



Werk door groene waterstof

Eerste verkenning naar behoud van
werkgelegenheid en creëren van
nieuwe banen door grootschalige uitrol
groene waterstof in Nederland



Committed to the Environment

Werk door groene waterstof

Eerste verkenning naar behoud van werkgelegenheid en creëren van nieuwe banen door grootschalige uitrol groene waterstof in Nederland

Dit rapport is geschreven door:

CE Delft: Cor Leguijt, Stefanie van de Water, Dagmar Nelissen

Hinicio: Wouter Vanhoudt, Thomas Winkel, Henri Bittel

Delft, CE Delft, december 2018

Publicatienummer: 18.180015.153

Waterstof / Energieproductie / Werkgelegenheid / Installaties / Elektrolyse / Productie / Infrastructuur

Opdrachtgevers: Port of Amsterdam, Gemeente Amsterdam, Provincie Zuid-Holland, North Sea Port, Provincie Zeeland, Provincie Groningen, Groningen Seaports, Gasunie en Nouryon

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Cor leguijt](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	4
	1.1 Aanleiding	4
	1.2 Onderzoeksvraag	4
	1.3 Methodologie	6
	1.4 Leeswijzer	9
2	Ontwikkeling waterstofeconomie	10
	2.1 Huidige en toekomstige toepassingen waterstof	10
	2.2 Vraagscenario's waterstof Nederland	10
	2.3 Vraagscenario's waterstof Mondiaal	13
3	Werkgelegenheidseffecten	16
	3.1 Introductie	16
	3.2 Elektrolyse-installaties in Nederland	16
	3.3 Apparatuur gastransportnetwerk, toepassing in Nederland	19
	3.4 Apparatuur gebouwde omgeving, toepassing in Nederland	20
	3.5 Waterstof in transportsector (in Nederland)	22
	3.6 Waterstof in industrie (NL); kwalitatief	24
	3.7 Elektrolyzers produceren in Nederland voor de wereldmarkt	26
	3.8 Apparatuur produceren in Nederland voor de wereldmarkt (kwalitatief)	28
	3.9 Overzicht werkgelegenheid per sector	28
4	Regionale ontwikkelingen	32
	4.1 Introductie	32
	4.2 Noord-Nederland	33
	4.3 Regio Noordzeekanaalgebied (NZKG)	35
	4.4 Regio Rotterdam	38
	4.5 Regio Zeeland	41
5	Conclusies	44
6	Geraadpleegde bronnen	46
A	Huidige markt electrolyzers	48
B	Aannames	49



Samenvatting

De vraag en productie van groene waterstof zal naar verwachting sterk stijgen in de komende decennia, zowel mondiaal als in Nederland. De ranges in met name het groeitempo van waterstof in de verschillende mondiale en nationale scenario's zijn nog relatief groot, en hangen onder andere af van de inzet op de realisatie van de mondiale klimaatafspraken die in Parijs zijn gemaakt.

Groene productie van waterstof door elektrolyse kan een substantiële bijdrage leveren aan het behoud van werkgelegenheid en het creëren van nieuwe banen in Nederland als waterstof op grote schaal toegepast gaat worden. Een overzicht is gegeven in Tabel 1. Ter vergelijking: de huidige werkgelegenheid in Nederland in de chemiesector is 41.000 FTE, in de aardgaswinning 4.700 FTE, en in de energievoorzieningssector 25.000 FTE

Tabel 1 - Overzicht van de werkgelegenheidscijfers

Jaar	Totale eenmalige werkgelegenheid (gemiddeld, in FTE/jr)	Terugkerende werkgelegenheid (in FTE/jr)
2030	350-1.750	800-16.500
2050	850-4.750 (*)	17.500-75.000

(*) Exclusief werkgelegenheid door investeringen in transportnetten en opslag, omdat daarvoor nog geen bruikbare cijfers beschikbaar zijn voor de periode na 2030.

De bouw van waterstofproductie-installaties, het ombouwen van aardgasinfrastructuur naar waterstof en het installeren van waterstofketels en -warmtepompen leveren eenmalige werkgelegenheid op. Zolang de vraagmarkt blijft groeien is er ook steeds vraag naar deze op zich- eenmalige arbeid. Tot en met 2030 ligt dit naar verwachting tussen de 350 en 1.750 FTE gemiddeld per jaar, mits de waterstofbackbone gerealiseerd gaat worden. Tot en met 2050 ligt de werkgelegenheid tussen de 850 en 4.750 FTE/jr. Dat is exclusief de werkgelegenheidseffecten van verdere investeringen in waterstofinfrastructuur omdat daarvoor nog geen bruikbare schattingen bekend zijn.

De terugkerende werkgelegenheid ontstaat uit productie van installaties en voertuigen, het bedrijven daarvan ('operations') en onderhoud. De terugkerende werkgelegenheid is uitgedrukt in FTE per jaar op een bepaald tijdstip (2030, 2050).

In 2030 ligt de terugkerende werkgelegenheid tussen de 800 en 16.500 FTE/jaar en in 2050 17.500 en 75.000 FTE/jaar. Daarin overheerst de werkgelegenheid voor transport die voor een groot gedeelte bestaat uit het onderhoud van voertuigen. De export van electrolyzers of onderdelen daarvan kan tot 750-1.250 banen opleveren in 2030, en tot 1.100-1.850 in 2050.

De informatie over de visies en huidige activiteiten met betrekking tot waterstof uit vier Nederlandse regio's laat zien dat de genoemde cijfers niet alleen een theoretische mogelijkheid zijn, maar dat er ook hard gewerkt wordt om die mogelijkheid om te zetten in realiteit. Dat vergt echter wel een overheidsbeleid dat daar op aansluit, onder andere om te borgen dat de benodigde investeringen in infrastructuur ook daadwerkelijk en tijdig worden gedaan.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland hebben we het doel omarmd om een CO₂-vrije maatschappij te zijn in 2050, door het tekenen van het Parijs akkoord. Op dit moment wordt hard gewerkt aan een klimaatakkoord, waarin de verschillende routes naar onze duurzame toekomst worden uitgestippeld. De potentie van groene waterstof als één van de robuuste middelen om dat doel te bereiken is serieus aangeslagen in Nederland. Over groene waterstof als energiedrager en als grondstof voor de industrie wordt inmiddels veel gesproken. Wat echter daarbij nog vaak onderbelicht blijft zijn de mogelijke economische kansen voor Nederland die grootschalige uitrol van groene waterstof naar verwachting met zich mee brengt.

De volgende leden van de Waterstofcoalitie – Port of Amsterdam, Gemeente Amsterdam, Provincie Zuid-Holland, North Sea Port, Provincie Zeeland, Provincie Groningen, Groningen Seaports, Gasunie en Nouryon – willen daarom graag de werkgelegenheidseffecten van de waterstofeconomie¹ in Nederland bepaald zien.

De informatie is bedoeld om te gebruiken bij de lopende gesprekken over het klimaatakkoord. Om die reden gaat het ook om een eerste verkenning, naar ordegrottes van de verschillende werkgelegenheidseffecten. Een nadere verdieping van die eerste verkenning kan in een vervolgproject worden uitgevoerd.

De vraagstelling is niet alleen gericht op het in Nederland produceren en gebruiken van ‘groene waterstof’, maar ook op het in Nederland ontwikkelen en produceren van de benodigde electrolyzers (of componenten daarvan) en van andere apparatuur die nodig is in de waterstofeconomie, als exportproduct voor de verwachte wereldmarkt voor waterstof.

Met ‘groene waterstof’ wordt hier bedoeld: produceren van waterstof met water-electrolyzers, gebruikmakend van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Specifiek voor Nederland zijn dat vooral: windparken op zee.

1.2 Onderzoeksvraag

De algemene vraag is: Wat zijn de werkgelegenheidseffecten van de waterstofeconomie in Nederland, zowel van het produceren en gebruiken van groene waterstof in Nederland, als van het produceren in Nederland van electrolyzers en andere voor de waterstofeconomie benodigde componenten? Met daarbij ook een beeld van de perspectieven voor de Nederlandse regio's Provincie Groningen, Noordzeekanaalgebied, Rotterdam en Zeeland.

De tijdshorizon van de verkenning is 2050 met een tussenstap in 2030.

¹ Het beeld is dat het gaat om transport en distributie van pure waterstof als klimaatneutrale energiedrager, niet om een beperkte bijmenging van waterstof in aardgas.

Voor deze eerste verkenning is de algemene onderzoeksvraag nader afgebakend. Afgesproken is om te kijken naar de volgende specifieke onderdelen van de waterstof-economie:

1. Electrolyzers: installeren en in bedrijf hebben in Nederland, ten behoeve van productie van groene waterstof.
2. Vervangen apparatuur in Nederland: CV-ketels, compressoren.
3. Waterstof in transportsector (bouwen waterstoftankstations, bouwen waterstofbussen, onderhoud waterstofvoertuigen en waterstoftankstations).
4. Waterstof in chemie.
5. Electrolyzers: maken in Nederland voor de wereldmarkt (export).
6. Apparatuur (zoals bijvoorbeeld compressoren, (componenten van) brandstofcellen, HR-ketels op waterstof, hybride warmtepompen op waterstof, gasmeters): maken in Nederland voor de wereldmarkt (export).

Sommige onderdelen zijn kwantitatief bepaald, sommige alleen kwalitatief, zie Tabel 2.

Tabel 2 - Onderdeel en te uitgevoerde stappen per onderdeel

Onderdeel	Stappen per onderdeel
Electrolyzers, toepassing in NL	– Vraagscenario's waterstof in NL (bandbreedte); vraag in elk jaar. – Bepalen benodigd opgesteld vermogen elektrolyzers, incl. verdeling over grote en kleinere electrolyzers. – Investeringskentallen en operationele kosten gebruiken en aandeel arbeid daar in (eenmalig bij installatie, permanent bij gebruik). – Resulteert in eenmalige en terugkerende werkgelegenheid.
Apparatuur, toepassing in NL	– Uitgaan van vraagscenario's waterstof in NL. – Kwantitatief voor ombouw aardgastransportnet². – Kwantitatief voor ombouw CV-ketels in gebouwde omgeving. – Kwalitatief voor ombouw HT-processen in industrie.
H ₂ in transport (NL)	– Uitgaan van vraagscenario's waterstof in NL voor transport. – Vertalen naar tankstations en aantallen voertuigen. – Bepalen investeringen en operationele kosten, en aandeel arbeid daarin.
H ₂ in chemie	– Kwalitatief benoemd.
Electrolyzers produceren voor wereldmarkt	– Uitgaan van mondiale scenario's voor H₂; vraag in elk jaar – Bepalen op te stellen vermogen electrolyzers wereldwijd. – Aannames doen voor aandeel Nederlandse productie in die markt. – Combineren met kentallen uit Onderdeel 1, en aandeel arbeid in de kostprijs van electrolyzers. – Resulteert in arbeid in Nederland.
Apparatuur produceren voor wereldmarkt	– Kwalitatief benoemd.

De afbakening van deze studie afgezet tegen de bredere scope van de totale waardeketen in de waterstofeconomie is opgenomen in Tabel 3.

² Het eventueel vervangen of aanpassen van niet voor waterstof geschikte aardgasdistributienetten is buiten scope van de berekeningen.

Tabel 3 - Overzicht segmenten en deelsegmenten van de waardeketen in de waterstofeconomie. Cursief en geel gemarkeerd betekent: in scope voor deze eerste verkenning (sommige alleen kwalitatief, zie Tabel 2)

Segmenten	Deelsegmenten
Feedstock (input H ₂ -productie)	Aardgas
	(Hernieuwbare) elektriciteit ³
	Biomassa
	Restproductie waterstof
	Geïmporteerde waterstof
H ₂ -productie (binnenlands)	<i>Electrolyzers</i>
	SMRs
	Chloor Alkali
	(CCS)
	Grid services
Infrastructuur en distributie	LH ₂ -schepen, liquefaction
	<i>H₂-infra (pijpleidingen - gebouwde omgeving, industrie) en opslag (tanks, ondergronds)</i>
	H ₂ -distributie via tubetrailers
	<i>Aanpassingen bestaand aardgasnetwerk</i>
Voer- en vaartuigen	<i>Auto's en taxi's, vrachtwagens, bestelbusjes, bussen</i> , vorkliften, schepen, treinen
H ₂ -tankstations	<i>H₂-tankstations</i>
Industrie (huidig en nieuwe processen/toepassingen)	<i>Chemie: ammoniak, syngas, polymer and resin production</i>
	Refining en transportbrandstof incl. synthetische brandstoffen
	Staal en ijzer (incl. DRI)
	Andere sectoren (e.g. glas, food, semi-conductor)
	Hoogwaardige warmte
	Brandstofcellen (brandstofcellen voor prime power en WKK - PEM)
	<i>H₂-boilers/ketels (nieuw en ombouw)</i>
	Grootschalige elektriciteitsproductie (H ₂ -verbranding)

1.3 Methodologie

Er bestaan grosso modo vier methodes voor het berekenen van werkgelegenheidseffecten, met oplopende mate van detail en complexiteit. Deze zijn in Figuur 1 schematisch weergegeven.

³ De werkgelegenheid die samenhangt met de aanleg van windparken op zee is buiten scope van de berekeningen.

Figuur 1 - Verschillende methodieken (en scopes) voor berekenen werkgelegenheidseffecten

	Sectorstudies	Macro-economische impact studies (alle/cross-sectors)	
Direct, Bruto banen	Employment factor approach (kentallen)	Gecorrigeerde (netto) input-output modellering (met een correctie voor de zogenaamde consumptie-vector, en vergeleken met referentiescenarios)	Direct + indirect, bruto banen
Direct + indirect, Bruto banen	Bruto input-output modellering (multipliers)	Economische modellering met verschillende scenarios	Direct + indirect, bruto + netto banen

In deze studie is de zogenaamde ‘employment factor approach’ gevolgd (zoals in de linkerbovenhoek van Figuur 1). Deze geeft inzicht in de **directe en bruto banen** als gevolg van de uitrol van aan waterstof gerelateerde technologieën en toepassingen. Het voordeel van deze aanpak is dat er relatief snel inzicht kan worden verkregen in werkgelegenheidsaantallen op basis van beperkte informatie en data, met een acceptabele mate van nauwkeurigheid, zonder complexe en arbeidsintensieve macro-economische modellering toe te passen. Deze aanpak vormt een goede basis om in een vervolgfase meer in detail te gaan waarbij bijvoorbeeld ook indirecte werkgelegenheid en netto-effecten kunnen worden bepaald.

Daarnaast is daar waar relevant benoemd (kwalitatief, niet kwantitatief) als het gaat om verdringing van bestaande arbeid die zal afnemen of verdwijnen door het ontwikkelen van de waterstofeconomie in Nederland. We bedoelen daarmee dat waterstof als klimaat-neutrale energiedrager en brandstof in de plaats komt van aardgas en van fossiele brandstoffen voor mobiliteit en transport.

De employment factor approach

Zoals gezegd geeft deze aanpak inzicht in de directe werkgelegenheid. In deze verkennende studie is daarbij een **top-downaanpak** gevolgd, die in een eventueel vervolgproject kan worden uitgebreid naar een bottom-upaanpak.

In de top-downaanpak maken we gebruik van de totale kostprijs van bijvoorbeeld het bouwen van een waterstofbus, en bepalen daarin het aandeel werkgelegenheid. In een bottom-upaanpak bepalen we de waardeketen van de, in hetzelfde voorbeeld, voertuigen, door te kijken naar de verschillende componenten waaruit het voertuig is opgebouwd en de daarmee samenhangende hoeveelheden arbeid.

Werkgelegenheid: uitleg van begrippen bruto, netto, eenmalig, permanent

In deze studie wordt de werkgelegenheid verkend die in Nederland gemoeid kan gaan met de productie en gebruik van waterstof in Nederland, en met het gebruik van waterstof wereldwijd. Die werkgelegenheid is als bruto werkgelegenheid bepaald.

Dat de werkgelegenheid als bruto en niet als ‘netto werkgelegenheid’ wordt bepaald betekent, dat niet wordt nagegaan of het om additionele banen gaat. Banen zijn additioneel als deze door mensen worden ingevuld die anders werkeloos zouden zijn. Banen zijn *niet* additioneel als deze door mensen worden ingevuld die slechts van baan veranderen. Alleen als de banen die ontstaan tenminste gedeeltelijk additioneel zijn neemt de totale werkgelegenheid toe en is niet alleen het bruto maar ook het netto werkgelegenheidseffect positief.

Daarnaast is er het effect van de energietransitie. Bij het overschakelen van grote delen van de economie van de huidige fossiele brandstoffen (zoals bijvoorbeeld aardgas) naar alternatieven (zoals bijvoorbeeld groene waterstof) zullen banen in bijvoorbeeld de ‘aardgasketen’ - van winning tot toepassing incl. productie en onderhoud van apparatuur - geleidelijk verdwijnen. Deze werkgelegenheid in de huidige ‘aardgasketen’ komt tenminste voor een deel terug als werkgelegenheid in de ‘waterstofketen’. Dat betekent in dat geval een behoud van werkgelegenheid, die overigens wel een omscholing vergt.

De verwachting is dat de bruto werkgelegenheid als gevolg van een investering in een waterstofeconomie tenminste gedeeltelijk met een daadwerkelijke toename van de werkgelegenheid gepaard gaat. Of dit effect groter of kleiner is dan het effect van een investering in een alternatief transitiepad (bijvoorbeeld productie van elektrische bussen in plaats van waterstofbussen) is in deze studie niet onderzocht.

Verder wordt in het onderzoek onderscheid gemaakt tussen eenmalige en terugkerende werkgelegenheid. De bouw van fabrieken, het ombouwen van aardgasinfrastructuur naar waterstof en het installeren van waterstofketels en -warmtepompen leveren eenmalige werkgelegenheid op. De eenmalige werkgelegenheid is uitgedrukt in het gemiddelde aantal FTE per jaar tot 2030 en 2050. Dit gemiddelde is berekend door de eenmalige werkgelegenheid tot 2030 en 2050 te sommeren en te delen door het aantal jaar. In praktijk kan die werkgelegenheid in bepaalde jaren sterk pieken en in andere jaren verwaarloosbaar zijn. Zolang de vraagmarkt blijft groeien is er ook steeds nieuwe vraag naar deze – op zich – eenmalige arbeid. De terugkerende werkgelegenheid ontstaat uit productie, operatie en onderhoud van apparaten, voertuigen en installaties. De terugkerende werkgelegenheid is uitgedrukt in FTE per jaar op een bepaald tijdstip (2030, 2050).

