontwikkeling. • Nog (te) weinig samenwerking in de sector. • Nog geen gezamenlijk doel/ geen meerjarenprogramma. • Beperkt NL fundamenteel onderzoek. • Beperkte proef/demo-omgevingen. • Nog geen nationaal veiligheidsprogramma.
<p>Kansen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grote hoeveelheden Noordzeewind en "niet oogstbare" hernieuwbare energie bieden kansen op goedkope, koolstofarme waterstof en beperking van benodigde elektrische transportcapaciteit binnen Nederland, vanaf de Noordzee naar Nederland en over de grenzen. • Groene chemie en raffinage kunnen een grote nieuwe markt bieden. • Veel grotere OEM's in Europa, met sterke lokale sourcing. • De kosten kunnen door industrialisatie omlaag worden gebracht. • Sommige componenten maken deel uit van meerdere toeleveringsketens (waterstof en niet-waterstof). • Energietransitie voor bedrijven die (producten en diensten voor) duurzame energiedragers aan willen bieden. • Mogelijkheid van blauwe waterstof. • Sterk toegenomen internationale aandacht voor H₂. • Plannen voor multi-GW Elektrolyse initiatief EU. • Verhoogde R&D budgetten Industrie. • Toenemende krapte op e-netten brengt noodzaak tot conversie naar gas mee. 	<p>Bedreigingen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hernieuwbare (groene) waterstof, kostenreductie gaat te langzaam. • Onvoldoende groene stroom kan beschikbaar zijn of tegen te hoge kosten. Daardoor minder noodzaak tot conversie NL wind/zon. • Industrialisatie kan sneller plaatsvinden in de VS of Azië. • Buitenlandse OEM's zouden hun eigen capaciteiten voor kritieke componenten kunnen bouwen. • Normering en wetten komen (te) laat op orde.

Het is niet voor niets dat de afgelopen twee jaar de belangstelling voor waterstof in Nederland enorm is toegenomen. Nederland is goed gepositioneerd om een rol te spelen in de waterstofketen. Vanwege de aanwezigheid van veel energie-intensieve sectoren zoals een groot chemiecluster met 5 kernen, de tuinbouw en transportsector en de gemaakte klimaatafspraken in Parijs is de verduurzamingsopgave voor Nederland zeer groot. Omdat een groot deel van de energievoorziening gebaseerd is op olie en gas en er een eigen gasindustrie en landelijke gasinfrastructuur is, heeft vervanging met een duurzaam gasvormig alternatief zoals groene waterstof het voordeel dat een deel van infrastructuur, netwerken, kennis, marktposities etc. gebruikt kunnen blijven worden. De verduurzamingsopgave voor Nederland, in vergelijking met andere landen, is groter, maar de oplossing ook deels eenvoudiger, omdat een deel van de investeringen vermeden kan worden als wordt ingezet op (groene) waterstof. Daarbij komt dat de Noordzee een grote potentie aan windenergieopwekking heeft, waarvan de elektriciteit nu al deels in de havens van Eemshaven, Noord- en Zuid-Holland en Borssele aan land komt. Tijdig overstappen van het gebruik van aardgas naar waterstof kan dan de economische positie van Nederland behouden in een duurzame toekomst. Het goede en uitgebreide aardgasnetwerk kan ook uitstekend dienst doen als infrastructuur voor waterstof.¹⁶

Via een aantal segmenten lijkt het ook mogelijk om de positie van Nederland te verbeteren. Dit geldt wanneer een nieuwe markt zich nog moet ontwikkelen (bijv. productie groene en blauwe waterstof en productie brandstofcellen) en niet ten koste gaat van een andere markt (zoals in de personenautomarkt benzine- en dieselauto's worden vervangen door batterij- en waterstof-elektrische auto's, de totale markt blijft gelijk). Ook geldt dit voor markten waarin zittende/logische marktpartijen nieuwe technologieën voor waterstof nodig hebben die door bedrijven in Nederland geleverd kunnen worden. Een voorbeeld is de PEM-elektrolyse. Deze technologie is nog in ontwikkeling, maar een aantal Europese systeemleveranciers biedt al producten aan (bijvoorbeeld Siemens, Hydrogenics, AREVA, ITM-power, H2-Tec, NEL), naast partijen in Azië en US. De kans dat een nieuwe speler van nul af aan in deze markt kan treden, is niet groot. Kansrijker, zeker op de korte termijn, is dat bestaande spelers zich in Nederland willen vestigen als hier een aantrekkelijke markt ontstaat en de juiste randvoorwaarden kunnen worden gecreëerd. De Europese spelers staan gemiddeld genomen open voor Europese samenwerking en sourcing, zie de auto- en luchtvaartindustrie, waar Nederland een relevante positie in de toelevering inneemt. Het ontbreken van een OEM of systeemleverancier betekent dus niet dat er geen kansen zijn. De kansen liggen dan op subsysteem-, component- en onderdeelniveau. Zeker als een component in meerdere systemen nodig is, kan dat een aantrekkelijke markt zijn. Denk ook aan aantallen voor serieproductie. Een auto heeft maar 1-2 tanks nodig, maar een brandstofcelstack bestaat uit vele cellen en MEA's (membrane electrode assemblies). Massafabricage is bij sommige onderdelen sneller aan de orde dan bij andere. Nederland telt ruim 8 miljoen personenwagens, maar "slechts" 4.120 tankstations. Het aantal tankstations is bovendien al jaren dalende. BOVAG ziet 3.000 stuks als voorlopig toereikend, maar de locaties zelf groeien.

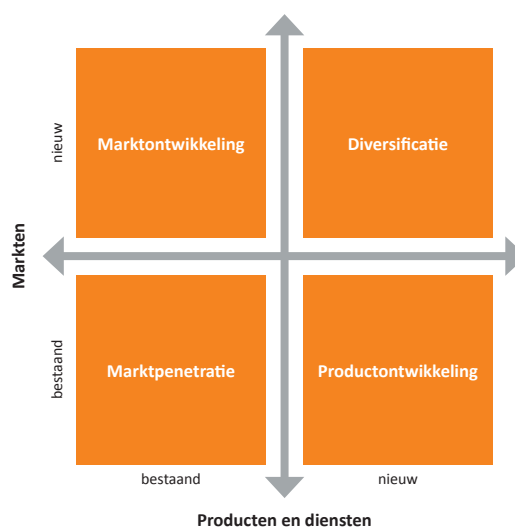
Voor enkele niches zijn er wel Nederlandse systeemleveranciers. Voor deze partijen kan de nabijheid van wereldklasse componentleveranciers een voordeel opleveren. Denk daarbij aan VDL met waterstofbussen gelegen in het automotive cluster rond Eindhoven.

3.2. 'Omgekeerde' Ansoff-matrix

Wat zijn kansrijke combinaties van marktontwikkelingen en producten en diensten? Daarvoor is de algemene SWOT onvoldoende gedetailleerd. Daarom is er gebruik gemaakt van de ideeën achter de Ansoff-matrix.

De Ansoff-matrix (zie Figuur 17) laat vier strategieën zien die een bedrijf kan gebruiken om te groeien. De aanpak helpt ook om de risico's van elke strategie te analyseren. Elke stap vanuit de huidige markt en het huidige product vergroot de risico's en vermindert de slaagkans. Aan de andere kant is voor een onderneming stilstand achteruitgang, dus gaat het vaak om het nemen van beheersbare commerciële risico's.

Figuur 17: Ansoff-matrix



1. Marktpenetratie is de veiligste strategie. Een bedrijf richt zich op het uitbreiden van de omzet in de bestaande markt. Het product en de markt zijn bekend en daarom zijn er evenmin toetredingsdrempels. Voor de groene waterstofeconomie zou het gaan om bedrijven die de verkoop van waterstof vergroten bij hun bestaande klanten. Aangezien de marktstructuur en benodigde kennis en vaardigheden van verbranding en gassen voor industrietoepassing onderling niet significant verschillen tussen waterstof en aardgas, en omdat waterstof aardgas lijkt te gaan vervangen beschouwen we ook de stap van een distributeur van aardgas die waterstof gaat leveren aan dezelfde klanten via dezelfde infrastructuur in dit geval als marktpenetratie.

2. Productontwikkeling is het leveren van een nieuw product in de bestaande markt. Deze strategie is iets risicovoller en daarmee mogelijk iets minder kansrijk. De marktkennis en het netwerk blijft gelijk, maar in het product zijn (enkele) aanpassingen nodig, die soms nieuwe kennis en vaardigheden vragen.
3. Bij marktontwikkeling levert een bedrijf bestaande producten, kennis en vaardigheden in een voor hen nieuwe markt. Omdat de markt onbekend is, levert dit net als productontwikkeling een hoger risico op dan marktpenetratie.
4. Diversificatie is het tegelijkertijd veranderen van een markt en product. Dit is de meest risicovolle strategie die niet altijd heel kansrijk is, zeker in markten waar al gevestigde partijen actief zijn. De toetredingsdrempels voor nieuwkomers en de voordelen van de gevestigde partijen (schaal, locatie, bestaande klantenkring, etc.) zijn doorgaans te groot.

Voor het vinden van kansrijke productmarktcombinaties in de waterstofeconomie gaan we niet uit van de huidige positie van een bedrijf, zoals in de reguliere toepassing van de Ansoff-matrix, maar van een 'omgekeerde' Ansoff-matrix: nl. met welke strategieën kun je met enige kans van slagen een deelsegment in de nieuwe waterstofketen bereiken? De strategie diversificatie sluiten we uit. Dat zou gaan om partijen die nu niet in een voor waterstof relevante markt actief zijn en geen specifieke technologie of kennis en vaardigheden hebben die relevant zijn voor de waterstofeconomie. Dat zullen hoe dan ook de uitzonderingen in de markt blijven.

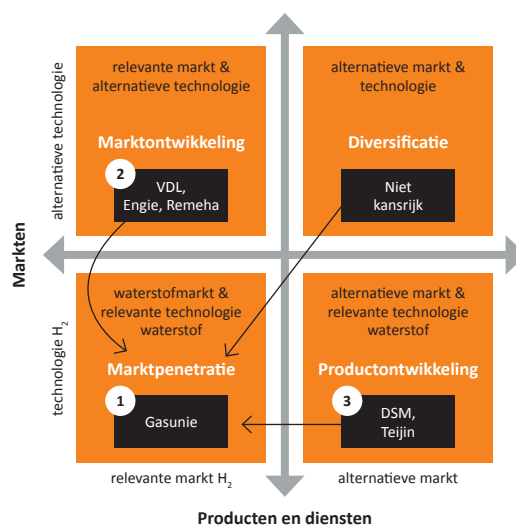
Een (potentieel) sterke positie is te realiseren of te behouden op drie manieren:

1. **Marktpenetratie:** Wanneer bestaande partijen een sterke positie hebben in de markt die verwacht wordt over te gaan op waterstof en voor het behoud van hun positie weinig nieuwe technologie en nieuwe kennis en vaardigheden nodig hebben. Gasunie en Vopak zijn partijen die hun bestaande dienstverlening en marktpositie ook in de groene waterstofeconomie kunnen innemen als zij tijdig de overstap maken. Noch de klanten, noch de productievaardigheden vragen naar verwachting grote technologische/organisatorische verandering. Ten opzichte van de huidige omvang betekent waterstof geen grote uitbreiding maar vooral een nieuw perspectief bij het verminderen van de omzet gerelateerd aan fossiele brandstoffen.
2. **Productontwikkeling:** Wanneer bestaande partijen een sterke positie hebben in een bestaande markt die verwacht wordt over te gaan naar waterstof, maar daarvoor moeten investeren in nieuwe technologie, kennis en vaardigheden. Denk daarbij aan de spelers in de automobiellindustrie zoals VDL die al jaren dieselbussen produceert en met aanpassing van de techniek waterstofbussen kan produceren. Qua onderhuidse technologie verandert er het nodige maar de marktrelaties veranderen niet. Het zijn nog steeds dezelfde marktpartijen waaraan verkocht kan worden en een groot deel van het product blijft gelijk. Een ander voorbeeld is een systeemleverancier/operator van een elektriciteitscentrale die overgaat van aardgas naar waterstof of een CV-ketel op waterstof. Het belangrijkste is dat de gasturbine of de brander geschikt is voor waterstof.

3. **Marktontwikkeling:** Wanneer partijen in een ander gebied dan de beoogde waterstofketen een product, of relevante kennis en vaardigheden en technologieën hebben die ook belangrijk zijn in de verwachte waterstofeconomie. Denk hierbij aan partijen die specifieke materialen, producten en diensten leveren die nodig zijn voor (de ontwikkeling van) de waterstofeconomie, zoals DSM, Teijin, Kiwa. De Drentse onderneming Resato zet zijn bestaande kennis van hogedruksnijdsystemen in voor waterstoftoepassingen.

Voor marktpenetratie (zie Figuur 18) is de kans van slagen groter dan voor productontwikkeling en voor marktontwikkeling.

Figuur 18: kansrijke strategieën gebaseerd op Ansoff-matrix



Richtinggevend principe bij het zoeken naar relevante technologieën en vaardigheden voor bedrijven die aan marktontwikkeling kunnen doen, zijn de specifieke eigenschappen van waterstof, die specifieke eigenschappen van de systemen, materialen en componenten vragen (zie volgende paragraaf). Naar verwachting zijn die, naast in de industriële- en aardgassector, te vinden in het netwerk high tech materials en de aerospace en de automotive sector (topsector High Tech Systemen en Materialen (HTSM)). Partijen die passen bij de strategie marktpenetratie of productontwikkeling zijn marktpartijen die nu in de gasmarkt actief zijn of in de waterstof/industriële gassenproductie (topsector chemie en energie), distributie, overslag en opslag (topsector logistiek) of in de eindgebruikersmarkten.

3.3. Specifieke eigenschappen waterstof en brandstofcellen

Om technologieën en vaardigheden te vinden in andere sectoren die nuttig zijn voor de waterstofeconomie zoomen we in op specifieke karakteristieken van waterstof en aan waterstof verbonden producten (brandstofcel, elektrolyse). Deze eigenschappen triggeren de benodigde productaanpassingen en innovaties in bestaande en nieuwe producten op waterstof. Het gaat dan om:

1. Waterstof is een brandbaar en licht ontvlambaar gas en niet waarneembaar met menselijke zintuigen (kleurloos en geurloos). Dit betekent dat er sensoren nodig zijn die kleine concentraties waterstof kunnen detecteren. N.B.: Aardgas van nature ook kleur en geurloos, wordt voor de gebouwde omgeving voorzien van een odorisatiemiddel (geurstof).
2. Waterstof is een zeer klein molecuul. Daardoor kan waterstof zelfs door verschillende materialen diffunderen (permeatie). Om waterstof op te slaan of te vervoeren zijn daarom hoogwaardige materialen (legeringen), voeringen, coatings, afdichtings- en verbindingstechnieken nodig die voorkomen dat waterstof verdwijnt of reageert met andere stoffen.
3. Waterstof kan in het "kristalrooster" van bepaalde metalen (metaalrooster) indringen en vervolgens de materiaal-eigenschappen negatief beïnvloeden. Er zijn daarom voor sommige toepassingen hoogwaardige metaallegeringen nodig.
4. Waterstofgas heeft een lage dichtheid. Om voldoende waterstof te kunnen opslaan of te vervoeren moet de dichtheid vergroot worden. Dit kan via het onder (hoge) druk brengen, het vloeibaar maken door zeer lage temperaturen (cryogene omstandigheden), of door het te binden met andere (drager)materialen. Voor opslag onder druk of als vloeibare waterstof zijn hightech materialen en verwerking nodig en voor het chemisch of fysisch binden en weer losmaken van andere materialen zijn materiaal-, chemische- en/of thermodynamische kennis en vaardigheden nodig.
5. Het gebruik van brandstofcellen betekent dat er waterstof met een hoge zuiverheid nodig is. Deze zuiverheid vraagt goede filter- en scheidingstechnieken. Relatief nieuwe elektrolysetechnieken zoals PEM vragen ontwikkeling van hightech materialen voor bijv. membranen, katalysator en elektroden die goed bestand zijn tegen degradatie en (dus) een lange(re) levensduur hebben.

Productreeksen (voorbeelden)

1. Druktanks en leidingsystemen
2. Regelingen: (regel)kleppen, ventielen, geïntegreerde systemen, veiligheidsventielen
3. Detectie: gassensoren, branddetectie, lektesten
4. Gasconditionering: gasdroging, de-oxo, compressie, vloeibaar maken
5. (De)composition: MCH, ammonia, etc.
6. Statische elektriciteit en vonkvermijding: aarding en bliksembeveiliging
7. Gassamenstelling: gassamenstellingsmeters (zuiverheid)
8. Hoeveelheidsmetingen: sensoren, telwerken, hard/software
9. Dichtheid: pakkingen, schroeftechniek, liners, coatings
10. Hightech materialen: metaallegeringen, composieten
11. Waterbehandeling ten behoeve van productie van gedemineraliseerd water voor elektrolyse
12. Systemen: MEA (Membrane Electrode Assembly)
13. Elektronica: gelijkrichters AC/DC, DC/DC, micro/nano fuel cells
14. Compressiesystemen
15. Liquefactie
16. Productiemachines en technieken: spinnen vezels, opdampen, printen, bakken, etc.

3.4. Kansrijke product- marktcombinaties

Bij het zoeken naar de meest kansrijke product-marktcombinaties binnen de groene waterstofeconomie zijn de segmenten in de integrale waterstofproductieketen beoordeeld op de aantrekkelijkheid van de markt en de aanwezigheid van sterke Nederlandse spelers.

Kenmerken van een aantrekkelijke markt in dit verband zijn:

- Grote (groeïende) Nederlandse markt
- Markt met exportpotentieel
- Hoge(re) toegevoegde waarde

De mate van innovatie en technologieontwikkeling wordt waar relevant meegenomen.

Indien Nederland beschikt over meerdere sterke spelers in een bepaald segment, en het segment is verbonden met een of meer topsectoren (clustervoordelen) dan is sprake van een sterkte. Combinatie van een aantrekkelijke markt en een sterke Nederlandse positie leidt tot een kans.

Partijen die via marktpenetratie een waterstofkans kunnen verzilveren zijn nu vooral bestaande aardgas- en industriële-gassen bedrijven.

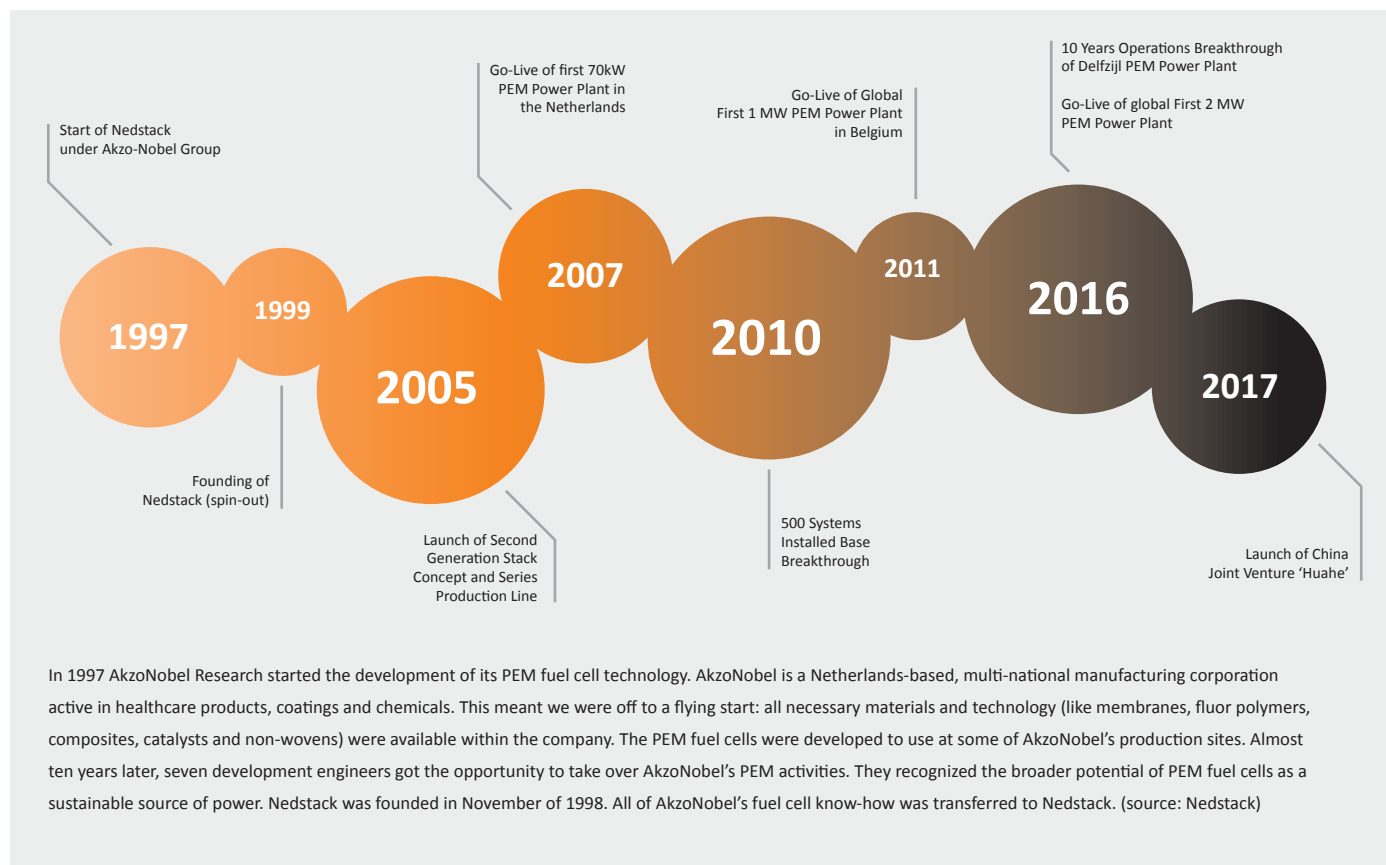
Bedrijven waarvoor productontwikkeling een kansrijke strategie is, zijn:

- Bestaande voer- en vaartuinproducenten (o.b.v. fossiele brandstoffen) met een sterke marktpositie. Nederland heeft dergelijke spelers op gebied van bussen, speciale voertuigen en schepen, met exportpotentieel;
- Bestaande elektriciteitsproducenten (o.b.v. fossiele brandstoffen);
- Bestaande producenten van CV-ketels en hybride systemen (exportpotentieel voor ketels en branders);
- Chemische bedrijven die chemie willen “vergroenen” m.b.v. waterstof (ook bio-raffinaderijen).

Partijen die via marktontwikkeling kansen kunnen benutten in de waterstofeconomie zijn:

- Partijen met sterke positie in ontwikkeling en productie hightech materialen en coatings (DSM, Nouryon, ...)
- Partijen met sterke positie in ontwikkeling en productie hightech componenten (Nedstack (figuur 19), Magneto, NProxx,...)

Figuur 19: De ontwikkeling van brandstofcellenproducent Nedstack



3.5. Beleidsmaatregelen

Per type marktstrategie verschilt de vorm van de ondersteuning waaraan behoefte is.

Het “marktpenetratie” kwadrant met bestaande spelers die geen verandering in het marktsysteem nodig hebben en zelf nauwelijks wijzigingen in de producten en diensten moeten aanbrengen, bevat spelers die vanuit opportuniteit/defensieve redenen de waterstofeconomie kunnen betreden en indien nodig met name ondersteuning nodig hebben bij het wegnemen van hindernissen qua regelgeving, normering, die de overstap naar waterstof hinderen. Het gaat dan om netbeheerders die bijvoorbeeld enkel aardgas mogen distribueren en geen waterstof. Via aanpassing van de wet, of het tijdelijk toestaan van proeftuinen kan een dergelijke partij zelf de benodigde ontwikkeling sturen of volgen en ervaring in het veld opdoen.

