

DE BETEKENIS VAN WATERSTOF VOOR DE NEDERLANDSE LOGISTIEKE SECTOR: HEILIGE GRAAL OF LUCHTBALLON?

POSITION PAPER DECEMBER 2020



PROF. DR. HARRY GEERLINGS
IR. BERT VAN GRIEKEN

Erasmus



TKI DINALOG
Dutch Institute for Advanced Logistics



In opdracht van TKI Dinalog

Auteurs prof. dr. Harry Geerlings – Erasmus Universiteit Rotterdam, Erasmus School of Social and Behavioural Sciences (ESSB), ir. Bert van Grieken

Titel De betekenis van waterstof voor de Nederlandse logistieke sector: heilige graal of luchtballon?

Design Michelle Haak Miesart

Eindredactie Liesbeth Brügemann TKI Dinalog

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TKI Dinalog worden openbaar gemaakt of veelevoudigd, waaronder begrepen het reproduceren door middel van druk, offset, fotokopie of microfilm of in enige digitale, elektronische, optische of andere vorm.

© 2020 TKI Dinalog

Voor het delen van hun expertise in interviews ten behoeve van dit rapport speciale dank aan (in alfabetische volgorde):

Paul van Bennekom Manager Infrastructure and Equipment Hutchison Ports ECT

Ankie Janssen Business Manager Energie & Industrie Havenbedrijf Rotterdam N.V.

Roel van de Pas Chief Commercial Officer Nedstack Fuel Cell Technology B.V.

VOORWOORD

Nederland staat aan de vooravond van een grote transitie. Het Akkoord van Parijs en het Nederlandse Klimaatakkoord hebben de noodzaak voor een energietransitie in een stroomversnelling gebracht. Er zijn concrete afspraken gemaakt aan vijf klimaattafels voor verschillende economische en maatschappelijke sectoren. Deze sectoren verschillen sterk in aard en omvang. Dit betekent dat de energietransitie maatwerk zal vragen voor de verschillende toepassingsgebieden, verschillende doelgroepen, verschillende regio's, etc.

Ook voor de logistieke sector is de energietransitie een grote uitdaging. De sector kenmerkt zich door een sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Een voordehand liggende ontwikkelingsrichting is daarom de inzet van alternatieve energiebronnen of alternatieve energiedragers. Bij de laatste categorie moet worden gedacht aan een massieve elektrificatie van de transportsector en gerelateerde logistieke functies.

Een veelgehoord scenario is dat waterstof op korte termijn kan worden ingezet voor het opwekken van elektriciteit voor het goederenvervoer over de weg (voor lange afstanden), de binnenvaart, zwaar transport of op containerterminals en in warehouses. De potenties van waterstof zijn echter nog niet uitgekristalliseerd. Dit position paper gaat in op de betekenis van waterstof voor de transportsector en gerelateerde logistieke functies.

Doel van de paper is een analyse te maken van de kansen en barrières voor een (grootschalige) transitie naar waterstof in de logistieke sector. De methode van onderzoek bestond uit literatuurstudie, documentenanalyse en een aantal semigestructureerde interviews. Wij willen langs deze weg alle mensen danken die bereid waren ons te woord te staan.

De resultaten zijn te gebruiken voor toekomstige programmering van onderzoek en activiteiten in de logistieke sector. De studie is uitgevoerd door een team van onderzoekers, bestaande uit prof. dr. Harry Geerlings en ir. Bert van Grieken. Harry Geerlings is als (haven)hoogleraar verbonden aan de Erasmus School of Social and Behavioural Sciences (ESSB) van de Erasmus Universiteit Rotterdam en Bert van Grieken is als zelfstandig adviseur duurzaam transport en logistiek o.a. betrokken bij meerdere initiatieven op het gebied van emissievrije binnenvaart.

Rotterdam, 17 december 2020

SAMENVATTING

Waterstof wordt gezien als een cruciale schakel in de energietransitie die zich richt op een klimaat-neutrale toekomst. Waterstof wordt gebruikt als grondstof voor belangrijke chemische industrie, als brandstof en als energiedrager zoals batterijen. Waterstof is dus geen energiebron, zoals steenkool, aardgas, zon of wind, maar het moet eerst worden geproduceerd voordat het kan worden gebruikt. Bij het produceren van waterstof uit fossiele bronnen zoals aardgas, komt CO₂ vrij en dat is onwenselijk. Waterstof die wordt geproduceerd uit zon of wind is daarentegen klimaatneutraal. De eerste vorm waterstof wordt grijze waterstof genoemd, de andere vorm is zgn. groene waterstof. Het overgrote deel van de 8 miljard m³ waterstofgas dat in Nederland wordt gebruikt, is grijze waterstof. De productie van groene waterstof vindt nog nauwelijks plaats op industriële schaal. Op termijn zal blauwe waterstof worden geïntroduceerd waarbij de CO₂ na productie wordt opgevangen en opgeslagen in de bodem. Het eerste project met deze techniek zal over enkele jaren van start gaan.

Zowel nationaal als internationaal is er veel aandacht voor de potenties van waterstof, hetgeen tot uiting komt in een veelheid aan onderzoeks- en demonstratieprojecten. Het initiatief voor verdere ontwikkeling en uitrol van waterstofprojecten ligt bij het bedrijfsleven, waarbij de overheid een belangrijke faciliterende rol speelt. Het valt op dat het een relatief overzichtelijke groep van stakeholders is die actief is in de verschillende samenwerkingsverbanden. Geografisch gezien zijn de initiatieven vooral geconcentreerd in havengebieden waar ook petrochemische industrie is gevestigd. Nederland lijkt daarmee een gunstige uitgangspositie te hebben in de energietransitie.

De transport- en logistieke sector is in deze ontwikkeling duidelijk een volger, hoewel ook daar momenteel meerdere initiatieven in voorbereiding zijn. De voordelen van waterstof voor de transportsector zijn evident. Gedacht moet worden aan zero-emissie transport, een grote actieradius en lange bedrijfsduur en een korte vultijd in vergelijking met batterijtechnologie. Nadelen echter zijn bijvoorbeeld het feit dat de techniek nog niet is

uitontwikkeld, er hoge kosten zijn gemoeid met de aanschaf, productie en het gebruik van waterstof en de energie-efficiëntie laag is. De implementatie van waterstof is daarom het meest kansrijk als het wordt geïntroduceerd in samenhang met alternatieve energiedragers als batterijen (de energiemix) afgestemd op de specifieke omstandigheden van de toepassing. De grote uitdagingen liggen momenteel verder op het gebied van leemtes in de wet- en regelgeving, de beschikbaarheid van groene waterstof om straks aan de grote vraag te kunnen voldoen en de schaa sprong die noodzakelijk is om te komen tot een significante kostenreductie. Dit proces kan worden versneld door samenwerking met andere sectoren en tussen modaliteiten.

Voor de logistieke sector is het belangrijk de ontwikkelingen actief te volgen en waar mogelijk te stimuleren en blijvende aandacht te vragen bij de overheid voor het belang van de transportsector en gerelateerde logistieke functies. Alle signalen wijzen erop dat nu de basis wordt gelegd voor de noodzakelijke energietransitie en dat waterstof daarin een sleutelrol zal spelen.