Tabel 4 - Indeling in eenmalige- en terugkerende werkgelegenheid in deze studie

Eenmalige werkgelegenheid	Terugkerende werkgelegenheid
Bouw van waterstoffabrieken (in Nederland)	Exploitatie van waterstoffabriek (in Nederland)
Aanpassing aardgasinfrastructuur ten behoeve van waterstoftransport	Onderhoud van waterstoftransportinfrastructuur
Retrofit van gasketels	Onderhoud van hybride/waterstofketels
Productie van electrolyzers (of componenten daarvan) in Nederland, bestemd voor de mondiale markt	Bouw van waterstofvoertuigen/waterstofvoertuig-onderdelen Onderhoud van waterstofvoertuigen
	Bouw en plaatsen van waterstofpompen bij tankstations Onderhoud tankstations

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt eerst kort kwalitatief uiteengezet wat de huidige en toekomstige toepassingen zijn van waterstof in Nederland. Meer details staan opgenomen in Hoofdstuk 3, waarin ook een sectie is opgenomen over toepassingen in de industrie, zowel brandstoftoepassingen als grondstoftoepassingen (zie Paragraaf 3.6). In Hoofdstuk 2 staan ook scenario's opgenomen voor de kwantitatieve ontwikkeling van waterstof in Nederland en mondiaal. Deze scenariocijfers zijn de basis voor de werkgelegenheidsberekeningen in Hoofdstuk 3.

Bij de werkgelegenheidsberekeningen van de verschillende onderdelen staat steeds eerst een schematisch rekenschema opgenomen. Die schema's zijn bedoeld om een helder inzicht te bieden hoe de berekeningen zijn opgezet, en hoe de scenariocijfers stap voor stap zijn omgezet naar eenmalige en terugkerende arbeidsplaatsen. Dit helpt om de informatie over aannames en kentallen waarop vervolgens in iedere sectie wordt ingegaan steeds te kunnen plaatsen in hun effect op de uitkomsten. De gepresenteerde werkgelegenheidscijfers zijn afgerond om schijnnaauwkeurigheid te voorkomen. Details zijn opgenomen in bijlages. In Paragraaf 3.9 zijn de resultaten van de verschillende onderdelen vervolgens bij elkaar gezet. De cijfers zijn bedoeld om een wenkend perspectief te bieden van wat zou kunnen. Of dat perspectief ook werkelijkheid wordt is mede afhankelijk van het overheidsbeleid.

Teneinde niet alleen cijfers te tonen over wat in de toekomst mogelijk is, maar ook te laten zien wat dat gaat betekenen, en te tonen dat er in de verschillende regio's al hard wordt gewerkt om die toekomstbeelden naderbij te brengen is in Hoofdstuk 4 ingezoomd op vier Nederlandse regio's.

2 Ontwikkeling waterstofeconomie

2.1 Huidige en toekomstige toepassingen waterstof

Op dit moment is waterstof een belangrijke grondstof in de industrie. De huidige vraag naar waterstof in Nederland wordt geschat op 0,8 tot 0,9 Mton per jaar (CE Delft, 2018a). Waterstof wordt nu vooral gebruikt als grondstof in de industrie voor onder andere de productie van ammoniak en methanol en in raffinageprocessen. In de toekomst komen daar ook andere grondstoftoepassingen bij (zie Paragraaf 3.6). De huidige waterstofvraag wordt voor het grootste gedeelte met reforming-technieken uit aardgas geproduceerd. Daarnaast ontstaat waterstof als bijproduct in sommige chemische processen.

Naar verwachting zal waterstof, naast de toepassing als grondstof, in de toekomst ook een belangrijke rol spelen in de duurzame energievoorziening in verschillende sectoren:

- *Hoge temperatuur warmte industrie*
Waterstof kan in de industrie ook ingezet worden voor de verduurzaming van energie-vraag voor hoge-temperatuurprocessen. Dit zijn typisch processen boven de 650°C, waar puur elektrisch verwarmen niet goed toepasbaar is.
- *Transport en mobiliteit*
Waterstof kan ingezet worden als brandstof voor transport zowel voor personen- als goederenvervoer.
- *Elektriciteitsopwekking en balanshandhaving*
Door de opslagmogelijkheden van waterstof, kan waterstof een belangrijke rol spelen bij elektriciteitsopwekking en balanshandhaving. Als bijvoorbeeld windparken meer stroom leveren dan op dat moment nodig is kan dit worden omgezet in waterstof en opgeslagen (in zoutcavernes en in tanks). Als de productie op andere moment juist minder is dan de vraag, kan waterstof weer worden omgezet in elektriciteit.
- *Warmtevoorziening in de gebouwde omgeving*
Om de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in te vullen bestaan verschillende oplossingen. Welke oplossing het meest kosteneffectief is, hangt af van onder andere gebouweigenschappen, de topologie van een wijk en beschikbaarheid van alternatieve energiebronnen. Waterstof zou een optimale oplossing kunnen zijn als brandstof voor pieketels in stadswarmtenetten, als brandstof voor hybride warmtepompen in gebouwen, en als brandstof voor HR-ketels voor die delen van de gebouwde omgeving waar warmtenetten, hybride warmtepompen en ‘all electric’ te kostbare oplossingen vormen.

2.2 Vraagscenario's waterstof Nederland

Deze studie naar de werkgelegenheid richt zich op groene waterstof geproduceerd door elektrolyse met hernieuwbare elektriciteit. Waterstof wordt op dit moment voornamelijk uit aardgas geproduceerd met *steam reforming* en *autothermal reforming* ('grijze waterstof'). Wanneer de CO₂ die daarbij vrijkomt opgevangen en permanent opgeslagen (of vastgelegd) wordt, spreekt men van blauwe waterstof. In deze studie is aangenomen dat in 2030 een deel van de waterstofvraag en in 2050 de gehele waterstofvraag met groene waterstof ingevuld zal worden.

Voor de waterstofvraagscenario's in Nederland is uitgegaan van drie bestaande scenario's:

- scenario's opgesteld door de cross-sectorale werkgroep waterstof in het Klimaatakkoordproces;
- 'Waterstofroutes Nederland. Blauw, groen en import' (CE Delft, 2018a);
- 'Net voor de Toekomst' (CE Delft, 2017).

In deze scenario's zijn inschattingen gedaan voor respectievelijk het marktpotentieel, de vraag en het aanbod naar waterstof voor 2030 en 2050.

Om de scenario's voor groene waterstof voor Nederland op te stellen zijn twee ijkpunten gekozen: 2030 en 2050. Voor de komende vijf jaar, 2018-2023, is aangenomen dat de productie en vraag van groene waterstof nul is. De eerste pilotprojecten met grootschalige productie van groene waterstof zullen naar verwachting omstreeks 2023 gerealiseerd worden. Voor 2030 en 2050 is, op basis van bestaande scenariostudies, een bandbreedte voor de waterstofvraag bepaald. Tussen 2023 en 2030, 2030 en 2050 neemt de waterstofvraag lineair toe.

Voor de waterstofvraag in 2030 is een inschatting van de cross-sectorale werkgroep waterstof gebruikt. Zij schatten dat het aanbod van groene waterstof tussen de 0 en 50 PJ/jaar ligt in 2030. Deze bovengrens voor groene waterstofproductie is in lijn met de inschatting van het potentieel voor groen/blauwe waterstof van 72 PJ/jaar in de studie 'Waterstofroutes Nederland. Blauw, groen en import'. Die inschatting is weer gebaseerd op andere waterstofscenario studies: 'Verkenning van klimaatdoelen' (PBL, 2017); 'The green hydrogen economy' (NIB, 2017); 'Contouren van een routekaart waterstof' (TKI nieuw gas, 2018) en 'Net van de Toekomst' (CE Delft, 2017). Voor de berekening van de werkgelegenheid wordt een bovengrens van 50 PJ/jaar groene waterstof aangehouden.

De ondergrens in 2030 is gebaseerd op aangekondigde plannen van verschillende bedrijven om waterstofinstallaties te realiseren (zie volgend kader). De ondergrens is 0 tot met 2023 en 2,7 PJ/jaar (220 MW⁴) vanaf 2024.

Diverse bedrijven hebben aangekondigd grootschalige elektrolyse-installaties te willen realiseren voor de productie van groene waterstof:

- **Delfzijl (20 MW)** - Nouryon en Gasunie hebben aangekondigd om een 20 MW waterstofelektrolyse-installatie te realiseren in Delfzijl. Naar verwachting volgt de investeringsbeslissing in 2019 (Energeia, 2018a).
- **IJmuiden (100 MW)** - Nouryon, Tata Steel en Port of Amsterdam hebben aangekondigd een 100 MW waterstofelektrolyse-installatie te willen realiseren in IJmuiden. Als eerste stap voeren zij een haalbaarheidsstudie uit. De investeringsbeslissing wordt naar verwachting in 2021 genomen waarna bouw omstreeks 2023-2024 klaar zal zijn (Energeia, 2018b).
- **Eemshaven (100 MW)** - Engie & Gasunie hebben aangekondigd een 100 MW waterstof elektrolyse-installatie te bouwen in de Eemshaven (Energeia, 2018d).

Daarnaast zijn in Duitsland en Zeeland/Vlaanderen ook initiatieven voor de bouw van waterstofinstallaties. Zo willen de Duitse dochterbedrijven van TenneT en Gasunie samen met gastransporteur Thyssengas een 100 MW power-to-gas-installatie realiseren in het Noorden van Duitsland (Nedersaksen). De waterstofinstallatie zal vanaf 2022 in fasen opgeleverd worden (Energeia, 2018c). Smart Delta Resources heeft het voornemen om in 2025 een 100 MW electrolyser te realiseren.

Voor de waterstofvraag in 2050 zijn de resultaten uit de scenariostudie 'Net voor de Toekomst' (CE Delft, 2017) gebruikt. In die studie worden vier toekomstbeelden geschetst.

⁴ Uitgaande van 4.500 draaiuren en 77% efficiëntie van de electrolyse-installaties.

Deze toekomstbeelden zijn uitersten, zogenaamde ‘hoeken van het speelveld’. De waterstofvraag ligt tussen de 164 PJ/jaar (laag scenario) en 561 PJ/jaar (hoog scenario). Het lage scenario komt overeen met het toekomstbeeld ‘generieke sturing’, waarin de overheid wel sterk op het doel van CO₂-reductie stuurt, maar niet op de wijze waarop dat technisch wordt gerealiseerd. Waterstof is in dat beeld vooral voor transport belangrijk maar speelt daarbuiten geen grote rol. Het hoge scenario komt overeen met het toekomstbeeld ‘regie nationaal’, waarin Nederland zoveel mogelijk energie-zelfvoorzienend is en veel windparken op zee worden gerealiseerd. Er is dan veel opslag nodig in de vorm van waterstof omdat vraag en aanbod niet gelijktijdig zijn. Omzetting van elektriciteit naar waterstof gebeurt aan de kust of zelfs al op zee. In het hoge scenario is waterstof circa 30%⁵ van de totale finale energievraag (1.836 PJ/jaar).

Waterstofvraag per sector: transport en gebouwde omgeving

In Tabel 5 is de groene waterstofvraag in PJ/jr voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en voor de transportsector gegeven.

Tabel 5 - Waterstofvraag (in PJ/jr) in Nederland in de gebouwde omgeving en in de transportsector

	2020	2030	2050
Laag scenario	0,0	2,7	164,2
LT-warmte gebouwde omgeving		0,0	0,0
Transportsector		0	20
Hoog scenario	0,0	50	560,7
LT-warmte gebouwde omgeving		0,0	203,2
Transportsector		20	96,7

Voor de waterstofvraag in de gebouwde omgeving is verondersteld dat deze tot 2030 nul is, en dat de reductie van CO₂-emissies in die sector tot 2030 worden gerealiseerd door besparing (met name gebouwschilisolatie), vervanging van huidig aardgasgebruik door andere energiedragers (all electric, warmtedistributie, WKO) en door inzet van groengas (biogas dat wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit en wordt ingevoerd in het aardgas-netwerk). Dit is in lijn met de verwachting van de cross-sectorale werkgroep waterstof, die verwacht dat de waterstofvraag in de gebouwde omgeving kleiner is dan 1 PJ/jaar. Vanaf 2030 groeit de waterstofvraag in de gebouwde omgeving lineair naar de waarden zoals gemodelleerd in ‘Net voor de Toekomst’ (0-203 PJ/jaar in 2050). De cross-sectorale werkgroep waterstof gaat uit van een waterstofvraag in de gebouwde omgeving van 40-120 PJ/jaar in 2050.

Voor de waterstofvraag in de transportsector is aangenomen dat deze in 2030 tussen de 0 en 20 PJ/jaar ligt. De bovengrens (20 PJ/jaar) komt overeen met het midden-scenario dat is opgesteld door de cross-sectorale werkgroep waterstof. Dit betekent dat 40% van de groene waterstofproductie ingezet wordt voor de transportsector. De ondergrens is nul verondersteld omdat de totale groene waterstofproductie in 2030 in het lage scenario klein is (2,7 PJ/jaar). Dit betekent niet dat er geen transport op waterstof is. Voor 2050 is uitgegaan van het laag- en midden-scenario van de cross-sectorale werkgroep waterstof. De waterstofvraag in het midden scenario in 2050 komt ongeveer overeen met de

⁵ In ‘Net voor de Toekomst’ varieert de totale finale energievraag in 2050 tussen de 1.453 PJ/jaar en 1.836 PJ/jaar, aangezien er in die scenario’s ook andere aannames zijn opgenomen over besparing en groei. In het lage scenario is waterstof ruwweg 10% van de energievraag.

inschatting uit 'Net voor de Toekomst' voor de toekomstbeelden 'regie nationaal' en 'generieke sturing'. Met deze aannamen wordt respectievelijk 12 en 17% van de groene waterstofproductie in 2050 ingezet voor transport.

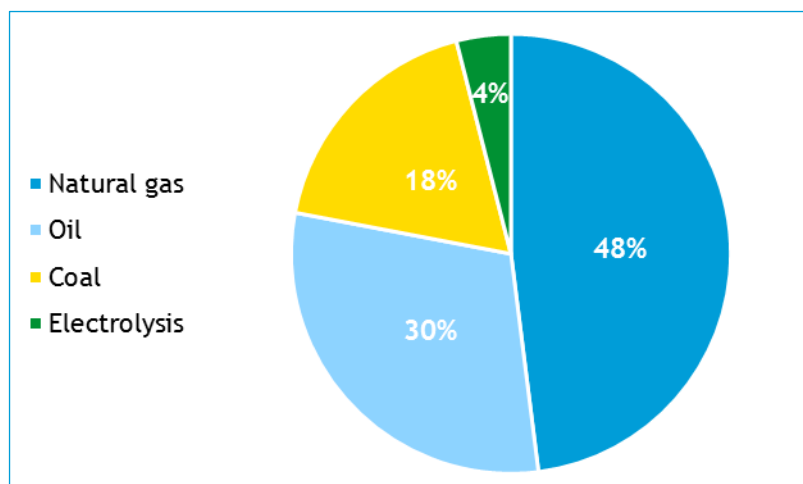
2.3 Vraagscenario's waterstof mondiaal

De vraagscenario's waterstof mondiaal worden bij de werkgelegenheidsberekeningen gebruikt om te verkennen wat de werkgelegenheidseffecten voor Nederland zouden zijn, gesteld dat in Nederland een deel van de wereldwijde productie van de benodigde electrolyzers (of componenten daarvan) zouden worden geproduceerd. De input voor die berekeningen is de mondiale ontwikkeling van de vraag naar groene waterstof.

2.3.1 Huidige situatie

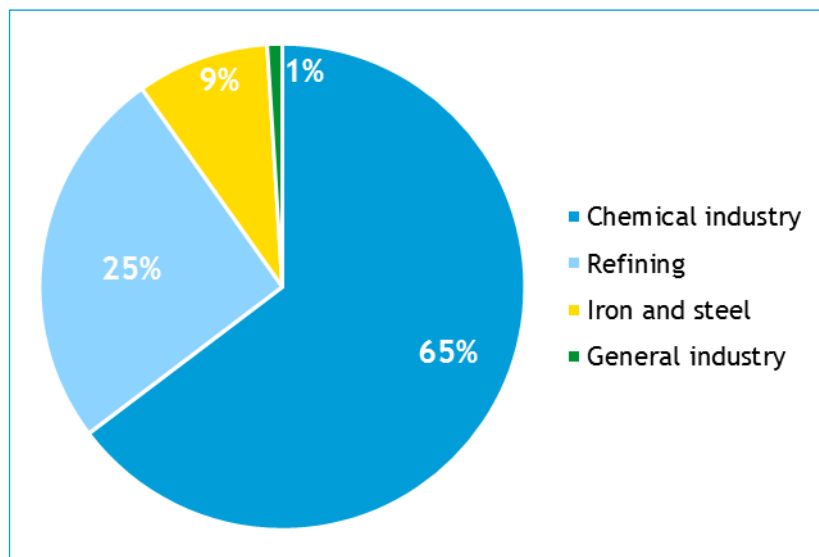
Waterstofproductie is niet iets van de toekomst. Ook nu wordt al op grote schaal waterstof geproduceerd. In 2008 werd de wereldwijde productie geschat op 6 EJ per jaar (Global CCS Institute, 2010). Waterstof kent op dit moment met name toepassingen in de industrie. Ongeveer 96% van de waterstof wordt geproduceerd met fossiele brandstoffen. Slechts 4% van de waterstofproductie wordt met elektrolyse-technieken geproduceerd, zoals weergegeven in Figuur 2 (Global CCS Institute, 2010).

Figuur 2 - Verdeling wereldwijde waterstofproductie naar bron/productiemethode (in 2008)



De toepassing van waterstof is weergegeven in Figuur 3. Ongeveer 55% van de mondiale waterstofproductie wordt gebruikt voor het maken van ammoniak, waarvan weer 80% wordt ingezet voor de productie van stikstofkunstmest. Ongeveer een kwart van de mondiale waterstofproductie wordt gebruikt door olieraffinaderijen. Tot slot wordt ongeveer 10% van de mondiale waterstofproductie ingezet voor de vervaardiging van methanol (Global CCS Institute, 2010).

Figuur 3 - Wereldwijde toepassing waterstof



De geschatte huidige productie van waterstof in Nederland bedraagt circa 10 miljard m³ per jaar (CE Delft, 2018a). Dit komt ruwweg overeen met 10,8 PJ per jaar en is ongeveer 0,15% van de wereldwijde productie.

2.3.2 Toekomstscenario's waterstof mondiaal

Om een inschatting te maken van de mondiale vraag naar waterstof zijn de volgende scenariostudies naar de mondiale waterstofvraag geraadpleegd:

- Hydrogen from renewable power - technology outlook for the energy transition (IRENA, 2018).
- Hydrogen scaling up - A sustainable pathway for the global energy transition (Hydrogen Council, 2017).
- Shell scenarios Sky-scenario meeting the goals of the Paris Agreement (Shell, 2018).
- Technologien für die Energiewende - Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Viebahn, et al., 2018).
- The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview (Riahi, et al., 2017).

De aannames en inschattingen in die studies verschillen sterk.