Het tweede kwadrant “productontwikkeling” bevat partijen die in hun bestaande markt een nieuw waterstofproduct zouden kunnen introduceren. Deze partijen kunnen te maken hebben met een kip-ei probleem. Ze kunnen en willen CV-ketels of andere gastoestellen ontwikkelen en verkopen, maar hebben last van gebrek aan passende infrastructuur, en dus afnemers. Afnemers zijn geïnteresseerd in aantrekkelijke verwarmingsoplossingen, maar zijn beperkt in hun keuze door de afwezigheid van passende infrastructuur. Bij waterstofvoertuigen en tankstations is er een commerciële kip-ei situatie. Ook de afwezigheid van uniforme normen kan de ontwikkeling hinderen. Het risico om zonder deze standaarden iets te ontwikkelen wat later niet past bij de gekozen infrastructuur is te groot. Door te sturen op standaarden en evt. tijdelijk de onrendabele top af te dekken kan een kip-ei probleem doorbroken worden.

In het derde kwadrant “marktontwikkeling” zitten spelers die de link moeten maken naar nieuwe toepassingsgebieden. Deze groep kent de potentiële spelers in de waterstofeconomie vaak onvoldoende en is andersom niet bekend bij de spelers die tegen technische uitdagingen aanlopen. Hier is behoefte aan ondersteuning bij het vinden van marktkansen, door technische uitdagingen van de waterstofeconomie te identificeren, partijen te informeren en het verzorgen van introductie bij marktpartijen en introductie in netwerken, hulp bij vormgeven van een samenwerking en financiële regelingen om demonstratie- en pilotprojecten uit te voeren.

Bronvermeldingen:

16. DNV GL, *Verkenning waterstofinfrastructuur, November 2017* en KIWA, *toekomstbestendige gasdistributienetten, juli 2018*.

4. Analyse kansrijke voorbeelden

Op hoofdlijnen zijn alle product-marktcombinaties beoordeeld op de volgende drie vragen:

1. Wat gebeurt er met de omvang van de Nederlandse (vervangings)markt?

Bij een compleet nieuwe markt door de ontwikkeling van waterstof is sprake van groei (+). In een bestaande markt die van fossiele brandstoffen overgaat op waterstof blijft de markt voor de systeemleveranciers doorgaans stabiel (0). Ook kan de totale markt afnemen doordat bijvoorbeeld vanwege elektrificatie de totale afzet voor systemen op gas krimpt (-).

2. Zijn er al Nederlandse partijen met een gevestigde marktpositie in het marktsegment (+) of niet (-)?

Wanneer er al partijen zijn met een sterke marktpositie vergroot dit de kansen (+). Wanneer er nog geen partijen zijn en er al wel sprake is van een vervangingsmarkt dan beoordelen we de situatie als niet kansrijk (-). Als er Nederlandse partijen zijn maar deze partijen zijn niet sterker dan de partijen die elders aanwezig zijn als neutraal (0).

3. Heeft de markt exportpotentieel?

De markt is aantrekkelijker als een voorsprong kan worden gerealiseerd en de afzetmarkt zo groter is dan alleen Nederland (+). Wanneer sprake is van een sterk regionaal georiënteerde markt is er geen exportpotentieel (0). Aan de andere kant kleeft er ook een risico aan. Als in een internationale markt Nederlandse partijen achterlopen op het buitenland dan bedreigt dit de bestaande positie voor binnenlandse spelers.

Daarnaast zijn er ook andere aspecten die een rol spelen in de aantrekkelijkheid van de markt. Bijvoorbeeld de benodigde technologieontwikkeling. De noodzaak tot technologieontwikkeling creëert kansen voor partijen om marktaandelen te vergroten (en risico's een bestaande positie te verliezen).

Op basis van deze inschatting kan een marktsegment het predicaat kans of witte vlek krijgen. Een witte vlek is een product-marktcombinatie waar geen Nederlandse spelers actief zijn. Een kans is een combinatie van een of meer Nederlandse spelers die ten opzichte van internationale partijen zouden kunnen groeien qua marktaandeel of marktomvang doordat de totale markt groeit of de spelers relatief goed gepositioneerd zijn voor waterstof. Een kans kan ook ontstaan als de markt zich nog moet ontwikkelen en Nederland de juiste randvoorwaarden heeft of creëert. Dit zien we bijvoorbeeld op het gebied van kleinschalige elektrolyse of grootschalige elektrolyse mits een bestaande OEM besluit in Nederland een vestiging te openen.

Voor de verschillende niveaus van de waterstofketen volgt hieronder de analyse per niveau.

4.1. Toepassingsgebieden waterstof

Tabel 5 laat de analyse voor de toepassingsgebieden van waterstof zien. Er zijn twee witte vlekken:

- De eerste betreft personen- en bestelauto's. Het invullen van deze witte vlek met een Nederlandse OEM achten we niet kansrijk vanwege de hoge toetredingsdrempels.
- De tweede betreft de bouw van treinen op waterstof. Nederland heeft geen treinindustrie en het opbouwen van een nieuwe treinindustrie beoordelen we als niet kansrijk. Bovendien zijn de meeste Nederlandse treinen elektrisch (alle NS-trajecten zijn elektrisch). De potentiële afzet van een treinenbouwer in Nederland is daardoor beperkt.

Kansen zien we op vier gebieden:

- Door te innoveren met groene/nieuwe chemie kan het chemisch cluster zijn marktpositie versterken/verdedigen en het marktaandeel mogelijk uitbreiden. Inmiddels lopen er onderzoeksprogramma's zoals Voltachem en E-refinery;
- Het marktaandeel dat Nederland heeft in de scheepsbouw kan mogelijk vergroot worden door tijdige ontwikkeling en aanbod van waterstofscheepen. In oktober 2018 publiceerden de Duits/Nederlandse partners een haalbaarheidsstudie binnen Marigreen¹⁷;
- Ditzelfde geldt voor de markt van trucks, bussen, en speciale voertuigen. Aanbod van waterstof aangedreven voertuigen kan de positie versterken.
- Nederland is binnen Europa de vijfde markt qua jaarlijkse CV-ketelafzet, en heeft twee Nederlandse OEM's. De afzetvolumes zouden kunnen toenemen wanneer het aandeel CV-ketels door de overgang naar waterstof in het buitenland stijgt.

In de gascentrales voor de elektriciteitsproductie zien we minder mogelijkheden. Er zullen wel meer gascentrales komen maar voor de OEM's is dat onafhankelijk van de keuze voor waterstof. Voor tankstations zijn de kansen beperkter. De markt blijft qua waarde dalend of ongeveer gelijk en zal vooral regionaal worden ingevuld. Voor de aanwezige partijen zal het product iets veranderen, maar niet drastisch groeien qua volume, wel per locatie. Tankstations nemen landelijk af in aantal maar groeien in omvang/volume per locatie en geven ruimte aan meer diensten en producten.

zie tabel 5

Tabel 5: Toepassingsgebieden waterstof

Marktsegment	Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen	Exportpotentieel	Conclusie		
Elektriciteitsproductie en balancering - gascentrales - aggregaten - Power-to-gas	+	Toename gascentrales door intermitterend duurzame opwek	+	Eneco, Nuon, Essent, TenneT (Gasunie), Bredenoord	0/+ Combinatie elektriciteit(E-eiland) & gas +, rest -		
Mobiliteit – personenauto's/-bestelauto's	0	Mogelijk krimp, deelauto's	-	Geen NL-spelers	+	n.v.t., nieuwe OEM niet kansrijk	Witte vlek
Mobiliteit – bussen/trucks	0	Totale markt stabiel	+	VDL, DAF, E-trucks	+		Kans
Mobiliteit – speciale voertuigen	0	Totale markt stabiel	+	Spijkstaal, Ginaf, Terberg	+		Kans
Mobiliteit – trein	0	Totale markt stabiel	-	Geen NL-spelers	+	n.v.t., nieuwe OEM niet kansrijk	Witte vlek
Mobiliteit – scheepvaart incl. bunkerscheepen	0	Totale markt stabiel	+	Damen, Bodewes, MSN	+		Kans
Mobiliteit – tankstations	0	Meer waarde per station, minder stations	+	Lokale spelers	0	Regionale markt	
Chemie HTW – verbrandingsinstallaties	-	Minder vraag naar HTW uit gas door elektrificering, gebruik restwarmte, efficiency	+	specialisten in procestechologie	0		
Chemie feedstock	-/+	Afname SMR, toename groene chemie en synthetische koolwaterstoffen, innovatie	+	DSM, bio-MCN, OCI, YARA	+	Kennis synth. koolwaterstoffen (E-refinery, Voltachem)	Kans
LTW – CV-ketels/wkk	-	Afname aantallen door elektrificering/ isolatie	+	BDR, ATAG, Intergas	0/+	Europa	Kans

4.2. Distributiesystemen waterstof

Tabel 6 laat de analyse voor de distributie van waterstof zien. Er zijn vooral witte vlekken. Er zijn geen systeemleveranciers in Nederland op het gebied van tankwagens, tankschepen, of tankwagons voor het spoor. Dit is de (zware) metaalindustrie, traditioneel verbonden met veel las- en snijwerk, en structuurbouw gebeurt nu veel in lage lonenlanden. De Nederlandse industrie is zich in het algemeen meer gaan specialiseren in producten en activiteiten met een hoge toegevoegde waarde.¹⁸ Het opbouwen van een nieuwe industrie achten we daarom niet kansrijk, maar ook niet echt een gemiste kans.

Een mogelijke kans zien we in het exporteren van kennis en vaardigheden uit aardgas- en offshore-industrie indien in buitenland grote waterstofpijpleidingen worden aangelegd. De komende decennia zullen bij een doorbraak van waterstof wereldwijd meer pijpleidingen worden aangelegd, ook in zee. Dit biedt mogelijk nieuwe omzet voor de Nederlandse industrie die is ontstaan vanwege de distributie van aardgas.

zie tabel 6

Tabel 6: Distributiesystemen waterstof

Marktsegment	Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen	Exportpotentieel	Conclusie		
Distributie – leidingnet (incl. aanleg)	0/+	Leidingnet ongeveer gelijk in Nederland, groei buiten Nederland	+	GTS, Van Leeuwen buizen, Soluforce, Van Oord, Heerema, IHC (offshore) etc.	+	Korea/Japan/Australië Aanleg pijplijn	Kans
Distributie - tankschepen	0	Totaal aantal stabiel	-	Geen NL-spelers	+	n.v.t., nieuwe OEM niet kansrijk	Witte vlek
Distributie - tankwagons spoor	0	Totaal aantal stabiel	-	Geen NL-spelers	+	n.v.t., nieuwe OEM niet kansrijk	Witte vlek
Distributie - tankwagens	-/0	Aantal tankwagens neemt na verloop van tijd af door lokale productie en gebruik leiding	-	Geen NL-spelers	+	n.v.t., nieuwe OEM niet kansrijk	Witte vlek

4.3. Opslag- en overslagsystemen waterstof

In Tabel 7 zijn de kansen en witte vlekken voor opslag en overslag vermeld. Een witte vlek lijkt er te zijn voor cryogene op- en overslag. Er zijn geen systeemleveranciers cryogene (waterstof) systemen in Nederland, maar wellicht wel te ontwikkelen op basis van aardgaskennis (LNG). Deze witte vlek zou een kans kunnen zijn omdat wereldwijd er nog weinig partijen zijn die cryogene opslag/overslagfaciliteiten bouwen. Dit zijn hoogwaardige systemen, waar ontwerp en bouwkwaliteit (materialen, isolatie, eventueel vacuümtechniek, schoon werken) een zeer belangrijke rol spelen. Vanwege de ligging van Nederland met Rotterdam en het startpunt van het gasleidingnet (Groningen) in Europa is Nederland in ieder geval een goede

startmarkt, wanneer vloeibare waterstof naar Europa vervoerd zal gaan worden. Een kennisvoorsprong op dit gebied kan voor een concurrentievoordeel zorgen.

Een additionele kans is het exporteren van kennis en vaardigheden uit de gasindustrie indien in het buitenland ook waterstofopslag in cavernes (zoutkoepels) zal worden gestart/uitgebreid.

zie tabel 7

Tabel 7: Opslag en overslagsystemen waterstof

Marktsegment	Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen		Exportpotentieel	Conclusie
Opslag - ondergronds	+	Meer volume/-energie opgeslagen	+	Hystock	+	Kennis/diensten Kans
Opslag - (hoge) druk	+	Meer volume/-energie opgeslagen	+	Gasunie/Vopak	+	Kennis/diensten Kans
Opslag - cryogeen	+	Meer volume/-energie opgeslagen, mix met drager, H ₂ is nieuw	-	NL-spelers aanleg GATE LNG	+	Kans om te ontwikkelen Witte vlek/kans
Opslag - drager	+	Nieuwe markt (m.u.v. NH ₃), mix met cryogeen	-	Geen NL-spelers, TRL<scope	+	Onzeker welke dragers Buiten scope (TRL)

4.4. Waterstofproductie-systemen

In Tabel 8 beoordelen we het productieniveau in de waterstofketen. Er zijn op dit terrein veel witte vlekken in Nederland. Op het gebied van (grootschalige) elektrolysesystemen zijn geen Nederlandse OEM's. Opbouwen van een positie is moeilijk door de aanwezigheid van grotere spelers in het buitenland en het ontbreken van een grote technische maakindustrie. Omdat deze markt nog volop in ontwikkeling is, is het wel denkbaar dat een buitenlandse OEM (alkalisch en PEM) in Nederland een vestiging opent, zodat hier een waterstofketen kan worden opgebouwd.

Ook een OEM voor de kleinschalige elektrolysefaciliteit voor regionale toepassing is zo goed als afwezig, maar door minder grote toetredingsdrempels is dit mogelijk een kans. Het gaat dan om de ontwikkeling van kleinschalige systemen voor nichemarkten (combinatie opwekking/productie, wijsystemen, bij tankstations, defensie etc.).

zie tabel 8

Tabel 8: Waterstofproductiesystemen

Marktsegment	Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen		Exportpotentieel	Conclusie
Productie – alkalische elektrolyse	+	Groeimarkt	-	Geen NL OEM	+	n.v.t. kansen grootschalige nieuwe OEM beperkt Witte vlek
Productie – PEM-elektrolyse	+	Nieuwe markt, innovatie	-	Geen NL OEM	+	n.v.t. kansen grootschalige nieuwe OEM beperkt Witte vlek
Productie – kleinschalige elektrolyse	+	Nieuwe markt, innovatie	-	Geen NL OEM	+	n.v.t. Witte vlek/kans
Productie – combinatie wind & elektrolyse	+	Nieuwe markt, innovatie	+	Hygro	+	Kans

4.5. Aanvullende diensten m.b.t. waterstof

De aanvullende diensten staan in Tabel 9. Witte vlek is mogelijk R&D, omdat de omvang van waterstof gerelateerde R&D relatief beperkt is. In het buitenland (bijvoorbeeld Japan, Duitsland, Korea, Canada) worden meer middelen ingezet en zijn specifieke onderzoekscentra actief met name voor brandstofcellen. Deze werken deels ook voor de industrie.

Kansen zien we op een aantal gebieden. Nederland heeft een sterke positie in testen en keuren en het juiste imago voor de keuring van waterstofsysteemen. Omdat het om een brandbaar gas en hoogwaardige (consumenten)producten gaat is een betrouwbaar imago en een goede staat van dienst des te belangrijker. Nederland combineert twee sterke TSO's (TenneT, Gasunie), die samenwerken om een optimale verdeling tussen elektronen en moleculen in de

energievoorziening te vinden. Dienstverlening die zich richt op procesoptimalisatie wordt beschouwd als kans in de nieuwe markt vanwege de positie van Nederlandse bedrijven en de mogelijke voorlopersrol van Gasunie en TenneT.

De derde kans is ontwerp en engineering in combinatie met geïdentificeerde exportkansen, bijvoorbeeld aanleg van waterstofleidingen buitenland, ondergrondse opslag, etc. Nederlandse ingenieursbureaus zouden kennis en vaardigheden kunnen toepassen in het buitenland op specifieke werkterreinen waar Nederland een voorsprong heeft zoals nu ook bij water(delta) management.

zie tabel 9

Tabel 9: Aanvullende diensten m.b.t. waterstof

Marktsegment		Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen		Exportpotentieel	Conclusie
R&D	+	Groeimarkt voor H ₂	-	Geen significante H ₂ /brandstofcel R&D. Deelgebieden Differ, TNO ECN/JRC	+	n.v.t., beperkte match NL	
Certificering/testen	+	Groeimarkt voor H ₂ /brandstofcellen	+	Kiwa, DNV, NEN	+		Kans
Opleiding	+	Groeimarkt voor H ₂	+	TU Delft KnowHY, KIWA, Noorderpoort	+/0		Kans
Optimalisatie, processen	+	Nieuwe markt voor balancering elektronen/moleculen	+	TSO's, DSO's en specifieke s/w bedrijven	+	Kans	Kans
Advies, consultancy, project management	0	Meer H ₂ maar geen groei totale markt	(+)	Wel partijen maar niet sterker dan buitenland	0	Meestal lokaal	
Ontwerp, engineering	0	Meer H ₂ maar geen groei totale markt	(+)	Wel partijen maar niet sterker dan buitenland	0	Meestal lokaal, behalve in sterke niches	Kans in specifieke niches

4.6. Toeleveringsmarkten m.b.t. waterstof

Tabel 11 geeft de beoordeling van de toeleveringsmarkten. Er zijn enkele witte vlekken in de technologieën: liquefactie, verbindingstechnieken, telwerken, elektronica. Verbindingstechnieken en telwerken bestaan elders en zijn niet essentieel om de waterstof-economie in Nederland te ontwikkelen. Liquefactie (i.c.m. proces- en chemiekennis) en elektronica (i.c.m. HTSM – High Tech Systeem & Materialen) vragen meer ontwikkeling en kunnen zo ook een kans zijn om te ontwikkelen.

De belangrijkste kansen zien we op vier gebieden:

1. Ten eerste geldt dat voor nieuwe materialen (o.a. composieten) door de relatief sterke positie in enkele productietechnieken (HTSM). Op het gebied van composieten zijn diverse partijen in Nederland actief.¹⁹
2. Vanuit de gasindustrie heeft Nederland een sterke positie in compressie, hogedruksystemen en regelkleppen ontwikkeld. Deze positie in combinatie met een groeiende markt, ook buiten Nederland, maakt dit een kans.

3. Vanwege de computerchipindustrie en de Topsector water heeft Nederland een sterke positie in waterbehandeling. Voor de elektrolyse is zeer zuiver gedemineraliseerd water nodig. Deze leveranciers zouden hun afzet kunnen laten groeien met de groei van de elektrolysecapaciteit.
4. Door de voormalige positie van Kema, en het High Voltage lab heeft Nederland een sterke positie in kennis van vonkvermijding en statische elektriciteit. Advies en techniek ten behoeve van de waterstofeconomie is een kans.

Voor alle hieraan gekoppelde onderdelen en componenten lijkt marktgroei mogelijk. Binnen de topsector HTSM vormt export een groot aandeel van de productie.²⁰

zie tabel 10

Tabel 10: Topsector HTSM economische data, realisatie en doel (in mln. € per jaar)

	2012 (CBS 2017)	2015 (CBS 2017)	2025 (ambitie)
Productiewaarde	121	139	182
Export	45	49	75
R&D	3,5	4,0	4,9

Toeleveringsmarkten m.b.t. waterstof

zie tabel 11

Tabel 11: Toeleveringsmarkten m.b.t. waterstof

Marktsegment		Marktgroei		Nederlandse (OEM) partijen		Exportpotentieel	Conclusie
(Hoge)druksystemen	+	Groeimarkt	+	NProxx	+		Kans
Regelkleppen/ventielen	+	Groeimarkt	+	Mokveld, Gavilar, VCC	+		Kans
Detectie: gassensoren, lektesten, branddetectie	+	Groeimarkt	+	Bronkhorst, WL Techniek	+		Kans
Gasconditionering	+	Groeimarkt	(-)		+		Kans
(De)compositie MCH, ammoniak etc.	+	Groeimarkt (NH ₃), nieuwe markt (MCH etc.)	+/-	NH ₃ + Overige dragers nog geen NL-spelers TRL<scope	+	Nog onzeker welke drager voorkeur krijgt	
Statische elektriciteit en vonkvermijding	+	Groeimarkt	+	DNV(Kema), Van der Heide	+		Kans
Gassamenstellings-meters- Zuiverheid	+	Groeimarkt	+	VSL/NMI	+		Kans
Telwerken	0	Vervangingsmarkt	-	Bronkhorst	+		Witte vlek
Afdichtingstechnieken Coatings, synthetische folies	+	Groeimarkt	+	Nouryon, DSM,	+		Kans
Verbindingstechnieken (schroef, lijm, lassen)	+	Groeimarkt	0	Teesing, VCC, Swagelok	+		Witte vlek
Materialen (ruw) resins, composiet, elektrolyt, legering	+	Groeimarkt	+	DSM, Ruetgers	+		Kans
Waterbehandeling	+	Groeimarkt	+	Pure Water Group	+		Kans
Subsystemen (MEA, elektroden, branders)	+	Groeimarkt	+	Nedstack, Hydron, Magneto, Bekaert	+		Kans
Elektronica (gelijkrichters AC/DC, micro Nano fuel cells)	+	Groeimarkt	(0)	DC Current	+		Witte vlek
Compressiesystemen	+	Groeimarkt	+	Howden, Resato	+		Kans
Liquefactie, opslag	+	Groeimarkt	0	Cryonorm, Demaco	+		Witte vlek
Productietechnieken (spinnen vezels, opdampen, bakken)	+	Groeimarkt	+	IHI Hauser	+		Kans

Bronvermeldingen:

17 Marigreen: Perspectives for the use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping, Oktober 2018

18 VNO-NCW, Nederland Maakt! Over het belang van de industrie en industriële waardeketens voor Nederland, januari 2016

19 Nationale-Samenwerkingsagenda-Composiet-NL

20 Holland High Tech, Holland High Tech Systems and Materials, Knowledge and Innovation Agenda 2018-2021

5. Uitwerking cases

5.1. Case 1: Elektrolyse

Elektrolyse is een chemische reactie waarbij onder invloed van een elektrische stroom samengestelde stoffen worden ontleed tot enkelvoudige stoffen en/of andere samengestelde stoffen.

Wereldwijd neemt waterelektrolyse nog steeds een klein deel van de waterstofproductie voor haar rekening (ca. 5%). Dat heeft vooral te maken met hoge elektriciteitskosten in vergelijking met fossiele brandstoffen zoals aardgas. Meer dan 90% van de wereldwijde waterstofproductie is op basis van goedkope fossiele grondstoffen, waarvan het overgrote deel aardgas (Steam Methane Reforming, Autothermal Reforming) en een deel partiële oxidatie van kolen of raffinaderij-olie(resten).

De energietransitie naar duurzame energie zorgt wereldwijd voor een scherpe daling van de elektriciteitskosten. Dat zorgt er op sommige plekken in de wereld al voor dat duurzame stroom goedkoper is dan de fossiele variant. Sinds 2010 zijn de kosten van windenergie gedaald met 49%, en zonne-energie is 85% gedaald. Dat maakt ze goedkoper dan nieuwe kolen- of gascentrales in tweederde van de wereld. De (korte termijn) opslagkosten voor batterijen zijn met 85% gedaald sinds 2010. Waterstof wordt gezien als oplossing om duurzame energie voor langere periodes op te kunnen slaan en in grote hoeveelheden over grote afstanden te kunnen transporteren.

De sleuteltechnologie om van duurzame stroom waterstof te kunnen maken is elektrolyse. Er zijn drie hoofdvarianten:

1. AEL Alkalische elektrolyse
2. PEM Proton Exchange Membrane/ Polymer Elektrolyte Membrane
3. HTEL Hogetemperatuurelektrolyse

In het kader van dit onderzoek leggen we de focus op de eerste 2, mede omdat het TRL-niveau van HTEL nog onvoldoende hoog is en daardoor in de praktijk nog geen rol van betekenis speelt.