1. SETTING-THE-SCENE; DE UITDAGINGEN ROND WATERSTOF	6
1.1 Wat is waterstof?	6
1.2 Productie	7
1.3 Opslag en distributie	7
1.4 Omzetting naar energie	9
1.5 Waterstoftoepassingen	9
1.6 Systeemtransitie	10
2. BESTUURLIJKE INBEDDING EN INITIATIEVEN	11
2.1 Het Europese beleidsperspectief	11
2.2 Nationale beleidsperspectief	12
3. WATERSTOF IN TRANSPORT; DE HEILIGE GRAAL?	16
3.1 Een complex waarderingsvraagstuk	16
3.2 Wegvervoer	16
3.3 Binnenvaart	21
3.4 Spoor	22
3.5 Scheepvaart	23
3.6 Intern transport	23
4. POTENTIEEL VOOR WATERSTOF IN TRANSPORT	24
4.1 De SWOT-analyse	24
5. VISIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27
5.1 Naar een visie	27
5.2 Van visie naar aanpak	28
5.3 Conclusies	28
5.4 Aanbevelingen	30
Geraadpleegde bronnen	31



SETTING-THE-SCENE; DE UITDAGINGEN ROND WATERSTOF

Er is momenteel sprake van hooggespannen verwachtingen als het gaat over de toekomstige rol van waterstof in de energievoorziening. Daarbij speelt zeker een rol dat ECN (Van den Noort e.a., 2017) niet zo lang geleden heeft gemeld dat we in het aardgasnet door een aantal kleine aanpassingen eenvoudig het aardgas kunnen vervangen door waterstof. **Probleem van de aflopende beschikbaarheid van aardgas in 1x opgelost! Maar is het zo eenvoudig? Het thema 'waterstof' blijkt in veel gevallen te staan voor een containerbegrip waarbij de productie, de productietechniek, de distributie en de inzet allemaal in één mandje wordt samengevoegd. Waterstof is echter een energiedrager wat betekent dat, om het te kunnen gebruiken, de waterstof eerst moet worden geproduceerd, vervolgens moet worden gedistribueerd om het bij de gebruiker te krijgen die het dan op verschillende wijzen kan toepassen. Daar zitten nog wel wat stappen tussen.**

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 1.1 eerst ingegaan op de karakteristieken van waterstof. Vervolgens wordt in paragraaf 1.2 aandacht besteed aan de productie van waterstof. Paragraaf 1.3 handelt over de opslag en distributie. Paragraaf 1.4 handelt over de energieomzetting en tot slot worden in paragraaf 1.5 de verschillende toepassingsmogelijkheden besproken.

1.1 WAT IS WATERSTOF?

Waterstof, het eerste en daarmee lichtste atoomelement uit het periodiek systeem, is het meest voorkomende element op aarde. Het is niet alleen een belangrijke component van water, het komt als onderdeel van een koolwaterstofstructuur voor in vrijwel alle organische materialen. Waterstofgas (H₂, vaak waterstof genoemd) is de belangrijkste enkelvoudige stof van het element waterstof en is bij normale druk en temperatuur een niet-giftig, kleurloos, reukloos, en uiterst brandbaar gas. Waterstof kan worden gebruikt als grondstof voor belangrijke

chemische industrieën, als energiedrager en als brandstof. Het gebruik van waterstof levert geen broeikasgasemissies op, zoals CO₂, waarmee het een aantrekkelijke brandstof is.

Waterstof heeft een hoge energiedichtheid per massa-eenheid, maar een zeer lage energiedichtheid per volume-eenheid. Onderstaande tabel geeft een aantal eigenschappen van waterstof weer (Waterstofnet, 2010).

Eigenschap	Waterstof	Vergelijk
Dichtheid, gasvormig (0 °C, 1 atm)	0,09 kg/m ³	14 maal lichter dan lucht
Kookpunt (1 atm)	-252,9 °C	Methaan: -161 °C
Dichtheid, vloeibaar (-252,9 °C, 1 atm)	70,8 kg/m ³	Benzine: 720 kg/m ³ Diesel: 840 kg/m ³
Energie-inhoud gasvormig ¹	120 MJ/kg 10,8 MJ/Nm ³	Methaan: 50 MJ/kg Methaan: 36 MJ/Nm ³
Energiedichtheid in vloeibare vorm	8,5 MJ/l	Benzine: 33 MJ/l Diesel: 36 MJ/l

1.2 PRODUCTIE

Bij de productie van waterstof wordt doorgaans een onderscheid gemaakt tussen grijze, blauwe en groene waterstof. Hoewel de benaming anders doet vermoeden zijn deze drie vormen van waterstof in principe alle gelijk (er kunnen hoogstens verschillen in zuiverheid optreden), maar; het verschil zit in het productieproces.

Grijze waterstof

Waterstof die geproduceerd wordt uit fossiele brandstoffen met CO₂ als bijproduct, wordt grijze waterstof genoemd. De belangrijkste bron voor grijze waterstof is aardgas. In een chemisch proces genaamd SMR (Steam Methaan Reforming) of ATR (Autothermal Reforming) wordt het koolstofatoom afgesplitst van het aardgasmolecuul door dit te koppelen aan zuurstof, met CO₂ en H₂ als resultaat. Bijna alle waterstof in Nederland wordt op deze wijze geproduceerd, grotendeels als grondstof voor de industrie.

Blauwe waterstof

De productiemethode van blauwe waterstof is vergelijkbaar met die van grijze waterstof. Het verschil is dat de CO₂ niet vrijkomt in de atmosfeer maar wordt afgevangen en opgeslagen (dit wordt CCS genoemd; Carbon Capture and Storage), of gebruikt voor bijvoorbeeld chemische productie (CCU, Carbon Capture Utilisation).

Groene waterstof

Een andere productiemethode van waterstof is elektrolyse. In dit proces wordt water met behulp van elektriciteit gesplitst in waterstof en zuurstof. Hierbij komt geen CO₂ vrij. Wanneer gebruik gemaakt wordt van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen dan is de gehele keten CO₂ vrij en spreekt men van groene waterstof.

1.3 OPSLAG EN DISTRIBUTIE

Waterstof is onder normale omstandigheden een gas met een zeer lage dichtheid, dat daardoor lastig is te transporteren en op te slaan. Daarom wordt voor opslag en distributie van waterstof gebruik gemaakt van zeer hoge druk of zeer lage temperaturen. Ook kan waterstof gebonden worden aan een drager als opslagmethode. Waterstof verdampt gemakkelijk en kan door een groot aantal materialen dringen als gevolg van de kleine molecuul grootte. Bovendien kunnen materialen bros worden door blootstelling aan waterstof. Dit maakt de opslag en het transport van waterstof vrij complex en kostbaar want het vraagt om de toepassing van speciale materialen.

1.3.1 Opslag van waterstof

Opslag onder druk

Door waterstofgas onder hoge druk te brengen in een waterstoftank wordt het volume verkleind en dus de dichtheid verhoogd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een druk van 200 bar en hoger. Personenauto's op waterstof maken over het algemeen gebruik van 700 bar opslagtanks, terwijl voor zwaardere voertuigen zoals vrachtwagens en bussen veelal 350 bar wordt toegepast. Het onder druk brengen van de waterstof gaat met energieverliezen gepaard.