IRENA (2018)

In de studie van IRENA is het economisch potentieel voor waterstof bepaald voor 2050. De IRENA-studie verwacht een mondiale waterstofvraag in 2050 in de sectoren industrie en transport. In de industrie zal waterstof aardgas vervangen en gebruikt worden voor het produceren van chemische producten. Daarnaast zal waterstof als transportbrandstof ingezet worden. Voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving worden warmtepompen en biobrandstoffen ingezet. Om het variabele aanbod in elektriciteit uit hernieuwbare bronnen op te vangen noemt de studie opslag, transmissie en distributie capaciteit en demand-response. De inzet van waterstof wordt niet expliciet genoemd. De rol voor waterstof is in deze IRENA-scenariostudie dus beperkt. IRENA voorziet een waterstofvraag van 6,8 EJ/jaar voor transport en 0,9 EJ/jaar per jaar voor industrie.

Hydrogen Council (2017)

De Hydrogen Council heeft het technisch-economisch potentieel van waterstof in kaart gebracht. De Hydrogen Council schat de totale waterstofvraag in 2050 78 EJ per jaar is. Dit staat gelijk aan 18% van de wereldwijde finale energievraag. Zij voorzien dat waterstof in verschillende sectoren wordt toegepast: 19 EJ/jaar voor grondstoffen; 16 EJ/jaar voor industrie; 22 EJ/jaar voor transport; 11 EJ/jaar voor de gebouwde omgeving en 9 EJ/jaar voor elektriciteitsopwekking en -balanceren. De waterstofvraag in 2030 is geschat op 14,1 EJ/jaar (grondstoffen 11 EJ/jaar; industrie 0,7 EJ/jaar; transport 0,7 EJ/jaar; gebouwde omgeving 0,7 EJ/jaar; elektriciteitsopwekking en -balanceren 1 EJ/jaar).

Shell (2018)

Shell maakt ook inschattingen van de toekomstige toepassingen van waterstof. Shell heeft meerdere scenario's. Het Sky-scenario gaat ervan uit dat de Parijs-doelstelling gehaald wordt. In dit scenario is de waterstofconsumptie 0,43 EJ/jaar in 2030 en 8,74 EJ/jaar in 2050. Dit is respectievelijk 0,1 en 1,5% van de finale energievraag (458,39 en 548,79 EJ/jaar). In het Sky-scenario van Shell hebben andere energiedragers een belangrijke rol. Van de voorspelde wereldwijde finale energievraag in 2050 wordt 43% ingevuld met elektriciteit, 26% met vloeibare koolwaterstofbrandstoffen, 47% met vaste, vloeibare en gasvormige koolwaterstofbrandstoffen.

Wuppertal (2018)

Wuppertal heeft het nationale potentieel voor Duitsland bepaald (toepassingen: transport, balanceren elektriciteitsnet, vervanging grijs waterstof in raffinaderijen en input voor PtX/PtL-processen). Om het mondiale potentieel te bepalen is de Duitse vraag opgeschaald waarbij enkel de vervanging van grijs waterstof in industrie in beschouwing is genomen.

Riahi (2017)

Tot slot kan een inschatting van de mondiale waterstofvraag gemaakt worden uit een set klimaatscenario's zowel met als zonder mitigerende maatregelen (Riahi, et al., 2017). Waterstof voor de toepassing als grondstof is daarin niet meegenomen.

Tabel 6 - Wereldwijde waterstofvraag (EJ/j)

	2030	2050	Opmerkingen
IRENA		7,7	Sectoren industrie (0,9 EJ/j) en transport (0,8 EJ/y). Exclusief feedstock.
Hydrogen Council		78	Technisch potentieel in 2050
Fraunhofer	0,83-4,0	4,28-27	Opschaling nationale vraag Duitsland, enkel industrie
Shell Sky-scenario	0,43	8,74	
PBL	0-1,67	2,35-23,54	Exclusief feedstock

In Tabel 6 zijn de inschattingen van deze studies samengevat. Voor de berekening van werkgelegenheid uit export is gerekend met een mondiale waterstofvraag van 20 EJ/jaar in 2050, waarbij een marge van 25% is aangehouden. Deze studie gaat ervan uit dat waterstof in verschillende sectoren wordt toegepast en 20 EJ/jaar ligt qua ordegrrootte tussen de verschillende scenario's in. Voor de mondiale vraag in 2030 is 3,7 EJ per jaar aangenomen. Dit is de vraag in 2050 (20 EJ/jaar) geschaald conform het scenario van de Hydrogen Council.

3 Werkgelegenheidseffecten

3.1 Introductie

In deze paragraaf wordt per sector een schatting gemaakt van de werkgelegenheidseffecten. Zoals beschreven in Paragraaf 1.3 is in deze eerste verkenning de zogenaamde ‘employment factor approach’ gevolgd. Deze geeft inzicht in de **directe en bruto banen** als gevolg van de uitrol van aan waterstof gerelateerde technologieën en toepassingen. Waterstof komt als klimaatneutrale energiedrager en brandstof in de plaats van aardgas en andere fossiele brandstoffen. Als er sprake is van verdringing van bestaande arbeid is dat – daar waar relevant – kwalitatief benoemd.

Voor de verschillende sectoren zijn berekeningen gedaan van de eenmalige en de terugkerende werkgelegenheid. De bouw van fabrieken, het ombouwen van aardgasinfrastructuur naar waterstof en het installeren van waterstofketels en -warmtepompen leveren **eenmalige werkgelegenheid** op. De eenmalige werkgelegenheid is uitgedrukt in het gemiddelde aantal FTE per jaar tot 2030 en 2050. Dit gemiddelde is berekend door de eenmalige werkgelegenheid tot 2030 en 2050 te sommeren en te delen door het aantal jaar. In praktijk kan die werkgelegenheid in bepaalde jaren sterk pieken en in andere jaren verwaarloosbaar zijn. Zolang de vraagmarkt blijft groeien is er ook steeds nieuwe vraag naar deze – op zich – eenmalige arbeid.

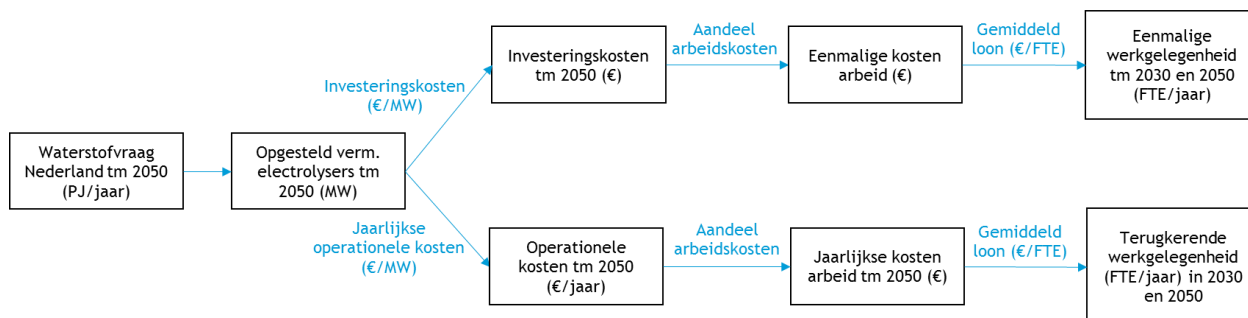
De **terugkerende werkgelegenheid** ontstaat uit productie, operatie en onderhoud van apparaten, voertuigen en installaties. De terugkerende werkgelegenheid is uitgedrukt in FTE per jaar op een bepaald tijdstip (2030, 2050).

Bij de werkgelegenheidsberekeningen staat steeds eerst een schematisch rekenschema opgenomen. Die schema's zijn bedoeld om een helder inzicht te bieden hoe de berekeningen zijn opgezet, en hoe de scenariocijfers stap voor stap zijn omgezet naar eenmalige en terugkerende arbeidsplaatsen. Dit helpt om de informatie over aannames en kentallen waarop vervolgens in iedere sectie wordt ingegaan steeds te kunnen plaatsen in hun effect op de uitkomsten. De gepresenteerde werkgelegenheidscijfers zijn afgerond om schijnnaauwkeurigheid te voorkomen. Details zijn opgenomen in bijlages. In Paragraaf 3.9 zijn de resultaten van de verschillende onderdelen vervolgens bij elkaar gezet.

3.2 Elektrolyse-installaties in Nederland

Deze paragraaf beschrijft hoe de werkgelegenheid voor de bouw van elektrolyse-installaties voor de productie van waterstof is geschat en welke aannames daarbij zijn gedaan. In Figuur 4 is de berekening schematisch weergegeven. Om de waterstofvraag in Nederland groen in te vullen moeten elektrolyse-installaties gebouwd worden. Uit de waterstofvraag wordt het benodigde opgesteld vermogen van waterstofproductie-installaties bepaald. Vervolgens worden, uit de investerings- en onderhoudskosten, de arbeidskosten bepaald. Daaruit kan de werkgelegenheid afgeleid worden.

Figuur 4 - Schematische weergave berekening werkgelegenheid elektrolyse-installaties



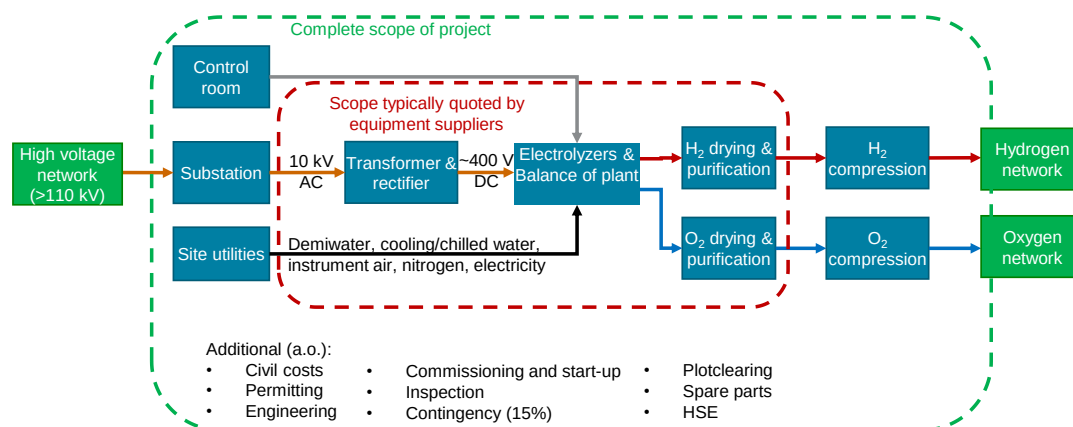
Om de productie van waterstofvraag (PJ/jaar) om te rekenen naar benodigd geïnstalleerd electrolyservermogen zijn aannamen gedaan voor de efficiëntie, het aantal draaiuren van de installatie en de levensduur. Voor de omzetting van elektriciteit naar waterstof is uitgegaan van een efficiëntie van 77%. Het aantal draaiuren van de waterstofproductie-installaties is 4.500 uur per jaar. Dit komt ongeveer overeen met het aantal vollasturen van wind op zee. De levensduur van een elektrolyse-installatie is 20 tot 30 jaar. Omdat de bouw van waterstofproductie-installaties in het lage scenario vanaf 2030 pas significant wordt, in het hoge scenario vanaf 2023, en de werkgelegenheid tot 2050 berekend wordt, is geen rekening gehouden met vervangingsinvesteringen⁶.

Op dit moment zijn twee grootschalige elektrolysetechnieken beschikbaar: alkaline-elektrolyse en polymer electrolyte membrane electrolyse (PEM). Voor deze studie is tot en met 2030 uitgegaan van alkaline- elektrolyse. Deze techniek is op dit moment grootschalig toepasbaar. Vanaf 2030 is uitgegaan van PEM. Naar verwachting is PEM in de toekomst grootschalig toepasbaar en komen door kostendalingen de investeringskosten van PEM onder die van alkaline te liggen.

In Figuur 5 is een ‘waterstofproductiefabriek’ op basis van electrolyse schematisch weergegeven. Een waterstofproductie-installatie bestaat naast de electrolyzers onder andere uit installaties voor waterstofpurificatie, compressoren en elektrische infrastructuur.

⁶ De stacks van de electrolyzers hebben een kortere levensduur (ongeveer 40.000-60.000 uur) dan de waterstofproductie-installatie in zijn geheel. De kosten voor het vervangen van de stack zijn groot. Het aandeel arbeid in die kosten is echter niet groot (kapitaalintensief). De *arbeid* voor het vervangen van stacks is niet expliciet meegenomen, onder de aanname dat die arbeid onderdeel is van de arbeid voor regulier onderhoud (O&M) van de fabrieken.

Figuur 5 - Schematische weergave elektrolyse-installatie



Bron: Nouryon.

Voor het aandeel arbeid in de investeringskosten is gekeken naar de non-equipment en civiele kosten die tezamen goed zijn voor 36 tot 40% van de aan equipment gerelateerde kosten (Hinicio & Tractebel, 2017). Deze zijn weergegeven in Tabel 7. Tussen de jaren 2020, 2030 en 2050 zijn de deze kosten lineair geïnterpoleerd.

Tabel 7 - Investeringskosten non-equipment kosten elektrolyse-installaties

	2018	2030	2050
Non-equipment costs Alkaline electrolyser (€/kW _e)	236	156	95
Non-equipment costs PEM electrolyser (€/kW _e)	528	186	80

Bron: Early Business cases for power to hydrogen (Hinicio & Tractebel, 2017).

Voor onderhoud is aangenomen dat dit die kosten voornamelijk arbeidskosten zijn. De non-equipment onderhoudskosten weergegeven in Tabel 8. Daarnaast zijn de facilitaire kosten weergegeven voor management en beheer, grondhuur, belastingen en administratieve kosten, welke zeer klein zijn ten opzicht van de non-equipment costs.

Tabel 8 - Onderhoudskosten non-equipment

	2020	2030	2050
Non-equipment costs O&M Alkaline electrolyser (€/kW _e)	13	10	7
Non-equipment costs O&M PEM electrolyser (€/kW _e)	21	12	7
Facility OPEX Alkaline (€/kW _e)	0,8	0,3	0,1
Facility OPEX PEM (€/kW _e)	0,4	0,2	0,1

Bron: Early Business cases for power to hydrogen (Hinicio & Tractebel, 2017).

De arbeidskosten uit investeringen en onderhoud zijn omgerekend naar het aantal fulltime equivalenten (FTE) met een kental voor de arbeidskosten per voltijdeenheid: 65.700 €/FTE. Dit is een gemiddelde van de SBI-sectoren 41 Algemene bouw en projectontwikkeling; 43 Gespecialiseerde bouw, en 33 Reparatie en installatie van machines (CBS, 2018).

Verwachte werkgelegenheid elektrolyse-installaties Nederland

De installatie van waterstofelektrolyse-installaties kan een eenmalige werkgelegenheid van gemiddeld 50 tot 1.000 FTE per jaar opleveren tot en met 2030, en gemiddeld 850 tot 3.000 FTE/jaar tot en met 2050.

De terugkerende werkgelegenheid voor operatie en onderhoud van electrolyse-installaties ligt naar verwachting tussen de 40 en 750 FTE per jaar in 2030 en loopt op tot 1.400-4.900 FTE per jaar in 2050. Dit is weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 - Werkgelegenheid elektrolyse-installaties voor waterstofproductie

Werkgelegenheid	2030	2050
Enmalige werkgelegenheid (FTE _{gem} /jaar)	50-1.000	850-3.000
Terugkerende werkgelegenheid in (FTE/jaar)	50-750	1.400-4.900

3.3 Apparatuur gastransportnetwerk, toepassing in Nederland

Om waterstof te transporteren moet het hogedruk netwerk voor aardgas aangepast en uitgebreid worden. De investeringen bestaan uit:

- **Infrastructuur:** Deels kunnen pijpleidingen in bestaande tracés vrijgemaakt ('gesepareerd') worden voor het transport van waterstof. Er moet ook enige nieuwe infrastructuur aangelegd worden. Daarnaast moeten onder andere compressoren in het netwerk aangepast worden.
- **Cavernes:** Om aan de flexibiliteitsvraag te kunnen doen om de mismatch tussen vraag en aanbod op te kunnen vangen, kan waterstof tijdelijk in zoutcavernes opgeslagen worden. Gasunie verwacht, op basis van scenariostudies, 3, 6 of 9 cavernes in te moeten richten voor waterstofopslag.

Hoe snel die infrastructuur wordt aangepast c.q. aangelegd, hangt af van de vraag-ontwikkeling. Gasunie heeft tijdens de onderhandelingen voor het klimaatakkoord op hoofdlijnen het aanbod gedaan om in 2030 een waterstofbackbone te ontwikkelen op basis van bestaande infrastructuur. Deze backbone kan de potentiële vraag van waterstof in 2030 aan. Met deze aanpassingen is naar verwachting 1-1,5 miljard euro gemoeid⁷.

Uit dit investeringsbedrag kan een grove schatting gedaan worden van de werkgelegenheid die ontstaat. Het CBS heeft per sector cijfers voor het arbeidsvolume en de bedrijfsopbrengsten. Daaruit kan per sector de gemiddelde omzet per werknemer bepaald worden. Het investeringsbedrag gedeeld door de gemiddelde omzet per werknemer geeft een grove inschatting van de werkgelegenheid die ontstaat.

Met een investeringsbedrag van 1 tot 1,5 miljard euro, zijn er naar verwachting tot 2030 gemiddeld tussen de 300 tot 700 mensen per jaar werkzaam voor het ombouwen van het gastransportnet. Daarbij is een range van 215-337 duizend euro omzet per werknemer per jaar (Tabel 10) aangehouden.

⁷ Bron: informatie Gasunie.

Tabel 10 - Berekende omzet per werknemer 2015

Economische sector (SBI-code)	Gemiddelde omzet per werknemer per jaar (€/werknemer/jr)
281 Motoren-, pompen- e.d. industrie	336.975
332 Installatie van industriële machines	252.286
422 Buizen- en kabelleggers	215.034

Brondata: CBS.

Daarnaast moet het netwerk voor waterstof ook operationeel gehouden worden. Uiteindelijk zal, als de capaciteit van het gasnetwerk niet toeneemt, dit naar verwachting ongeveer evenveel werknemers vergen als voor het operationeel houden van het aardgasnetwerk. Overigens is het goed mogelijk dat in de transitieperiode tijdelijk meer menskracht nodig is. Of dat het geval is en zo ja, hoeveel dan, is nog niet bekend.