Europa geeft wereldwijd de toon aan in elektrolyse. Geen andere regio in de wereld biedt alle technologietypen en heeft een vergelijkbare “manufacturing depth” van systemen en componenten.

Alkaline technologie is de meest toegepaste en meest ontwikkelde en bedrijfszekere variant. Reeds in de jaren 60 van de vorige eeuw zijn atmosferische AEL-installaties tot ca. 155 MW gerealiseerd (Aswan, Egypte). De tijd tot een groot onderhoud ligt in de regel ruim boven de 50.000 uur. De chlooralkali-installaties van Nouryon in Delfzijl en Rotterdam berusten ook op dit principe. Bij de

chloorproductie ontstaat hierbij (drukloze) waterstof als restproduct. De waterelektrolyse AEL-systemen zijn veel kleiner dan de systemen in de chloorindustrie, welke natriumchloride opgelost in water splitsen. AEL-systemen worden ingezet in de metaalindustrie, glasindustrie of andere industriële toepassingen voor een stabiele continue vraag. Bijvoorbeeld in gevallen waar de aanlevering van waterstof en/of zuurstof met tubetrailers via de weg niet mogelijk is (ontoegankelijk, afgelegen, te ver weg bij een bron). Gebruik als conversiemiddel in een (duurzaam) energiesysteem is relatief nieuw. De AEL-systemen zijn daar in principe nooit voor ontworpen. Denk daarbij aan wisselend energieaanbod, snelle op-, en afschakeltijden, optimaal rendement.

In Nederland was bij de GVB in Amsterdam een (Hydrogenics) AEL-systeem binnen een Europees demonstratieproject ca. 10 jaar in dagelijks bedrijf voor de waterstofvoorziening van 3 brandstofcellen. Noorwegen en België kennen binnen Europa bekende voorbeelden van AEL-systeemleveranciers.

De focus op PEM is relatief recent en vooral ingegeven door de specifieke voordelen die aan deze technologie worden toegedicht in combinatie met de productie van (wisselend aanbod van) wind- en zonne-energie en de bijbehorende netbalancing. De voordelen zijn (vergelijk AEL):

1. Geen (corrosieve) vloeistof (AEL: kaliumhydroxide) – eenvoudiger Balance of Plant (BoP)
2. Snelle responstijd
3. Dynamische operatie (turn up/turn down)
4. Korte opstartfase (turn on/turn off)
5. Compacte en modulaire bouwwijze (met name van de stack)
6. Eenvoudiger realisatie druk elektrolyse
7. Hoge productzuiverheid
8. Hoge(re) efficiency bij grotere systemen
9. Minder en eenvoudiger onderhoud en daarbij minder/geen downtime

Daar staat tegenover dat de ontwikkeling van PEM-systemen beduidend jonger is en er o.a. nog belangrijke vragen zijn met betrekking tot de opschaling. De huidige kleinschalige AEL-systemen scoren (nog) beter op efficiency, kosten/kW. De verwachting is dat AEL door PEM-systemen voorbij zal worden gestreefd, maar veel hangt af van (katalysator)materiaalonderzoek en de ontwikkeling van stroomdichtheid en stackgrootte van drukelektrolyse.

De stack is de meest kostbare component van de PEM-systemen (ca. 50% van de investeringskosten). Er is wel enige overeenkomst met PEM-brandstofcellen, maar de productieketen (Figuur 23) voor PEM-elektrolyse is nog veel minder ver ontwikkeld dan die van PEM-brandstofcellen. Die laatste hebben erg geprofiteerd van de automotive toepassing.

De huidige PEM-systemen hebben een maximale stackgrootte van ca. 2 MW. De tot op heden grootste installatie (10 MW) wordt gerealiseerd in Keulen op een Shell-raffinaderij (RefHyne project), en is een samenschakeling van vijf 2-MW-stacks. In Nederland en in het buitenland onderzoekt men projecten van 20-500 MW op haalbaarheid (o.a. Gasunie/Nouryon, HbR). In Delfzijl wordt ten behoeve van de productie van synthetische kerosine een elektrolysefabriek van 60 MW onderzocht. Er wordt zelfs een conceptstudie gedaan naar 1 GW (onder leiding van ISPT). Dat laatste is een toekomstgerichte vraagstelling over hoe dergelijke fabrieken eruit zouden kunnen gaan zien en hoe deze integraal onderdeel zouden kunnen worden van een industrieel cluster (met gebruik van zuurstof, warmte).

Ontwikkelingsfocus voor industriële opschaling (deels in direct verband met elkaar en niet uitputtend):

1. Verhoging efficiency (nu ca. 78% higher heating value (HHV)).
2. Hogere stroomdichtheid (nu ca. 3 A/cm²)
3. Verbeteringen katalysatoren:
Reductie/vervanging edele metalen
4. Verbeteringen elektrolyt(samenstelling)
5. Verbeterde elektrodes en beter fundamenteel begrip elektrochemische elektrodemechanismen
6. Grotere stacks
7. Automatisering productie/assemblage
8. Reductie (productie)kosten (nu ca. 800 EUR/kW op MW-schaal)
9. Verhoging levensduur
10. Industriële balance of plant (gelijkrichting, waterbehandeling, koeling, gasconditionering, etc.)

Elektrolyzers kosten nu € 800 per kW (MW-schaal); bij een fors hogere productie zou die prijs in 2030 onder de € 500 per kW kunnen liggen, aldus onderzoek van Fraunhofer. In Hannover presenteerden Siemens, British Petroleum en ITM Power, samen met het Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband, een plan om in 2030 in Europa te komen tot installatie van elektrolyzers met een totaal elektrisch vermogen van 40 GW. Momenteel hebben de grootste projecten een capaciteit van 50 MW.²¹

onderscheid in AEL of PEM of groot/klein. Sommigen leveren zowel AEL als PEM of zijn ook met PEM gestart. De verschillen in systeemgrootte zijn deels groot. Thyssen Krupp en Asahi Kasei bouwen enkel zeer grote AEL-installaties, UTC enkel kleine specialistische on-board systemen (defensie en ruimtevaart).

Voorbeelden van leveranciers (alfabetisch):

• AREVA H2Gen	(FRA)
• Asahi Kasei	(JPN)
• BBC/DEMAG(ABB)	(CH)
• De Nora	(IND)
• General Electric	(USA)
• GES/Giner	(USA)
• H-TEC	(GER)
• Hydrogenics	(BEL/CND)
• IHT	(CH)
• ITM Power	(UK)
• Lurgi	(GER/FRA)
• McPhy	(FRA)
• NEL	(NOR)
• Norsk Hydro	(NOR)
• Parker	(USA)
• SAGIM	(FRA)
• Siemens	(GER)
• Sunfire	(GER)
• Teledyne	(USA)
• ThyssenKrupp	(GER)
• Treadwell	(USA)
• UTC	(USA)

Elektrolyse Balance of plant:

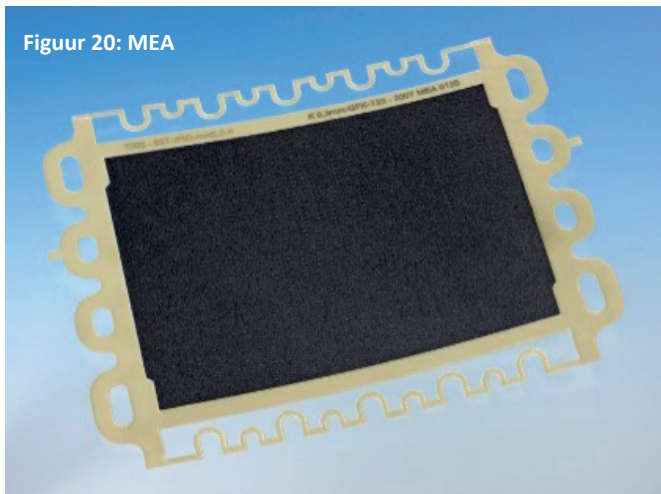
Een elektrolysesysteem bestaat uit subsystemen en vele componenten en onderdelen (zie Figuur 23). Het geheel, los van de stack, wordt balance of plant (BoP) genoemd.

zie figuur 23

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen het elektrische gedeelte en het gasgedeelte. Daar waar de twee mogelijk bij elkaar komen is zogenaamde ATEX-regelgeving van toepassing.

Heel veel losse onderdelen die worden gebruikt worden regionaal ingekocht bij bestaande industriële leveranciers voor kleppen, leidingwerk, elektronica, pompen, sensoren, etc. Omdat Nederland geen elektrolysefabrikanten heeft, zullen er weinig onderdelen voor deze (nu nog) kleinschalige toepassing worden geleverd, maar ook Nederlandse leveranciers van gasvoerende of elektronische (ATEX) componenten en onderdelen komen in aanmerking als leverancier voor deze toepassing.

Hier volgt een lijst van producenten van elektrolyzers, zonder



MEA – Membrane Electrode Assembly

Een kerncomponent van PEM is de MEA (Membrane Elektrode Assembly), zie Figuur 20. Het (hoogwaardig) aanbrengen en de effectiviteit van het edelmetaal op de MEA is van groot belang voor een zo efficiënt mogelijk elektrolyseproces. Hoogwaardige hecht/coatingtechnieken zouden hier wellicht tot verbeteringen kunnen leiden. Te denken valt aan: Physical vapor deposition (PVD), Chemical vapor deposition (CVD), Atomic Layer Deposition (ALD), of Electrochemical deposition (ECD) of andere technieken. Ook wordt onderzoek gedaan naar alternatieve katalysatormaterialen zoals Hafnium, en naar katalysatoren zonder edelmetaal. Dit heeft echter allemaal nog lage TRL-niveaus en valt verder buiten de scope van dit onderzoek.

De MEA wordt door elektrolysefabrikanten beschouwd als een van de belangrijkste componenten. Stacks worden vrijwel uitsluitend in eigen huis gefabriceerd. Een leverancier voor MEA's is bijvoorbeeld

het Duitse Fumatech. De vaste stof Elektrolyt, bij PEM vaak het materiaal PTFE, wordt bijvoorbeeld geleverd door het Amerikaanse DuPont.

zie figuur 20

MEA's zijn, zoals in onderstaande Figuur 21 en Figuur 22 te zien ook te vinden in brandstofcellen die vaak als omgekeerde elektrolyse worden bestempeld.

zie figuur 21

zie figuur 22

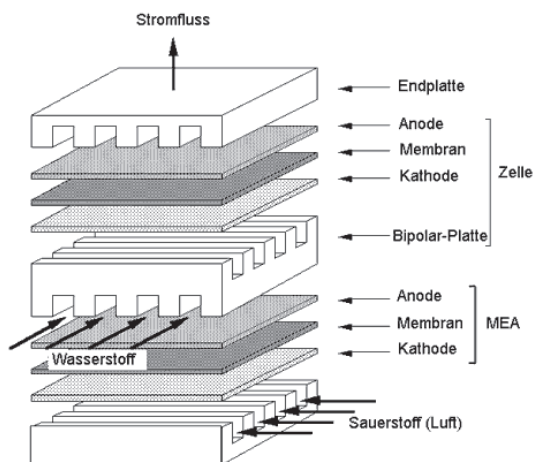
Waterbehandeling

Water elektrolyse werkt met gedeïoniseerd (gedemineraliseerd) water. De geleidbaarheid mag ca. 0.5-1.0 Micro Siemens per cm zijn). Voor het goed functioneren en een optimale levensduur is een goede en betrouwbare watervoorbehandeling van ingangs(leiding) water essentieel. Industrierwater is vaak aanwezig in de chemische clusters. Waterbedrijven leveren gedemineraliseerd water aan bedrijven voor chemische processen. Voor elektrolyse zal een nabehandeling (polishing) noodzakelijk zijn. Nederland kent partijen die erg goed zijn in waterbehandeling en de nodige systemen leveren voor laboratoria tot en met industriële toepassingen.

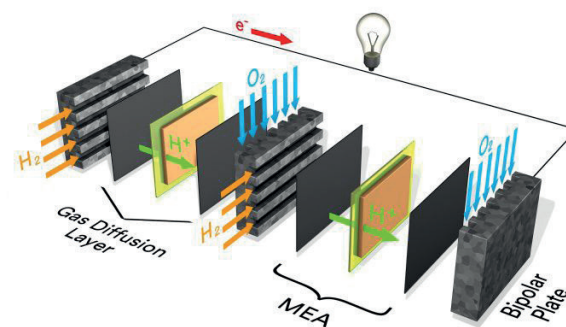
Gasconditionering

Het uitgaande (waterstof)gas moet worden geconditioneerd (gedroogd en ontdaan van restzuurstof op ppm-niveau). Ook Nederland kent partijen die goed zijn in gasconditionering en de nodige systemen leveren voor laboratoria tot en met industriële toepassingen.

Figuur 21: Opbouw Stack Brandstofcel / MEA (1)



Figuur 22: Opbouw Stack Brandstofcel / MEA (2)



Figuur 23: AEL Elektrolyse (Hydrogenics) Falkenhagen Germany



Koeling

Het elektrolysesysteem heeft een zekere mate van warmteafdracht naar de omgeving. Een rendement van elektrolyse houdt in dat er een gedeelte van de ingangsenergie in warmte wordt omgezet. Om het systeem op zijn optimale bedrijfstemperatuur te houden is een effectieve koeling nodig. Bij kleinschalige systemen tot 5 MW wordt vaak gebruik gemaakt van luchtkoelsystemen (zie Figuur 23, boven op installatie). Indien warmte zou worden uitgekoppeld voor een neventoepassing, hetgeen bij kleinschalige toepassingen veelal niet het geval is, dan zouden warmtewisselaars een rol kunnen gaan spelen. Bij grotere MW-installaties zal dat vrijwel zeker een onderwerp van aandacht worden, bijvoorbeeld voor een lokaal warmtenet. Dat zou de wens naar een een alsmaar hoger rendement wellicht iets doen afnemen.

zie figuur 23

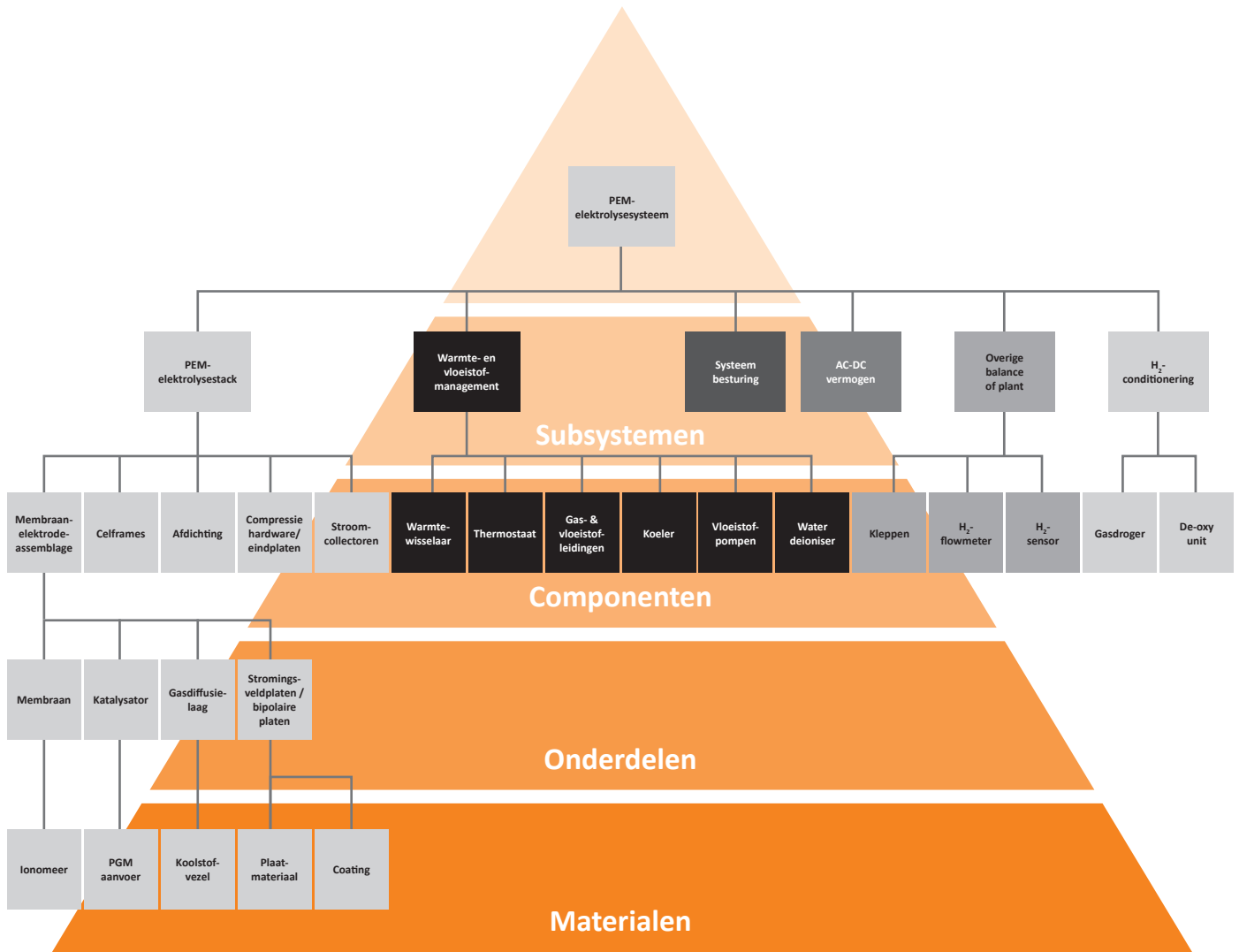
Het ontbreekt op dit ogenblik aan een volwaardige industrie die op grote schaal elektrolyzers kan produceren, inclusief verbeteren en goedkoper maken. Met de duurzame energietransitie zal dat ingrijpend veranderen, zo voorziet Thijs De Groot (Nouryon/TUE). Volgens De Groot biedt dit een unieke kans voor Nederland om een elektrolyse-industrie op te zetten. 'We hebben de expertise, en moeten die nu gericht gaan inzetten.' Daarbij gaat het om het verbeteren van bestaande elektrolysetechnieken, materiaalgebruik, bouw van de elektroden, geometrie van de cellen, enzovoorts.²²

Vermogenselektronica

De stroomaansluiting en gelijkrichting maken qua kosten en volume een groot deel uit van elektrolysesystemen. Aangezien vermogenselektronica niet specifiek is voor elektrolyse maar voorkomt in vele andere systemen in de werktuigbouw en machine/procesindustrie wordt dit hier verder buiten beschouwing gelaten.

zie figuur 24

Figuur 24: productieketen voor PEM-elektrolyser



Marktpartijen die PEM-elektrolysesystemen bouwen (OEM)

- Siemens is enige (internationale) partij met Nederlandse vestiging

Marktpartijen die kunnen bijdragen aan PEM-elektrolysesysteem: onderdelen elektrolyser

- BWT Nederland
- Hydron Energy
- HyGro
- IHI Hauzer Techno Coating
- Magneto Special Anodes

Marktpartijen die kunnen bijdragen aan PEM-elektrolysesysteem: waterbehandeling

- Nalco Nederland
- Pure Water Group

zie tabel 12

Tabel 12: SWOT-overzicht voor PEM-elektrolyse

Sterkten <ul style="list-style-type: none">• Positie en ervaring in verschillende toeleveringsketens als subsysteem en componentfabrikant• Kennis en ervaring gas- en procestechnologie• Gasassets en infrastructuur• Hightech materialen• Efficiëntie, productiviteit en toegevoegde waarde• Aanwezigheid pareltjes• NL bedrijven goed in internationaal zaken doen	Zwakten <ul style="list-style-type: none">• Geen NL OEM in waterstofketen• Beschikbaarheid personeel techniek en onderzoek• Onderzoek en ontwikkeling• Toegang tot schaarse en dure materialen• Stroom in Nederland relatief duur en gas relatief goedkoop, nog geen sterkte thuismarkt• Nederland is in het algemeen relatief sterk aanwezig in producten voor Europese eindmarkt. De meeste groei is te verwachten buiten Europa in gebieden met goedkope groene stroom.
Kansen <ul style="list-style-type: none">• Aanwezige OEM's in Europa, met sterke lokale sourcing• De kosten kunnen door industrialisatie omlaag worden gebracht• Enige overeenkomst met fuel cell stacks – common sourcing, kostendaling• Diverse componenten maken deel uit van meerdere toeleveringsketens (waterstof en niet-waterstof)• Potentiele markt vraag naar elektrolyzers in Nederland is significant vanwege aanlandpunten wind op zee in industriegebieden en Energie-eiland Doggersbank• Significante waterstofvraag in Nederland• Vraag ontstaat naar grote multi MW systemen. Huidige markt bestaat uit kleinschalige volledige geïntegreerde systemen (producten)• Vraag ontstaat wereldwijd, met name ook buiten Europa (goedkope groene stroom).	Bedreigingen <ul style="list-style-type: none">• Hernieuwbare schone waterstof krijgt mogelijk geen ondersteuning om het concurrerend te maken• Blauwe en grijze waterstof kunnen lagere kosten hebben• PEM-technologie wordt niet winning technologie (maar HTEL, alkalisch)• Edele metalen rem op opschaling door prijs/beschikbaarheid• Marktvraag valt tegen• Import van waterstof vervangt eigen productie• Industrialisatie kan plaatsvinden in de VS of Azië• OEM's kunnen hun eigen capaciteiten voor kritieke componenten bouwen

Figuur 25: HRCV-ketel Bekaert



5.2. Case 2: De (waterstof) CV-ketel

Met de CV-ketel wordt bedoeld de moderne Hoog Rendement (HR) Centrale Verwarming (CV)-combinatieketel (ook wel HR combiketel genoemd, zie Figuur 25). De CV-ketel wordt in “gasland” Nederland veelvuldig ingezet in woningen en gebouwen. Sinds de vondst van het Slochteren-aardgasveld in 1963 draaien verwarmingssystemen in Nederland bijna uitsluitend op aardgas en in een enkel geval op (ingevoerd) groengas. Er zijn in Nederland ruim 7,7 miljoen woningen. Ongeveer 90 procent daarvan is aangesloten op aardgas. Een huishouden in Nederland verbruikt gemiddeld 1.300 kubieke meter aardgas per jaar. Daarvan wordt gemiddeld 80 procent gebruikt voor verwarming van het huis²³.

zie figuur 25

De CV-ketel levert warm water voor het centrale verwarmingssysteem en warm tapwater. Daarom wordt hij ook wel combiketel genoemd. Vroeger werden er voor warm tapwater geisers ingezet. Losse geisers voor warmwater zijn sinds jaren sterk in aantal afgenomen en inmiddels nagenoeg verwaarloosbaar als warmtapwatervoorziening.

Van de woningen die worden verwarmd middels gasgestookte CV-toestellen is in ca. 75% van de gevallen een hoog rendement (HR) CV-ketel toegepast. Dat aantal stijgt relatief ten opzichte van oude open verbrandingssystemen. HR-toestellen worden al sinds de jaren '90 op grote schaal toegepast. Echter pas in september 2015 zijn open toestellen middels de ERP-richtlijn uitgebannen. Door de levensduur van 10-15 jaar duurt het even voordat de totale populatie is vernieuwd, met name bij huurwoningen. Wanneer wordt gesproken over CV-ketels, kunnen we inmiddels spreken van uitsluitend gesloten HR CV-(combi)systemen.