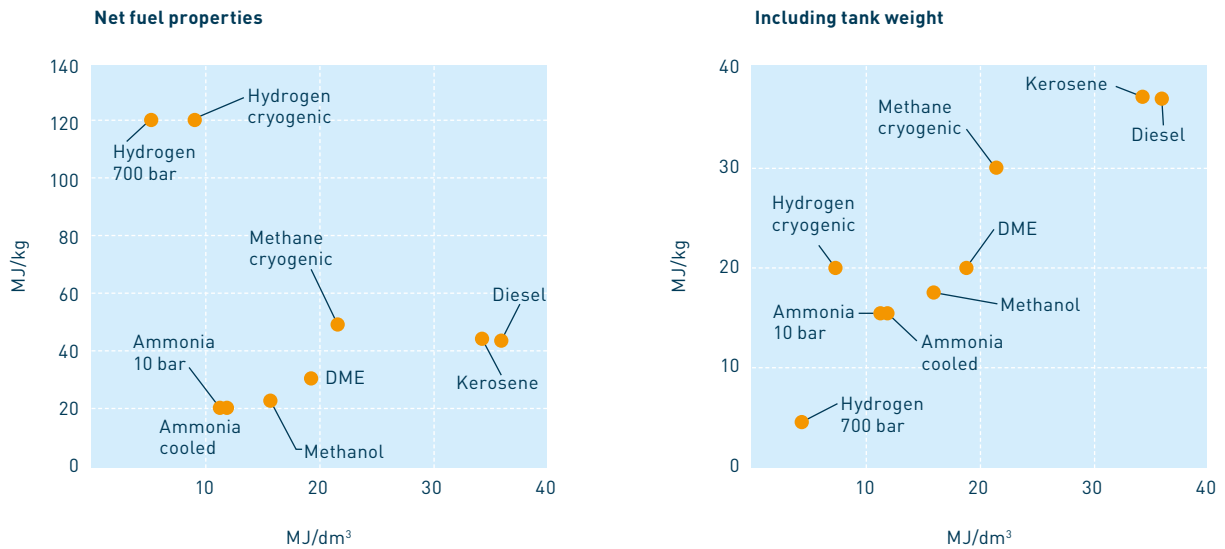
Vloeibare waterstof

Bij een temperatuur lager dan -252,87 °C is waterstof vloeibaar, met een veel hogere energie-inhoud per liter dan in gasvorm. Opslag vindt dan plaats in zeer goed geïsoleerde tanks. Hiervoor is ca. 30% van de energie-inhoud van de waterstof nodig. Complicerende factor bij deze vorm van opslag is dat een deel van de waterstof door opwarming van de tank verdampt, waardoor de druk in de tank toeneemt. Boven een bepaalde drukgrens dient een deel van het waterstofgas te ontsnappen (boil-off) wat tot extra energieverlies leidt.

Opslag in gebonden vorm

Waterstof kan ook worden gebonden aan een drager voor opslag en distributie. Verscheidene technieken zijn hiervoor ontwikkeld of in ontwikkeling, zoals opslag in metaal (metaalhydride), gebonden aan een vloeibare organische stof (LOHC, Liquid Organic Hydrogen carrier) of als ammonia. Voor het vrijmaken van de waterstof is afhankelijk van de drager een katalysator nodig of moet energie worden toegevoegd. Bij metaalhydride en LOHC kan de drager na vrijmaken van de waterstof opnieuw gebruikt worden om waterstof te binden. De hiervoor benodigde retourstroom kan een nadeel vormen van waterstofopslag in gebonden vorm.

Onder hoge druk of in vloeibare vorm (cryogeen) is de energiedichtheid van waterstof per liter nog altijd veel lager dan van diesel. Wanneer het gewicht van de opslagtank meegerekend wordt valt ook de energiedichtheid per kilogram in het voordeel van diesel uit. Afbeelding 1 vergelijkt de energiedichtheid van waterstof met een aantal alternatieven als brandstof (van Kranenburg-Bruinsma et al., 2020), waarbij vooral de vergelijking inclusief het gewicht van de opslagtank (rechtergrafiek) voor transporttoepassingen van belang is.



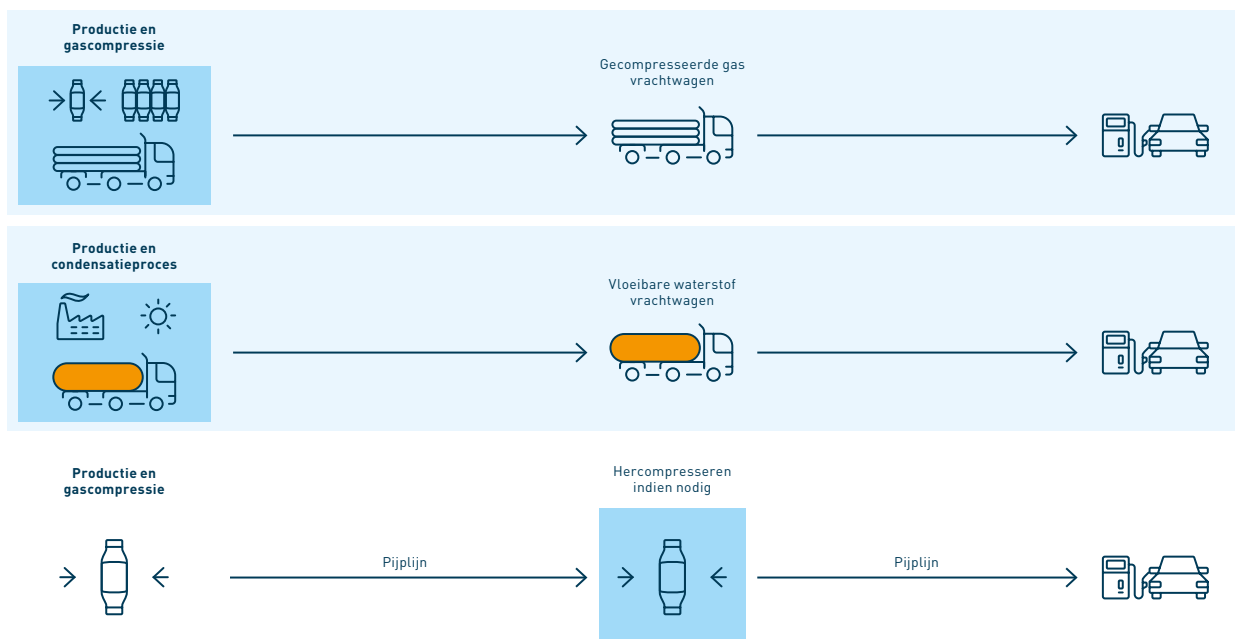
Afbeelding 1. Energiedichtheid van brandstoffen excl. en incl. opslagtank

1.3.2 Transport van waterstof

De wijze waarop waterstof wordt getransporteerd is mede afhankelijk van de verschijningsvorm. De huidige oplossingen voor waterstofvervoer zijn te verdelen in weg- en spoorvervoer en transport via waterstofpijpleidingen. In de toekomst kan daar wellicht nog vervoer over zee aan worden toegevoegd. Vervoer over de weg en per spoor vindt plaats door middel van cilindertrailers. Bij transport van gasvormige waterstof worden cilinders meestal gegroepeerd in bundels van 2000 liter met een druk van 180 tot 250 bar. Op deze wijze kan per tubetrailer 500 tot 1.000 kg waterstof vervoerd worden. Vloeibare waterstof kan ook worden vervoerd in tanks met capaciteiten van 20.000 tot 50.000 liter bij een druk

van 6 tot 10 bar en een temperatuur van $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CMB, laatst bezocht 19 oktober 2020). In één tube-trailer kan dan tot ca. 3.500 kg waterstof vervoerd worden.