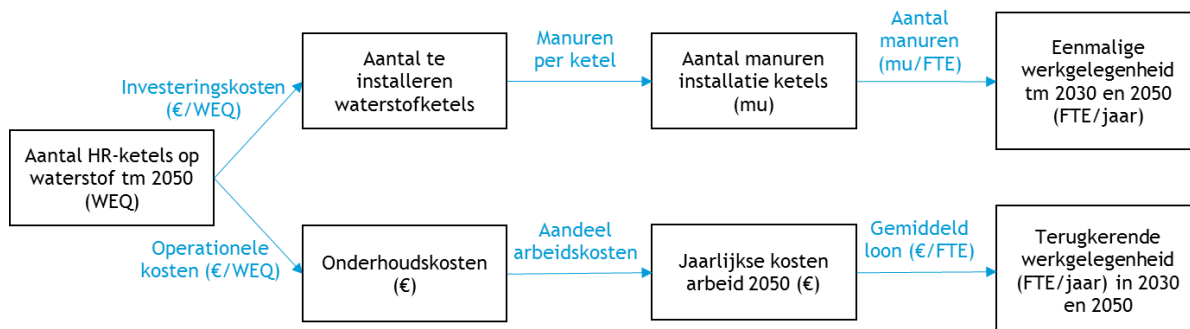
Voor 2050 kan nog geen inschatting van de kosten voor infrastructuuraanpassingen en -aanleg gemaakt worden, waardoor ook nog geen inschatting van de daarmee samenhangende werkgelegenheid gedaan kan worden. De ontwikkeling van infrastructuur is in sterke mate afhankelijk van de capaciteiten en de locaties van vraag en aanbod van waterstof, en van de tijdpatronen van die vraag en aanbod (relevant voor de behoefte aan opslag). Daarnaast is voor de investeringen tot en met 2030 zoveel mogelijk uitgegaan van het gebruik van bestaande infrastructuur. Het is nog onduidelijk in hoeverre na 2030 de vraag met bestaande infrastructuur kan worden opgevangen en in hoeverre nieuwe infrastructuur aangelegd moet worden.

3.4 Apparatuur gebouwde omgeving, toepassing in Nederland

Deze paragraaf beschrijft hoe de werkgelegenheid voor de installatie van apparatuur in de gebouwde omgeving is geschat en welke aannamen daarbij zijn gedaan. In deze berekening is de installatie en het onderhoud van waterstof-CV-ketels in beschouwing genomen. Echter om het waterstof te distribueren is een distributienetwerk voor waterstof nodig. De werkgelegenheid die ontstaat door het aanpassen van het bestaande distributienetwerk voor aardgas of door de gedeeltelijke aanleg van een nieuw distributienetwerk voor waterstof zijn buiten scope gelaten, omdat hiervoor (nog) geen bruikbare inschattingen beschikbaar zijn. Dit betekent echter niet dat de werkgelegenheid die hieruit ontstaat verwaarloosbaar is.

In Figuur 6 is de berekening schematisch weergegeven. De aannamen zijn in deze paragraaf per berekeningsstap toegelicht.

Figuur 6 - Schematische weergave berekening werkgelegenheid gebouwde omgeving



Om de waterstofvraag in de gebouwde omgeving in te schatten zijn de berekeningen uit 'Net voor de Toekomst' gebruikt. Daarbij zijn de scenario's met de laagste en hoogste waterstoftoepassing gebruikt om een bandbreedte te bepalen. Daarnaast is aangenomen dat de waterstofvraag in 2030 gelijk is aan 0. Dit is verder toegelicht in Paragraaf 2.2. In 'Net voor de Toekomst' worden twee waterstofoplossingen meegenomen: de HR-ketel en hybride warmtepomp op waterstof (verbranding). Wij nemen hier voor deze eerste verkenning van de werkgelegenheidseffecten aan dat HR-ketels de dominante techniek vormen. Dit is gedaan uit pragmatische overwegingen met betrekking tot de beschikbaarheid van bruikbare cijfers. Dit geeft naar verwachting een **ondergrens** voor de werkgelegenheid, omdat de installatie van warmtepompen – en vermoedelijk ook het onderhoud – arbeidsintensiever is. In Tabel 11 staan de aantallen waar in deze berekening vanuit is gegaan.

Tabel 11 - Aantal HR-ketels op waterstof in 2020, 2030 en 2050

	2020	2030	2050
Aantal HR-ketels waterstof (WEQ) - laag	0	0	0
Aantal HR-ketels waterstof (WEQ) - hoog	0	280.000	5.600.000

Voor de arbeid voor het installeren van HR-ketels op waterstof is ervanuit gegaan dat dit vergelijkbaar is met de vervanging van een HR-ketel op aardgas. De HR-ketel op waterstof heeft dezelfde techniek (verbranding). Het aantal uren voor het vervangen van een HR-ketel is ongeveer 12 uur (bron: EPA-maatregelenlijst, demontage en afvoeren oude ketel, installatie HR-ketel en vullen en aftappen van de installatie). Het aantal uren per jaar per FTE is 1.872.

Het is aangenomen dat de arbeidskosten voor onderhoud van een ketel overeenkomen met 2% van de investeringskosten voor een HR-ketel in 2030. Dit komt overeen met € 60 per jaar per ketel. Dit is omgerekend naar het aantal FTE met de arbeidskosten per voltijdeenheid waarbij uit is gegaan van de sector gespecialiseerde bouw (57.100 €/FTE; bron CBS)

Verwachte werkgelegenheid apparatuur gebouwde omgeving

De eenmalige werkgelegenheid is verwaarloosbaar in 2030 en ligt naar verwachting tussen de 0 en 1.800 FTE/jaar tot en met 2050. De eenmalige werkgelegenheid bestaat uit de installatie van HR-ketels op waterstof.

De terugkerende werkgelegenheid is naar verwachting verwaarloosbaar in 2030 en ligt in 2050 tussen 0-6.000 FTE per jaar. De terugkerende werkgelegenheid bestaat uit het

onderhoud van HR-ketels op waterstof. De werkgelegenheid is weergegeven in Tabel 12. Het gaat hierbij dus voornamelijk om het behoud van bestaande werkgelegenheid van vervanging en onderhoud van HR-ketels. Daarbij zal wel bijscholing of omscholing nodig zijn.

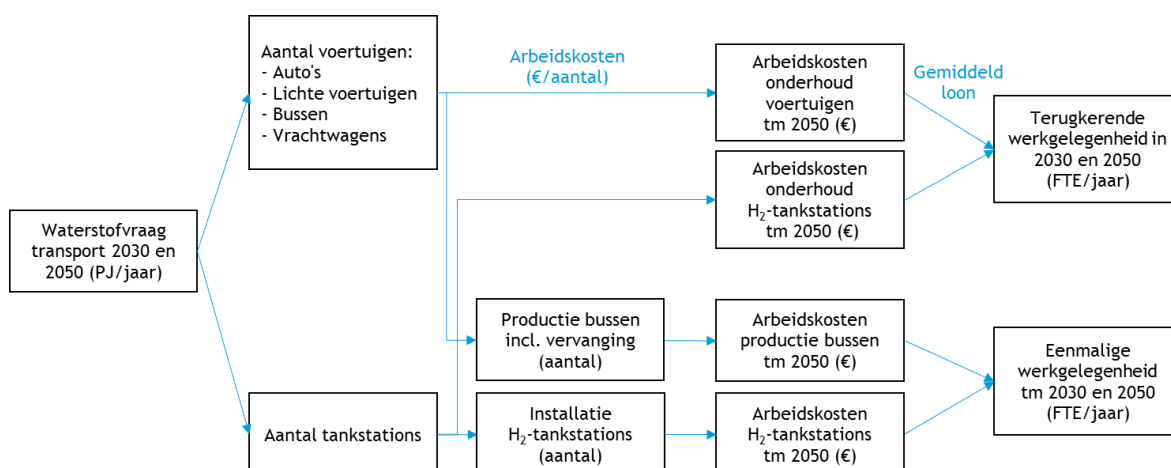
Tabel 12 - Werkgelegenheid gebouwde omgeving

Werkgelegenheid	2030	2050
Eenmalige werkgelegenheid (FTE _{gem} /jaar)	0	0-1.800
Terugkerende werkgelegenheid in (FTE/jaar)	0	0-5.900

3.5 Waterstof in transportsector (in Nederland)

Deze paragraaf beschrijft hoe de werkgelegenheid uit transport op waterstof is geschat en welke aannamen daarbij zijn gedaan. In Figuur 7 is de berekening schematisch weergegeven. De aannamen zijn per berekeningsstap toegelicht en staan verder uitgewerkt in Bijlage B.

Figuur 7 - Schematische weergave berekening werkgelegenheid transportsector



Het uitgangspunt voor de berekening van de werkgelegenheid is de verwachte groene waterstofvraag in de transportsector. Om een bandbreedte te bepalen is voor het jaar 2030 uitgegaan van scenario's opgesteld door de cross-sectorale werkgroep waterstof. Zij hebben drie scenario's opgesteld voor de waterstofvraag voor mobiliteit waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen groene, blauwe en grijze waterstof. Voor het hoge scenario is het midden scenario van de cross-sectorale werkgroep gekozen. De waterstofvraag in 2030 is 20 PJ/jaar wat overeenkomt met 40% van de groene waterstofproductie in 2030. Voor het lage scenario is 0 PJ/jaar aangenomen. Dit betekent niet dat er geen voertuigen op waterstof rijden in 2030 echter dit is verwaarloosbaar en de waterstof is niet groen. De groene waterstofproductie in het lage scenario is namelijk beperkt tot 2,7 PJ/jaar. Voor 2050 is uitgegaan van het lage en midden scenario van de cross-sectorale werkgroep waterstof. Het midden scenario komt ruwweg overeen met de waterstofvraag van de toekomstbeelden regio nationaal en generiek uit de studie 'Net voor de Toekomst' (CE Delft, 2017).

Tabel 13 - Waterstofvraag transportsector

	2020	2030	2050
Waterstofvraag transport hoog (PJ/jaar)	0,0	0,0	22
Waterstofvraag transport laag (PJ/jaar)	0,0	20,0	96,7

De waterstofvraag (PJ/jaar) is vertaald naar het aantal voertuigen en het aantal tankstations tot en met 2050. Om de onderverdeling naar type voertuigen te bepalen is geschaald naar de verwachting die binnen de cross-sectorale werkgroep waterstof is gedefinieerd. Om de waterstofvraag om te rekenen naar het aantal voertuigen zijn aannames gedaan over het aantal kilometers dat een voertuig maakt gedurende zijn levensduur en de tank-to-wheel-efficiënties. Om het aantal tankstations te bepalen zijn aannames gedaan voor de ratio voertuigen/tankstations. Deze aannames staan in Bijlage B.

Vervolgens is de jaarlijkse productie van bussen en installatie van tankstations bepaald. Daarbij is aangenomen dat de levensduur van bussen 12 jaar is. De jaarlijkse productie van bussen is dus de som van het aantal nieuwe waterstofbussen plus het aantal waterstofbussen dat aan vervanging toe is (herinvestering).

Tot slot zijn arbeidskosten voor onderhoud, installatie en productie bepaald. Data om de arbeidskosten te bepalen zijn afkomstig van verschillende bronnen waaronder interviews met leveranciers. Om het aantal FTE te bepalen zijn cijfers van het CBS gebruikt voor de arbeidskosten per voltijdeenheid voor verschillende sectoren.

Verwachte werkgelegenheid transport

De werkgelegenheid ligt naar verwachting tussen de gemiddeld 0 en 14.500 banen in 2030 en loopt op tot 15.000-62.500 banen in 2050. De terugkerende werkgelegenheid bestaat uit zowel productie van bussen, retrofitten van tankstations en het onderhoud van voertuigen. Dit is weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 - Werkgelegenheid transport

Werkgelegenheid	2030	2050
Terugkerende werkgelegenheid in (FTE/jaar)	0-14.500	15.000-62.500

De werkgelegenheid uit transport is relatief hoog in vergelijking met andere sectoren. Opgemerkt moet worden dat een inschatting is gemaakt van de bruto werkgelegenheid. Naar verwachting is een klein aandeel hiervan additionele werkgelegenheid. Op termijn is de verwachting dat het onderhoud van brandstofcelvoertuigen vergelijkbaar is met het onderhoud van bestaande voertuigen met een verbrandingsmotor. Het gaat hierbij dus voornamelijk om het behoud van bestaande werkgelegenheid. Daarbij zal wel bijscholing of omscholing nodig zijn.

3.6 Waterstof in industrie (NL); kwalitatief

Op de korte termijn zijn grote industriële sectoren waar waterstof al tientallen jaren wordt gebruikt (raffinaderijen, ammoniak, enz.) belangrijke eerste afzetmarkten voor groene waterstof. Hiermee zijn onmiddellijke schaafeffecten en snelle kostenbesparingen te realiseren. Op de middel en lange-termijn kan waterstof – geproduceerd uit hernieuwbare energie via elektrolyse – door nieuwe toepassingen bijdragen aan de verdere en diepgaande decarbonisatie van de industrie.

3.6.1 Decarbonisatie van het huidige (fossiele) waterstofgebruik in de industrie

Groene waterstof kan bijdragen aan het verminderen van emissies in de volgende sectoren waar waterstof al decennialang wordt gebruikt als grondstof. Toepassing van groene waterstof in plaats van de huidig gebruikte ‘grijze’ waterstof kan bijdragen aan het behoud van werkgelegenheid in deze sectoren. Ter vergelijking: alleen al de chemiesector in Nederland heeft momenteel 41.000 FTE aan arbeidsplaatsen.

Voor wat betreft de zware industrie:

- **Chemische industrie:** de productie van ammoniak, polymeer en hars is momenteel de belangrijkste industriële markt voor waterstof; mondiaal wordt 80% van de ammoniak ingezet voor productie van stikstofkunstmest.
- **Raffinage:** raffinaderijen zijn wereldwijd de op een na grootste verbruiker van waterstof in het industrieel segment. Waterstof wordt gebruikt voor hydrocracking⁸ en voor het ontzwavelen van brandstoffen.
- **IJzer- en staalindustrie:** waterstof wordt gebruikt voor het uitgloeien van staal (warmtebehandeling van verwerkt metaal om vervormbaarheid na vervorming te herstellen). De vraag naar waterstof in deze industrie ten opzichte van de eerdergenoemde sectoren is nu relatief klein.

Voor wat betreft andere industrieën

- Verschillende andere industriële processen gebruiken waterstof. Echter, deze vertegenwoordigen slechts een klein deel van de totale huidige vraag. Deze omvatten: glas, voedsel (voor het harden van vetten), bulkchemicaliën, zogenaamde property chemicals, koeling van elektrische generatoren, de halfgeleiderindustrie en in de ruimtevaart).

De huidige productieprocessen zijn voornamelijk gebaseerd op fossiele brandstoffen. In Nederland en in de rest van Europa is bijvoorbeeld het produceren van waterstof uit aardgas (Steam Methane Reforming - SMR) verreweg de meest dominante route. Aangezien CO₂-afvang (‘pre-combustion capture’; ten behoeve van CCS) eenvoudiger te realiseren is via ATR (Autothermal Reforming) is de verwachting dat die techniek geleidelijk een belangrijker rol zal gaan spelen. Het betreft dan de productie van ‘blauwe waterstof’. In China domineert de valorisatie van waterstof als bijproduct, hoewel kolenvergassing ook wordt gebruikt in de metaal- en petrochemische sectoren. In Australië wordt waterstof veelal geproduceerd uit de vergassing van kolen.

⁸ Hydrocracking is een tweestapsworkwijze die katalytisch kraken en hydrogeneren combineert, waarbij zware grondstoffen bij aanwezigheid van waterstof worden gekraakt om meer gewenste producten te produceren. Het proces maakt gebruik van hoge druk, hoge temperatuur, een katalysator en waterstof.



Chemie en raffinage kunnen sleutelmarkten zijn voor groene waterstof. Deze industrieën vereisen grote hoeveelheden waterstof gedurende lange perioden en tegen een bepaalde gegarandeerde prijs. De industrie werkt doorgaans met langetermijncontracten die zekerheid bieden op lange termijn in termen van prijs en hoeveelheden. Grote volumes kunnen leiden tot schaalvoordelen en door het stapelen van verschillende inkomstenstromen bijvoorbeeld verkregen uit gasnetinjectie en het leveren van netwerkdiensten, kan groene waterstof eerder concurrerend worden.

3.6.2 Groene waterstof voor het vervangen van fossiele brandstoffen en grondstoffen in eindverbruikssectoren in industrie (additionele waterstofvraag)

Naast bestaande toepassingen zijn er nieuwe waterstoftoepassingen denkbaar die kunnen leiden tot de verdere en diepgaande decarbonisatie van de Nederlandse industrie, zowel voor brandstoftoepassingen als voor grondstoftoepassingen.

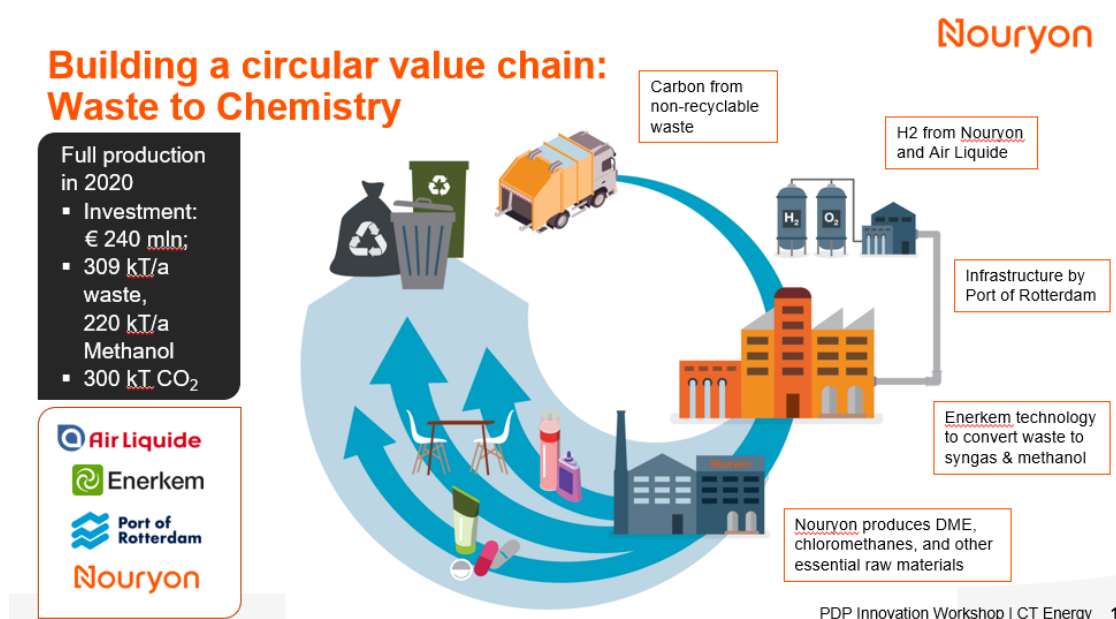
- **Brandstof: Vervanging van aardgas en andere fossiele brandstoffen door waterstof voor de productie van hoogwaardige warmte** ($> 650^{\circ}\text{C}$) via waterstofverbranding in waterstof branders. Bijvoorbeeld: cement- en ijzerproductie vereisen aanzienlijke hoeveelheden proceswarmte van hoge temperatuur. Waterstof kan ook worden gebruikt in warmtekrachtcentrales om zowel HT-warmte als stroom te produceren.
- **Grondstof: Productie van biofuels en methanol uit biomassa.** Bij de productie van biobrandstoffen en biomethanol uit biomassa via een zogenaamde Fischer-Tropsch-proces zijn grote hoeveelheden waterstof nodig. De reden is in essentie dezelfde als bij de huidige aardolieaffinage: het opbreken ('kraken') van langere koolwaterstofketens tot kortere koolwaterstofketens vergt extra waterstofatomen.
- **Grondstof: (bio)Synthetische brandstoffen en grondstoffen produceren**, zoals benzine, diesel, kerosine, methanol (de zogenaamde 'Power-to-Liquids'), groengas (methanisering), of nafta, door waterstof en CO_2 te combineren. De CO_2 komt is in dat geval van biogene oorsprong, of komt uit de lucht (DAC: Direct Air Capture), of uit een fossiele bron (carbon capture). Ondanks de beperkte energie-efficiëntie van het totale productieproces, kunnen deze paden hernieuwbare energie en grondstoffen leveren voor sectoren met beperkte emissiereductie-alternatieven. Denk bijvoorbeeld aan de chemie, de scheepvaart of luchtvaart en het lange-afstandtransport over de weg. Een voorbeeld in deze categorie is de Steel 2 Chemicals route⁹, waarbij koolmonoxide (CO) uit de staalindustrie (ArcelorMittal, Tata Steel) met waterstof en een door Dow Terneuzen ontwikkelde katalysator wordt omgezet in een synthetische nafta die als grondstof voor Dow kan worden ingezet.
- **Grondstof: Vermindering van het gebruik van cokeskool bij het chemisch reduceren van ijzererts** (iron ore reduction). Op dit moment maakt staalproductie gebruik van cokeskool als koolstofbron. Cokeskool fungeert als reductiemiddel voor ijzererts (het verdrijven van de zuurstof (O) met koolstof (CO) – dat leidt tot CO_2). Een alternatief en innovatief proces genaamd Directe Reductie via waterstof (DRI-H), waarbij cokesgebruik wordt vermeden bevindt zich momenteel in een vroege demonstratiefase en zou een opstap kunnen zijn voor energie-efficiënte en koolstofarme staalproductie (de zuurstof (O) wordt verdreven) door waterstof (H_2) – wat leidt tot water als restproduct (H_2O); ook Tata Steel in IJmuiden ziet dit als mogelijke route in de (verre) toekomst.