CV-systemen zijn in de afgelopen 25 jaar ver ontwikkeld en ruim beschikbaar. Het installeren en onderhouden van een CV-ketel is relatief eenvoudig. Onderhoud door een gecertificeerd installatiebureau wordt sterk aanbevolen (in verband met veiligheid en correcte rookgassenstelling en afvoer), maar is in Nederland pas vanaf juli 2021 verplicht. De aanschafkosten blijven voor een gemiddeld huishouden in de meeste gevallen beperkt tot ca. € 1.500,- á €2.000,-. Dat is zeker in vergelijking met andere warmteoplossingen relatief laag. CV-systemen kunnen flexibel reageren op warmtevraag en kunnen daardoor ook goed dienst doen in combinatie met lokale duurzame elektriciteitsopwekking (zonnepanelen) en gebruik. In deze “hybride” vorm is een HR CV-ketel prima in staat piekvraag af te dekken, bijvoorbeeld in koude periodes én bij uitstek voor het bereiden van warm tapwater. Door de vanuit de bouwregelgeving verplichte temperatuur van 55°C aan het tappunt zijn HR CV-ketels beter geschikt voor wat betreft energieprestatie en comfort dan andere oplossingen. Nederlanders douchen vaker en langer, met meer water²⁴. Wandgemonteerde systemen kunnen tot 100kW vermogen leveren²⁵.

Markt voor CV-ketels in Nederland:

De verkoop van CV-ketels daalde in 2016 licht met 1 procent, maar steeg in 2017 weer met 3 procent en daarna in 2018 weer met 1%. De verwachting voor 2019 is een stijging van 3% t.o.v. 2018. In 2017 zijn 425.000 CV-ketels verkocht tegen bijna 85.000 warmtepompen en bijna 14.000 pelletkachels²³.

Relevantie CV-ketels in Nederland:

Nieuwe woningen in nieuwe wijken kunnen vaak zodanig (energiezuinig) worden ontworpen dat een all-electric oplossing met (een relatief lichte) warmtepomp en vloerverwarming een reële optie is. Een warmtepomp kan door de combinatie met een HR CV-ketel efficiënter de aanvullende benodigde warmte die gevraagd wordt bij extreem lage temperaturen en bij bereiding van warm tapwater leveren (de hybride ketel of hybride warmtepomp).

Wanneer 300.000 van de 375.000 CV-ketels die jaarlijks worden vervangen per 2021 voor hybride systemen zouden worden ingeruild, scheelt dat tot en met 2030 jaarlijks ca. 4,1 Mton CO₂ uitstoot en ca. 273 miljoen kubieke meter gas. Totaal dus zo'n 24 miljard kubieke meter gas en 37 megaton aan CO₂-uitstoot. Dat is bijna de 41 megaton die de gebouwde omgeving in die periode moet besparen om de klimaatdoelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs te halen²⁶.

Daar waar geothermie of warmtebronnen kostenefficiënt kunnen worden ontsloten voor lokale warmtenetten is dat ook toepasbaar in sommige wijken. Dat kan lokaal een alternatief bieden voor CV-ketels.

In de verduurzaming van de woningvoorraad zal er in veel gevallen om financiële redenen (investering in woning, investering in andere verwarmingsinstallatie) toch met HR CV-ketels worden gewerkt. Die kunnen dan met waterstof of groengas worden gestookt. Dat geldt bijvoorbeeld voor de oude binnensteden, verder afgelegen woningen en boerderijen, jaren dertig woningen, kleine bestaande woningen; woningen, gebouwen of wijken die niet kostenefficiënt op een andere manier te verduurzamen zijn.

Opbouw CV-(combi)ketel:

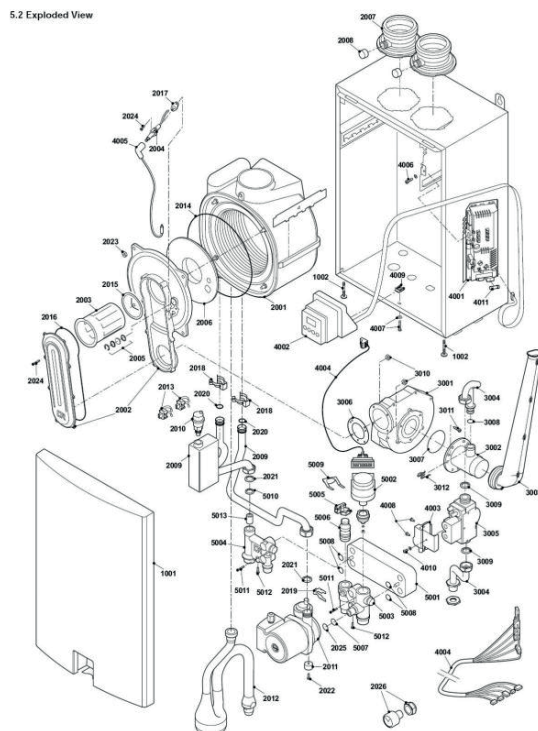
Een CV-ketel bestaat uit een heel aantal grote en kleinere onderdelen (zie Figuur 26). De belangrijkste onderdelen worden in het volgende beschreven.

zie figuur 26

Gasbrander: De brander zorgt voor de warmteopbrengst van de CV-ketel en wordt vervaardigd van keramiek of van rvs.

Warmtewisselaar: De hitte die de brander opwekt, wordt doorgegeven aan een warmtewisselaar. Zonder deze warmtewisselaar zou een CV-ketel niet kunnen werken. Een warmtewisselaar is een serie leidingen waar water doorheen gepompt wordt. De wisselaar zorgt er uiteindelijk voor dat de warmte wordt geleid naar het water in de leidingen.

Figuur 26: Exploded view CV-ketel



Aansluiting waterleiding: Een CV-ketel heeft een aansluiting voor de waterleiding, zodat water kan worden bijgevuld indien de waterdruk te laag is en om bij installatie van de ketel water in de leidingen te brengen.

Thermostaat: Het bedienen van de CV-ketel kan vanaf een thermostaat. Er zijn veel soorten thermostaten. Met een basis thermostaat is het uitsluitend mogelijk de temperatuur in te stellen. Er zijn ook programmeerbare en slimme thermostaten. Slimme thermostaten zijn zelflerend en ontworpen om CV-toestellen zo energiezuinig mogelijk te laten functioneren.

Fabrikanten van CV-ketels:

Alle in Nederland actieve ketelfabrikanten hebben zich sinds 1971 verenigd in VFK (Vereniging van Nederlandse Fabrieken van Ketels voor Centrale Verwarming), een samenwerkingsverband dat actief is op vele terreinen. Dankzij deze samenwerking is Nederland in Europa koploper op het gebied van energiezuinige CV-techniek. Recentelijk zijn de Nederlandse verwarmingsfabrikanten verenigd in de Nederlandse Verwarmingsindustrie. De Nederlandse Verwarmingsindustrie verenigt fabrikanten op het gebied van warmte-opwekking, warmtedistributie, regelapparatuur en rookgasafvoersystemen. De Nederlandse Verwarmingsindustrie streeft ernaar om deze koppositie te behouden door het optimaal combineren van gastoestellen en duurzame technieken. De Nederlandse Verwarmingsindustrie is lid van EHI (Association of the European Heating Industry).

Marktpartijen CV-ketels en warmtesystemen (alfabetisch):

- Alke
- ATAG Verwarming
- AWB
- BDR Thermea groep
- Bosch Nefit
- Brink Climate Systems
- Buderus Thermotechniek
- Elco Rendamax
- Ferroli Nederland
- Intergas Verwarming
- Itho Daalderop
- Jenbacher (GE Power)
- Mark
- Nortek
- Schwank
- Tieluk
- Vaillant Groep Nederland
- Viessmann Nederland
- Winterwarm

Markt CV-ketels:

De 6 grootste huidige afzetmarkten voor CV-ketels in aantallen geleverd zijn²⁷:

1. UK	1.675.300
2. Italië	725.000
3. Frankrijk	517.700
4. Duitsland	492.500
5. Nederland	428.200
6. Spanje	318.200

CV-ketels hebben een stabiele (aard)gasvoorziening nodig. Die is niet in heel Europa even fijnmazig als in Nederland en al helemaal niet in de rest van de wereld. De energietransitie heeft een diversifiëring van warmtesystemen tot gevolg, die in principe ten koste gaat van (fossiel) gasgestookte CV-ketels. Meer aandacht voor isolatie zal het specifiek verbruik van huishoudens naar beneden brengen. Systemen zoals warmtepompen en warmtenetten doen steeds meer hun intrede. De lage aanschaf- en onderhoudskosten van een CV-ketel systeem zullen in de markt echter voor vraag blijven zorgen, zo is de verwachting. Mits er duurzaam gas (groengas/waterstof) door de leidingen naar de huizen en gebouwen wordt gebracht. De CV-ketel als hybride met een warmtepomp, is een sterke oplossing voor de toekomst waarbij de combinatie met groengas of waterstof een eindoplossing is met een CO₂-uitstoot van nul. Een scenario voor de toekomst zou ook kunnen zijn dat door een breder regionaal aanbod van waterstofgas dan nu voor aardgas, er over de wereld juist meer plekken zullen zijn waar CV-ketels kunnen worden afgezet. Uiteraard vooral in zones met een gematigd of koud klimaat. Waterstof wordt geproduceerd en is niet in die mate locatie gebonden zoals aardgas. Dat vergt echter nader onderzoek.

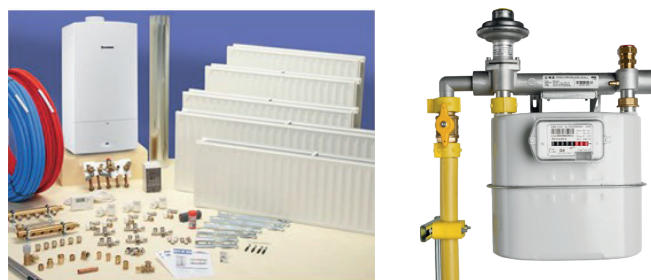
Componenten verwarmingssysteem:

De CV-ketel is het hart, maar het centrale verwarmingssysteem voor huizen en gebouwen bestaat uit vele onderdelen (zie Figuur 27): de gasmeter in de meterkast, de thermostaat, de CV-ketel, het leidingensysteem, expansievat en natuurlijk de radiatoren. De niet-gasvoerende componenten in huis zullen bij gebruik van waterstof allemaal gelijk blijven. Er bestaat een grote toeleverketen voor deze componenten waarvan veel ook vrij verkrijgbaar is in de consumentenmarkt. De vele aanbieders (zie figuur 28 voor een selectie) bieden hun producten aan via installatiebedrijven, gespecialiseerde ketens, maar ook in bouwmarkten en on-line shops.

zie figuur 27

zie figuur 28

Figuur 27: Componenten verwarmingssysteem met gasmeter (balgtype)



In figuur 29 zijn de componenten te zien die onderdeel uitmaken van een waterstofketel en het verwarmingssysteem. Opvallend is dat de componenten grotendeels gelijk blijven, maar in aangepaste vorm deel uit zullen maken van eenzelfde systeemopbouw. In groen zijn de verbrandingssysteem onderdelen gemarkeerd die voor waterstof zullen zijn aangepast. Aan de rechterkant van de figuur zijn de gasvoerende onderdelen die aangepast zijn op waterstof paars gemarkeerd.

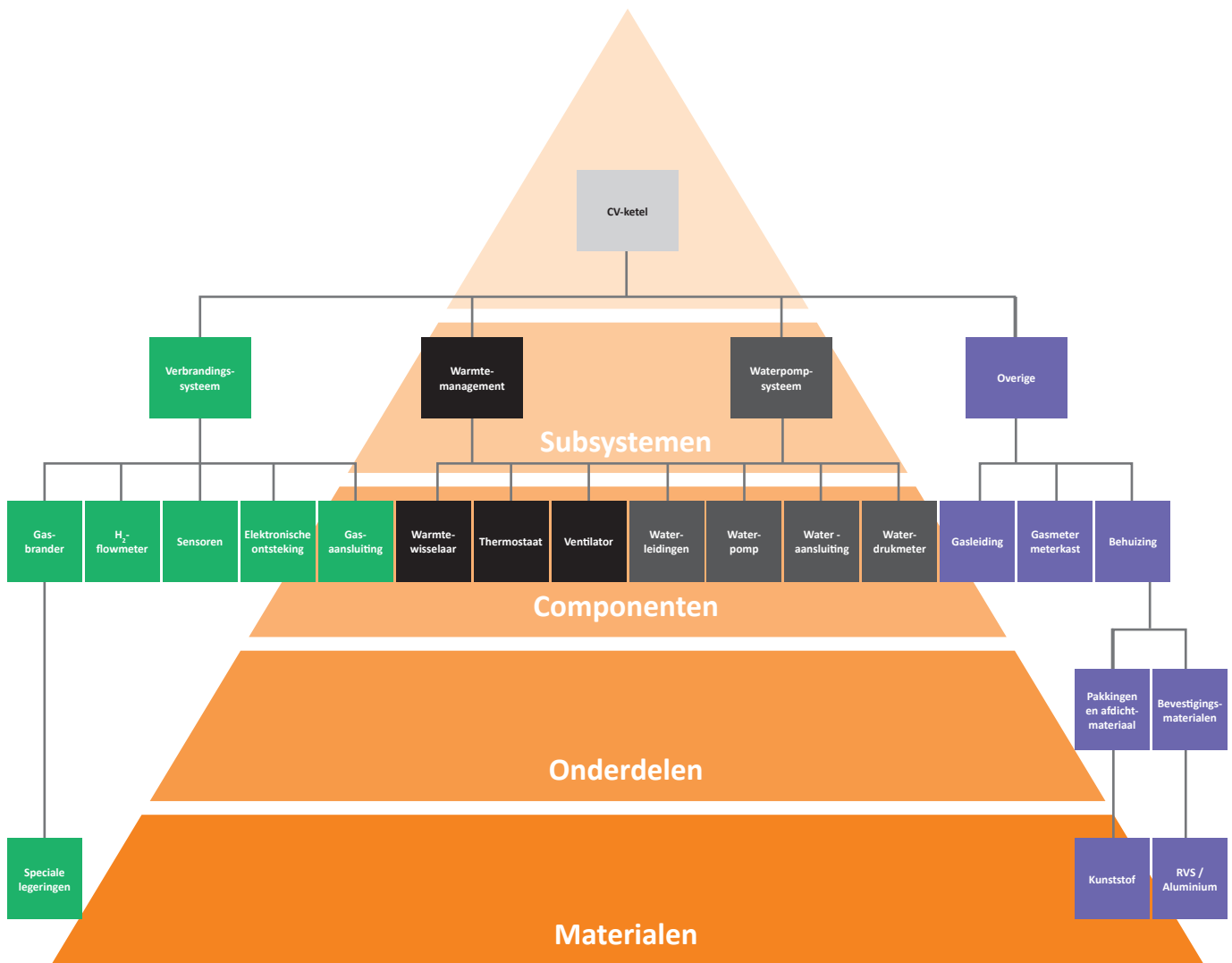
zie figuur 29

Figuur 28: Leveranciers van verwarmingssystemcomponenten

Marktpartijen Componenten CV-Systeem (Alfabetische selectie)

• Anjo	• CVtotaal	• Flamco	• Nest	• Vaillant
• Atag	• Daikin	• Flex	• Plugwise	• Vasco
• Bentone	• Danfoss	• Honeywell	• Qupit	• VSH
• Bonfix	• Duco	• Intergas	• Remeha	• Watts
• Burgerhout	• Dungs	• Inventum	• Siemens	• Wavin
• Centrotherm	• Elbes	• Itho Daalderop	• Spirotech	
• Comfort line	• Elterm	• Itron	• Ubbink	
• Comfortlux	• Ferroli	• Nefit	• Uponor	

Figuur 29: productieketen voor CV-ketel



Figuur 30: Waterstofketel van Remeha (BDR Thermea)²⁸



Ketelcomponenten voor waterstofketel:

Uit het voorgaande blijkt dat de HR CV-(combi)ketel in de basis gelijk blijft qua opbouw bij gebruik van waterstof in plaats van aardgas. Alle (niet-gasvoerende) randapparatuur (radiatoren, expansievat etc.) blijven sowieso gelijk. Op onderdelen is de ketel verschillend van een aardgasvariant. Daar wordt in het volgende nader op ingegaan. BDR Thermea Groep stelde onder grote belangstelling een prototype van een waterstof CV-ketel voor op de Bouwbeurs in Utrecht feb 2019.

zie figuur 30

zie figuur 31

“In principe is het gewoon een HR-ketel”, zo legt Marco Bijkerk uit, manager innovatietechnologie bij Remeha: “Behalve dat we alle componenten die normaal met aardgas in aanraking komen, hebben vervangen door speciaal voor waterstof ontworpen componenten. Het gaat dan onder meer om de gasklep, de ventilator en de brander. Deze hebben we opnieuw moeten ontwikkelen. De rest van de hr-ketel blijft helemaal hetzelfde.”²⁹

Brander voor waterstof:

Door de eigenschappen van waterstof heeft een waterstof CV-ketel een speciale brander nodig.

Bekaert heeft een ketel ontworpen speciaal voor dit [Hoogeveen] project, vertelt Joan Teerling, manager Research & Innovation bij Bekaert. “Wij ontwikkelen normaal gesproken het technisch hart van een CV-ketel voor onze klanten, de zogeheten heat cell. Een belangrijk onderdeel hiervan is de brander. Hier ligt onze expertise. Ongeveer de helft van de branders wereldwijd komt van ons. En dat is een van de belangrijkste onderdelen in de ketel als je van aardgas over wilt gaan naar waterstof. Het is bovendien het meest ingewikkelde onderdeel dat aangepast moet worden. De andere zaken zijn minder ingewikkeld.”²⁹

Vlamdetectie voor waterstof:

De modernste (aardgas)ketels maken gebruik van een Lambda-regeling en vlamdetectie op basis van het ionisatiesignaal van de vlambevakingselektrode. De vlamdetectie werkt niet meer, omdat er in geval van waterstof geen koolwaterstoffen zoals methaan verbrand worden. Bovendien is het aannemelijk, dat door de hogere vlamtemperatuur zonder aanpassingen een aanzienlijk hogere concentratie van NO_x zal ontstaan.

Waarom CV-ketels op waterstof:

CV-ketels op waterstof kunnen gebruik maken van dezelfde infrastructuur als die op aardgas. De kosten van een CV-ketel zijn relatief laag en de systemen zijn zeer effectief en efficiënt. Wanneer een oud huis geschikt moet worden gemaakt voor een all-electric oplossing gaat dit in huis vrijwel altijd gepaard met ingrijpende en kostbare aanpassingen. Bij een overstap naar waterstof/groengas blijven de technisch noodzakelijke aanpassingen in huis beperkt.

Manager Innovative Technologies Marco Bijkerk Remeha: “Want we hebben alle opties nodig, ook de warmtepompen. Die kunnen prima functioneren in nieuwbouwhuizen. Maar voor oudere woningen kan de waterstofketel een prima oplossing zijn.” Er leiden meer wegen naar duurzaamheid, is het motto bij Remeha. “We willen graag laten zien welke mogelijkheden allemaal bestaan.”³⁰

zie figuur 31

Figuur 31: HR-CV Ketels op waterstof, Rozenburg



Een eerste proef op grote schaal wordt op dit moment uitgevoerd. In de Rotterdamse deelgemeente Rozenburg werken Remeha, Bekaert en Gasterra vanaf juni 2019 samen met onder andere netbeheerder Stedin, gemeente Rotterdam en woningstichting Ressorst Wonen aan een proef in een bewoond appartementencomplex, met ketels op waterstof. De proef is een primeur, want nog nooit eerder zijn huizen verwarmd met hoogrendementsketels op waterstof.

Wat kost een waterstof ketel:

De fabrikanten hebben bij de presentatie van hun prototypes (figuur 30, 31) nog geen prijzen bekend gemaakt van hun waterstof CV-ketels. Een waterstof CV-ketel bevat echter nagenoeg geen extra dure onderdelen ten opzichte van een aardgas CV-ketel. Het kan zijn dat de aanpassingen aan brander, ventilatie, gasklep en vlamdetectie tot een lichte kostenverhoging leiden. De verwachting is echter dat de ketels niet significant van prijs zullen verschillen ten opzichte van huidige moderne systemen van dezelfde leveranciers.

Rendo Directeur Eddy Veenstra stelt in Dagblad van het Noorden dat de overgang naar duurzame gassen, waaronder waterstofgas, voor het werkgebied van Rendo in Overijssel en Drenthe, de voordeligste en meest efficiënte manier is voor de energietransitie. Voor wat betreft de factor kosten staat Benno Schepers, senior adviseur bij onderzoeksbureau CE Delft aan zijn zijde: "Als we naar de toekomst kijken, is het toch het goedkoopst om met een CV-ketel te blijven verwarmen."

Productie van CV-ketels:

CV-ketels voor de Nederlandse markt worden voor een belangrijk gedeelte in Nederland geproduceerd. Remeha produceert in Apeldoorn ca. 200.000 CV-ketels per jaar. Intergas en Bosch-Nefit halen vergelijkbare productievolumes.

Materiaalgebruik:

In de CV-ketel wordt weinig tot geen gebruik gemaakt van hightech materialen. De levensduur van een ketel ligt op ca. 10-15 jaar. De (goede) bouwkwaliteit is van belang. Het systeem moet bijvoorbeeld voldoende afdichten voor gas, rookgas en een onderdruk in de behuizing hebben. Fabricage in lagelonenlanden zou zich volgens branche-experts onvoldoende lonen i.v.m. relatief lage productieaantallen, vereiste bouwkwaliteit en (hoge) transportkosten per (volumineus) systeem.

Leverancierslocatie:

De leveranciers van onderdelen voor CV-ketels zijn voor een belangrijk gedeelte gevestigd in Nederland.

Installateurs:

Nederland telt ca. 30.000 CV-installateurs. Deze zijn gespecialiseerd in warmtetechniek.

Marktpartijen onderdelen en diensten lagetemperatuurwarmte (branders, warmtewisselaars en detectieapparatuur) actief met waterstof:

- Bekaert Combustion Technology
- BOSAL Warmtewisselaars
- Hatech
- Inven
- Leak Control Benelux

zie tabel 13

Tabel 13: SWOT-overzicht voor CV-ketels

<p>Sterkten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gasinfrastructuur vraagt nauwelijks aanpassing • Gasinfrastructuur voor groot deel landelijk dekkend • Nederland toonaangevend in CV-ketel markt • In andere EU landen gaat in eerste instantie de vraag naar aardgasketels enorm toenemen, oorzaak is beperkte gasinfrastructuur in ons omringende landen • CV-ketel technische aanpassingen aardgas naar waterstof beperkt • Hightech materialen, ervaring met composietmaterialen en verbrandingstechnieken voor benodigde aanpassing ketel • Efficiëntie, productiviteit en toegevoegde waarde • Aanwezigheid pareltjes • Eigen CV-productie in NL • Toeleverindustrie in NL • Sterke installatiebranche met goede reputatie • Consument is gewend op gas te verwarmen Field labs in ontwikkeling (Green Village Delft, Rozenburg, Hoogeveen, Stad aan 't Haringvliet, Nieuw Borgen) • KIWA in eigen land • Betrokkenheid NL in EU normeringswerk 	<p>Zwakten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beperkt aantal NL OEM's in waterstofketen • Gasmeters moeten worden aangepast
<p>Kansen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Groot Nederlands potentieel vanwege gashistorie • Nu Europese markt, met potentiële groei door decentrale H₂-opwekking, mogelijk wereldmarkt • Voor deel woningvoorraad is duurzaam gas meest voor de hand liggende oplossing (binnensteden, monumenten, oudere bouw, landelijk gebied/verspreide ligging) • Voordelen ook bij toepassing blauwe waterstof of import waterstof • Hybride oplossing biedt voordeel voor onbalans elektriciteit • Hybride oplossing lijkt in veel gevallen meest kostenefficiënt • Waterstof ready ketel maakt soepele transitie mogelijk • Bij waterstof/aardgasmengsels blijft CV-techniek toepasbaar • Export van onderdelen (brander, sensor) • UK zeer actief met ketels op waterstof • Behoud werkgelegenheid 5.000 arbeidsplaatsen 	<p>Bedreigingen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wetgeving en gebrek normering hindert toepassing 100% H₂ • Uitrol vraagt landelijke coördinatie waterstofinfrastructuur en aanbod (kip-ei) • Marktvraag valt nog tegen • Opruimen bestaande gasinfra door “van gas af” • Publieke perceptie van de CV-ketel door “van gas af” • Regionale energiestrategieën hinderen uitrol van oplossingen die landelijk netwerk vragen • Deel CV-ketel OEM's buitenlands. Productie kan buiten Nederland neerslaan • Weinig potentieel voor export CV-ketel op 100% H₂

5.3. Case 3: Hogedruktank

Waterstofopslag kan in verschillende vormen (zie ook Figuur 32): Fysisch in de aggregatietoestanden: Vloeistof, gasvormig, of een tussenvorm: cryo-compressed. In een heel enkel geval (ruimtevaart) in vaste vorm, het zogenaamde slush hydrogen (niet afgebeeld). Het kan ook chemisch gebaseerd: (metaal)hydrides, liquid organic (LOHC), complexe hydrides, chemische hydrides (bijvoorbeeld NaBH_4), of in koolstof nanodeeltjes.

zie figuur 32

Gasvormige opslag is de meest eenvoudige en gangbare vorm van waterstofopslag. Benodigd zijn drukverhogingsapparatuur (compressor) en een opslagtank. Opslag van gecompriëerde waterstof is op zichzelf een zeer volwassen technologie. De industriële gassector werkt al meer dan 100 jaar met deze techniek. Waterstof wordt gevuld in metalen gascilinders (veelal staal) los, of samengesteld als pakket verpakt naar afnemers gebracht. Dit zijn transportable gashouders voor stationaire toepassingen. Voorbeelden zijn relatief talrijk: van las- en snijdtoepassingen in de metaalindustrie, tot bijvoorbeeld opstellingen bij laboratoria en kennisinstellingen.