Voor vervoer van grotere volumes zijn pijpleidingen interessant. Er liggen al verschillende waterstoftransportleidingen in Nederland. Zo beheert Air Products een waterstofnetwerk van 140 km pijpleidingen in de Rotterdamse haven ten behoeve van de lokale industrie, en heeft Air Liquide een uitgebreid waterstofnetwerk dat de Rotterdamse haven met Noord-Frankrijk verbindt. De operationele druk van dit soort pijpleidingen is 10 tot 20 bar. (CMB, laatst bezocht 19 oktober 2020)



Afbeelding 2. Transport van waterstof (CMB, laatst bezocht 19 oktober 2020)

1.4 OMZETTING NAAR ENERGIE

Om waterstof om te zetten naar energie ten behoeve van voortstuwing zijn twee methoden beschikbaar, te weten verbranding en elektriciteitsopwekking door middel van een brandstofcel.

Verbranding

Bij verbranding wordt waterstof op dezelfde wijze ingezet als conventionele brandstoffen zoals benzine of aardgas. Het dient dan als brandstof voor een verbrandingsmotor, waarbij de waterstof wordt ingespoten in vloeibare vorm, of gasvormig. Bij verbranding van waterstof ontstaat geen CO₂. Wel zal daarbij NO_x vrijkomen. De hoeveelheid daarvan hangt af van de verbrandingstemperatuur die mede wordt bepaald door de manier van insputting. Het rendement van een verbrandingsmotor op waterstof kan hoger liggen dan bij conventionele brandstoffen.

Brandstofcel

Een brandstofcel is een elektrochemische cel, net als bijvoorbeeld een accu. Maar waar de laatste na verloop van tijd leeg raakt en weer moet worden opgeladen, worden bij een brandstofcel de reagentia voortdurend toegevoegd, waardoor de cel continu stroom kan leveren. In een brandstofcel worden als reagentia over het algemeen waterstof en zuurstof gebruikt. Bij de chemische reactie die in de cel plaatsvindt, worden de waterstof en zuurstof omgezet in water, elektriciteit en warmte. Omdat de chemische energie direct wordt omgezet in elektrische energie, is in een brandstofcel een hoger rendement mogelijk dan in een verbrandingsmotor. Een enkele brandstofcel levert een spanning op van 0,5 tot 0,9 volt. Om een hogere spanning te kunnen leveren worden afzonderlijke cellen gestapeld en in serie geschakeld tot een zogenaamde "stack".

Een belangrijk kenmerk van het proces van omzetting van waterstof in elektriciteit in een brandstofcel is dus dat het geen schadelijke uitstoot kent, in het bijzonder geen CO₂ en fijnstof (PM) wat een zeer nadelig extern effect is bij het huidige gebruik van fossiele brandstoffen.²

Het principe van de brandstofcel is bekend sinds 1832. Bijna 200 jaar later is inmiddels sprake van een grote verscheidenheid aan typen brandstofcellen, waarbij het grootste verschil de gebruikte elektrolyt is. Ook zijn er inmiddels vele toepassingen te onderscheiden, waarbij het onderscheid stationaire en mobiele toepassingen een belangrijke

is. De Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEM FC), wordt gezien als het meest geschikte type voor transporttoepassingen vanwege de goede verhouding tussen gewicht, volume en vermogen en de korte opstarttijd.

Omdat brandstofcellen niet geschikt zijn voor het leveren van kortdurende piekvermogens is bij transporttoepassingen ook een batterij nodig.

In Canada, Japan, V.S. en Europa wordt de brandstofcel op industriële wijze geproduceerd. Momenteel is sprake van een consolidatieslag waardoor waarschijnlijk een beperkt aantal grote producenten zal overblijven.

1.5 WATERSTOFTOEPASSINGEN

Waterstof kent drie vormen van toepassing: Industrie, gebouwde omgeving en verkeer en vervoer.

Industriële toepassingen

Waterstof wordt al grootschalig gebruikt in de industrie, als grondstof en ook als procesgas.³ Momenteel betreft dit nog voornamelijk grijze waterstof. Waterstof die ontstaat als bijproduct uit bijvoorbeeld chloorproductie⁴, wordt veelal gebruikt voor warmteproductie en als industrieel gas.

Gebouwde omgeving

Waterstof kan als vervanging van aardgas dienen voor het deel van de warmtevraag in de gebouwde omgeving dat niet door elektrificatie en warmtewetten opgevangen kan worden. Theoretisch is dit goed mogelijk, maar toepassing is nog niet op grote schaal getest.

Verkeer en vervoer

Toepassing van waterstof in de transportsector staat nog in de kinderschoenen. In alle modaliteiten wordt geëxperimenteerd met waterstoftoepassing. Dan spreken we over weg, rail, maritieme toepassingen (diepzee en binnenvaart) en over aan transport gerelateerde logistieke industrie zoals warehouses en containerhandling. Eyecatchers zijn bijvoorbeeld waterstof aangedreven personenauto's, bestelvoertuigen, trucks en bussen op de weg, zeeschepen en binnenvaartschepen op het water, treinen en toepassingen als heftrucks, straddle carriers, etc. De compacte opslag op hoge druk, de energieintensiteit en de korte tijd om te "tanken" maken de Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) op het eerste gezicht

2. Keyou, een Duitse onderneming die technologie ontwikkelt om conventionele verbrandingsmotoren om te bouwen naar zero-emissie motoren, claimt bijvoorbeeld dat de eerste resultaten van onderzoek met verschillende waterstofmotoren een effectieve efficiëntie van 50% bij de krukas hebben aangetoond (bij conventionele brandstoffen is dit over het algemeen niet meer dan 35%). (KEYOU GmbH, 2020) 3. Ongeveer 60% van de Nederlandse waterstofproductie wordt gebruikt voor ammoniakproductie, wat neer komt op ongeveer 0,5 Mton waterstof, terwijl de overige 40% wordt toegepast in de (petro)chemie (Delft, 2018) 4. Naar schatting 80% van de Nederlandse waterstof wordt geproduceerd uit aardgas en 20% ontstaat als bijproduct (Delft, 2018)

een aantrekkelijk alternatief voor batterij-elektrische oplossingen. Hiermee lijkt het de heilige graal waar de logistieke sector en samenleving op zit te wachten. Zo eenvoudig is het echter niet.

1.6 SYSTEEMTRANSITIE

Bovenstaande introductie laat zien dat veel en ook veelsoortige aspecten een rol spelen bij de kansen en belemmeringen voor grootschalige introductie van waterstof. Technologische aspecten zijn daarbij belangrijk, maar gelijktijdig is sprake van een ketenontwikkeling waarbij ook beleidsinitiatieven een belangrijke rol spelen die nauw met elkaar zijn verbonden. Dus binnen iedere schakel zijn unieke technologische, financiële, economische, juridische, duurzaamheid- en andere aspecten van belang, die tezamen moeten worden bestudeerd op systeemniveau. Dit vereist een integrale benadering. Vervolgens spelen ook de kenmerken van het specifieke toepassingsgebied een rol, in dit geval de logistieke sector. Tot slot is duidelijk dat een succesvolle introductie van waterstof niet alleen afhangt van de techniek (techware) en een rationele beoordeling. Vooral waardeaspecten als vertrouwen

en duurzaamheid en toekomstgerichtheid spelen daarbij een belangrijke rol. De orgware heeft haar eigen complexiteit die wordt geïllustreerd door een veelheid aan betrokken actoren, ieder met eigen en dus verschillende verantwoordelijkheden en belangen, actoren die handelen vanuit verschillende tijdschalen en perspectieven. De overgang naar een waterstofeconomie kan hiermee een systeemtransitie worden genoemd.