⁹ Een pilotinstallatie bij Dow Terneuzen wordt eind 2018 opgestart en na ongeveer een jaar verplaatst naar Tata Steel in IJmuiden.



- **Grondstof: Nieuwe chemie.** Bij bijvoorbeeld chemische recycling van reststromen kan methanol worden geproduceerd, dat weer een belangrijke grondstof is voor de chemische industrie. Bij die processen is waterstof nodig. Een voorbeeld is het Waste to Chemistry (W2C)-project in Rotterdam, zie Figuur 8. Met het bedrijven van die fabriek zijn 50-100 FTE gemoeid.

Figuur 8 - Schematische weergave van Waste 2 Chem

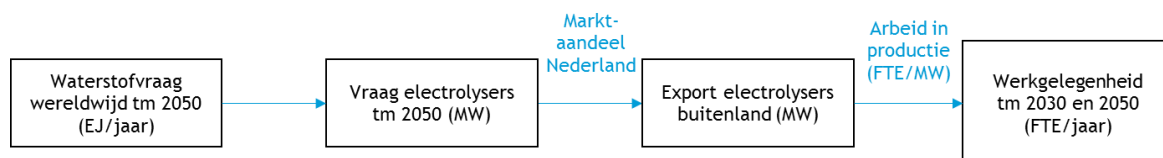


Bron: Nouryon.

3.7 Elektrolysers produceren in Nederland voor de wereldmarkt

Deze paragraaf beschrijft hoe de werkgelegenheid uit export van electrolyzers (of componenten van electrolyzers) is geschat en welke aannamen daarbij zijn gedaan. In Figuur 9 is de berekening schematisch weergegeven. De aannamen zijn per berekeningsstap toegelicht.

Figuur 9 - Schematische weergave berekening werkgelegenheid export



De berekening start vanuit de mondiale vraag naar groene waterstof. Aangenomen is dat deze 3,7 EJ per jaar in 2030 en 20 EJ per jaar is in 2050, met een range van 25%. Het mondiale scenario is toegelicht in Paragraaf 2.3.

Om de productie van waterstofvraag (PJ/jaar) om te rekenen naar benodigd geïnstalleerd vermogen zijn aannamen gedaan voor de efficiëntie, het aantal draaiuren van de installatie en de levensduur. Voor de omzetting van elektriciteit naar waterstof is uitgegaan van een

efficiëntie van 77%. Het aantal draaiuren van de waterstofproductie-installaties is 4.500 uur per jaar. Dit komt ongeveer overeen met het aantal vollasturen van wind op zee. De levensduur van een elektrolyse-installatie is 20 tot 30 jaar. De electrolyserstacks hebben een levensduur van ongeveer 40.000-60.000 draaiuren. Met 4.500 draaiuren komt dit overeen met een levensduur van gemiddeld 10 jaar.

Wat het marktaandeel van Nederland in de wereldmarkt van electrolyzers kan zijn is moeilijk te voorspellen. Het Nederlandse marktaandeel in andere technische sectoren varieert tussen de 1 en 15%. Er zijn op dit moment mondiaal maar circa zes grote elektrolyser-fabrikanten. Stel dat één van deze fabrikanten een productielocatie in Nederland vestigt dan betreft het daardoor meteen een substantieel percentage van de wereldmarkt. Dit is verder toegelicht in Bijlage A. Voor deze berekening veronderstellen wij dat het marktaandeel van Nederland 5% is: oftewel stel dat Nederland 5% marktaandeel heeft, hoeveel werkgelegenheid zou dit dan opleveren? Het aantal arbeidsplaatsen schaalst in de berekening lineair met dit aangenomen percentage; als het bijvoorbeeld twee of vier maal zo groot zou zijn is ook de uitkomst van het aantal berekende arbeidsplaatsen twee of vier keer zo groot.

Om de werkgelegenheid te bepalen uit het exportvolume is een kental gebruikt voor het aantal voltijdsequivalenten voor een bepaalde productiecapaciteit. Tot en met 2030 zijn productiebedrijven relatief kleinschalig en is het aantal werkzame personen relatief hoger. Vanaf 2030 is de verwachting verwachten wij dat door leereffecten de productiebedrijven schalen en het aantal werkzame personen per MW productiecapaciteit kleiner wordt. Deze aannamen staan in Tabel 15.

Tabel 15 - Aantal werkzame personen in fabriek voor de productie van productie electrolyzers

	Kental (FTE/MW)
Arbeidsintensiteit tot en met 2030	0,7
Arbeidsintensiteit tot en met 2030-2050	0,2

Bron: Telefonische interviews met geselecteerde producenten.

Verwachte werkgelegenheid export

Electrolyser(-componenten) als exportproduct kan werkgelegenheid opleveren tussen de 750 en 1.250 FTE/jaar in 2030 en 1.100 en 1.850 FTE per jaar in 2050. Dit is weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 - Werkgelegenheid uit export electrolyzers

Werkgelegenheid	2030	2050
Terugkerende werkgelegenheid (FTE/jaar)	750-1.250	1.100-1.850

De potentiële werkgelegenheid uit export kan groot zijn en is afhankelijk van het marktaandeel van Nederland. Aannamen hebben een grote invloed op de uitkomst en de inschatting is een lineaire berekening. Wanneer uit wordt gegaan van een marktaandeel van 10%, zal de werkgelegenheid twee keer zo groot zijn, daarentegen bij een marktaandeel van 2,5% tweemaal zo klein. Eenzelfde redenering gaat op voor de mondiale vraag naar waterstof.

3.8 Apparatuur produceren in Nederland voor de wereldmarkt (kwalitatief)

De verwachte groeiende mondiale vraag naar waterstof levert niet alleen kansen op voor het in Nederland produceren van electrolyzers (of componenten daarvan) voor export. Transport, opslag en distributie van waterstof, en toepassing van waterstof in de verschillende sectoren, bieden ook kansen om in Nederland de daartoe benodigde apparatuur te produceren.

Te denken valt aan bijvoorbeeld compressoren, meters, branders of complete waterstof-HR-ketels, hybride warmtepompen of componenten daarvan, gaswassers (purificatiesystemen), waterstofvoertuigen of componenten daarvan, tankstations, innovatieve waterstofopslagsystemen zowel kleinschalig als grootschalig, waterstoftransportschepen of componenten daarvoor. Zie voor de mogelijkheden bijvoorbeeld ook de waardeketen-segmenten in Tabel 3.

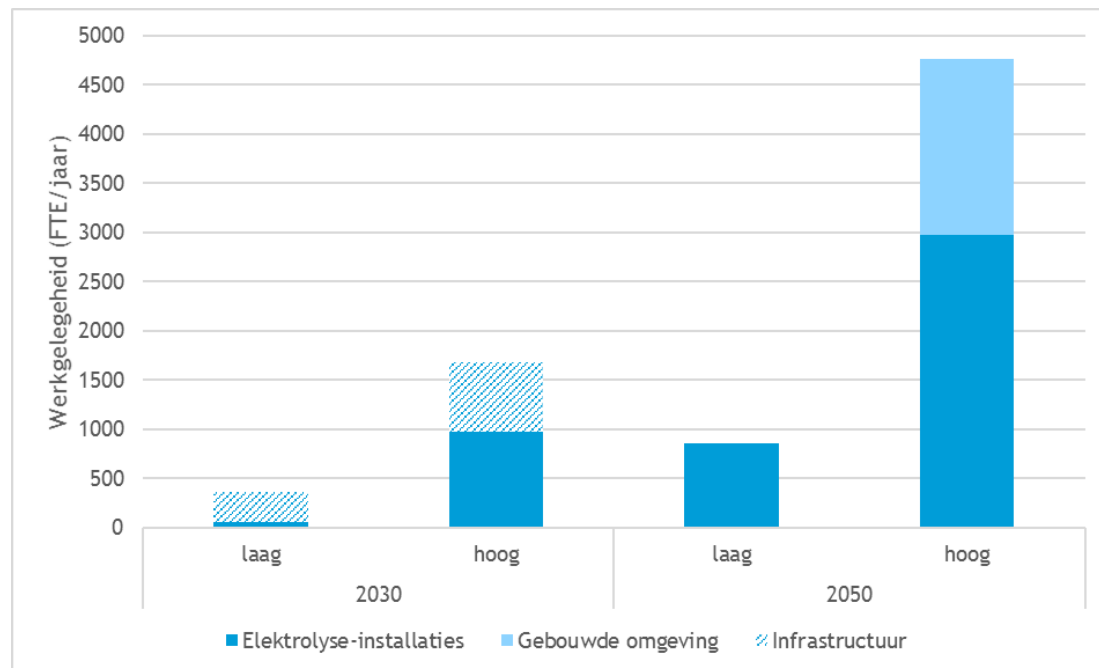
Binnen de scope van deze eerste verkenning kon hiervan geen nadere analyse worden uitgevoerd.

Dat die kansen er zijn blijkt uit de prognoses voor de mondiale waterstofvraag. Of die kansen ook kansen zijn voor werkgelegenheid in Nederland hangt mede af van de voortvarendheid waarmee in Nederland de waterstofeconomie wordt uitgerold ten opzichte van het tempo van die uitrol elders, waardoor bedrijven op de Nederlandse markt een voorsprong kunnen krijgen.

3.9 Overzicht werkgelegenheid per sector

Groene productie van waterstof door elektrolyse kan een substantiële bijdrage leveren aan de werkgelegenheid in Nederland als waterstof op grote schaal toegepast gaat worden. In Figuur 10 is de eenmalige werkgelegenheid weergegeven. De eenmalige werkgelegenheid is uitgedrukt in het gemiddelde aantal FTE per jaar tot 2030 en 2050. Deze eenmalige werkgelegenheid is overigens niet constant over de jaren.

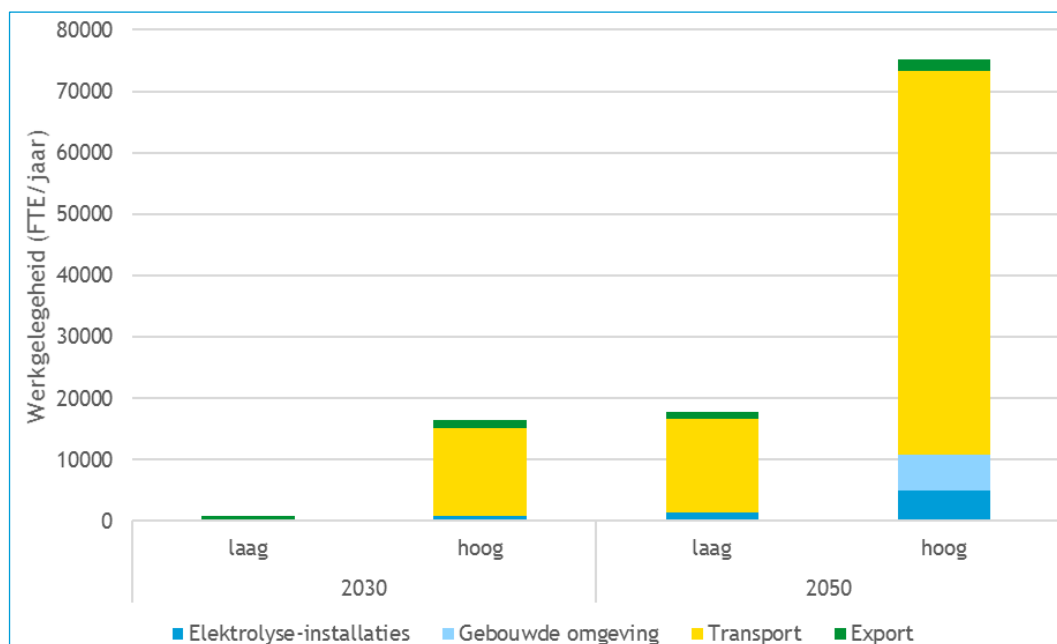
Figuur 10 - Eenmalige werkgelegenheid voor verschillende sectoren tot en met 2030 en 2050 (NB: het onderdeel investeringen in (waterstoftransport-)infrastructuur is nog onbekend voor 2050)



De bouw van waterstofproductie-installaties, het ombouwen van aardgasinfrastructuur naar waterstof en het installeren van waterstofketels en -warmtepompen leveren eenmalige werkgelegenheid op. Zolang de vraagmarkt blijft groeien is er ook steeds vraag naar deze op zich eenmalige arbeid. Tot en met 2030 ligt dit naar verwachting tussen de 350 en 1.750 FTE gemiddeld per jaar, mits de waterstofbackbone gerealiseerd gaat worden. Tot en met 2050 is ligt de werkgelegenheid tussen de 850 en 4.750 FTE/jr. Dat is exclusief de werkgelegenheidseffecten van verdere investeringen in waterstofinfrastructuur omdat daarvoor nog geen bruikbare schattingen bekend zijn.

In Figuur 11 is de terugkerende werkgelegenheid gegeven. De terugkerende werkgelegenheid ontstaat uit productie van installaties en voertuigen, het bedrijven daarvan ('operations') en onderhoud. De terugkerende werkgelegenheid is uitgedrukt in FTE per jaar op een bepaald tijdstip (2030, 2050).

Figuur 11 - Terugkerende werkgelegenheid voor verschillende sectoren in 2030 en 2050



In 2030 ligt de terugkerende werkgelegenheid tussen de 800 en 16.500 FTE/jaar en in 2050 tussen de 17.500 en 75.000 FTE/jaar. Daarin overheerst de werkgelegenheid voor transport die voor een groot gedeelte bestaat uit het onderhoud van voertuigen. De export lijkt relatief klein, maar kan tot 750-1.250 banen opleveren in 2030, en tot 1.100-1.850 in 2050.

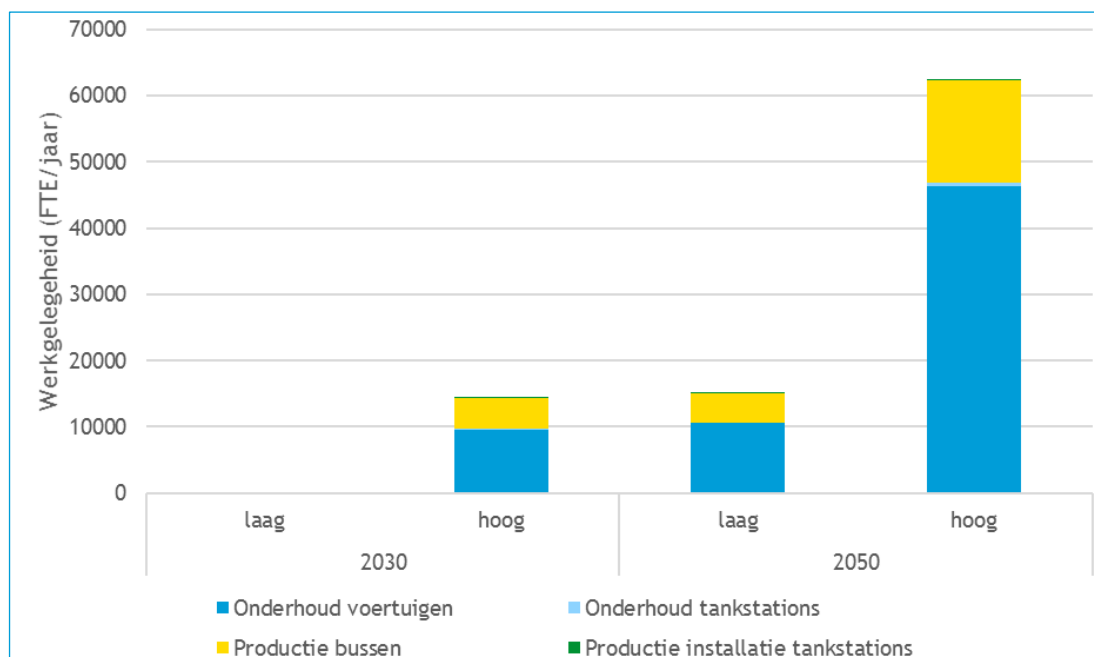
Tabel 17 - Overzicht van de werkgelegenheidscijfers

Jaar	Totale eenmalige werkgelegenheid (gemiddeld, in FTE/jr)	Terugkerende werkgelegenheid (in FTE/jr)
2030	350-1.750	800-16.500
2050	850-4.750 (*)	17.500-75.000

(*) Exclusief werkgelegenheid door investeringen in transportnetten en opslag, omdat daarvoor nog geen bruikbare cijfers beschikbaar zijn.

Omdat de werkgelegenheid in de transportsector zo'n groot aandeel in Figuur 11 heeft, is die in Figuur 12 uitgesplitst weergegeven naar de onderliggende componenten. Daaruit blijkt bijvoorbeeld dat ook de productie van waterstofbussen (voor toepassing in Nederland) een groot potentieel heeft.