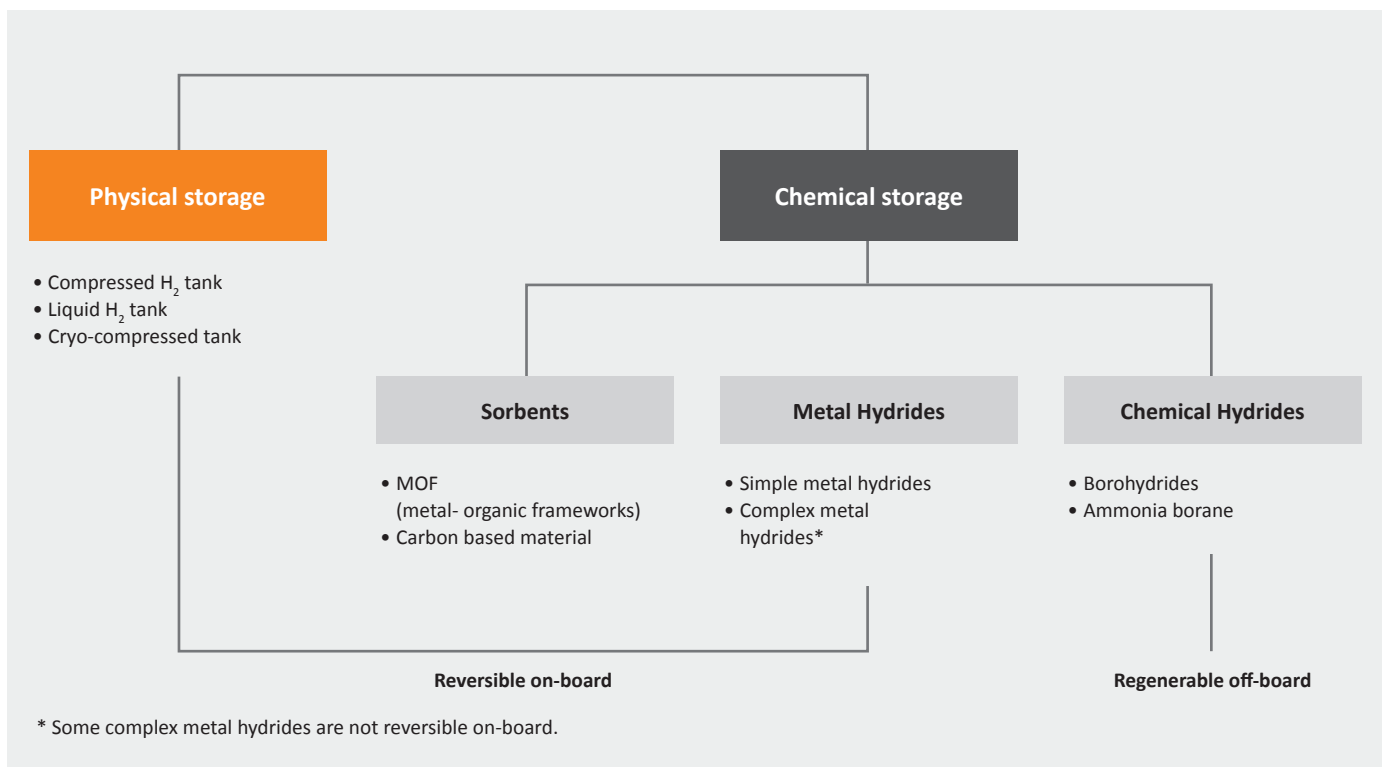
Opslagtanks zijn er in vele maten, van kleine 500-milliliter-cilinders tot grote opslagtanks van tienduizenden liters watervolume en ook verschillende materialen en opbouwwijzen.

zie figuur 33

Figuur 33: Verschillende toepassingen en afmetingen van hogedruktanks voor waterstof



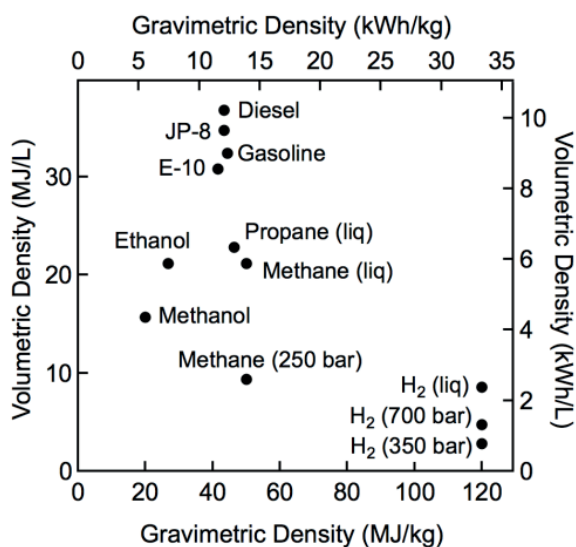
Figuur 32: Verschillende vormen van waterstofopslag, overgenomen uit International Journal of Hydrogen Energy³¹



Waterstof heeft een hoge gravimetrische energiedichtheid (per kilogram), maar een geringe volumetrische energiedichtheid (per liter) ca. 1/3 van aardgas. Daarom wordt waterstof gecompriemd tot hoge drukken om toch voldoende opslagcapaciteit te verkrijgen. Voor mobiele toepassingen is de gravimetrische dichtheid zeer bepalend. In Figuur 34 zijn dichtheden van brandstoffen met elkaar vergeleken.

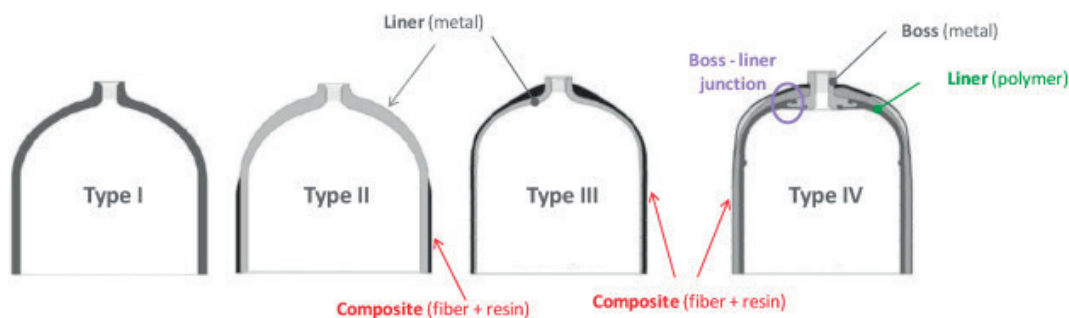
zie figuur 34

Figuur 34: Gravimetrische en volumetrische dichtheid van waterstof i.r.t. andere brandstoffen



Een hogere druk in de tank betekent meer opslag, maar ook meer compressiearbeid. Praktisch gezien zijn de investeringskosten, het gewicht en de benodigde compressiearbeid keuzecriteria bij het vinden van de juiste tank voor een bepaalde toepassing. Ook de toepassing en benodigde aantallen spelen mee in de overwegingen. Een brandstoftank voor een elektrische drone heeft andere ontwerpisen, dan een stationaire buffertank bij een multi-MW elektrolysefabriek.

Figuur 35: Cilindertypen



Gebruik van waterstof als energiedrager of als brandstof voor mobiele toepassingen (waterstofvoertuigen) stelde nieuwe eisen aan de gasopslag, vergelijkbaar met de techniek voor CNG (gecompriemd aardgas). Voertuigen hebben een beperkte ruimte, het systeemgewicht moet zo laag mogelijk zijn, de kosten moeten passen bij het product, geschikt voor massafabricage, hoge eisen aan (crash, brand)veiligheid, etc.

Voor hogedruktanks bestaat een internationale norm: ISO 19884.

Vooruitgang in moderne composietmaterialen biedt steeds nieuwe mogelijkheden voor lichtere tanks bij tegelijkertijd hoge mogelijke drukken (figuur 35).

De eerste waterstoftanks voor mobiele toepassingen werden niet zelden geleverd door bedrijven die tot dan toe enkel (composiet) CNG-tanks maakten. Hier ging het voor drukken tot 350 bar vaak om een metalen binnentank met een koolstofvezel mantel. Hogere drukken leiden tot hoge wandsterkte en zware systemen. De verdere ontwikkeling en serieproductie van waterstoftoepassingen en de hoge druk van 350 of 700 bar vragen naar steeds hoogwaardiger en tegelijkertijd goedkopere oplossingen. Composietmaterialen worden in de industriële gassensector nog niet veel gebruikt. Dat heeft met beschikbaarheid en kosten van grotere tanks te maken, maar ook met gebrek aan ervaring met de materialen en levensduurverwachtingen bij professioneel en intensief gebruik.

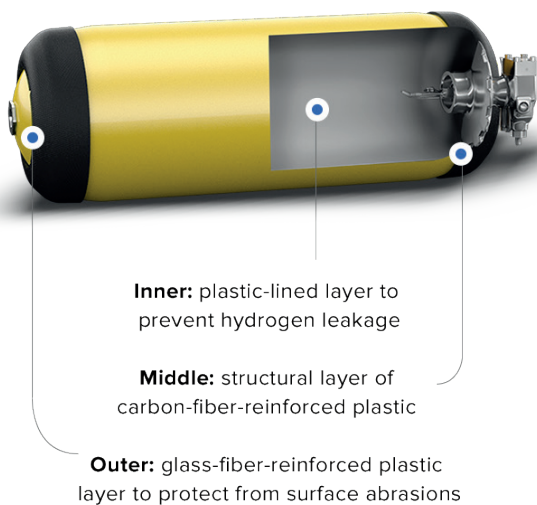
Bij tanks wordt er onderscheid gemaakt naar types:

- Type 1: Volledig metaal
- Type 2: Metalen tank met vezelversterking om de mantel
- Type 3: Composiet tank met metalen dunne binnentank/liner
- Type 4: Vol-composiet tank

zie figuur 35

zie figuur 36

Figuur 36: Opbouw 700 bar brandstoftank, Type 4 (Toyota)



De waterstof voor brandstofcelvoertuigen zoals de Toyota Mirai en Hyundai Nexo wordt opgeslagen onder hoge druk van maximaal 700 bar in twee of drie tanks. Deze tanks zijn inmiddels Type 4 tanks (Figuur 35, Figuur 37 en Figuur 39). De inhoud per systeem is ca. 5-6 kg waterstof. De buitenschaal is gebaseerd op een koolstofvezelconstructie. Boven deze schaal bevindt zich bij de Toyota tanks nog een laag glasvezelversterkte kunststof (GRP). Deze buitenschaal heeft nog een tweede functie: als het voertuig betrokken is bij een ongeval, is eventuele schade duidelijk zichtbaar aan deze buitenlaag. De GRP-beschermkap draagt niet bij aan de structurele sterkte van de tanks, maar laat beschadigingen makkelijker zien. De tanks zijn intern bekleed met kunststof om af te dichten tegen de waterstof. De tanks zijn (afhankelijk van het gebruikte materiaal) ontworpen om bestand te zijn tegen een druk van maximaal 225 procent van de werkdruk (Global Technical Regulation GTR).

zie figuren 36, 38, 40

Stationaire tanks voor opslag van waterstof als industrieel gas, of bijvoorbeeld als gasopslag bij een tankstation zijn tot op heden vrijwel uitsluitend volledig in staal uitgevoerd (zie Figuur 37). Gewicht speelt hier geen rol van betekenis, de oplages zijn klein. De tanks worden per stuk in opdracht gebouwd.

zie figuur 37

Figuur 37: Waterstoftankstation Stuttgart Airport



Figuur 38: Waterstofbrandstoftanks Hyundai Nexo en Toyota Mirai

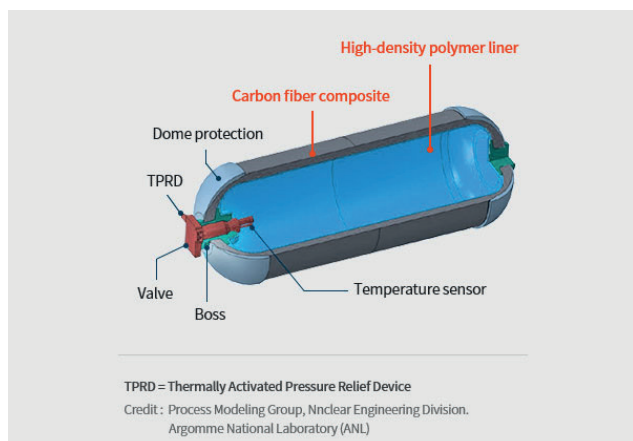


Hyundai Nexo Tanks,
Fabrikant: Iljin (Z-Korea)

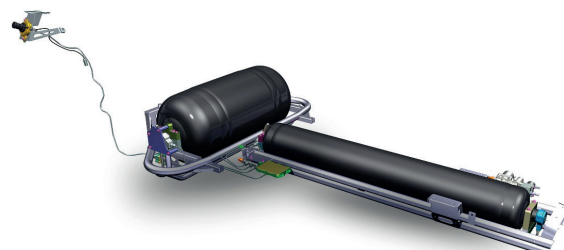


Toyota Mirai Tanks,
Fabrikant: Toyota

Figuur 39: Hogedrukbrandstoftank (automotive)



Figuur 40: Hogedrukbrandstoftanksysteem automotive met vulaansluiting



Naast de geringe dichtheid spelen verschillende eigenschappen van waterstof een rol bij hogedrukopslag:

- Brandbaar gas vraagt om ATEX-apparatuur en maatregelen. Soms uitzonderingen, bijvoorbeeld bij voertuigen.
- Stationaire tanks en verplaatsbare gashouders hebben speciale waterstof / brandbaar gasaansluitingen die door de industriële-gassensector zijn gedefinieerd. Deze kunnen per regio in de wereld verschillen.
- De geringe energiedichtheid per volume vraagt om hoge compressiedrukken en met enige regelmaat (ca. elke 500 km) opnieuw vullen van een (voertuig)tank. De levensduur/aantal drukwisselingen is momenteel beperkt tot ca. 5.000 keer vullen (leveranciersafhankelijk).
- Deels sterke opwarming bij vullen van hogedruktanks (700 bar), vraagt om hittebestendige harsen (resins) in geval van composieten.
- Kleine moleculen zorgen voor permeatie (ontsnappen) door open materiaalstructuren. Dit vraagt om oppervlakteafdichting (liners/coatings/...)
- De geringe ontstekingsenergie van waterstof vraagt om goede aarding van opslagtanks. Bliksem en elektrostatische lading moeten veilig kunnen worden afgevoerd (preventieve maatregel enkel voor uitstromend gas).

- Bij mobiele toepassingen verdienen leidingwerk, koppelingen en ventielssystemen bijzondere aandacht qua afdichting op lange termijn door gebruik van een voertuig. Dit vraagt om geïntegreerde ventielblokken, soms in tank gemonteerd.
- Kleurloze en geurloze waterstof vraagt om veilige afblaas en eventueel sensoren in de toepassing.

Hogedruktanks van vezelversterkte composietmaterialen (bijvoorbeeld carbonvezel), zijn van nature niet “dicht” genoeg voor waterstof. Waterstof zou zonder maatregelen (op molecuulniveau) door de vezels heen dringen. Met aanvullende maatregelen zorgen de fabrikanten ervoor, dat tanks van composietmateriaal toch dicht zijn. Dat gebeurt nu vaak met een dunne metalen laag, speciale coatings of kunststof liners aan de binnenkant van de tankwand. Er zijn maximaal toelaatbare waarden (normen) voor permeatie: EC79, EC 406:2010.

Armaturen:

Een hogedruktank is enkel het omhulsel, maar is pas bruikbaar in combinatie met een aantal essentiële onderdelen: Hogedruktanks zijn altijd voorzien van afsluiters (Figuur 38 voorzien van afsluiters, Figuur 40, Figuur 41), vulaansluitingen, veiligheidskleppen/afblaasventielen en soms smeltzekeringen, of (druk/temperatuur) opnemers direct aan de tank of in de tank. Deze voorzieningen maken het mogelijk de tank te vullen of te legen en in noodsituaties (bijvoorbeeld brand) waterstof af te kunnen blazen via de veiligheidsvoorziening.

zie figuur 39, 40, 41, 42

Figuur 41: Waterstofkleppen, GSR Duitsland



Kleppen en sturelementen zijn kostbaar en industriële componenten voldoen vaak niet aan de eisen voor mobiele toepassingen in automotive, maritieme sector of luchtvaart.

Figuur 42: Hogedrukwaterstofklep, Anleg Duitsland



De tanks zijn met leidingwerk verbonden met de vulaansluiting aan de ene kant en de afnemer aan de andere kant (Figuur 39). Druk-, debiet- en temperatuurmeters kunnen eventueel zijn verbonden met tanksystemen. Filters en drukreducerkleppen kunnen zijn verbonden. Al deze gasvoerende elementen moeten qua materiaal, druk- en temperatuurbestendigheid geschikt zijn voor waterstof. Met name voor mobiele toepassingen worden bepaalde functionaliteiten ook wel geïntegreerd in een subsysteem (integrated valve block). Dat verkleint de kans op lekkages door (los) trillen tijdens gebruik.

Ontwikkelingsdoelen:

Opslagdichtheid of energiedichtheid is al lange tijd een zeer belangrijke key prestatie-indicator voor waterstofopslag-ontwikkelaars. Dat is ook een reden voor het zoeken naar opslag-alternatieven. Er zijn de laatste jaren al flinke verbeteringen gemaakt. Het in 2012 door US Department of Energy gestelde 2020 doel van 5.5 wt.% is voortijdig overtroffen.

FCH-JU: Compressed hydrogen tanks are a high-value component of strategic importance for the rollout of fuel cell mobility, but with few suppliers. They could constitute a multibillion market once hydrogen mobility matures and could offer a substantial economic opportunity for Europe. While companies with the background and skills to produce high-pressure tanks do exist in Europe, tank manufacture is currently a bottleneck in the European vehicle supply chain, in particular for buses. The challenge behind this topic lies therefore in strengthening the European supply chain for compressed hydrogen storage for transport applications by driving competition among various players, which should lead to cost reduction and improved technical performance.³²

Het gaat niet enkel om gravimetrische dichtheid. Er zijn tegelijkertijd ook kostendoelen gerelateerd aan aantallen geproduceerde tanks. Het Annual Working Plan (2018) van de FCH-JU stelt als doelen³²:

- Volumetric capacity: 0.03 kg/IL for 700 bar or 0.18 kg/IL for 350 bar;
- Gravimetric capacity: 5,3%;
- Cost target for a production of 30,000 parts per year basis: 450 €/kg H₂;

Productieketen en methodes (Figuur 43):

Stalen tanks voor stationaire opstelling of tanks voor transporttoepassingen (Figuur 43, bovenrij) worden vervaardigd uit plaatmateriaal en samengesteld door lassen. Dat werk is erg arbeidsintensief en deels zwaar door laswerkzaamheden binnen in de tanks. Het eindproduct hanteren is door de hoge gewichten (ook voor cilinders) en soms grote volumes (stationaire tanks) met hefwerkzaamheden verbonden. Vervoer van het eindproduct vindt soms plaats met speciaal transport. De productievolumes zijn relatief laag.

Composiet tanks bestaan voor een belangrijk deel uit gewikkelde hoogwaardige glasvezel of carbonvezel. Het wikkelen (filament winding) in Figuur 44 afgebeeld moet nauwkeurig gebeuren en neemt relatief veel tijd per product in beslag. Bovendien moet het bindmiddel tussen de vezels de tijd krijgen uit te harden. Het uitharden gebeurt in een autoclaaf. Die methode wordt vaak ingezet voor hoogwaardige vezelversterkte kunststof voorwerpen, bijvoorbeeld voor de lucht- en ruimtevaart. Deze productietechniek is echter tijdrovend en niet makkelijk op te schalen voor massafabricage (automotive). De dure vezels, (nog) kleine oplages en tijdrovende productieprocessen maken de tanks een belangrijke kostencomponent in toepassingen. O.a. expertise uit de textielindustrie en automatisering komt zeer van pas bij het ontwikkelen van efficiënte wikkelmachines en processen. Maar ook materiaalkennis van vezels, verwerkingsprocessen en sterkteberekeningen van fibre-reinforced-composite (FRC)-systemen zijn zeer belangrijk.

zie figuur 44

Figuur 43: Stationaire en mobiele hogedruktanks uit staal (boven en o. l.) of composiet vervaardigd (o. r.)



Tankwagen dubbelwandig vloeibaar H₂, (Kawasaki, JPN)



Liggende opslagtank 80 bar (Kerckhof)



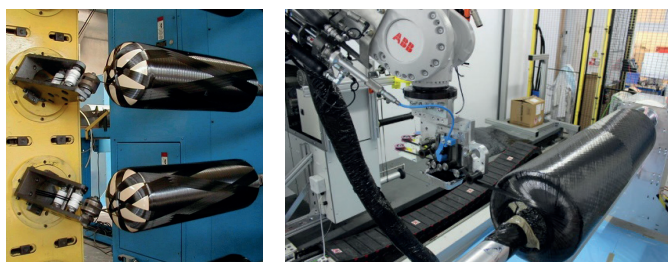
Waterstofftubes 170-530bar FIBA (USA)



Transportable opslag tot 500 bar (Wystrach, D)

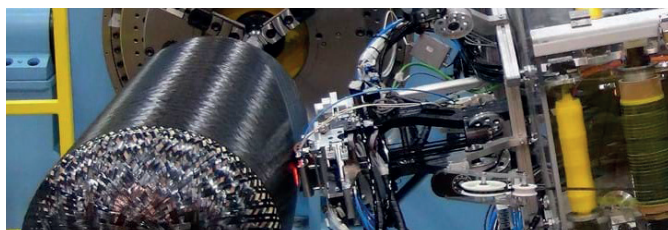
Composiet tanks worden afhankelijk van het type II-IV (Figuur 35) samengesteld op een wikkelmachine, waarmee de vezels in vooraf geprogrammeerde patronen en dikte worden gewikkeld. De vezels worden bij elkaar gehouden door harsen (resins). De productiemethode heeft gelijkenissen met textiel weven. Bedrijven die al in de composietverwerking actief zijn of wikkelmachines maken zouden hier mogelijk actief kunnen worden. Nadat het product gereed is gewikkeld moet het vaak nog de oven in (curing). De productiemethode van CRFP-technologie leent zich (nog) niet goed voor massaproductie.