Nederland lijkt een gunstige uitgangspositie te hebben om een leidende rol te spelen in deze systeemtransitie, door de aanwezigheid van een hoogwaardig en grootschalig petrochemisch complex waar waterstof al vele jaren wordt gebruikt in het productieproces, haar Europese distributiefunctie, de aanwezigheid van hoogwaardige R&D rond waterstof en brandstofcellen, en vooral ook de groeiende overtuiging dat waterstof een kans biedt in de energietransitie. Dit vertrouwen valt ook terug te zien in de veelheid aan overheidsinitiatieven waarbij uiteindelijk ook logistieke toepassingen een belangrijke plaats innemen.



BESTUURLIJKE INBEDDING EN INITIATIEVEN

Er zijn grote zorgen over klimaatverandering. Het is duidelijk dat de klimaatverandering is gerelateerd aan de uitstoot van broeikasgassen. Dit is een mondiaal probleem en de internationale gemeenschap is daarom in het kader van de Verenigde Naties al vanaf de jaren '70 met wisselend succes op zoek naar een gemeenschappelijke aanpak. Deze zoektocht heeft geleid tot het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake Klimaatverandering van 1992 en tot het Protocol van Kyoto in 1997. Een doorbraak vormde het Akkoord van Parijs in 2015, dat door 195 landen is geratificeerd. In dit Akkoord is overeengekomen dat een verregaande reductie van de mondiale broeikasgasemissies noodzakelijk is met 40-50% in 2030 om de opwarming beperkt te houden tot 1,5 graad. Als uitvloeisel van deze overeenkomst moet het gebruik van fossiele brandstoffen versneld worden teruggedrongen. Om dit te bereiken is een energietransitie nodig. Deze transitie is misschien wel de grootste uitdaging voor de wereld als totaal sinds de Tweede Wereldoorlog (WOII). Deze verwijzing naar WOII is niet willekeurig, want dat was ook een life-changing-event die heeft geleid tot een nieuwe wereldorde waarin oude waarden en normen werden losgelaten: een wereldorde ontstond die uiteindelijk ook veel welvaart bracht. De energietransitie zal langer duren dan de vijf jaar durende WOII. De transitie zal maatwerk vergen van verschillende doelgroepen, toepassingsgebieden, regio's, en economische en maatschappelijke sectoren⁵. In de transitie zal ook de waterstofeconomie een belangrijke sleutel vormen. Om dit te bereiken zullen overheden een belangrijke rol spelen.

Dit hoofdstuk richt zich op de bestuurlijke inbedding van waterstof initiatieven. Paragraaf 2.1 richt zich in het bijzonder op het beleid van de Europese Commissie en de activiteiten die zij onderneemt, in paragraaf 2.2 wordt het nationale beleid met de daaraan gerelateerde initiatieven besproken.

2.1 HET EUROPESE BELEIDSPERSPECTIEF

Ook de Europese Commissie ziet klimaatverandering en de aantasting van het milieu als een existentiële bedreiging voor Europa en de wereld. Om die tegen te gaan heeft de Europese Commissie op 11 december 2019 haar European Green Deal gepresenteerd; een nieuwe groeistrategie die van de EU een moderne, grondstoffenefficiënte en concurrerende economie moet maken. De Europese Green Deal (European Commission, 2019) moet worden gezien als een routekaart om de economie van de EU duurzaam te maken waarbij op alle beleidsdomeinen de klimaat- en milieuproblemen worden aangegrepen als een kans voor transitie. Twee belangrijke uitgangspunten spelen daarbij een belangrijke rol die direct doorwerken in de logistieke sector, namelijk 1) de netto-uitstoot aan broeikasgassen moet tegen 2050 tot nul zijn gereduceerd, en 2) er moet een economische

groei worden nagestreefd zonder grondstoffen uit te putten. Schone waterstof kan bijdragen aan de doelstellingen van de European Green Deal. De Commissie heeft de ambitie om met de Europese Unie een wereldwijde voortrekkersrol te spelen op het gebied van schone waterstof.

Bovenstaande ambitie wordt direct vertaald in een onderliggend document gericht op de betekenis van deze ambitie voor de transportsector. Het document uit december 2019 heeft weliswaar het karakter van een brochure, maar naast algemeenheden wordt ook gesteld dat er meer alternatieve brandstoffen moeten komen voor het vervoer. Dat vertaalt zich in de vaststelling dat in 2025 ongeveer 1 miljoen laad- en tankstations nodig zijn voor de verwachte 13 miljoen emissie-arme en emissievrije voertuigen op de Europese

⁵. Het is opvallend dat zowel de luchtvaartsector als de maritieme sector zich hebben weten te onttrekken aan elke verplichting om een eigen bijdrage te leveren

wegen. De opgave om vervoer beduidend minder vervuilend te maken wordt vervolgens vertaald in 3 prioriteiten, te weten: 1) strengere normen voor vervuiling door voertuigen, 2) minder vervuilende havens in de EU en 3) betere luchtkwaliteit rond luchthavens. Deze uitgangspunten bieden voor de lidstaten als Nederland heldere uitgangspunten voor een eigen beleidsontwikkeling.

Ondanks de coronacrisis gaat de beleidsontwikkeling gestaag door. Op 8 juli 2020 stelde de Europese Commissie haar strategie voor waterstof voor (European Commission, 2020a). Het doel van de waterstof strategie is een geïntegreerd energiesysteem te ontwikkelen dat kan bijdragen aan een CO₂-arme industrie, elektriciteitsopwekking, gebouwde omgeving en transportsector. Om deze ambitie waar te maken is 80 tot 120 gigawatt extra wind- en zonne-energie nodig voor productie van waterstof. De ontwikkeling van hernieuwbare waterstof (groene) wordt gezien als is prioritair. Toch voorziet de Commissie ook een overgangsrol voor “koolstofarme waterstof op basis van fossiele brandstoffen” (blauwe H₂). Op de korte en middellange termijn zal blauwe waterstof naar verwachting in de eerste plaats worden gebruikt om de emissies van de bestaande waterstofproductie snel te verminderen en parallel daaraan zal de toekomstige opname van hernieuwbare waterstof (groene H₂) worden ondersteund. Voor de logistieke sector maakt dit als het op implementatie aankomt technisch gesproken geen verschil.

2.1.1 Europese Clean Hydrogen Alliance

Om de ontwikkeling van schone waterstof te ondersteunen heeft de Europese Commissie op 8 juli 2020 gelijktijdig met de Hydrogen Strategy de zgn. Clean Hydrogen Alliance gelanceerd (European Commission, 2020a). In deze alliantie hebben de industrie, het maatschappelijk middenveld, de nationale en regionale ministers en de Europese Investeringsbank zitting. De alliantie zal een investeringspijplijn voor opgeschaalde productie opzetten en de vraag naar schone waterstof in de EU ondersteunen. Het doel van de Europese Commissie is om in 2024 de jaarlijkse productie van waterstof te hebben opgeschroefd naar 6 gigawatt. In 2030 moet deze jaarlijkse productie zijn opgelopen tot 40 gigawatt. De alliantie is gestructureerd rond zes industriële pijlers: waterstofproductie, industriële toepassingen, energiesector, residentiële toepassingen, transmissienetverdeling en mobiliteit. Naast boven-

staande waterstofstrategie heeft de EU parallel een strategie voor integratie van energiesystemen (Strategy for Energy System Integration) gepresenteerd, hetgeen aansluit bij de observaties die zijn gemaakt aan het begin van dit hoofdstuk dat integratie een belangrijk aandachtspunt is (European Commission, 2020b).

De twee strategieën moeten de weg effenen voor een efficiëntere en onderling verbonden energiesector, gedreven door de tweeledige doelstelling van een schonere planeet en een sterkere economie. De strategieën sluiten ook aan bij de Europese Green Deal omdat ze het groene economisch herstel na de coronacrisis stimuleren.