Figuur 12 - Terugkerende werkgelegenheid voor sector mobiliteit in 2030 en 2050



4 Regionale ontwikkelingen

4.1 Introductie

Teneinde niet alleen ‘kale’ cijfers te tonen over wat in de toekomst mogelijk kan zijn met waterstof, maar ook te laten zien wat dat gaat betekenen, én om te tonen dat er in de verschillende regio's al hard wordt gewerkt om die toekomstbeelden in realiteit om te zetten, is in dit hoofdstuk ingezoomd op vier Nederlandse regio's. De informatie is bedoeld om een goede indruk te geven, en pretendeert niet om compleet te zijn.

Voor elke regio wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Wat doet de regio nu al op gebied van waterstof?
- Wat ziet de regio voor kansen voor zichzelf met betrekking tot waterstof in de toekomst?
- Wat voor soort werkgelegenheid gaat daar naar verwachting mee gepaard?

Inzoomen levert een risico op dat het grotere geheel uit beeld raakt. Dat grotere geheel staat onder andere samengevat in het manifest¹⁰ van de Waterstofcoalitie van mei 2018. Dat grotere geheel is ook gevisualiseerd in onderstaande schematische weergave van de waterstofbackbone in Nederland.

Figuur 13 - Schematische weergave van de beoogde waterstofbackbone in Nederland



Bron: Gasunie, 2018.

¹⁰ Zie bijvoorbeeld: [Waterstof Essentiële Bouwstenen Energietransitie](#)

4.2 Noord-Nederland

Wat doet de regio nu op het gebied van (groene) waterstof?

De regio is zeer actief in de promotie van groene waterstof. Het zwaartepunt van de huidige waterstofactiviteiten is gelegen op het grondgebied van de provincies Groningen en Drenthe.

De regio staat achter de visie zoals deze is opgesteld door de Noordelijke Innovation Board. De regio is daarnaast erg actief met de positionering van de regio als de groene waterstof-economie op nationaal maar ook op internationaal vlak. Met name in de Brusselse Arena manifesteert zich deze ambitie door de inzet op de regio als de Hydrogen Valley van Europa, waar alle onderdelen van de groene waterstofeconomie aanwezig zijn, van productie tot gebruik. Het omvat logistiek, distributie en infrastructuur, alsmede gebruik in industrie en mobiliteit, en ook binnen de gebouwde omgeving zijn ambities om waterstof-experimenten aan te gaan. Er zijn opleidingen in de maak voor het MBO/ROC's. Er is veel aandacht voor de activatie van het MKB binnen de waterstofontwikkelingen. Ook vinden vele regio-bezoeken plaats, onder andere uit Zweden, Duitsland, Schotland/UK, Japan, Korea, en California.

Wat ziet de regio voor kansen voor zichzelf met betrekking tot waterstof in de toekomst?

In essentie wordt de visie uitgedragen dat 'het Noorden' de stap wil zetten naar een groene waterstofeconomie in Noord-Nederland. Dat betekent dat groene waterstof wordt gezien als één van de alternatieven die op een gegeven moment de aardgaseconomie kan gaan vervangen. Hierbij wordt wel de realiteit in beeld gehouden, omdat deze transitie – hoe gewild ook – tijd vergt. Desalniettemin wordt deze ambitie breed gedragen en worden duidelijke stappen hiertoe gezet op vele niveaus die het spectrum omvatten van publiek en privaat, van innovatie tot en met investering, van MBO en vakmanschap tot en met MBA.

Wat voor soort werkgelegenheid gaat daar naar verwachting mee gepaard?

De werkgelegenheid die hiermee gepaard gaat speelt over het hele spectrum van de nieuwe groene waterstofeconomie. Momenteel bevindt de werkgelegenheid zich nog in de kiemfase, enkel enkele grotere bedrijven en overheden zijn actief met waterstof naast enkele MKB-bedrijven (zoals onder andere Holthausen, Resato, Bekaert, Green Planet, Technicontrol) en grotere ondernemingen zoals onder andere Gasunie, Gasterra, NAM, Emmtec, Delfzijl complex met Nouryon en BioMCN, de Eemsdelta met Engie, Vattenfall, Groningen Seaports, alsmede kennisinstellingen (Entrance, RUG, Hanzehogeschool, ROC/MBO) en expertisebedrijven (DNV-GL, TNO, Stork, etc.) en New Energy Coalition. Alsmede de provincies met prioriteit bij Groningen en Drenthe, de gemeenten Groningen, Emmen en Assen alsmede verschillende teams rondom Chemport Europe en TopDutch in het Noorden. Momenteel is het nog veel academisch niveau echter de inzet van het MKB zal snel volgen. Indicatief zijn nu in deze kiemfase in totaal circa 100 personen vrijwel dagelijks met waterstof bezig.

Enkele projecten ter illustratie (geen compleet overzicht)

TSO2020

Het grootste EU funded CEF/Synergy-project waarbij het gaat om aanlanding van groene offshore stroom en afzet van deze energie in de vorm van waterstof aan de mobiliteit. aanlanding van offshore wind (Cobra kabel), invoering in het HV-grid van Tennet, aftakken van stroom en omzetting in groene waterstof in Veendam (Energy Stock), in combinatie met afname van groene watersof van Nouryon¹¹ (Delfzijl) en afzet in de mobiliteit via de ontwikkeling van een H₂-tankstation bij Green Planet (Pesse).

HyStock

Project met een 1 MW elektrolyser op de EnergyStock-locatie waar groene stroom wordt omgezet in groene waterstof. Deze wordt opgeslagen in één van de geprepareerde zoutcavernes en vervolgens ter beschikking gesteld aan de mobiliteitssector via het bovengenoemde TSO2020-project.

H₂-backbone Chemiepark Delfzijl

Op het Chemiepark in Delfzijl bouwen Gasunie en Nouryon een 20 MW electrolyser (momenteel de grootste in Europa). Om de groene waterstof over het chemiepark te transporteren naar onder andere BioMCN legt het havenbedrijf Groningen Seaports een H₂-backbone aan in het gebied. Het materiaal dat voor deze waterstofpijpleiding wordt gebruikt heeft een innovatieprijs gewonnen¹².

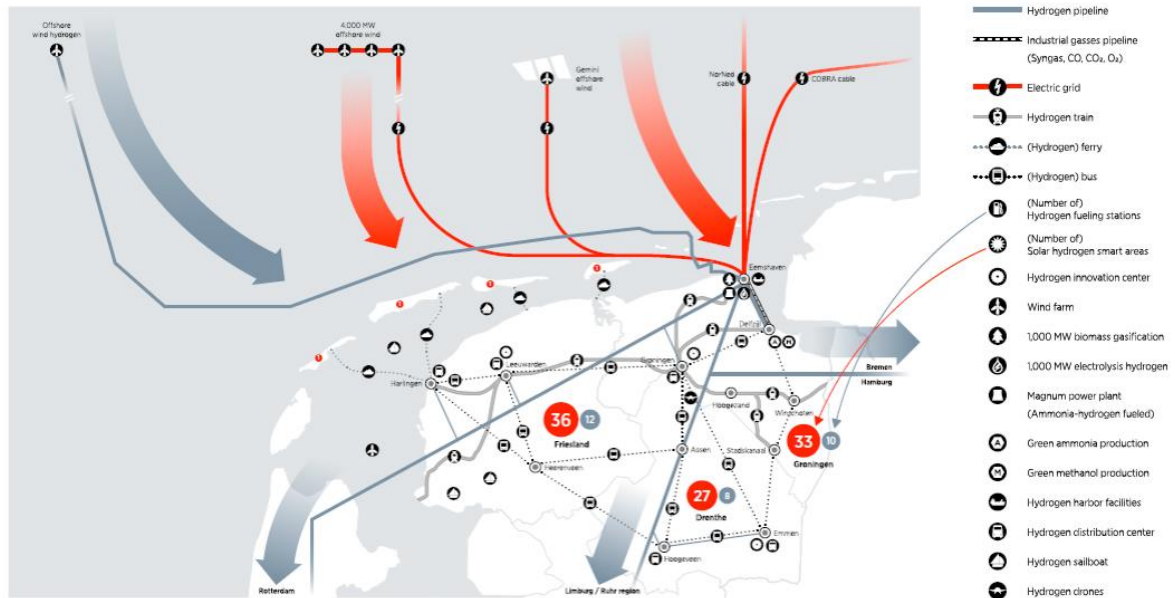
¹¹ Ook binnen de chemische industrie van Nouryon in Delfzijl worden al bescheiden hoeveelheden groene waterstof geproduceerd (Chloor Alkali elektrolyse met hoofdproduct Chloor en nevenproduct groene waterstof).

¹² Zie: [Groningen Seaports en Pipelife winnen Northern Enlightenmentz 2018](#)



Figuur 14 - Visieplaat van de ontwikkeling van de waterstofeconomie in Noordelijk Nederland

Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands



Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands

Bron: Noordelijke Innovation Board.

4.3 Regio Noordzeekanaalgebied (NZKG)

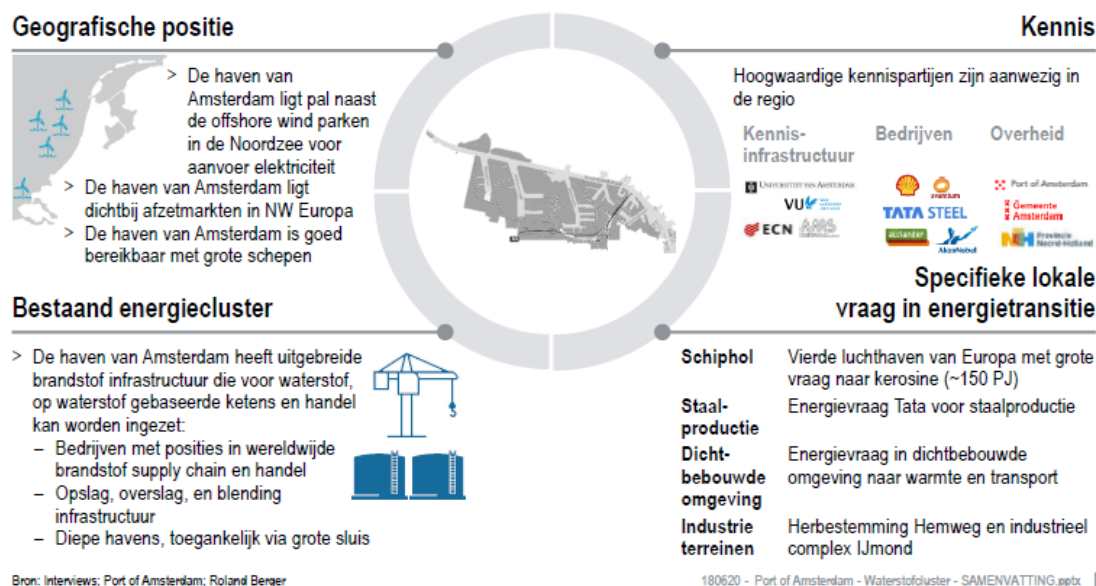
De NZKG-regio, onderdeel van de Metropoolregio Amsterdam, zet stevig in op waterstof als één van de klimaatneutrale energiedragers en grondstoffen van de toekomst. Havenbedrijf Amsterdam, onderdeel van de NZKG-regio, heeft in juni 2018 een strategisch plan uitgebracht voor de realisatie van een waterstofcluster rond de haven van Amsterdam. In dat plan is ook nadrukkelijk aandacht voor de inbedding in het grotere geheel van de NZKG-regio. Onderstaande informatie is grotendeels daaraan ontleend.

Wat doet de regio nu al op gebied van waterstof?

De uitgangspositie en huidige inzet wordt geschetst in onderstaande twee sheets (bron: strategisch plan haven Amsterdam). Concreet zijn er gepubliceerde plannen voor onder andere de realisatie van een 100 MW electrolyserplant bij het aanlandingspunt van Wind op Zee bij IJmuiden, op de locatie van Tata Steel.

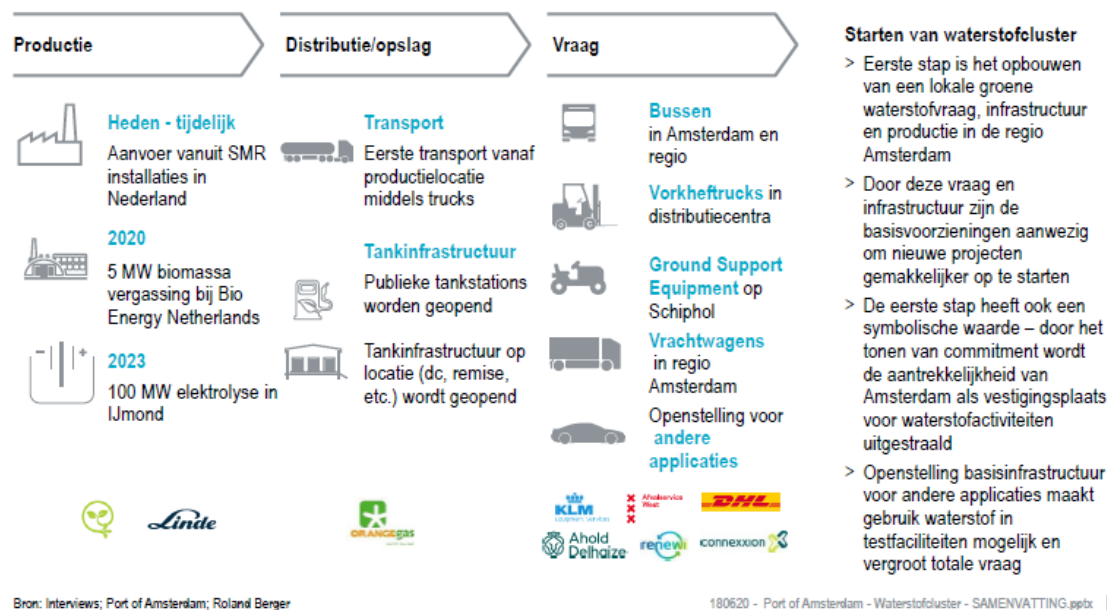
De haven van Amsterdam heeft een zeer goede uitgangspositie om een sterk waterstofcluster te ontwikkelen

Uitgangspositie voor waterstofcluster in Amsterdam



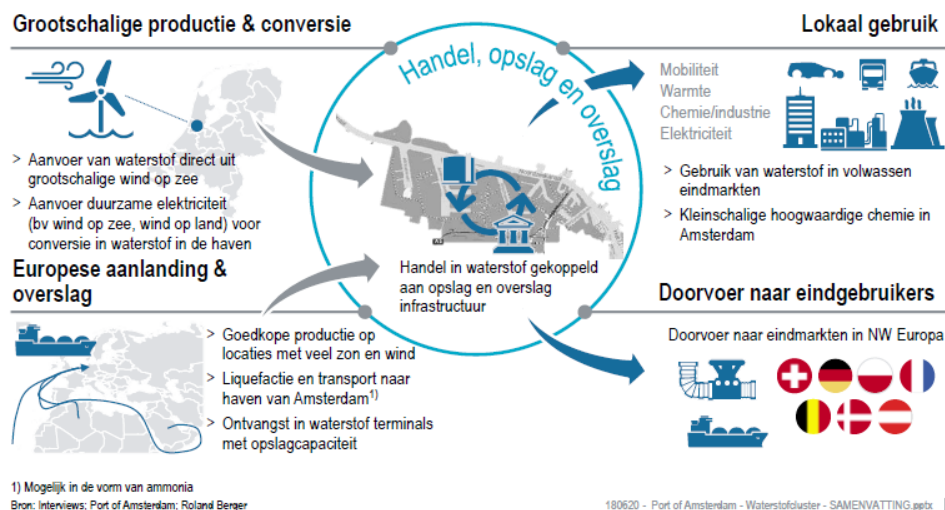
In de kickstart leidt de lokale vraag tot de opbouw van basisinfrastructuur, die nieuwe ontwikkelingen mogelijk zal maken

Kickstart waterstofvraag in Amsterdamse regio tot 2023



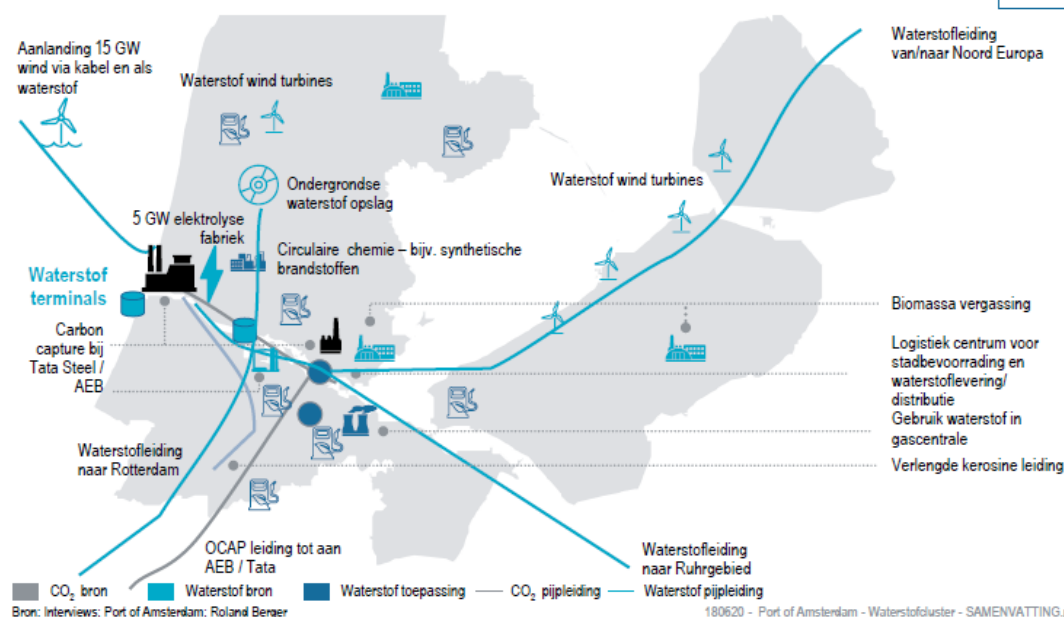
Wat ziet de regio voor kansen voor zichzelf met betrekking tot waterstof in de toekomst?

Waterstof wordt gezien als belangrijke kans voor het gebied om enerzijds zelf klimaat-neutraal te worden, anderzijds een belangrijke 'draaischijffunctie' te vervullen voor de energietransitie van de Metropoolregio Amsterdam, en tot slot voor nieuwe economische activiteiten in het gebied. Dit is geïllustreerd in onderstaande twee sheets (bron: strategisch plan haven Amsterdam).



In 2050 wordt de infrastructuur voor het waterstofcluster volledig benut

Infrastructuur voor waterstofcluster in 2050



Wat voor soort werkgelegenheid gaat daar naar verwachting mee gepaard?

Het gaat zowel om behoud van bestaande werkgelegenheid die zal veranderen of verdwijnen door de energietransitie zowel in de regio zelf als mondiaal, aangezien de grote bedrijven in de regio produceren voor de wereldmarkt. Daarnaast om nieuwe werkgelegenheid door nieuwe waterstofgerelateerde activiteiten in de regio.