Figuur 44: Filament winding en principiële opbouw van een 700 bar composiet tank

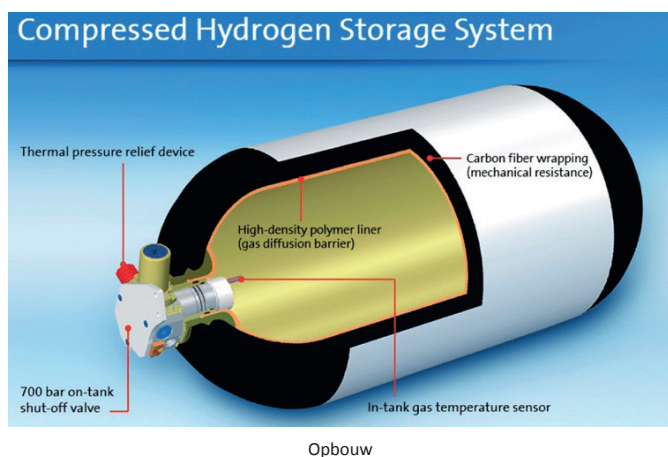


Filament winding

Filament winding



Filament winding



Opbouw

Markt:

De huidige brandstofcelauto productievolumes van OEM's zoals Toyota en Honda liggen nu op ca. 3.000 stuks per jaar. Dat is voor een serieproduct nog erg weinig. Dat worden er via een tussenstap van 40.000 per jaar rond 2022, 500.000 stuks per jaar vanaf 2030 zo is de verwachting van Hyundai.³² De Hyundai Nexa heeft nu 3 identieke tanks aan boord, dus dat zou enkel voor Hyundai in 2030 al om 1.5 mln. tanks gaan.

De markt voor hogedruktanks is zeer divers qua types en toepassingen. De markt is in principe een wereldmarkt, maar er zijn regionaal (grote) verschillen in regelgeving en standaards. De belangrijkste zich onderscheidende regio's zijn Europa, USA en Azië. In Europa is bijvoorbeeld het PED 2014/68/EU (pressure equipment directive) maatgevend. Er zijn ook grote verschillen in markt volumes. Brandstoftanks voor personenwagens, trucks, machines, treinen, schepen, luchtvaart (incl. drones) zullen in veel grotere aantallen worden benodigd dan opslagtanks voor tankstations of voor de chemische industrie. Exacte cijfers voor elk segment zou voor dit onderzoek te ver voeren, maar het is evident dat het deels om zeer hoge aantallen per jaar kan gaan. De verwachte productievolumes zijn zeer hoog, temeer omdat naast automotive ook andere sectoren zoals de maritieme sector, de luchtvaart en spoor inzetten op waterstoftoepassingen. Met name OEM's zijn, wat hun toeleveranciers betreft, in de regel uit op lokale productie liefst zo dicht mogelijk bij hun eigen fabrieken. Dat is met het oog op export een aandachtspunt.

De toekomstige markt voor regelkleppen, afsluiters, veiligheidsventielen, smeltzekeringen etc. is eveneens heel erg groot. Dit zijn hoogwaardige componenten waar materiaal- en bouwkwaliteit erg belangrijk zijn. Deze subsystemen worden nu nog vaak als onvoldoende ontwikkeld voor de nieuwe waterstoftoepassingen ingeschat. Dat komt doordat de toepassingen veelal nog te klein zijn in oplage. De ventielen zijn nog te duur, te groot, nog niet voldoende geïntegreerd in ventielblokken (te veel leidingwerk). Hier is voor het scala van toepassingen nog veel specifieke optimalisatie mogelijk en dit vraagt om hoogwaardige kennis. Bij elke component moet documentatie worden geleverd over materiaalcharges, keuringspapieren etc. Het is nog een relatief lucratief segment, maar de kwaliteit moet onberispelijk zijn. Dit wordt door strenge uit- en ingangcontroles en testen bij inbedrijf nemen nogmaals gecontroleerd. Hier is de maatstaf zero defects.

Marktpartijen hogedruksystemen en opslagtanks (selectie)

- BOA
- DeMaCo
- Nproxx
- RAP Clean Air Products (o.a. Xperion)
- Rootselaar
- Techni Control
- Teesing

Marktpartijen coatings en composiet (selectie)

- Akzo Nobel
- AZTECO electronics
- Fokker GKN Aerospace
- HSF
- IHI Hauzer Techno Coating
- KVE Composites Group
- Teijin

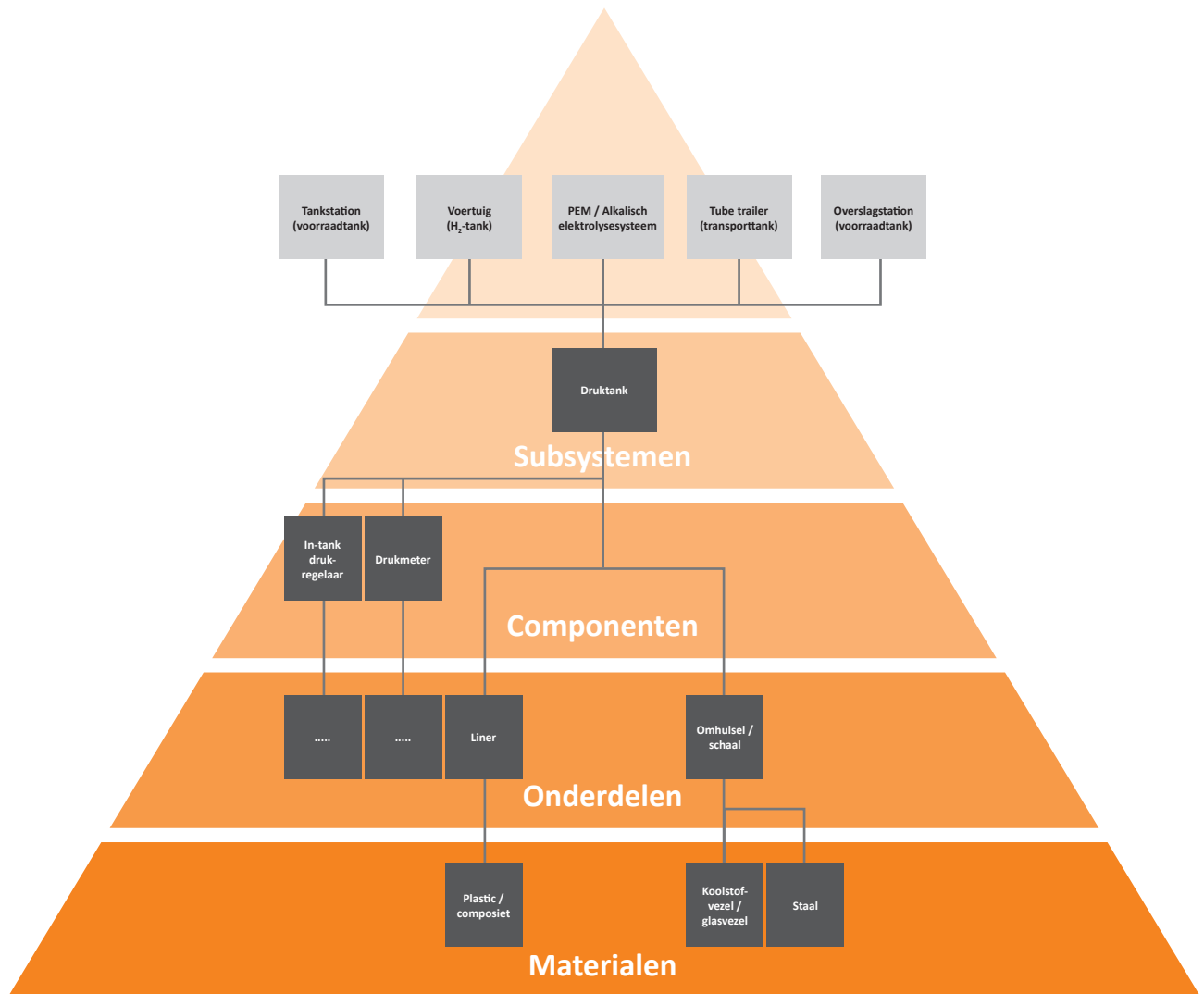
Internationale marktpartijen tanks o.a. stationair en automotive (selectie)

- Doosan (Korea)
- Faber (o.a. composite tanks) (I)
- FIBA (USA)
- Hexagon Lincoln composites (USA)
- Hexagon Xperion (D)
- iljin (composite tanks, automotive) (Korea)
- Magna (A)
- Mahytec (F)
- Plastic Omnium (F)
- Quantum (composite tanks, automotive) (USA)
- Raigi France (o.a. composite tanks) (F)
- Rehau (CH)
- Tenaris (Lux)
- TIAPM (o.a. stationaire tanks, trailers) (I)
- Toyota (composite tanks, automotive) (JPN)
- Ullit (F)
- UMOE (o.a. stationaire tanks, trailers) (N)
- VAKO (o.a. stationaire tanks, trailers) (D)
- Worthington Industries (USA)
- Wystrach (o.a. stationaire tanks, trailers) (D)

Tabel 14: SWOT-overzicht voor hogedruktank

<p>Sterkten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Positie en ervaring in verschillende toeleveringsketens als subsysteem- en componentfabrikant • Kennis en ervaring hogedrukgas- en procesttechnologie • Hightech materialen, ervaring met composietmaterialen • Efficiëntie, productiviteit en toegevoegde waarde • Aanwezigheid pareltjes • Keurings- en testinstituten, imago veiligheid/betrouwbaarheid • Goede logistieke positie met havens • Logistieke positie naar EU auto-industrie 	<p>Zwakten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschikbaarheid personeel techniek en onderzoek • Onderzoek en ontwikkeling • Hoge loonkosten
<p>Kansen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hogedruktanks maken deel uit van meerdere toeleveringsketens (waterstof en niet-waterstof). • Veel grote OEM's in Europa, met sterke lokale sourcing (voertuigen, elektrolyse) • De kosten kunnen door schaalvergroting omlaag worden gebracht • Betere composiet tanks (goedkoper, lichter, duurzamer) worden wereldwijd gevraagd • Regelventielen, leidingen, veiligheidsventielen, verbindingen, opnemers zijn lucratieve markt • Exportpotentieel tanks zeer groot • Toelevering hogedruktank kan in principe aan meerdere concurrerende OEM's • Vele toepassingen voor waterstof geschikte hogedruktanks 	<p>Bedreigingen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marktvraag valt tegen • Afhankelijk van keuzes OEM's, automotive vraagt om zeer grote aantallen, op termijn zeer competitieve markt • Stationaire tanks moeten voldoen aan regionale standaards (US, Azië, EU) • Stationaire tanks worden lokaal gesourcd i.v.m. volume en gewicht • Industrialisatie en schaalvergroting t.b.v. kostenreductie buiten Nederland

Figuur 45: productieketen voor hogedruktank



Bronvermeldingen:

- 21 Technische Weekblad (<https://www.technischweekblad.nl/nieuws/van-wind-naar-waterstof/item13137>)
- 22 De Ingenieur, (<https://www.deingenieur.nl/artikel/initiatief-voor-testcentrum-waterstof-elektrolyse>)
- 23 Natuur & Milieu, Gasmonitor 2018
- 24 Milieu Centraal (<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/bespaartips-warm-water/besparen-onder-de-douche/>)
- 25 Website European Heating Industry (www.ehi.eu/heating-technologies/gas-condensing-boilers/)
- 26 Nederlandse verwarmingsindustrie o.b.v. onderzoek Berenschot (via interview sector)
- 27 Cijfers European Heating Industry jan-dec 2018 (via interview sector)
- 28 De Stentor (www.destentor.nl/apeldoorn/kachelproducent-uit-apeldoorn-CV-ketel-op-waterstof-duurzamer-en-goedkoper-dan-warmtepomp-br~a5671fab/)
- 29 Gawalo (www.gawalo.nl/klimaattechniek/artikel/2018/11/werkt-een-CV-ketel-voor-aardgas-ook-op-waterstof-1016831)
- 30 Remeha (www.remeha.be/nl/eerste-remeha-waterstofketel-in-proefproject-te-rozenburg/)
- 31 International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 39, 28 September 2017, Pages 24597-24611 Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review
- 32 Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU), 2018 Annual Work Plan and Budget, December 2017
- 33 Hyundai Vision 2030, juni 2019

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Waterstof biedt kansen voor Nederlandse industrie

Er is een energiesysteemverandering gaande; Niet lokaal, zoals in Nederland na de vondst van het Slochterengas, maar wereldwijd. De verandering is ingegeven door klimaatdoelen, maar ook door regionaal snel stijgend aanbod van groene stroom.

Waterstof wordt naast elektriciteit, een belangrijke pijler in het energiesysteem. Dat is zeker niet alleen in Nederland, maar een wereldwijde ontwikkeling. Het gaat hard op plekken met goedkope duurzame energie (aanbod) en op plekken met veel behoefte aan (klimaatneutrale) energieaanvoer (vraag). De koppeling en het samenspel van elektriciteit en waterstof maken een grootschalige ontsluiting van duurzame energiebronnen mogelijk. Daarnaast zorgt de koppeling van de beide energiedragers voor een betrouwbare energietoevoer ongeacht het seizoen. Op macroniveau (werelddelen/landen) wordt energieopwekking breder verspreid over de wereld en daarmee minder gevoelig voor internationale spanningen. Op microniveau (naties/regio's/wijken) krijgt het energiesysteem ook een hogere mate van veerkracht door de mogelijkheid tot decentrale opwekking. Door dit alles is waterstof niet slechts een vervanger van aardgas, maar heeft een veel grotere en bredere betekenis voor het (wereldwijde) energiesysteem.

Nederland heeft een aardgasbasis en kan daarop bouwen. Dat is een gunstig uitgangspunt, ook voor bedrijven die sinds de ontdekking en invoering van aardgas in Nederland op dit gebied zaken doen.

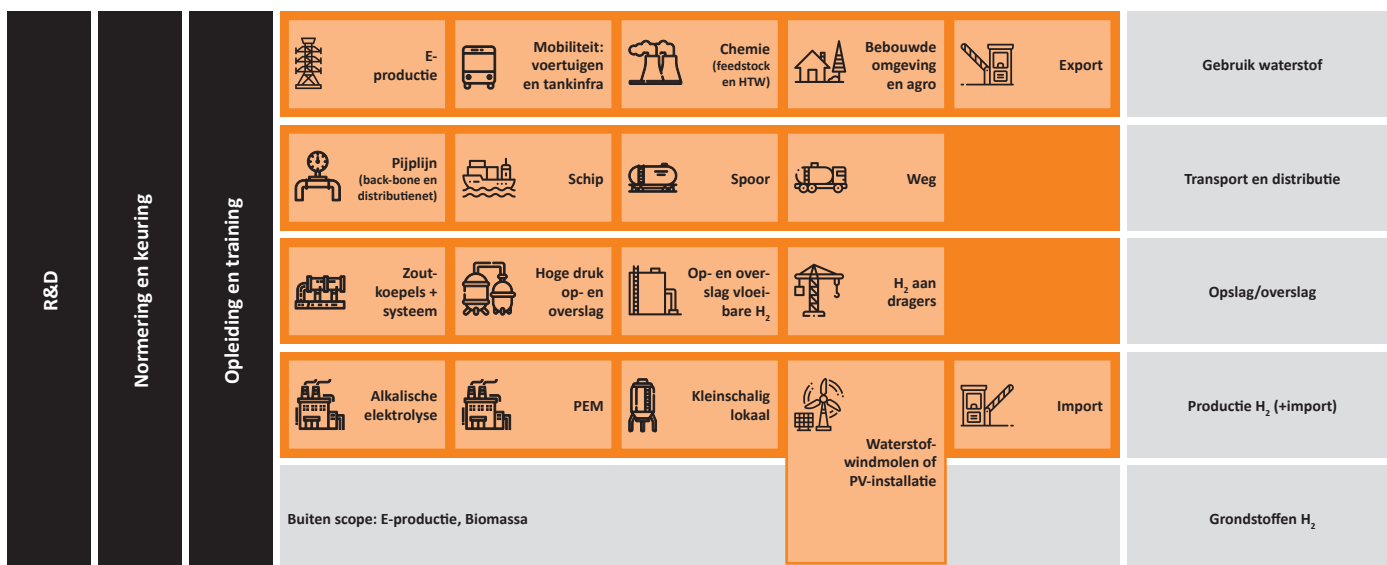
Aan de toepassingskant zijn eveneens wereldwijde ontwikkelingen: Elektrificering in industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit. Dat brengt nieuwe oplossingen met zich mee, een belangrijk deel daarvan ook op of gecombineerd met waterstof. Wat mobiliteit betreft is Nederland niet enkel een toeleverindustrie, maar in scheepsbouw en offshore, speciale en zware voertuigen o.a. voor transport en logistiek zeker ook een fabrikant.

De petro/chemische industrie heeft sinds het midden van de vorige eeuw een toonaangevende positie kunnen opbouwen door hoogwaardige kennis en innovatie maar ook ingegeven door de gunstige logistieke positie en goedkope fossiele energie (aardgas). De energietransitie is in eerste instantie een bedreiging voor deze industrie, maar klimaatneutrale en groene waterstof biedt een kans voor behoud van de economische activiteiten en groei met innovatieve duurzame producten.

Conclusie van deze eerste verkenning is dat waterstof een nieuw en belangrijk perspectief biedt voor zowel de bestaande gasindustrie als voor andere sectoren in de maakindustrie die relevante (toe) leveranciers zijn voor specifieke systemen, componenten en onderdelen die nodig zijn in de waterstofketen.

zie figuur 46

Figuur 46: waterstofketens



Kansen voor specifieke segmenten in de keten zijn:

- Versterken/verdedigen marktaandeel chemie door innovatie groene chemie;
- Vergroten marktaandeel scheepvaart door aanbod van waterstofscheperen;
- Vergroten marktaandeel bussen/trucks/speciale voertuigen door aanbod waterstofvoertuigen;
- Uitbouwen van de sterke positie in testen en keuren voor keuring van waterstofsysteem;
- Vergroten van aandeel in dienstverlening op gebied van procesoptimalisatie o.a. gestimuleerd door thuismarkt;
- 2 sterke complementaire TSO's in Nederland;
- Ontwerp en engineering in combinatie met geïdentificeerde exportkansen, bijvoorbeeld aanleg waterstofleidingen buitenland, ondergrondse opslag, etc.;
- Uitbouw van positie in productietechnieken van materialen en componenten gericht op waterstof door relatief sterke positie in enkele productietechnieken voor nieuwe materialen (HTSM);
- Componentenmarkt is interessant omdat waterstofeconomie een uitbreiding van marktpositie kan betekenen en export relatief groot is:
 - o Vanuit gasindustrie sterke positie in compressie, hogedruksystemen en regelkleppen;
 - o Vanwege computerchipindustrie en Topsector water sterke positie in waterbehandeling.
- Dienstverlening op gebied van vonkvermijding, statische elektriciteit door voormalige positie Kema, en High Voltage lab;
- Ontwikkeling kleinschalige systemen voor nichemarkten (combinatie opwekking/productie, wijkssystemen, bij tankstations, defensie etc.);
- Exporteren kennis en vaardigheden gas- en offshore-industrie indien in buitenland grote waterstofpijpleidingen worden aangelegd;
- Exporteren kennis en vaardigheden gasindustrie indien in buitenland ook waterstofopslag in cavernes wordt gedaan;
- Eventueel een kans om kennisvoorsprong op te bouwen in op- en overslag van vloeibaar waterstof.

Bij marktpenetratie en productontwikkeling gaat het vaak om markt- en positiebehoud i.p.v. uitbreiding van de markt. Zonder transitie naar een duurzaam gas zal de marktpositie die gebaseerd is op fossiele grondstoffen achteruitgaan.

6.2. Witte vlekken zijn beperkt en kunnen nog deels ingevuld worden

Een aantal ketenonderdelen is nog niet vertegenwoordigd in Nederland. Dit kan een risico zijn voor de ontwikkeling van de waterstofketen, afhankelijk van het segment.

Voor een aantal ketenonderdelen is de witte vlek lastig in te vullen doordat de toetredingsdrempels hoog zijn, de markt stabiel is qua volume en/of weinig dynamiek vertoont. De toetreding van nieuwe spelers is beperkt, en doorgaans is de markt verdeeld tussen bestaande spelers. Dit gaat bijvoorbeeld om:

- Ontwikkeling en productie van personenauto's en bestelauto's op waterstof. Toetredingsdrempels en het ontbreken van een Nederlandse OEM maken het niet waarschijnlijk dat deze witte vlek ingevuld kan worden.
- Ontwikkeling en productie van treinen op waterstof; opbouwen van een nieuwe treinindustrie is niet kansrijk. De meeste Nederlandse treinen en tracés zijn bovendien elektrisch met bovenleiding, waardoor de Nederlandse vraag beperkt is.
- Ontwikkeling van transportmiddelen voor distributie van waterstof: tankwagens, tankschepen en tankwagens. Er zijn geen systeemleveranciers in Nederland op het gebied van tankwagens, tankschepen, tankwagens. Opbouwen van een nieuwe industrie is niet kansrijk en ook niet opportuun. Afwezigheid van een OEM hindert de ketenopbouw niet.

Een witte vlek die meer risico heeft, is het ontbreken van een OEM op het gebied van elektrolyse. Dit kan de ketenontwikkeling hinderen doordat toeleveranciers samenwerking moeten zoeken met buitenlandse afnemers en daarbij niet kunnen voortbouwen op een thuismarkt. Doordat deze markt zich nog flink moet gaan ontwikkelen zijn er wel meer mogelijkheden om een positie te verwerven in tegenstelling tot de transportmiddelenmarkt.

- Er is geen Nederlandse OEM op het gebied van (grootschalige) elektrolysesystemen. Opbouwen van een positie vanaf nul is naar verwachting moeilijk door de aanwezigheid van grotere spelers in het buitenland en het ontbreken van een grote technische maakindustrie. Door de dynamiek in de markt kan deze witte vlek mogelijk ingevuld worden door een bestaande OEM naar Nederland te halen. Onderdelen die de prestatie van elektrolysers verbeteren (kostprijs, efficiëntie, levensduur) zijn een kans, die gemakkelijker te verzilveren is wanneer er een in Nederland gevestigde afnemer is.
- Ook een OEM voor kleinschalige elektrolyse ontbreekt. Hier zijn echter minder grote toetredingsdrempels en maakt de verwachte marktgroei dit tot een mogelijke kans.
- Er is geen systeemleverancier van cryogene (waterstof)systemen in Nederland bekend, maar ook niet in het nabije buitenland. Bij een doorbraak van transport van vloeibare waterstof zou daar behoefte aan kunnen ontstaan. Door het ontbreken van gevestigde spelers is een marktpositie wellicht te ontwikkelen op basis van de aardgaskennis (LNG).

Enkele andere witte vlekken bevinden zich in de toelevering van kennis en onderdelen.

- Op een enkel bedrijf na is de Nederlandse R&D/kennisinfrastructuur niet gespecialiseerd in brandstofcelontwikkeling. Het is de vraag of het kansrijk is om die positie alsnog te gaan ontwikkelen en de achterstand op het buitenland in te lopen.
- Er zijn ook enkele witte vlekken in relevante technologieën zoals: liquefactie, debietmeters voor economisch verkeer, koppel/verbindingstechnieken en elektronica. Verbindingstechnieken en telwerken lijken geen essentiële technieken voor een Nederlandse waterstofketen. Liquefactie (i.c.m. proces- en chemiekennis en eventueel de opbouw van een systeemleverancier opslag voor vloeibare waterstof) en elektronica (i.c.m. HTSM) zijn mogelijk een kans.

6.3. Gewenste ondersteuning van industrie is afhankelijk van knelpunt

Om de industrie te ondersteunen bij het vormgeven van de waterstofketen hangt de gewenste ondersteuning er vanaf of een partij een strategie van productontwikkeling, marktontwikkeling of marktpenetratie volgt om een rol te gaan spelen.