Om de bovenstaande in de Waterstofstrategie geschetste doelen tegen 2024 en 2030 te bereiken, is een sterke investeringsagenda nodig. De Commissie gaat ervan uit dat vanaf 2020 tot 2030 de investeringen in elektrolyzers kunnen variëren van 24 tot 42 miljard euro. Bovendien zal in dezelfde periode 220-340 miljard euro nodig zijn om de eerdergenoemde 80 tot 120 gigawatt (piek) aan zonnepanelen en windmolens te installeren en rechtstreeks aan te sluiten op de elektrolyzers om de benodigde elektriciteit te leveren. Tot slot zijn investeringen van 65 miljard euro nodig voor waterstoftransport, distributie en opslag, en waterstoftankstations.

2.2 NATIONALE BELEIDSPERSPECTIEF

Op 28 juni 2019 presenteerde het kabinet Rutte het Nederlandse klimaatakkoord. Doel van het akkoord is een broeikasgasemissiereductie van 49-55% in 2030 (dit staat gelijk aan 8,7 Mton broeikasgassen) (PbL, 2018) en 95% in 2050. Deze doeleinden vloeien voort uit de klimaatafspraken die in 2015 zijn gemaakt in het Akkoord van Parijs⁶ en in Nederland officieel zijn vastgelegd in de Klimaatwet (BWBR0042394, 2020). Het klimaatakkoord is dus zelf geen wet, maar geeft inhoudelijk invulling aan de doelen uit de Klimaatwet. De in het klimaatakkoord aangekondigde maatregelen omvatten onder meer maatregelen voor de sectoren elektriciteit, industrie, landbouw, gebouwde omgeving en mobiliteit. Voor deze laatste sector is er onder meer aandacht voor alternatieven voor de auto, de invoering van extra milieuzones in steden en een vorm van rekeningrijden. En vanaf 2030 moeten alle nieuwe auto's emissieloos zijn. Het klimaatakkoord gaat ook in op het stimuleren van waterstof in de mobiliteit als onderdeel van het thema duurzame energiedragers.

Het kabinet ziet in de toekomst een belangrijke rol weggelegd voor waterstof als energiedrager in mobiliteit, vooral voor zwaar transport, bijvoorbeeld vrachtwagens, OV-bussen en mogelijk ter vervanging van dieseltreinen. Ook speelt waterstof een rol als energiedrager voor duurzaam opgewekte energie. Binnen het personenvervoer wordt uitgegaan van 15.000 brandstofcel-voertuigen in 2025, mogelijk doorgroeïend naar 300.000 voertuigen in 2030. De verwachte energiebehoefte aan waterstof bedraagt bij deze aantallen 141 miljoen kg per jaar in 2030. Om de doelen in het klimaatakkoord te kunnen realiseren spreken partijen in het klimaatakkoord af dat het H₂Platform⁷ in 2020 een *Convenant stimulering waterstofmobiliteit* opstelt, samen met autoproducenten, brandstof- / waterstofleveranciers, leasemaatschappijen, zakelijke gebruikers en overige stakeholders. Het convenant heeft als ambitie de realisatie van 50 waterstoftankstations, 15.000 FCEV-personeel-auto's en 3.000 zware voertuigen met een brandstofcel op waterstof in 2025, als strategische basis voor versnelde groei richting 2030 en met name 2050. Partijen zeggen in dit convenant toe dat zij zich inspannen voor tijdige en adequate allocatie van voertuigen, het tijdig bouwen van tankstations, het aggregeren van vraag daaromheen en dat zij via innovatie en schaalvergroting streven naar een reductie in investeringskosten voor H₂ tankinfrastructuur van gemiddeld 10 % per jaar. De deelnemers van het H₂Platform en het ministerie van IenW zullen samenwerken om Europese fondsen maximaal aan te wenden voor het bereiken van de gestelde doelen in 2025.

2.2.1 Nederlandse Hydrogen Alliance

Op 14 mei 2020 presenteert het Kabinet Rutte III in een brief aan de Tweede Kamer haar Kabinetsvisie Waterstof (kenmerk 2020D18694). In deze visie onderkent het Kabinet de systeemrol van waterstof in een CO₂-vrije energievoorziening, de noodzaak van internationale samenwerking, de kansen voor bedrijven en regio's, de ervaringen tot dusver met waterstof en een beleidsagenda en toekomstbeeld waarbij regie en fasering als cruciaal worden gezien. De beleidsagenda moet langs vier lijnen vorm krijgen, te weten:

1. Wet- en regelgeving
2. Kostenreductie en opschaling groene waterstof
3. Verduurzaming van het eindgebruik en
4. Ondersteunend en flankerend beleid

Om in te spelen op de ontwikkelingen rond waterstof in Nederland en de daaruit voortvloei-

ende innovatiebehoefte, wordt een Meerjarige Programmatische Aanpak voor Waterstof (Gigler et al., 2019) voorgesteld met de volgende doelstellingen:

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

Bovenstaande aanpak vormt een uitnodiging tot het ontwikkelen en versnellen van initiatieven gericht op het succesvol introduceren van waterstof. Zo moet dit decennium voor 3.000 à 4.000 megawatt (MW) aan elektrolyzers worden ontwikkeld. De initiatieven waar dit toe heeft geleid zijn onlangs opgenomen in een bundel van TKI Nieuw Gas getiteld *Overview of Hydrogen Projects in the Netherlands*. Hieronder volgt een selectie van initiatieven. Bijna nergens ter wereld liggen zoveel plannen voor elektrolyzers op tafel als in Nederland, bleek uit een inventarisatie van het Noorse analysebureau Rystad. Bedrijven en overheden hebben de handen enthousiast ineengeslagen. Zo is er een Gigawatt Electrolyser-project van havens, industrie en onderzoeksinstituten. Er zijn regionale clubs, zoals Hydrogen Delta voor het Scheldegebied, en Hydroports voor de havens van Amsterdam, Den Helder en de Eemshaven. Er is een H₂Platform waarin veel partijen zijn vertegenwoordigd waaronder ook twee ministeries. Gasunie werkt al langere tijd aan plannen voor een landelijke infrastructuur om al deze punten te verbinden en om import en doorvoer naar m.n. Duitsland en België mogelijk te maken. En dan is er nog MissieH2, waarin bedrijven van Stedin tot Shell de Olympische sporters sponsoren om Nederland te laten „kennismaken met de spetterende energie van waterstof“.

Initiatieven gericht op productie

Er zijn veel plannen in voorbereiding en er lopen een aantal pilotprojecten. Dat gebeurt veelal in

⁷ H₂Platform is een groeiend samenwerkingsverband van meer dan 30 bedrijven en organisaties die zich bezighouden met waterstof en de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat en van Economische Zaken en Klimaat. (<https://opwegmetwaterstof.nl>)

initiatieven die kunnen worden gekenschetst als een public-private partnerships. Het is opvallend dat havens en de haven-gerelateerde industrie hierin een belangrijke rol spelen. De havenbedrijven van Rotterdam, Amsterdam, Groningen en North Sea Port (Vlissingen, Terneuzen en Gent) zijn alle betrokken bij plannen voor waterstofinfrastructuur, voor hun industrie en voor nieuwe initiatieven in hun gebied. Gasunie werkt al langere tijd aan plannen voor een landelijke infrastructuur om al deze punten te verbinden en om import en doorvoer naar m.n. Duitsland en België mogelijk te maken.