Enkele projecten ter illustratie (geen compleet overzicht)

100 MW electrolyser

100 MW electrolyser in IJmuiden op het Tata Steel-terrein, gestart met haalbaarheids-onderzoek door Nouryon, Tata Steel en Port of Amsterdam, streven 2021 start bouw. Waterstof kan door Tata Steel worden gebruikt maar ook onder andere worden gebruikt om nafta en methanol te maken, als grondstof voor de chemische industrie.

Waterstof voor de bebouwde omgeving

Samen met onder andere Gasunie en Liander wordt onderzoek gedaan naar mogelijke inpasbaarheid van waterstof in gasleidingnetwerken voor bebouwde omgeving/woonwijken, en voor de industrie in de regio.

4.4 Regio Rotterdam

Wat doet de regio nu op gebied van (groene) waterstof?

- Het huidige waterstofklimaat in de regio Rotterdam is grijs, waarbij blauwe waterstof als overbruggingsoptie wordt gezien (om zo snel mogelijk CO₂-reductie te bewerkstelligen) naar het groene eindbeeld.
- Er zijn op dit moment een aantal grijze waterstof installaties (Steam Methane Reformers; SMR) die voor een bestaande markt waterstof leveren. De afnemers zijn chemische fabrieken waarbij waterstof dient als een grondstof voor hun processen. Daarnaast wordt er op kleinere schaal waterstof geleverd voor de mobiliteit (met naar het buitenland). De totale productie van grijze waterstof ligt rond de 400 kiloton per jaar.
- De installaties van de desbetreffende bedrijven dat hun waterstof productie ‘CCS ready’ is; het enige wat ontbreekt is de infrastructuur die hun CO₂ kan transporteren naar ondergrondse gasvelden. Daarnaast wordt er door een consortium van 15 partijen, geïnitieerd door Deltalinqs en het havenbedrijf, om te onderzoeken wat de haalbaarheid is van grootschalig blauwe waterstof productie voor een nieuwe markt, genaamd H-Vision. Dit betreft waterstof voor hoge temperatuur verwarming in de industrie en als grondstof voor de verduurzaming van huidige petrochemische industrie (synthetische brandstoffen). Er zouden daarbij in 2020-2025 nieuwe SMRs worden geplaatst die aangesloten worden op het Porthos-project. Daarnaast onderzoekt H-Vision de haalbaarheid van blauwe waterstof productie qua prijsniveau, waarbij het wordt gezien als een overbruggingsoptie/transitieoptie voor de uiteindelijke groene waterstof. Er wordt daarbij beargumenteerd dat deze groene waterstof nog niet op korte termijn van de grond komt vanwege de afwezigheid van groene elektronen die voor waterstofproductie kunnen worden gebruikt (maar mogelijke kans op blauwe lock-in en lastige groene lock-out). Echter, naast hun onderzoek naar blauwe waterstof,

kijken ze ook naar de potentie van groene waterstof vanwege de kennis die dit consortium hierover al heeft.

- Het eindbeeld van H-Vision, het havenbedrijf, de gemeente Rotterdam en de provincie is een groene waterstofeconomie, waarbij er met name na 2030 op grote schaal vraag en aanbod zal zijn. Dit hangt natuurlijk ook volledig samen met het aanlanden en produceren van genoeg groene elektronen uit de Noordzee. ISPT gaat binnenkort samen met het havenbedrijf, Deltalinqs en de provincie Zuid-Holland praten over een studie naar 1 GW elektrolyse in het havengebied van Rotterdam en wat daarvoor nodig is; dit kan mogelijk leiden, wat ook de intentie van de provincie is, om partijen bij elkaar te krijgen om 1-2 GW-elektrolyse te bewerkstelligen in Rotterdam. Verder lopen er onderzoeken en projecten om lokale waterstof ketens op te zetten. Daarbij wordt bij de productie van schone energie via wind en/of zon direct waterstof gemaakt voor lokale toepassingen in de gebouwde omgeving en/of mobiliteit.

Wat ziet de regio voor kansen voor zichzelf met betrekking tot waterstof in de toekomst?

- De provincie Zuid-Holland is bezig met een routekaart waterstof (oplevering 1ste kwartaal 2019) waarbij de potentie van waterstof in de energietransitie wordt beschreven. Daarbij wordt ingegaan op de waterstof productie zoals die hierboven is geschetst, de benodigde infrastructuur (transport, distributie en opslag) en de huidige en verwachte vraag in de industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving en voor het net-balanceren/piekvraag.
- In deze routekaart streeft de provincie naar bredere samenwerking met de partijen in de regio en de gemeente Rotterdam om de waterstofeconomie samen verder te ontwikkelen, industriële processen te verduurzamen en de andere potentiële markten verder te laten ontplooiën (mobiliteit, gebouwde omgeving). Hierbij is een programmatisch en adaptieve aanpak van belang.
- Ten slotte is het havengebied van Rotterdam op dit moment een overslagplaats en groot onderdeel van de Nederlandse export (ongeveer 10.000 PJ) aan energiedragers (met name olie) voor de rest van Noordwest-Europa. Wil het deze positie in de toekomst behouden zal het moeten toewerken naar overslag infrastructuur voor groene moleculen (waterstof en equivalenten). Daarnaast is import van schone en groene energie essentieel om de provincie en Nederland te voorzien in haar energiebehoefte, welke niet volledig gedekt kan worden met de energieopwekkingscapaciteit in Nederland (zie Contouren Nationale Routekaart Waterstof). Het Havenbedrijf Rotterdam is hier onder andere samen met TNO naar aan het kijken hoe het importverhaal zal verlopen.

Wat voor soort werkgelegenheid gaat daar mee gepaard?

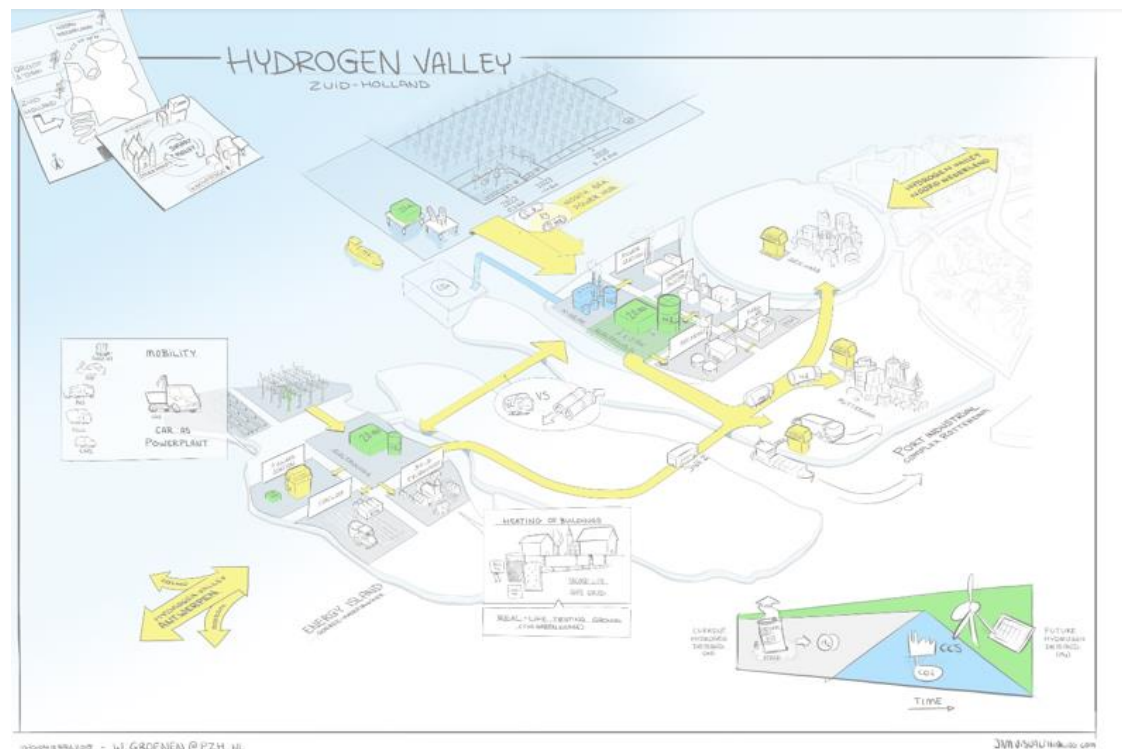
- Waterstof biedt daarmee een wenkend perspectief voor behoud en groei van de Zuid-Hollandse economie en werkgelegenheid die nu nog op grotendeels op fossiele energiedragers en grondstoffen is gebaseerd.
- De ontwikkeling van expertise en werknemers die de hele waardeketen van energie en waterstof kunnen analyseren zal toenemen wanneer de duurzame/waterstofeconomie toeneemt. Zij zijn essentieel om een betrouwbaar en functionerend energiesysteem te waarborgen wanneer deze afhankelijker wordt van minder constante energiebronnen zoals zon en wind. Waterstof kan hierbij een prominente rol spelen vanwege (seizoens-)opslagmogelijkheden en daarmee aanbod en vraag in balans brengen.
- Binnen bedrijven en overheidsinstanties zullen meer mensen worden aangenomen of omschoold tot waterstof experts vanwege de toenemende aandacht en potentie.

- De grootste werkgelegenheidsvraag die zal ontstaan is wanneer waterstof daadwerkelijk gebruikt gaat worden voor warmte; dit gaat dan leiden tot vraag naar ingenieurs, installateurs, monteurs, onderhoud specialisten en de monteurs van waterstofketels of equivalenten. Hetzelfde geldt voor de mobiliteitssector. Echter, omdat het om een andere gasvorm gaat en we in Nederland veel kennis hebben op het gebied van gassen zal het meer omscholing vragen dan veel nieuwe expertise zoals bijvoorbeeld bij zonne- en windenergie. (Dit is onderdeel van de waardeketen.)
- Vanuit het curriculum van hogescholen en universiteiten moet echter wel meer aandacht komen voor de nieuwe waterstof economie zodat studenten de kans krijgen zich voor te bereiden op deze overgang naar een andere gasvorm en daarbij innovatie verder te helpen met hun talenten.
- Mogelijk gaan internationale bedrijven de elektrolyse installaties leveren; mogelijk spelen lokale partijen hier ook een rol in (bijvoorbeeld Frames).

Enkele projecten ter illustratie (geen compleet overzicht)

- Roteb Lease (een deel van het wagenpark met waterstof Renault Kangoo's te vervangen) en de waterstofbussen die in de regio Rotterdam gaan rijden (JIVE). Daarnaast zijn er via het afgelopen DKT-subsidies uitgereikt aan onder andere Joulz om nieuwe waterstof tankstations te plaatsen in onder andere Rotterdam-Noord en Den Haag, wat de tankinfrastructuur een boost kan geven en zorgen voor mee vraag naar waterstofvoertuigen.
- Stedin is in Rozenburg bezig met waterstofelektrolyse en het verwarmen van appartementencomplexen, in totaal 25 appartementen.

Figuur 15 - Hydrogen Valley Zuid-Holland



Bron: Provincie Zuid-Holland.

4.5 Regio Zeeland

Wat doet de regio nu op gebied van (groene) waterstof?

Groene waterstof is een speerpunt van het samenwerkingsplatform Smart Delta Resources (SDR) waarin 12 grote industriële bedrijven in West-Brabant, Zeeland en Oost-Vlaanderen participeren. Overige partners zijn Impuls Zeeland, North Sea Port en Provincie Oost-Vlaanderen. In de 'Roadmap towards a climate neutral industry in the Delta Region' (CE Delft, 2018b) is waterstof door SDR als prioritair onderwerp opgenomen.

Er ligt in de regio al een waterstofbuisleiding-infrastructuur. Onlangs is de eerste fase waterstofkoppeling tussen Dow Terneuzen en Yara Sluiskil gerealiseerd. Een reststroom van Dow wordt ingezet bij Yara waarbij een niet gebruikte gasleiding van de Gasunie wordt gebruikt. Dit is de eerste stap naar een regionale waterstofrotonde waarbij onder andere de bedrijven Dow, Yara, ICL-IP, Zeeland Refinery, Sabic en ArcelorMittal zijn betrokken. In de roadmap is de realisatie van een Electrolyser van 100 MW opgenomen die in 2025 operationeel moet zijn. Hierover vinden gesprekken plaats met onder andere Nouryon. Tegelijkertijd vindt ook een studie plaats naar de benodigde buisleiding-infrastructuur (Clean Underground Sustainable Transport: CUST-project) en is SDR betrokken bij de discussies/studies over de aanlanding van groene windstroom in de regio. Betreft niet alleen de parken die nu al in aanleg zijn (Borsele I t/m V), maar ook het op termijn realiseren van een kabel van IJmuiden Ver naar Zeeland.

Wat ziet de regio voor kansen voor zichzelf met betrekking tot waterstof in de toekomst?

Zeeland/West-Brabant is momenteel het industriecluster met de grootste (grijze) waterstofproductie van Nederland. Er is dus allereerst een grote opgave om de huidige grijze productie te vervangen door groene. Dit betreft vooral de bedrijven Yara en Zeeland Refinery. Daarnaast is er een grote groene waterstof behoefte in het kader van het Steel2Chemicals van Dow en ArcelorMittal. CO van ArcelorMittal en groene waterstof worden daarbij omgezet naar een synthetische nafta die als grondstof gaat dienen voor Dow. De financiering van een pilotinstallatie is inmiddels rond. Tot slot zal waterstof een rol gaan spelen voor HTW. De huidige waterstofproductie van ca. 400 kton zal daarmee groeien naar 1.000 kton.

Daarnaast zal ook in deze regio waterstof een rol gaan spelen binnen mobiliteit en gebouwde omgeving. Gezien de omvang van de industriële vraag zal de backbone van de buisleidinginfra door de industrie worden bepaald. Andere sectoren zullen op die backbone gaan aantakken.

Specifieke punten:

- De SMR's (de waterstoffabrieken) bij Yara en Zeeland Refinery zijn uitermate geschikt om groene waterstof in te faseren (systeemintegratie).
- Het gebruik van waterstof is hoofdzakelijk als industriële grondstof in deze regio. Dat betekent een uniek hoogwaardig gebruik van waterstof; gebruik als brandstof is energetisch/kostprijsstechnisch immers veel minder aantrekkelijk.
- Yara, Dow en ArcelorMittal zijn betrokken bij de 1 GW elektrolyser-studie van ISPT.
- Industriële context met (bouw van) grootschalige windparken voor onze deur biedt grote voordelen voor systeemintegratie en balancerende elektrificatie in combinatie met waterstofambities.

Wat voor soort werkgelegenheid gaat daar naar verwachting mee gepaard?

Dit betreft allereerst het behoud van werkgelegenheid bij de betrokken bedrijven die daarmee een 'groene transitie' doormaken en zo toekomstbestendig worden. Daarnaast extra werkgelegenheid bij aanleg, beheer en het bedrijven van nieuwe infra en productie en opslag faciliteiten. Er is geen kwantitatieve informatie beschikbaar.

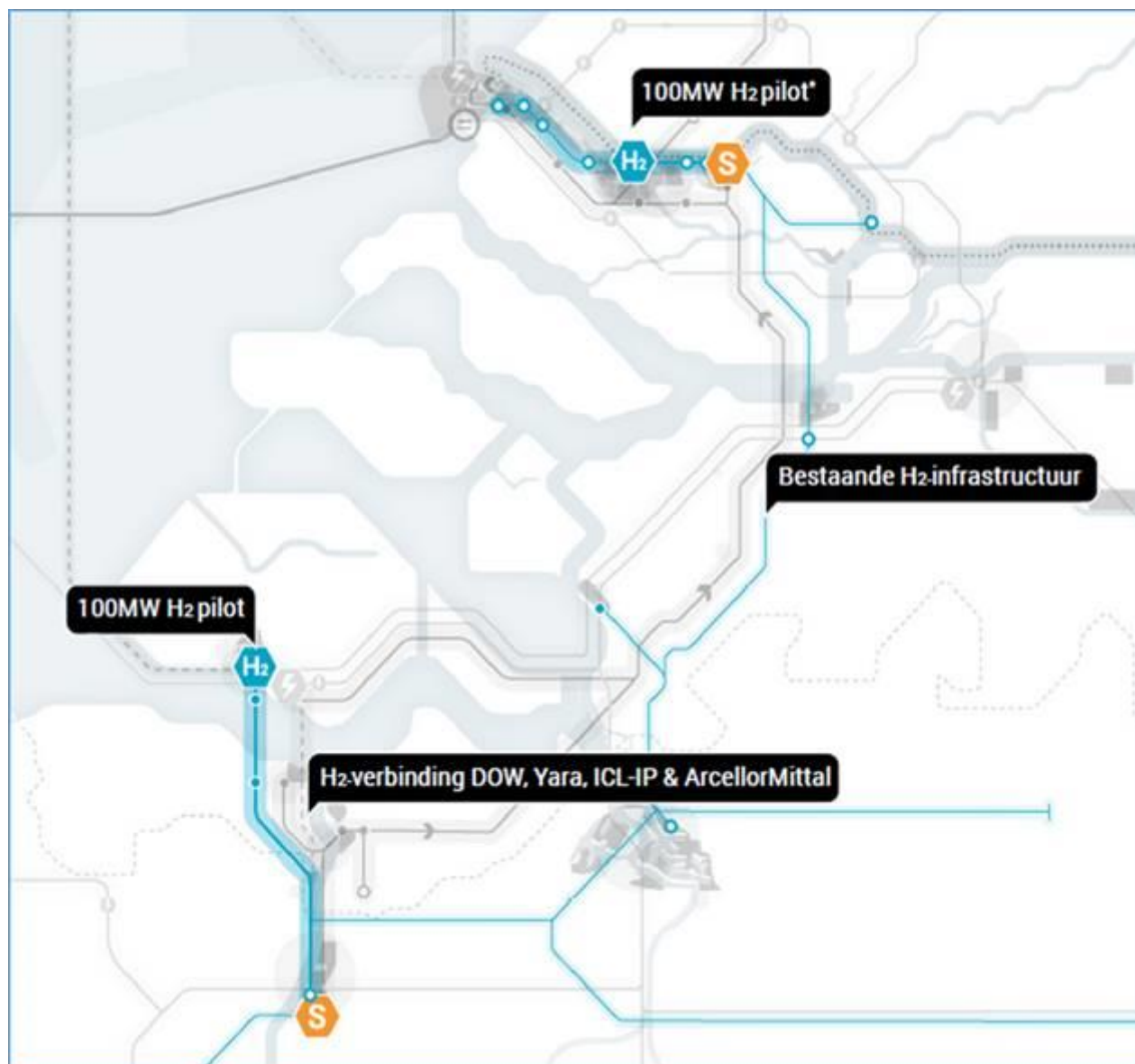
Enkele projecten ter illustratie (geen compleet overzicht)

- Waterstofkoppeling Dow-Yara, als start van een regionale waterstofrotonde. Deze leiding is de eerste keer dat een bestaande aardgas-hoofdtransportleiding van Gasunie geschikt is gemaakt voor het vervoer van waterstof. De leiding is in november 2018 in gebruik genomen voor waterstofvervoer¹³.
- Steel2Chemicals-project van Dow en ArcelorMittal¹⁴. ArcelorMittal zal gassen uit hun hoogovens aan Dow leveren. Dow zal de koolmonoxide in het gas gebruiken om, samen met waterstofoverschot uit het eigen proces, een syngas te creëren. Syngas vormt vervolgens een basisgrondstof voor plastic (polyethyleen).