- **Marktpenetratie:** hieronder scharen we niet alleen bedrijven die al waterstof leveren maar ook de bestaande partijen die aardgas distribueren aan hun klanten. Voor hen gaat het om het wegnemen van hindernissen qua regelgeving en normering, die de overstap naar waterstof hinderen. Via aanpassing van de wet, of het tijdelijk toestaan van proeftuinen kan een dergelijke partij zelf de benodigde ontwikkeling sturen of volgen. Partijen die nu al waterstof leveren en alleen meer waterstof gaan leveren aan dezelfde klanten lijken geen dwingende behoefte te hebben aan specifieke ondersteuning. Hier gaat het eerder om afdekken van een onrendabele top (first mover disadvantage).
- **Productontwikkeling:** hieronder vallen bedrijven die hun producten geschikt willen maken voor waterstof (gastoestellen, CV-Ketels). Hier is vooral behoefte aan de juiste infrastructuur om het kip-ei probleem te doorbreken en aan normering. Het risico om zonder deze standaarden iets te ontwikkelen wat later niet past bij de gekozen infrastructuur is groot. Door te sturen op samenwerking en standaarden, fieldlabs en demowijken, en evt. tijdelijk een onrendabele top af te dekken kan de waterstofketen gestimuleerd worden.
- **Marktontwikkeling:** in deze groep zitten spelers die de link moeten maken naar nieuwe toepassingsgebieden. Deze groep kent de potentiële spelers in de waterstofketen vaak onvoldoende en is andersom niet bekend bij de spelers die tegen technische uitdagingen aanlopen. Hier is behoefte aan ondersteuning bij het vinden van marktkansen en inzicht in de omvang van de potentie, door technische uitdagingen en producteisen van de waterstofketen te identificeren en partijen te informeren. Vooral voor kleinere partijen is het verzorgen van introducties bij marktpartijen en netwerken, en hulp bij het vormgeven van een samenwerking en financiële regelingen om demonstratie- en pilotprojecten uit te voeren van belang.

Met name activiteiten voor partijen die marktontwikkeling gebruiken om deel te nemen aan de waterstofketen liggen binnen de reguliere taken van brancheorganisaties en RVO: informatie verschaffen, voorlichting en advies, hulp bij vinden zakenpartners en initiëren netwerken. Het aanpassen van de wetgeving en initiëren van financiële regelingen vallen onder verantwoordelijkheden van het Rijk/ministerie.

6.4. Aanbevelingen

Nederland heeft bijna alle ketenonderdelen in huis zonder dringende witte vlekken. De productieketen is echter nog onvolwassen en deels niet sluitend met passende oplossingen en aanbod. Het meeste betreft een markt van aardgas waarbij waterstof een nieuw perspectief biedt. Witte vlekken in massa gefabriceerde personenauto's zijn niet kansrijk om zelf te ontwikkelen. Daartoe ontbreekt de bijbehorende industrie en kennisinfrastructuur. Daarvoor lijkt het verstandiger om aansluiting bij bestaande (Europese) partijen te zoeken. Andere toepassingen zelf ontwikkelen en bouwen zijn daarentegen wel kansrijk: schepen, speciale voertuigen, agrarische en bouwmachines, aggregaten, huisenergiesystemen, wijkcentrales, drones, etc.

Op het gebied van elektrolyse verdient het aanbeveling te onderzoeken of een of meer elektrolyser OEM's geïnteresseerd zijn in vestiging in Nederland. Door de lokale aanwezigheid is het eenvoudiger om de waterstofketen op te bouwen. Vanuit een werkende nationale waterstofketen wordt het voor kleinere partijen gemakkelijker om te gaan exporteren.

Het is duidelijk dat de toekomstige regulering en ordening van de waterstofmarkt invloed zal hebben op hoe deze markt en de bijbehorende infrastructuur zich zal ontwikkelen. Over de aanpak van deze onderwerpen zijn afspraken gemaakt in het Klimaatakkoord. Gezamenlijk met de industrie en waar nodig in

internationaal verband moeten normen voor waterstofgebruik worden opgesteld (testgassen CV-installaties, opleidingseisen brandweer, beleid parkeergarages, beleid hoofdvaarwegen, etc.). Hier zal aan worden gewerkt in het Waterstof Veiligheids- en InnovatieProgramma.

Om de nieuwe kansen voor de (toeleverende) maakindustrie te verzilveren kunnen brancheorganisaties en overheidsinstellingen de industrie ondersteunen met het informeren over de mogelijkheden, het marktpotentieel en de productspecificaties waaraan behoefte is, (regionale) bijeenkomsten organiseren om partijen bij elkaar te brengen en een digitale 'Who-is-who' ontwikkelen.

Nederland heeft het potentieel een waterstofhub te worden, zoals dat nu voor fossiele energie het geval is. Energiestromen hebben een koppeling met de financiële sector. Ook deze heeft kansen in het verschiet zoals het opzetten van virtuele trading platforms (vgl. TTF).

Als vervolgonderzoek adviseren we kansrijke segmenten (verdere cases) nader uit te werken en te bespreken met sectorpartijen en bedrijvenclusters en gezamenlijk stappenplannen uit te werken: bijvoorbeeld composietonderdelen met composiet NL.

De programmatische aanpak voor waterstof zoals gesteld in het klimaatakkoord, en het bijbehorende innovatieprogramma moeten ook aandacht besteden aan de maakindustrie en een meerjarig perspectief bieden met perspectief met gezamenlijke doelstellingen.

Nederland heeft op basis van de huidige uitgangspositie en de juiste inzet een goede kans de ambitie van gidsland waar te maken en de Nederlandse industrie een toekomstvast groeiperspectief te bieden.

7. Geraadpleegde bronnen

Rapporten

- CBS, Monitor Topsectoren 2018, 2018.
- CE Delft, Werk door groene waterstof, november 2018.
- CompositesNL, Nationale samenwerkingsagenda composiet, 2019.
- Denys (NL Agency) & H. Barten (HyServe), F. , Who is Who, Hydrogen and Fuel Cells in the Netherlands, december 2009.
- DNV GL, Verkenning waterstofinfrastructuur, november 2017.
- F. Wouters, A. van Wijk, 50% Hydrogen for Europe: a manifesto, A sustainable energy supply for everyone, mei 2019
- Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU), 2018 Annual Work Plan and Budget, December 2017
- Gigler, M. Weeda, J., Contouren van een Routekaart Waterstof, maart 2018.
- H2G-O, Convenant Groene Waterstofeconomie Goeree Overflakkee, december 2017.
- Hincio, Het potentieel voor groene waterstof in Vlaanderen, Een routekaart, oktober 2018.
- Hochfeld et al., Agora Verkehrswende, Mit der Verkehrswende die Mobilitaet von morgen sichern, Maart 2017
- Hoogma, Dr. R.J.F., Dwersverband, Overzicht van Nederlandse waterstofinitiatieven, -plannen en -toepassingen; Input voor een Routekaart Waterstof, oktober 2017.
- Hydrogen Council, How Hydrogen empowers the energy transition, januari 2017
- Hydrogen Council, Hydrogen Scaling up, november 2017.
- Hydrogen Council, Hydrogen Solutions Scale Up, International Action Plan, februari 2019
- Hydrogen Europe, Hydrogen enabling a zero emission Europe –Technology Roadmaps –Full Pack, september 2018
- Hyundai, FCEV Vision 2030, december 2018.
- IEA, The Hydrogen Initiative, sep 2018 EU
- IEA, The Future of Hydrogen, Seizing today's opportunities, Juni 2019.
- International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 39, 28 September 2017, Pages 24597-24611 Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review
- IRENA, Hydrogen from renewable power technology outlook for the energy transition, september 2018.
- KIWA, Toekomstbestendige gasdistributienetten, juli 2018.
- Leeuwen, J. van, CIEP, International approaches to clean molecules, five cases on hydrogen, januari 2019.
- Marigreen: Perspectives for the use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping, Oktober 2018
- McKinsey, FCH 2 JU, Hydrogen roadmap Europe, januari 2019.
- Natuur&Milieu, Gasmonitor 2018, augustus 2018.
- NIB, The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands, oktober 2017.
- Provincie Groningen et al., Investeringsagenda Waterstof Noord-Nederland; Op weg naar emissievrije waterstof op commerciële schaal, februari 2019.
- Provincie Groningen, Investeringsagenda waterstof Noord-Nederland, februari 2019.
- Schoenemaker, N en F. Notten, CBS, De impact van de energietransitie op de Nederlandse werkgelegenheid, 2008-2017, december 2018.
- Smolinka, Günther, Garche, NOW-Studie: Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien, Juli 2011
- Stichting TKI HTSM, High Tech Systems and Materials, Knowledge and Innovation Agenda 2018-2021, september 2018.
- UK Innovation in Hydrogen for Heating COP24 10th December 2018
- VNO-NCW, Nederland Maakt! Over het belang van de industrie en industriële waardeketens voor Nederland, januari 2016
- Wereldenergieeraad, Hydrogen – industry as catalyst; the netherlands accelerating the decarbonisation of our economy to 2030, 2018.
- Wijk, A. van et al, Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland, een visie voor 2030, maart 2019.

Internet bronnen en artikelen

- <http://hydrogencouncil.com/faq/>
- <http://hydrogencouncil.com/hydrogen-council-grows-to-60-member-companies-as-g20-summit-events-focus-on-hydrogen/>
- <http://hydrogencouncil.com/new-hydrogen-council-launches-in-davos/>
- <http://mengnews.joins.com/view.aspx?aid=3058325>
- <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/hydrogen-valleys>
- <http://tso2020.eu/>
- <http://www.doosanmobility.com/en/products/hydrogen-tank/>
- http://www.dubolimborg.be/files/condensatieketel_werking.pdf
- <http://www.ehi.eu/heating-technologies/gas-condensing-boilers/>
- <http://www.hysafe.net/wiki/BRHS/StorageGaseousHydrogen>
- <http://www.qtww.com/product/hydrogen/>
- <http://www.wereldenergieaad.nl/2019/02/12/new-report-released-on-hydrogen-industry-as-catalyst/>
- <https://abelenco.nl/kennisbank/hoe-werkt-een-CV-ketel/>
- <https://CV-kosten.nl/welke-soorten-CV-ketels-er/>
- <https://eneff-industrie.info/projekte/2017/neue-nanopartikelsysteme-senken-platinbedarf/>
- <https://energypost.eu/50-hydrogen-for-europe-a-manifesto/>
- https://fch.europa.eu/sites/default/files/214-MI_Antwerp-H2_Valleys-HydrogenCouncil-update.pdf
- https://fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf
- <https://nachrichten.idw-online.de/2019/06/19/katalyse-hohe-reaktionsraten-auch-ohne-edelmetalle/>
- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ionisatiebeveiliging>
- <https://remeha.be/nl/eerste-remeha-waterstofketel-in-proefproject-te-rozenburg/>
- <https://www.ad.nl/politiek/ouderwetse-CV-ketel-verdwijnt-vanaf-2021~a2c56a37/>
- <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-18/the-world-will-get-half-its-power-from-wind-and-solar-by-2050>
- <https://www.compositesworld.com/articles/filament-winding-reinvented>
- <https://www.CVketel-weetjes.nl/>
- <https://www.deingenieur.nl/artikel/initiatief-voor-testcentrum-waterstof-elektrolyse>
- <https://www.destentor.nl/apeldoorn/kachelproducent-uit-apeldoorn-CV-ketel-op-waterstof-duurzamer-en-goedkoper-danwarmtepomp-br~a5671fab/>
- <https://www.destentor.nl/zwolle/gemist-waterstofketel-als-vervanger-van-gas-om-wil-9-jaar-cel-voor-fatale-burenruziededemsvaart~a68bcf18/>
- <https://www.energie-wasser-praxis.de/wissen/artikel/brandenburger-power-to-gas-anlage-erzeugt-gruenes-methan/>
- <https://www.energynetworks.com.au/news/energy-insider/glimpse-hydrogen-future>
- <https://www.eu2018.at/latest-news/news/09-18-Infomal-meeting-of-energy-ministers.html>
- [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH2%20JU%202018%20AWP%20and%20Budget_final_05122017%20\(ID%202911461\).pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH2%20JU%202018%20AWP%20and%20Budget_final_05122017%20(ID%202911461).pdf)
- <https://www.fluxenergie.nl/nederland-is-al-grote-producent-waterstof/>
- <https://www.fuelcellbuses.eu/>
- <https://www.gawalo.nl/energie/nieuws/2019/01/waterstof-CV-ketels-voor-80-woningen-1017020>
- <https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/artikel/2018/11/werkt-een-CV-ketel-voor-aardgas-ook-op-waterstof-1016831>
- <https://www.hexagonlincoln.com/hydrogen/hydrogen-products>
- <https://www.hollandhightech.nl/nationaal/over-holland-high-tech/visie>
- <https://www.hyundai.news/eu/brand/hyundai-motor-group-reveals-fcev-vision-2030/>
- <https://www.installatie.nl/nieuws/atag-ook-aan-warmtepomp/>
- <https://www.kiwa.com/nl/nl/nieuws-en-media/nieuws/gastec-qa-keuringseis-waterstofgas-in-de-maak/>
- <https://www.mercedes-benz-fuelcell.com/produkt-technologie>
- https://www.noordhollandsdagblad.nl/cnt/dmf20181024_6154814/klaar-voor-waterstofgas-dankzij-unieke-kunststof-leidingen-vanpipelife-enkuizen
- <https://www.nprox.com/nprox-presents-new-700-bar-hydrogen-tank-to-the-automotive-industry/>
- <https://www.plasticstoday.com/automotive-and-mobility/polyamide-makes-its-mark-high-pressure-hydrogen-tank-toyota-fuel-cell-vehicle/47493150224709>
- <https://www.princeton.edu/news/2019/06/17/hydrogen-fuel-cells-mundane-materials-might-be-almost-good-pricey-platinum>
- <https://www.prnewswire.com/news-releases/nprox-presents-new-700-bar-hydrogen-tank-to-the-automotive-industry-300819880.html>
- https://www.researchgate.net/publication/285191521_Update_on_the_Progress_of_Hydrogen-Fueled_Internal_Combustion_Engines/figures?lo=1

- <https://www.rvo.nl/onderwerpen/internationaal-ondernemen/netwerken-en-contacten/internationale-organisaties/welke-organisaties/europese-unie>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319916305559>
- <https://www.snn.nl/nieuws/waterstof-partnerschap-van-start>
- https://www.soluforce.com/soluforce/_media/pdf/SoluForce_General_Brochure_01_2019.pdf?m=1547719266&
- <https://www.soluforce.com/soluforce/news/5464-soluforce-gas-tight-gt.php>
- <https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/eerste-huizen-verwarmd-met-waterstof-komen-in-rotterdamrozenburg>
- <https://www.tankpro.nl/brandstof/2018/04/12/aantal-tankstations-neemt-licht-af-omzet-shops-zit-in-de-lift/>
- <https://www.technieknederland.nl/nieuwsberichten/drenthe-marktsessie-expeditie-energieneutraal>
- <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/van-wind-naar-waterstof/item13137>
- <https://www.trouw.nl/groen/drie-grote-initiatieven-voor-waterstof-zouden-wel-eens-voor-een-doorbraak-kunnen-zorgen~a62762e7/>
- <https://www.trouw.nl/groen/een-warm-huis-dankzij-waterstof-delftse-studenten-zijn-proefkonijn-tijdens-experiment~a190f633/>
- https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-05/CIP_Report_2019.pdf

Appendices

Bedrijvenlijst

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobiliteit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
1	Accenda	Delft	ZH	Ombouw ICE naar H ₂ voertuigen		•							
2	Air Liquide	Rotterdam	ZH	Industriële gassen/waterstof				•	•		•		
3	Air Products & Chemicals	Rotterdam	ZH	Industriële gassen/waterstof				•	•		•		
4	Airborne International Composites	Den Haag	ZH	Composieten									•
5	Airborne Oil & Gas	IJmuiden	NH	Leidingen								•	
6	Akzo Nobel	Amsterdam	NH	Coatings								•	
7	Ale (Advanced lightweight engineering)	Delft	ZH	Ingenieursbureau									•
8	Alewijnse Marine Technology	Nijmegen	GLD	Aandrijfsystemen		•							•
9	Alliander	Arnhem	GLD	Netbeheer					•				
10	Alstom	Utrecht	UT	Voertuigen		•							
11	Althen	Leidschendam	ZH	Meetinstrumenten dataprocessors								•	
12	Altran	Schiphol	NH	Engineering en R&D-services									•
13	Ansaldo Thomassen	Rheden	GLD	Compressoren								•	
14	Arcadis Nederland	Amsterdam	NH	Advies									•
15	ATAG kooktoestellen	Zevenaar	GLD	Kooktoestellen								•	
16	ATAG Verwarming Nederland	Lichtenvoorde	GLD	Warmtesystemen			•						
17	Atlas Copco	Zwijndrecht	ZH	Compressoren								•	
18	Avedko	Dordrecht	ZH	Behuizingen								•	
19	AVIV	Enschede	OV	Risicoanalyses									•
20	AZTECO electronics	Zwijndrecht	ZH	Elektronica en coatings								•	
21	Baetsen	Veldhoven	NB	Transport					•				
22	BAM Infra Energie & Water	Gouda	ZH	Civiele werken									•
23	BDR Thermea	Apeldoorn	GLD	Warmtesystemen			•						
24	Bekaert Combustion Technology	Groningen	GR	Warmtesystemen			•					•	
25	BOA Nederland	Tilburg	NB	Metalen leidingsystemen								•	
26	Bodewes	Hoogezand	GR	Vaartuigen incl. bunkerschepen		•							
27	BOSAL	Vianen	UT	Warmtewisselaars								•	
28	Bosch Rexroth Electric Drives & Controls	Eindhoven	NB	Aandrijfsystemen								•	
29	Bosch Thermotechniek	Deventer	GLD	Warmtesystemen			•						
30	BP Raffinaderij Rotterdam	Rotterdam	ZH	Brandstoffen retail				•			•		
31	Bredenoord	Apeldoorn	GLD	Aggregaten	•								
32	Brimos	Hattem	GLD	Verkeerstechniek								•	•
33	Brink Climate Systems	Staphorst	OV	Klimaatsystemen			•						
34	Bronkhorst High-Tech	Ruurlo	GLD	Flow- en drukmeters								•	
35	BTG (biomass technology group)	Enschede	OV	Consultancy									•
36	Bürkert Contromatic	Breda	NB	Brandstofcellen, componenten								•	
37	BWT Nederland	Waddinxveen	ZH	Waterbehandeling								•	
38	CE Delft	Delft	ZH	Advies									•

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobiliteit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
39	Century Aluminum Vlissingen	Ritthem	ZL	Anoden, componenten								•	
40	CH Energy	Groningen	GR	Recycling									•
41	CIKAM	Almere	FL	Aggregaten	•								
42	Combigas	Zwolle	OV	Engineering									•
43	Contour Advanced Systems	Winterswijk	GLD	Controlsystemen								•	
44	Contour Covering Technology	Winterswijk	GLD	Behuizingen								•	
45	Contrall	Apeldoorn	GLD	Engineering									•
46	Cornel	's-Gravenzande	ZH	Installatiebedrijf									•
47	Coteq	Almelo	OV	Netbeheer					•				•
48	DAF Trucks	Eindhoven	NB	Vrachtwagens		•							
49	Dahlman	Maassluis	ZH	CCS									•
50	Damen Shipyards	Gorinchem	ZH	Scheepsbouw		•							
51	De Vries Makkum	Makkum	FR	Jachtenbouw		•							
52	DEERNS	Rijswijk	ZH	Adviesbureau/ingenieursbureau									•
53	Delta Technics Engineering	Breda	NB	Warmtewisselaars en regelapparatuur								•	
54	DeMaCo	Noord-Scharwoude	NH	Leidingwerk, systemen, cryogeen								•	
55	Deodrive	Rotterdam	ZH	Brandstofcelsystemen								•	•
56	DNV GL	Arnhem	GLD	Certificering en testen									•
57	Dr. Ten	Wezep	GLD	Waterfilters								•	
58	Draeger	Zoetermeer	UT	Meetinstrumenten dataprocessors								•	
59	Duiker Combustion Engineers	Wateringen	ZH	Brandersystemen								•	
60	DUIINN	Groningen	GR	Consultancy									•
61	E & E Advies (lid Hydrogreen)	Groningen	GR	Ingenieursbureau									•
62	Ebby Road	Eindhoven	NB	Handelsmaatschappij									•
63	ECM Technologies	Leeuwarden	FR	Metaalbewerking								•	
64	Eekels Technology	Kolham	GR	Service en onderhoud hogedruk installaties									•
65	Ekinetix	Zwijndrecht	ZH	Ingenieursbureau en consultancy									•
66	Electromach	Hengelo	OV	Explosieveiligheid									•
67	Elestor	Arnhem	GLD	Opslag						•			
68	Eltacon Engineering	Waddinxveen	ZH	Engineering hogedruksystemen									•
69	Emerson	Rijswijk	ZH	Meetinstrumenten dataprocessors								•	
70	Emmet Green	Den Haag	ZH	Brandstoffen retail									•
71	Emmtec Services	Emmen	DR	Industriële dienstverlening									•
72	ENECO	Rotterdam	ZH	Energiebedrijf	•								
73	ENERCON Services Netherlands	Zwolle	OV	Bouw windmolens	•								
74	Energie Service Noord West (ESNW) (voorheen Gaswacht)	Alkmaar	NH	Technische installaties									•
75	Energy Watch	Almelo	OV	Consultancy									•
76	EnergyStock	Groningen	GR	Opslag ondergronds						•			
77	Enexis	's-Hertogenbosch	NB	Netbeheer					•				
78	Engie	Zwolle	OV	Energie en engineering	•			•			•		
79	Enrichment Technology Nederland	Almelo	OV	Engineering/waterstof(installaties)									•
80	EnTranCe	Groningen	GR	Stichting voor energietransitie en kenniseconomie									•
81	Enviu	Rotterdam	ZH	Ingenieursbureau									•
82	E-On Benelux	Rotterdam	ZH	Energieleverancier	•								