Er zijn verschillende configuraties van actoren betrokken bij de initiatieven. In productie en consumptie van waterstof speelt Nouryon traditioneel een belangrijke rol. Nouryon is een afsplitsing van AkzoNobel (voorheen AkzoNobel Specialty Chemicals). Het bedrijf beheert meer dan 1.000 megawatt aan elektrolyse-capaciteit in Europa. Dit proces wordt nu nog met name gebruikt voor de productie van chloor en loog in Delfzijl en Rotterdam-Botlek. Sinds 2017 levert Nouryon waterstof voor bussen in Frankfurt-Höchst Industrial Park in Duitsland en sinds begin 2018 voor een tankstation voor groene waterstof in Chemiepark Delfzijl. De volgende stap is de productie van waterstof voor groene chemie. Samen met Gasunie onderzoekt Nouryon mogelijkheden voor een fabriek in Delfzijl die 3.000 ton waterstof per jaar kan produceren. De waterstof is nodig voor de productie van hernieuwbare methanol uit CO₂. Deze methanol kan worden gebruikt als grondstof voor de chemie. Zo wordt CO₂ niet uitgestoten maar gebruikt voor nieuwe producten.

Eerder dit jaar (2020) werd bekend dat de Gasunie, Shell en havenbeheerder Groningen Seaports ook plannen hebben voor het realiseren van een waterstoffabriek en voor windparken op zee, die de energie moeten leveren om de waterstof te produceren. De achterliggende gedachte is dat de reeds in Groningen aanwezige aardgasinfrastructuur kan worden hergebruikt.

Vooruitlopend op de groeiende vraag naar waterstof is Tata Steel een samenwerking aangegaan met Nouryon en Port of Amsterdam om het grootste groene waterstofcluster van Europa te ontwikkelen. Tata Steel onderzoekt, samen met de twee partners, de bouw van een 100 megawatt fabriek voor groene waterstof in IJmuiden om daar de koolstofemissies uit staalproductie aanzienlijk

te reduceren. Nouryon zal de fabriek beheren en Tata Steel zal de waterstof en zuurstof gebruiken voor verdere verduurzaming van zijn productieprocessen. Bij het plan ligt het accent dus op het gebruik van waterstof in de industrie en niet voor mobiliteit.

Zoals gezegd bestaat ook voor de Rotterdamse haven, met 's werelds grootste capaciteit voor de opslag van ruwe olie en voor de raffinage en verwerking van petrochemische industrieproducten, grote belangstelling voor de introductie van waterstof. Dit is een grote uitdaging vanwege de sterke afhankelijkheid van fossiele energie. Het Havenbedrijf Rotterdam is zich hiervan bewust en wil een voortrekkersrol spelen. Daarom heeft het Havenbedrijf het Wuppertal Instituut (2016) opdracht gegeven om een onderzoek te doen naar diepe decarbonisatie. In het eindrapport worden een aantal lange termijn scenario's geschetst (Samadi et al., 2018). Tevens heeft het Havenbedrijf Rotterdam in 2020 een eigen waterstofvisie gepresenteerd (Havenbedrijf Rotterdam, 2020a).

In Rotterdam onderzoekt wederom Nouryon de bouw van een 250 megawatt fabriek om waterstof te maken voor duurzame brandstof productie door BP. De fabriek in Rotterdam zou veruit de grootste in Europa zijn. De transitie naar een duurzame industrie vraagt op termijn echter om nog grotere hoeveelheden.

Verder werkt het Havenbedrijf samen met Gasunie aan een backbone voor waterstof door de haven. Plan is om deze al in 2023 in bedrijf te nemen. Bedrijven kunnen daarop aansluiten voor de afname maar ook toelevering van waterstof. Dit moet uitgroeien tot een grootschalig waterstofnetwerk door het havencomplex. Rotterdam wil daarmee een internationaal knooppunt worden voor de productie, import, toepassing en doorvoer van waterstof richting andere landen in Noordwest-Europa. Dit met als doel dat Rotterdam ook in de toekomst een belangrijke energiehaven voor Noordwest-Europa blijft.

Een bijzondere ontwikkeling is de snelle groei van wind op zee. De komende tientallen jaren worden enorme windparken aangelegd op de Noordzee die de industrie en huishoudens van elektriciteit gaan voorzien. Bij harde wind zal regelmatig een overschot aan elektriciteit worden geproduceerd, maar op dagen zonder wind zou er een tekort kunnen ontstaan. Voor dit probleem zou waterstof

een oplossing zijn. Dit 'nieuwe gas' kan via de bestaande gasleidingen aan land gebracht worden en worden opgeslagen. Hiermee is het mogelijk om de Nederlandse industrie te verduurzamen met groene waterstof. Een dertigtal bedrijven waaronder Gasunie, Shell, Boskalis en Van Oord, pleit daarom voor een netwerk om elektriciteit, waterstof en gas aan land brengen (North Sea Energy, 2020). Door bij een overschot aan elektriciteit het om te zetten in waterstof, hoeft het niet gedumpt te worden op de elektriciteitsmarkt. Daardoor leveren grote windparken op zee meer geld op. Maar de eerste resultaten zullen nog minstens 10-15 jaar op zich laten wachten. De toekomst van waterstof wordt bovendien mede bepaald door de beschikbaarheid van kabels en leidingen (infrastructuur) op zee en daar moeten nog grote slagen worden gemaakt.

Initiatieven gericht op concrete toepassing

Het beleid rond de introductie van waterstof in transport is beperkt. Besloten is dat de logistieke sector moet verduurzamen. Zo is ook besloten dat (zwaar) transport, vliegverkeer en scheepvaart emissieloos moeten worden. Over deze ambitie zijn in Nederland geen afrekenbare doelen of een helder tijdspad geformuleerd.

Er zijn wel vele plannen in de maak. Air Liquide en het Havenbedrijf Rotterdam hebben in juli gezamenlijk het initiatief genomen om in 2025 1.000 vrachtwagens op waterstof te laten rijden in Nederland, België en West-Duitsland. Verschillende partners uit de supply chain van vrachtwagenfabrikanten tot transportondernemingen, als ook leidende brandstofcel leveranciers, hebben zich reeds aangesloten bij dit initiatief. Dit is een van de grootste projecten in Europa voor de ontwikkeling van vrachtwagens op waterstof en de daarbij horende infrastructuur. Het project zorgt voor verbetering van de luchtkwaliteit en een vermindering van de CO₂-uitstoot van naar schatting meer dan 100.000 ton, het equivalent van 110 miljoen vrachtwagenkilometers. Om 1.000 vrachtwagens, waarvan naar verwachting 500 vanuit Rotterdam de weg op gaan, te kunnen laten rijden moet tegelijkertijd infrastructuur ontwikkeld worden, zoals zo'n 25 waterstoftankstations langs de belangrijkste transportcorridors tussen Nederland, België en West-Duitsland. Het project richt zich ook op de benodigde elektrolyse capaciteit voor de productie van waterstof. De bedrijven die deelnemen aan het initiatief gaan gezamenlijk de haalbaarheidsstudie voor de hele

waardeketen uitvoeren. De investeringsbeslissing is eind 2022 voorzien. (Port of Rotterdam, 2020)

In de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens is afgesproken dat in 2030 de CO₂-uitstoot van de Nederlandse binnenvaartvloot 40 tot 50 procent minder moet zijn dan in 2015. Ook moeten er in 2030 150 (op een vloot van 5.500) emissievrije binnenvaartschepen in de vaart zijn. Een van initiatieven – dat ondersteund wordt met subsidie van de Europese Commissie – is het RH2INE-programma waar onder andere de provincie Zuid-Holland bij is betrokken. De provincie werkt hierin samen met een twintigtal overheden en bedrijven. Het plan is om over vier jaar minimaal tien waterstofscheepen te laten varen tussen Rotterdam en Keulen (zie ook hoofdstuk 3).