¹³ Zie: [Waterstofleiding van Dow naar Yara in gebruik genomen](#)

¹⁴ Zie: [FD: Arcelor and Dow solve each others problems](#)

Figuur 16 - Ontwikkeling waterstofinfrastructuur in regio Zeeland met enkele concrete projecten



Beeld: Studio Marco Vermeulen.

5 Conclusies

De vraag en productie van groene waterstof zal naar veler verwachting sterk stijgen in de komende decennia, zowel mondiaal als in Nederland. De ranges in met name het groeitempo van waterstof in de verschillende mondiale en nationale scenario's zijn nog relatief groot, en hangen onder andere af van de inzet op de realisatie van de mondiale klimaatafspraken die in Parijs zijn gemaakt.

Groene productie van waterstof door elektrolyse kan een substantiële bijdrage leveren aan de werkgelegenheid in Nederland als waterstof op grote schaal toegepast gaat worden. Een overzicht is gegeven in Tabel 18. Ter vergelijking: de huidige werkgelegenheid in Nederland in de chemiesector is 41.000 FTE, in de aardgaswinning 4.700 FTE, en in de energievoorzieningssector 25.000 FTE.

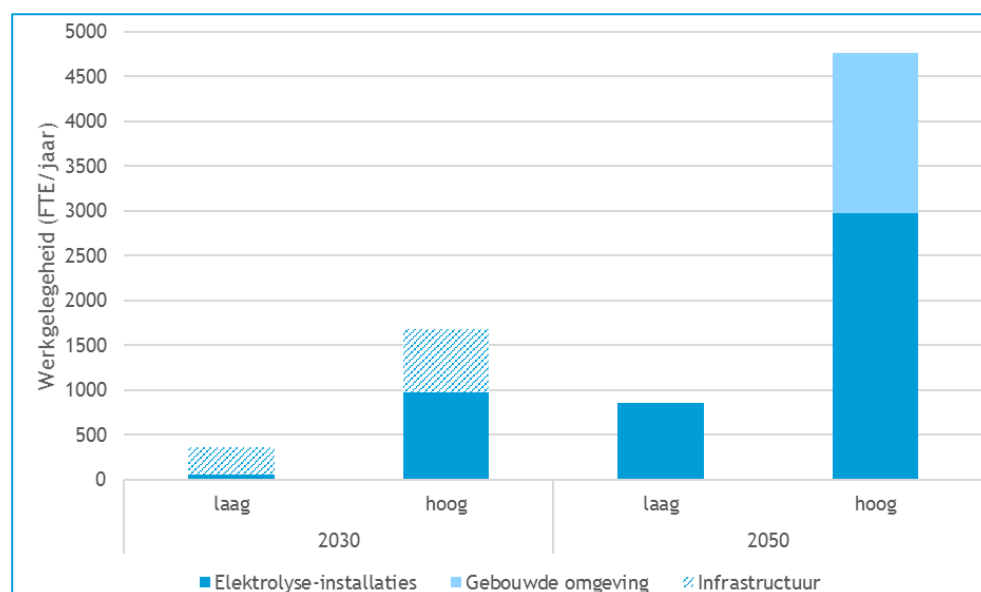
Tabel 18 - Overzicht van de werkgelegenheidscijfers

Jaar	Totale eenmalige werkgelegenheid (gemiddeld, in FTE/jr)	Terugkerende werkgelegenheid (in FTE/jr)
2030	350-1.750	800-16.500
2050	850-4.750 (*)	17.500-75.000

(*) Exclusief werkgelegenheid door investeringen in transportnetten en opslag, omdat daarvoor nog geen bruikbare cijfers beschikbaar zijn voor de periode na 2030.

De verdeling over de sectoren van de eenmalige en terugkerende werkgelegenheid is weergegeven in de volgende figuren. In Figuur 17 is de eenmalige werkgelegenheid weergegeven. De eenmalige werkgelegenheid is uitgedrukt in het gemiddelde aantal FTE per jaar tot 2030 en 2050.

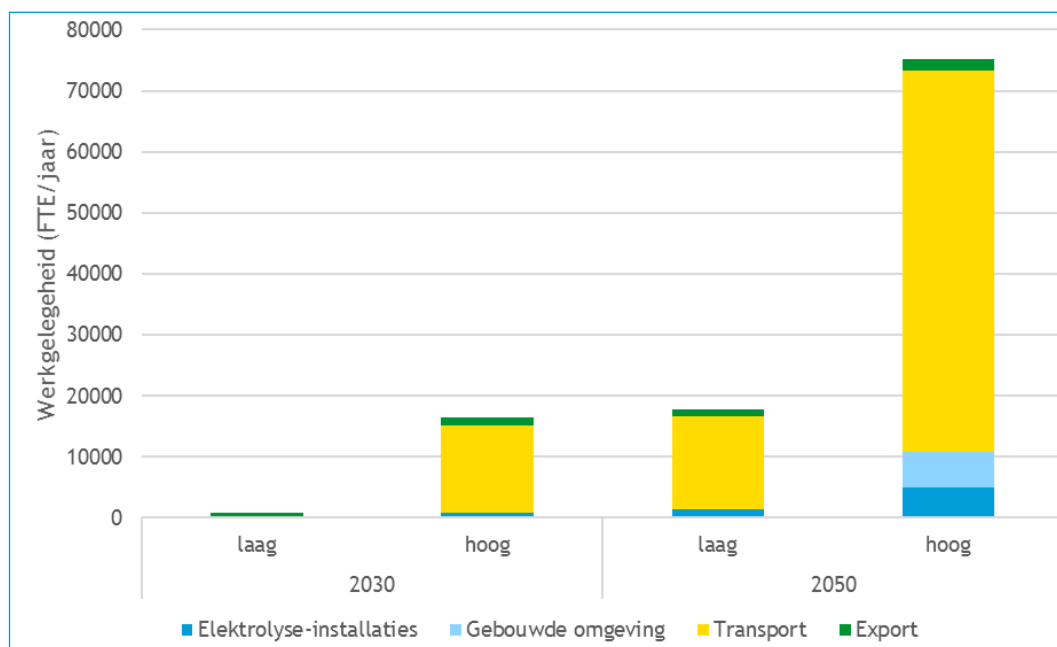
Figuur 17 - Eenmalige werkgelegenheid voor verschillende sectoren tot en met 2030 en 2050 (NB: het onderdeel investeringen in (waterstoftransport-)infrastructuur is nog onbekend voor 2050)



De bouw van waterstofproductie-installaties, het ombouwen van aardgasinfrastructuur naar waterstof en het installeren van waterstofketels en warmtepompen leveren eenmalige werkgelegenheid op. Zolang de vraagmarkt blijft groeien is er ook steeds vraag naar deze op zich eenmalige arbeid. Tot en met 2030 ligt dit naar verwachting tussen de 350 en 1.750 FTE gemiddeld per jaar, mits de waterstofbackbone gerealiseerd gaat worden. Tot en met 2050 is ligt de werkgelegenheid tussen de 850 en 4.750 FTE/jr. Dat is exclusief de werkgelegenheidseffecten van verdere investeringen in waterstofinfrastructuur omdat daarvoor nog geen bruikbare schattingen bekend zijn.

In Figuur 18 is de terugkerende werkgelegenheid gegeven. De terugkerende werkgelegenheid ontstaat uit productie van installaties en voertuigen, het bedrijven daarvan ('operations') en onderhoud. De terugkerende werkgelegenheid is uitgedrukt in FTE per jaar op een bepaald tijdstip (2030, 2050).

Figuur 18 - Terugkerende werkgelegenheid voor verschillende sectoren in 2030 en 2050



In 2030 ligt de terugkerende werkgelegenheid tussen de 800 en 16.500 FTE/jaar en in 2050 17.500 en 75.000 FTE/jaar. Daarin overheerst de werkgelegenheid voor transport die voor een groot gedeelte bestaat uit het onderhoud van voertuigen. De export lijkt relatief op de schaal van de figuur relatief klein, maar kan tot 750-1.250 banen opleveren in 2030, en tot 1.100-1.850 in 2050.

De informatie over de visies en huidige activiteiten met betrekking tot waterstof uit vier Nederlandse regio's laat zien dat de genoemde cijfers niet alleen een theoretische mogelijkheid zijn, maar dat er ook hard gewerkt wordt om die mogelijkheid om te zetten in realiteit. Dat vergt echter wel een overheidsbeleid dat daar op aansluit, onder andere om te borgen dat de benodigde investeringen in infrastructuur ook daadwerkelijk worden gedaan.

6 Geraadpleegde bronnen

CE Delft, 2017. *Net voor de Toekomst*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018a. *Waterstofroutes : Blauw, groen en import*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018b. *Roadmap towards a climate neutral industry in the Delta region*, Delft: CE Delft.

Energiea, 2018a. Akzo Nobel en Gasunie hebben grootse elektrolyseplannen in Delfzijl. *Energiea*, 9 januari.

Energiea, 2018b. Waterstofcluster werkt aan elektrolysefabriek in IJmuiden. *Energiea*, 18 oktober.

Energiea, 2018c. Tennet, Gasunie en Thyssengas plannen grootste waterstoffabriek van Duitsland. *Energiea*, 17 oktober.

Energiea, 2018d. Engie en Gasunie onderzoeken bouw grote waterstoffabriek in Noord-Nederland. *Energiea*, 18 oktober.

FCH JU, 2012. *Urban buses : alternative powertrains for Europe A fact-based analysis of the role of diesel hybrid, hydrogen fuel cell, trolley and battery electric powertrains*. [Online]

Available at:

https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/20121029%20Urban%20buses%2C%20alternative%20powertrains%20for%20Europe%20-%20Final%20report_0_0.pdf

[Geopend 2018].

FCH JU, 2017. *Technology Introduction and Preliminary Business Case dossiers (FCH Regions initiative)*. [Online]

Available at: <https://fch.europa.eu/page/presentations-2>

[Geopend 2018].

Global CCS Institute, 2010. *Industrial hydrogen and synfuel production and use*. [Online]

Available at: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/ccs-roadmap-industry-high-purity-co2-sources-sectoral-assessment---final-draft-report-1>

[Geopend 22 11 2018].

Hinicio & Tractebel, 2017. *Early Business cases for power to hydrogen*, sl: sn

Hinicio, 2018. *Het potentieel voor groene waterstof in Vlaanderen - een routekaart*, sl: sn

Hydrogen Council, 2017. *Hydrogen scaling up - A sustainable pathway for the global energy transition*. [Online]

Available at: <http://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>

IRENA, 2018. *Hydrogen from renewable power technology outlook for the energy transition*. [Online]

Available at: <https://www.irena.org/->



[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf](#)

NIB, 2017. *The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands*. [Online]
Available at: http://verslag.noordelijkeinnovationboard.nl/uploads/bestanden/dbf7757e-cabc-5dd6-9e97-16165b653dad/3008272975/NIB-Hydrogen-Full_report.pdf

NOW GmbH, 2018. *Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland*, sl: sn

PBL, 2017. *Verkenning van Klimaatdoelen*. [Online]
Available at:
<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2017/10/09/v-erkenning-van-klimaatdoelen/verkenning-van-klimaatdoelen.pdf>

Riahi, K. et al., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview.. *Global Environmental Change*, Issue 42, pp. 153-168.

Robinius, M. et al., 2018. *Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles*. Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment 408, VII red. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH Zentralbibliothek, Verlag Jülich.

Roland Berger, 2015. *Fuel Cell Electric Buses - Potential For Sustainable Public Transport In Europe*, München: The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

Shell, 2018. *Shell scenarios Sky meeting the goals of the Paris Agreement*. [Online]
Available at: https://www.shell.com/promos/meeting-the-goals-of-the-paris-agreement/_jcr_content.stream/1530643931055/d5af41aef92d05d86a5cd77b3f3f5911f75c3a51c1961fe1c981daebda29b726/shell-scenario-sky.pdf

TKI nieuw gas, 2018. *Contouren van een routekaart waterstof*. [Online]
Available at:
<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/TKI%20Gas/publicaties/20180307%20Routekaart%20Waterstof%20TKI%20Nieuw%20Gas%20maart%202018.pdf>

Viebahn, P. et al., 2018. *Technologien für die Energiewende: Technologiebericht - Band 2. Teilbericht 2 zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts "Trends und Perspektiven der Energieforschung"*. [Online]
Available at: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-70837>
[Geopend 2018].



A Huidige markt electrolyzers

De mondiale markt van electrolyzers wordt gedomineerd door enkele grote spelers¹⁵. Er zijn twee hoofdtypes technologie voor electrolyzers: alkaline en PEM. Alkaline is op moment als techniek marktleider, PEM is minder ver ontwikkeld qua schaalgrootte, dat geldt zowel voor de fabrikanten van de electrolyzers als voor de fabrikanten van componenten er van (zoals elektroden en membranen).

Alle fabrikanten zijn aan het opschalen nu de wereldwijde vraag naar groene waterstof toeneemt, en ook zijn ze daarbij aan het investeren in geautomatiseerde productielijnen. Dat zal er toe leiden dat de kostprijs van groene waterstof zal dalen, aangezien de electrolyser één van de belangrijkste kostencomponenten is.

De grote spelers op de mondiale markt van productie van (alkaline) electrolyzers zijn verspreid over de wereld, en betreffen:

Bedrijf	Huidige productiecapaciteit (MW)	Ontwikkeling
NEL (Noorwegen)	40	200 MW in 2020 (geautomatiseerde productielijn)
PERIC (China)	160	
McPhy (Italië)	100	200 MW in 2019
tkUCE (Duitsland)		
THE (China)	Circa 80	
Suzhou Jingli (China)	Circa 80	

¹⁵ Zie bijvoorbeeld: [North America to Grow at a Faster Rate and Register a CAGR of 7.5% in the Global Hydrogen Electrolyzer Market](#)

B Aannames

Aannames berekening werkgelegenheid mobiliteit

Tabel 19 - Gemiddeld aantal kilometers per jaar en onderhoudskosten

Gemiddelde levensduur (jaren) ¹⁶	Auto	Bestelbus	Vrachtwagen	Bus
Gemiddeld aantal kilometers per jaar	22.000 ¹⁷	35.000 ¹⁷	50.000 ¹⁸	65.000 ¹⁹
Onderhoudskosten (€/km/jaar)	0.023 ²⁰	0.055 ²¹	0.38 in 2020, 0.28 in 2030-2050 ²²	0.115 ²³

Tabel 20 - Tank-to-Wheel efficiënties verschillende types voertuigen

	2020 (kWh/100 km)	2030-2050 (kWh/100 km)	Bron
Personenwagens (incl. taxi's, etc.)	26	20	Hinicio
Bestelbusjes/bedrijfswagens	60	50	FCH JU, 2017
Bussen	286	216	
Vrachtwagens	200	170	

Tabel 21 - Waterstofvraag transport (PJ/jaar)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Waterstofvraag transport (PJ/jaar) -laag	0	0	0	6	11	17	22
Waterstofvraag transport (PJ/jaar) -hoog	0	10	20	39	58	78	97

N.B. we nemen aan dat de totale transportvraag wordt gedekt door de modaliteiten personenwagens, bestelbusjes/bedrijfswagen, bussen en vrachtwagens. In werkelijkheid zullen ook op termijn ook schepen e.d. waterstof vragen. De getallen zijn daarmee een overschatting.

¹⁶ Klimaatakkoordproces; Cross-sectorale werkgroep waterstof.

¹⁷ Klimaatakkoordproces; Cross-sectorale werkgroep waterstof.

¹⁸ Klimaatakkoordproces; Cross-sectorale werkgroep waterstof.

¹⁹ Klimaatakkoordproces; Cross-sectorale werkgroep waterstof.

²⁰ (FCH JU, 2017)

²¹ (FCH JU, 2017)

²² (Roland Berger, 2015)

²³ (FCH JU, 2017)

Tabel 22 - Investerings- en onderhoudskosten voor een 12-meter brandstofcel elektrische bus met een 100 kW brandstofcel

	2020	Aandeel arbeidskosten (NL) 2020	2030- 2050	Aandeel arbeidskosten (NL) 2030-2050
CAPEX (kEUR)	571	151.9	510	151.6
Powertrain	140	0	120	0
Fuel cell stack incl. BOP, periphery and other (100 kW)	115	0	84	0
Hydrogen storage (tanks and piping) (45 kg)	58	0	50	0
Base vehicle	180	90	180	90
Battery (50 kWh)	19	2	16	2
Assembly, integration and energy management	60	60	60	60
OPEX				
Onderhoud (€/km)	0.38	0.38	0.28	0.28
Levensduur fuel cell stack (uur)	> 15.000			

Bron: CAPEX behalve fuel cell stack and storage en OPEX (Roland Berger, 2015). (FCH JU, 2012) voor fuel cell stack en storage CAPEX. Arbeidskosten zijn verkregen uit interviews met geselecteerde fabrikanten.

Tabel 23 - Investerings- en onderhoudskosten voor 700 bar station, excl. waterstoflevering of plaatselijke productie

	2020	2030	2050	# FTE/ HRS	Aandeel arbeidskosten
Lifetime (years)	10	10	10		
CAPEX					
Direct capital costs:					
Equipment @ 200 kg/d	1.000 k€	-	-	4	10%
Equipment @ 400 kg/d	1.200 k€	600 k€	400 k€	5	8%
Equipment @ 1.000 kg/d	2.240 k€	1.000 k€	800 k€	6	6%
Indirect capital costs:					
Non-equipment costs	30%	30%	30%	3	50%
OPEX (%CAPEX/year)					
O&M	8%	5%	2%	1	50%

Bron: (Robinius, et al., 2018). Arbeidskosten zijn verkregen uit interviews met geselecteerde fabrikanten.

Tabel 24 - Arbeidskosten per voltijdeenheid transport

	Arbeidskosten per voltijdeenheid 2016 (1.000 €/FTE)	Sector
Productie van bussen	62,0	29 Auto- en aanhangwagenindustrie
Installatie tankstation	57,1	43 Gespecialiseerde bouw
Onderhoud voertuigen	50,1	45 Autohandel en -reparatie
Onderhoud tankstation	74,2	Gemiddelde 26 Elektrotechnische industrie, 27 Elektrische apparatenindustrie, en 28 Machine-industrie

Bron: (CBS, 2018).

Tabel 25 - Verhouding tussen types van tankstations

	2018	2030	2050
% 200 kg/d stations	80%	0%	0%
% 400 kg/d stations	20%	70%	30%
% 1 t/d stations	0%	30%	70%

Tabel 6 - Aangenomen aantallen voertuigen per tankstation

	2020-2050
Personen- en bestelwagens	2.000
Bussen	40
Vrachtwagens	100