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobiliteit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
83	Equinor	Rotterdam	ZH	Energie en engineering				•			•		
84	E-traction Europe	Apeldoorn	GLD	Aandrijfsystemen								•	
85	E-Trucks	Westerhoven	NB	Speciale voertuigen		•							
86	Exoxtox	Nieuw-Vennep	NH	Detectieapparatuur								•	
87	Fast concepts	Deventer	OV	Consultancy									•
88	Feenstra	Lelystad	FL	Verwarmingssystemen			•						
89	Ferrolti Nederland	Breda	NB	Verwarmingssystemen			•						
90	Fluidwell	Veghel	NB	Flowmeters								•	
91	Fokker GKN Aerospace	Papendrecht	ZH	Subsystemen/materialen								•	
92	Fountain Fuel	Hoogland	UT	Brandstoffen retail		•							
93	Frames Energy Systems	Alphen a/d Rijn	ZH	Engineering									•
94	Fujifilm Europe	Tilburg	NB	Folies en membranen								•	
95	Future Proof Shipping	Rotterdam	ZH	Logistiek		•							
96	Gasterra	Groningen	GR	Gashandel					•				
97	Gasunie New Energy	Groningen	GR	Projectontwikkeling									•
98	Gasunie Waterstof Services	Groningen	GR	Gasdistributie pijpleiding					•				
99	Gavilar	Dordrecht	ZH	Gassystemen/meetapparatuur								•	
100	Geesink	Emmeloord	FL	Speciale voertuigen		•							
101	General Electric	Rijswijk	ZH	Elektronica								•	
102	Greenplanet Pesse	Pesse	DR	Brandstoffen retail		•							
103	Greenpoint	Oude Tonge	ZH	Brandstoffen retail		•					•		
104	Greentrust	Oosterbeek	GLD	Consultancy									•
105	H2 storage	Den Haag	ZH	Opslagsystemen									•
106	H2Fuel	Voorschoten	ZH	Opslagsystemen						•			
107	Hamer	Apeldoorn	GLD	Tankstations installatie en onderhoud									•
108	Hatech	Rotterdam	ZH	Detectieapparatuur								•	
109	Heerema Fabrication Group SE	Zwijndrecht	ZH	Drijvende energieplatforms								•	
110	Heerema Offshore	Leiden	ZH	Offshore industrie								•	
111	Heijmans	Rosmalen	NB	Infratechniek aannemerij									•
112	Hilux5	Hengelo	OV	Energiesystemen			•						
113	Holland Ship Electric	Rotterdam	ZH	Scheepsbouw									•
114	Holthausen	Hoogezand	GR	Gassen en speciale voertuigen		•							
115	Howden	Hengelo	OV	Engineering									•
116	Howden Thomassen Compressors	Rheden	GLD	Compressoren, onderhoud gasturbines en ombouw								•	
117	HSF	Duiven	GLD	Gas subsystemen								•	
118	Huisman Equipment	Schiedam	ZH	Grote energiesystemen en kranen									•
119	Hydrasun	Rotterdam	ZH	Leidingen, kleppen, meters								•	
120	Hydrogenious	Asten	NB	Opslagsystemen						•			
121	Hydron Energy	Noordwijkerhout	ZH	Elektrolyse, MEA								•	
122	HyET Hydrogen	Arnhem	GLD	Compressoren								•	
123	HyGear	Arnhem	GLD	Reformers, elektrolyse, waterstof							•		•
124	HyGro	Alkmaar	NH	(Wind)elektrolyse, subsystemen							•	•	
125	HyMatters	Arnhem	GLD	Consultancy									•
126	Hymove	Arnhem	GLD	Aandrijfsystemen, engineering								•	•
127	Hysolar	Nieuwegein	UT	Brandstoffen retail		•							
128	Hytruck	Beverwijk	NH	Speciale voertuigen		•							
129	Hyundai Nederland	Sassenheim	ZH	Voertuigen		•							
130	IHC Holland	Kinderdijk	ZH	Scheepsbouw		•							

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobiliteit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
131	IHC Merwede Holding	Kinderdijk	ZH	Scheepsbouw		•							
132	IHC Shipbuilding	Kinderdijk	ZH	Scheepsbouw		•							
133	IHI Hauzer Techno Coating	Venlo	LB	Coatings en coatingmachines								•	
134	IMI precision Engineering	Almere	FL	Hogedruksystemen								•	
135	Intergas Verwarming	Coevorden	DR	Warmtesystemen			•						
136	Intertech Mechanical	Groot-Ammers	ZH	Mobiele energievoorziening	•								
137	Inven	Breda	ZH	Detectieapparatuur								•	
138	Itho Daalderop Nederland	Schiedam	ZH	Warmtesystemen			•						
139	Jenbacher (GE Power)	Alblasserdam	ZH	Warmtesystemen			•						
140	Jongeneel	Valkenburg	ZH	Wegtransport					•				
141	JP-Energiesystemen	Austerlitz	UT	Consultancy									•
142	JP van der Meer	Hilvarenbeek	NB	Consultancy									•
143	Keolis Nederland	Deventer	GLD	Personenvervoer		•							
144	Kerkhof & Zn	Den Haag	ZH	Brandstoffen retail		•							
145	Kiremko	Montfoort	UT	Machinefabrikant industrie								•	
146	KIWA	Apeldoorn	GLD	Certificering en testen									•
147	Kuwait Petroleum Research and technology	Rotterdam	ZH	Onderzoek, kwaliteitscontrole									•
148	KVE Composites Group	Den Haag	ZH	Materialen								•	
149	KWR Water Technology	Nieuwegein	UT	Onderzoek water									•
150	Lagerwey Systems	Barneveld	GLD	(Wind)elektrolysesystemen							•		
151	Lamers	Nijmegen	GLD	Ingenieursbureau									•
152	Landustrie Sneek	Sneek	FR	Afvalwaterzuivering				•					
153	Leak Control Benelux	Dordrecht	ZH	Detectieapparatuur								•	
154	Liander	Arnhem	GLD	Netbeheer					•				
155	Linde Gas Benelux	Schiedam	ZH	Industriële gassen/waterstof				•			•		
156	Liqual	Breda	NB	Engineering									•
157	Louwman & Parqui Toyota	Raamsdonksveer	NB	Voertuigen verkoop		•							
158	Magneto Special Anodes	Schiedam	ZH	Elektroden, onderdelen elektrolyse								•	
159	Maximator Benelux	Wateringen	ZH	Compressoren								•	
160	Mokveld Valves	Gouda	ZH	Hogedruksystemen								•	
161	Mourik	Groot Ammers	ZH	Infratechniek aannemerij									•
162	Mourik Services	Rotterdam	ZH	Onderhoud hogedrukinstallaties									•
163	MSN Marine	Westerbroek	GR	Scheepsbouw		•							
164	MTSA technopower	Arnhem	GLD	Procesinstallaties, engineering				•			•	•	
165	MTU Benelux	Dordrecht	ZH	Aandrijfsystemen scheepvaart								•	
166	Nalco Nederland	Oegstgeest	ZH	Waterbehandeling								•	
167	Nedap	Groenlo	GLD	Engineering									•
168	Nedmag	Veendam	GR	Materialen								•	
169	Nedstack Fuel Cell Technology	Arnhem	GLD	Brandstofcellen								•	
170	Nefit Industrial	Deventer	OV	Warmtesystemen			•						
171	New Cosmos - BIE	Heerhugowaard	NH	Gasdetectiesystemen								•	
172	Niestern Sander Reparatie	Farmsum	GR	Onderhoud scheepvaart systemen									•
173	NMi	Delft	ZH	Meetdiensten									•
174	Nouryon	Rotterdam/Delfzijl	GR	Waterstof bijproduct							•		
175	Nprox	Heerlen	LB	Opslagtanks								•	
176	N-Tra (Rendo)	Meppel	DR	Netbeheer					•				
177	Nuon Vattenfall	Arnhem	GLD	Energieproductie	•								
178	NXP Semiconductors Netherlands	Nijmegen	GLD	Chipproductie								•	

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobiliteit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
179	O3 Systems	Eindhoven	NB	Oplossingen energieopslag						•			
180	OCI-Nitrogen	Geleen	LB	Kunstmestproductie				•					
181	Oiltanking	Amsterdam	NH	Opslag						•			
182	Oranegas	Amsterdam	NH	Brandstoffen Retail		•							
183	OUXO energy	Tynaarlo	DR	Elektrolysesystemen								•	
184	Parker	Oldenzaal	OV	Elektrolysesystemen								•	
185	Soluforce Pipelife	Enkhuizen	NH	Leidingsystemen								•	
186	Pitpoint (Total)	Nieuwegein	UT	Brandstoffen Retail		•							
187	Powerspex	Hengelo	OV	Engineering									•
188	Prins Autogas Systemen	Eindhoven	NB	Brandstofsysteem								•	
189	Profinergy	Utrecht	UT	Engineering									•
190	Proton Ventures	Schiedam	ZH	Productie- en opslagsystemen									•
191	Pure Water Group	Sprundel	NB	Waterbehandeling								•	
192	Qbuzz	Groningen	GR	Personenvervoer		•							
193	Qirion	Duiven	GLD	Hoogspannings Energienetten beheer, onderhoud, nieuwbouw									•
194	Quintel Intelligence	Amsterdam	NH	Consultancy									•
195	Ravo	Alkmaar	NH	Speciale voertuigen		•							
196	REBEL	Rotterdam	ZH	Consultancy									•
197	Recoy	Amsterdam	NH	Consultancy									•
198	REDstack	Sneek	FR	Energieopslag							•		
199	Remeha	Apeldoorn	GLD	Warmtesystemen			•						
200	RENDO	Meppel	DR	Gasdistributie pijpleiding					•				
201	RESATO	Assen	DR	Compressoren								•	
202	RET	Rotterdam	ZH	Personenvervoer		•							
203	RHDHV	Amersfoort	UT	Ingenieursbureau									•
204	Rijngas	Arnhem	GLD	Industriële gassen/waterstof				•			•		
205	Rootselaar	Nijkerk	GLD	Opslagtanks								•	
206	SBM Offshore	Schiedam	ZH	Boorplatforms								•	
207	Schenk Tanktransport	Papendrecht	ZH	Wegtransport					•				
208	SCW	Alkmaar	NH	Superkritische watervergassing							•		
209	Shell	Den Haag	ZH	Brandstoffen retail, raffinaderijen, chemie		•		•			•		
210	Siemens	Den Haag	ZH	Elektrolyse, Elektronica							•	•	
211	SPIE Nederland	Breda	NB	Onderhoud hogedrukinstallaties									•
212	Spijkstaal Peinemann	Hoogvliet	ZH	Speciale voertuigen		•							
213	Stedin	Rotterdam	ZH	Netbeheer					•				
214	Stichting New Energy Coalition	Groningen	GR	Consultancy									•
215	Stichting The Green Village	Delft	ZH	Onderzoek					•				
216	Stork	Utrecht	UT	Ingenieursbureau									•
217	Stork Technical Services Holding	Hengelo	OV	Onderhoud hogedrukinstallaties									•
218	Stork Thermeq	Hengelo	OV	Warmtewisselaars								•	
219	Stratelligence	Leiden	ZH	Consultancy									•
220	Strukton Worksphere	Eindhoven	NB	Engineering gebouwde omgeving									•
221	Swagelok Nederland	Waddinxveen	ZH	Hogedruksubsystemen								•	
222	TAQA Offshore	Alkmaar	NH	Energie en offshore	•								
223	TATA	IJmuiden	NH	Waterstof bijproduct				•			•		
224	Techni Control International	Hoogeveen	DR	Hogedruksubsystemen								•	

Nr	Naam	Locatie(s)	Provincie	Product(en)/Diensten	e-productie	mobilititeit	LTW	industrie	distributie	opslag/overslag	H ₂ -productie	toeleverancier	diensten
225	Technologies Added	Emmen	DR	Fieldlab smart industry									•
226	Teesing	Rijswijk	ZH	Hogedruksubsystemen								•	
227	Teijin	Arnhem	GLD	Materialen; o.a. koolstofvezels								•	
228	Tennet	Arnhem	GLD	Conversiediensten	•								
229	Tieluk	Leeuwarden	FR	Warmtesystemen			•						
230	TNO Science and Industry	Delft	ZH	R&D									•
231	Toyota Material Handling Nederland	Ede	GLD	Heftrucks op waterstof		•							
232	Tradinco Instrumenten-Apparaten	Zoetermeer	ZH	Waterstofmeetsensoren								•	
233	Twinning Energy	Maarn	UT	Waterstofvulpunten									•
234	Vaillant Group Netherlands	Amsterdam	NH	Warmtesystemen			•						
235	Van der Heide	Drachten	FR	Bliksembeveiliging, aarding engineering									•
236	Van Dorp Installatiebedrijven	Zoetermeer	ZH	Technische installaties									•
237	Van Remmen UV Techniek	Wijhe	OV	Waterzuiveringstechnieken								•	
238	VBR Turbine Partners	Elst	GLD	Turbineonderhoud / energieopwekkingsapparatuur								•	
239	VCC (VCC ASE)	Ooij	GLD	Hogedruksubsystemen								•	
240	VDL Bus & Coach Nederland bv	Valkenswaard	NB	Vrachtwagens en bussen		•							
241	VDL Enabling Transport Solutions	Eindhoven	NB	Aandrijfsystemen								•	
242	Veco	Eerbeek	GLD	Brandstofcelonderdelen en elektrodes								•	
243	Viessmann Nederland	Capelle a/d IJssel	ZH	Warmtesystemen			•						
244	Vincotte	Breda	NB	Keuringen									•
245	Visser & Smit Hanab Distributie	Papendrecht	ZH	Civiele werken									•
246	VOPAK	Rotterdam	ZH	Opslag						•			
247	VSL	Delft	ZH	Standaards certificering en testen									•
248	VSPARTICLE	Delft	ZH	Electrodes en apparatuur								•	•
249	Wärtsilä Netherlands	Drunen	NB	Verbrandingsmotoren								•	
250	Westfalen	Enschede	OV	Industriële gassen/waterstof				•			•		•
251	Winterwarm	Winterswijk	GLD	Warmtesystemen			•						
252	Witteveen en Bos	Deventer	OV	Ingenieursbureau									•
253	WL Techniek	Rotterdam	ZH	Meettechniek, onderhoud, ontwerp, installatie									•
254	Yanmar Europe	Almere	FL	Verbrandingsmotoren, warmtesystemen, speciale voertuigen		•	•					•	
255	YARA	Vlaardingen/Sluiskil	ZH	Kunstmestproductie				•					
256	Yokogawa	Amersfoort	UT	Meetinstrumenten dataprocessors								•	
257	Zem Projects	Den Haag	ZH	Consultancy									•
258	Zepp Solutions	Delft	ZH	Brandstofcellen									•
259	Zett	Arnhem	GLD	Leasing nul emissie voertuigen									•

Disclaimer:

Deze lijst met bedrijven die actief zijn met ontwikkelingen op het gebied van waterstof in Nederland is samengesteld in september 2019. Met vragen en opmerkingen kunt u contact opnemen met Rogier Blokdijk, +31 (0) 6 83 52 69 41 of hydrogen@fme.nl.

Eigenschappen van waterstof

Waterstof kent vele eigenschappen, die het tot een veelzijdig inzetbaar molecuul maken. Het universum bestaat voor 63% uit Waterstof.

Technologie die bedoeld is voor gebruik met waterstof is ontwikkeld rekening houdend met de eigenschappen van dit bijzondere element en molecuul (H₂). Sommige eigenschappen kunnen voor een bepaalde toepassing voordelig zijn, andere nadelig.

Hieronder volgen in algemene zin een paar waterstofeigenschappen die veel invloed hebben op componenten en toepassingen:

- Licht ontvlambaar brandbaar gas
- Veel lichter dan lucht
- Moleculen zijn zeer klein
- Kleurloos
- Geurloos
- Hoge gravimetrische energiedichtheid, maar relatief lage volumetrische energiedichtheid (ca. 1/3 van aardgas)
- Heeft erg weinig ontstekingsenergie nodig om (in aanwezigheid van zuurstof) te kunnen ontbranden
- Kan in een bepaalde mengverhouding met zuurstof explosief ontbranden
- Brandt (door afwezigheid van koolstof) met een nagenoeg onzichtbare vlam. De vlam geeft daarnaast weinig IR-straling (warmte) af

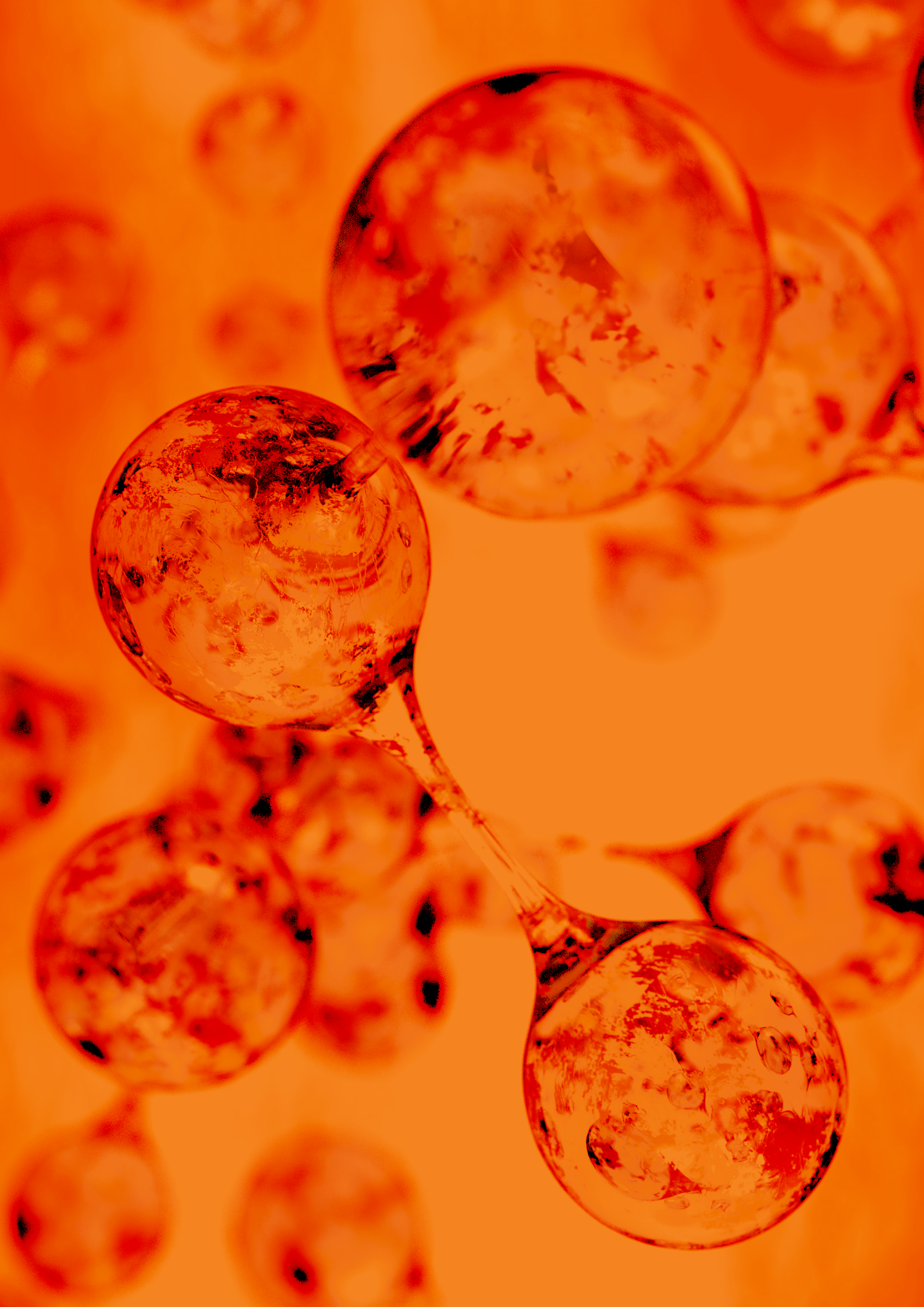
- De atomen kunnen zich in het metaalrooster van bepaalde metalen nestelen, waardoor de materiaaleigenschappen daarvan negatief beïnvloed kunnen worden
- Lage viscositeit
- Hoge soortelijke warmte, en goede warmtegeleidingscoëfficiënt (voor gassen)
- Vloeibaar enkel door zeer sterk afkoelen (-253 °C)

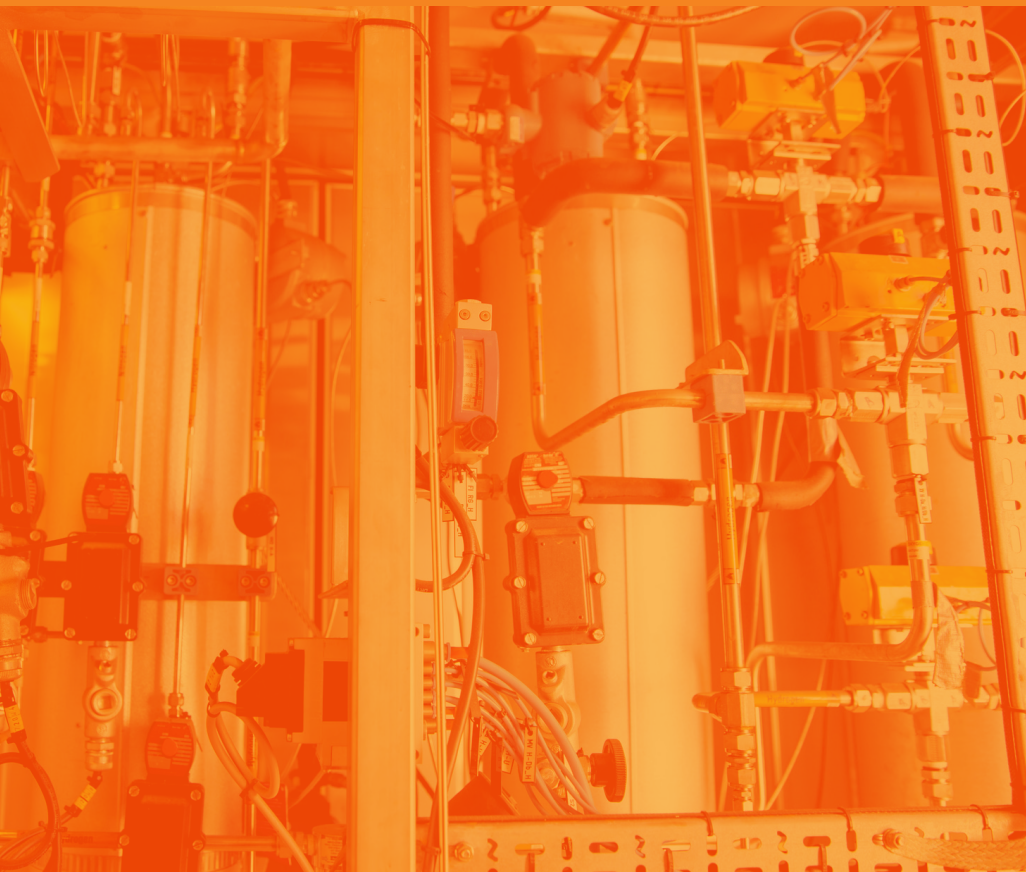
Bovenstaande eigenschappen leiden er bijvoorbeeld toe dat:

- Waterstof vaak onder hoge druk wordt opgeslagen
- Speciale gasblokkerende liners en pakkingsmaterialen worden toegepast
- ATEX-richtlijnen van toepassing zijn
- Voor sommige toepassingen metaallegeringen kiezen waar waterstof niet of nauwelijks in het metaalrooster kan dringen (o.a. voor gasvoerende elementen met wisselende belasting)
- Er een geurstof moet worden toegevoegd (net als bij aardgas) om het met menselijke zintuigen te kunnen waarnemen
- Waterstof zowel in verbrandingsprocessen kan worden ingezet als in elektrochemische processen
- Branddetectie met UV en/of IR sensoren i.v.m. slechte zichtbaarheid zuivere waterstofvlam
- Waterstof als de ultieme koolstofvrije energiedrager wordt gezien
- Er nog veel onderzoek wordt gedaan naar effectievere (dan gas of vloeibaar) opslagmethodes voor verschillende toepassingen, bijvoorbeeld chemische hydrides.

Tabel 15: eigenschappen van waterstof vergeleken met methaan (aardgas)

Eigenschap	Waterstof	Methaan
Moleculair gewicht [g/mol]	2,016	16,043
Dichtheid gasvorming [kg/m ³]	0,08	0,65
Dichtheid vloeibaar [kg/m ³]	71	430 – 470
Minimum ontstekingsenergie [MJ]	0,02	0,28
Minimale uitdovingsafstand [mm]	0,64	2,03
Lage verbrandingswaarde [MJ/kg]	120	50
Stoichiometrische lucht/brandstofverhouding [kg/kg]	34,2	17,1
Ontvlambaarheidsgrenzen in lucht [vol%]	4 - 75	5 - 15





Betrokken organisaties en personen

- **Ekinetix**
Jaco Reijkerkerk
- **Stratelligence**
Gigi van Rhee
- **RVO**
Herman Prinsen, Sarah Vaessen
- **Min. EZK**
Han Feenstra, Noé van Hulst
- **FME**
Hans van der Spek, Rogier Blokdijk
- **Nederlandse Verwarmingsindustrie**
Coen van de Sande
- **TNO ECN**
Marcel Weeda
- **TKI Nieuw Gas**
Jörg Gigler
- **JP vd Meer Consultancy**
Jan Piet van der Meer
- **Waterstofnet**
Adwin Martens
- **H2Platform**

FME

Zilverstraat 69
P.O. Box 190
2700 AD Zoetermeer
The Netherlands

+31 (0)79 353 11 00
info@fme.nl
www.fme.nl