2.2.2 Kennisinfrastructuur

In 2019 heeft het missiegedreven innovatiebeleid haar intrede gedaan binnen de topsectoren. Dit beleid stelt de maatschappelijke missies centraal en koppelt deze aan het versterken van de Nederlandse concurrentiepositie en duurzame economische groei. Waterstof heeft een prominente plaats binnen de missie 'Energietransitie en duurzaamheid', waarbinnen 13 zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) zijn gedefinieerd die sectoraal zijn georganiseerd.

Daarnaast bestaan verschillende doorsnijdende thema's. Een TKI heeft de opdracht kennisinstellingen en bedrijven te ondersteunen bij het ontwikkelen, demonstreren en toepassen van duurzame en innovatieve technologieën op deze gebieden waarvoor de huidige kennis, expertise en assets (leidingen, locaties, gasopslagen etc.) kunnen worden ingezet. De TKI's Nieuw Gas, Wind op Zee, Urban Energy vormen een essentieel onderdeel bij een succesvolle energietransitie in Nederland. Binnen het programma van het TKI Wind op Zee vinden bijvoorbeeld diverse projecten en Joint Industry Projects (JIP's) plaats. Vanuit de Topsector Logistiek is er slechts één project met een duidelijke cross-over en samenwerking: 'Sustainable Service Logistics for Offshore Wind Farms'. (Dinalog, 2017)

WATERSTOF IN TRANSPORT; DE HEILIGE GRAAL?

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de stand van zaken voor de toepassing van waterstof in de transportsector. Per modaliteit wordt de huidige situatie en de verwachte ontwikkelingen op de korte termijn behandeld. Dit doen we aan de hand van een aantal elementen die medebepalend zijn voor de haalbaarheid van de toepassing van waterstof in transport. Allereerst is natuurlijk de staat van de technologische ontwikkeling van belang. Technologie die zich nog in de onderzoeksfase bevindt is vanzelfsprekend verder verwijderd van marktintroductie dan technologie die al op uitgebreide schaal in de praktijk getest is. Maar ook als de technologie volledig ontwikkeld is wil dit niet zeggen dat commercialisatie ook succesvol zal zijn.

De structuur van dit hoofdstuk is als volgt. Paragraaf 3.1 handelt m.n. over de acceptatie van waterstof voor transporttoepassing. Paragraaf 3.2 behandelt de kansen van waterstof in het wegvervoer. Paragraaf 3.3 tot en met 3.5 gaan vervolgens in op de kansen voor implementatie in de binnenvaart (paragraaf 3.3), het spoor (paragraaf 3.4), de scheepvaart (paragraaf 3.5) en tot slot in paragraaf 3.6 intern transport.

3.1 EEN COMPLEX WAARDERINGSVRAAGSTUK

Voor een succesvolle commerciële introductie is allereerst van belang dat ook de toevoerketen is ontwikkeld. Dit geldt specifiek voor de toepassing van waterstof in de logistiek. Het gaat hierbij zowel om de beschikbaarheid van waterstof van de juiste kwaliteit, als om de distributie van waterstof voor de betreffende toepassing. In dit hoofdstuk zal met name die distributie nader besproken worden.

Voor succesvolle uitrol is daarnaast duidelijke en eenduidige regelgeving noodzakelijk waarin vastgelegd is op welke wijze de technologie toegepast mag worden. Aan het begin van de ontwikkeling zal er veelal nog geen toepasbare regelgeving zijn of vormt de relevante regelgeving een belemmering voor de toepassing.

Ook acceptatie van de toepassing door belanghebbenden speelt een grote rol in de succesvolle uitrol. Het draait hierbij niet alleen om directe belanghebbenden zoals producenten en gebruikers; ook bredere maatschappelijke acceptatie kan van invloed zijn op de uiteindelijke toepasbaarheid van de technologie.

Tenslotte moet er ook een haalbare financiële propositie zijn. Hiervoor is zowel de kosten- als de opbrengstenkant belangrijk. Hierbij speelt niet alleen het verschil tussen deze twee (de verwachte marge) een belangrijke rol, ook de betrouwbaarheid

van de kosten- en opbrengstenprojecties op korte en langere termijn geeft een indicatie van de uiteindelijke haalbaarheid. Bij waterstoftoepassingen in de logistiek zal de opbrengstenkant in belangrijke mate bepaald worden door de TCO⁸ van concurrerende technologieën. Op dit moment is dat meestal het fossiele alternatief. De toekomstige concurrentiepositie van de watertoepassing is hiermee mede afhankelijk van de kostenontwikkeling van het gebruik van fossiele brandstoffen.

De kosten van waterstoftoepassingen bestaan enerzijds uit de kapitaalkosten voor de gebruikte technologie en anderzijds uit de operationele kosten voor het gebruik van die technologie. De kosten van waterstof zijn een belangrijk onderdeel van deze operationele kosten. Het verschil in kapitaalkosten tussen waterstoftoepassing en toepassingen op basis van fossiele brandstoffen wordt veroorzaakt door de hoge kosten van brandstofcellen die in vergelijking met verbrandingsmotoren gemiddeld ruim 8 keer duurder zijn per geleverde kilowatt⁹. Ook de kostbare opslagtanks voor waterstof werken door in de hogere kapitaalkosten.

3.2 WEGVERVOER

3.2.1 Technologische ontwikkeling

Waar FCEV-personenauto's en bussen inmiddels in bescheiden aantallen op de weg te vinden zijn

8. TCO: Total Cost of Ownership, het totaalbedrag aan kosten voor de aanschaf en het bezit en gebruik van een product of dienst gedurende de hele levenscyclus/gebruikscyclus. 9. Productiekosten van verbrandingsmotoren: €200-500/kW, brandstofcellen (>200 kW): €2500-3500/kW (van Kranenburg-Bruinsma et al., 2020)

in Nederland en elders, loopt de ontwikkeling van FCEV-trucks hierop nog achter. Wereldwijd is er nog geen significante serieproductie van FCEV-trucks tot stand gekomen. Verschillende OEMs¹⁰ hebben al wel 'proof of concept' modellen en er loopt een aantal demonstratieprojecten¹¹. Een aantal Aziatische fabrikanten lijkt op dit moment het verst gevorderd. Zo werkt Mitsubishi aan de introductie van een lichte truck van 7,5 ton GVW¹² en is Hyundai onlangs gestart met de productie van een truck van 19 ton GVW waarvan er dit jaar 50 geleverd moeten worden voor introductie in Zwitserland (Sampson, 2020). Van deze truck ontwikkelt Hyundai ook een variant als trekker van 36 ton GVW. Tot 2025 moeten er 1600 van deze voertuigen in Zwitserland gaan rijden en Hyundai wil ondertussen soortgelijke projecten lanceren in nog twee Europese landen waaronder mogelijk Nederland. Europese vrachtwagenfabrikanten lopen hierop nog achter. Daimler en Volvo maakten eerder dit jaar plannen wereldkundig voor een waterstof joint venture voor de gezamenlijke ontwikkeling van brandstofcellen (Transport & Milieu, 2020) en midden september heeft Daimler de introductie van de Mercedes Benz GenH2 waterstoftruck aangekondigd, die wel pas na 2025 op de markt komt.

Ondertussen hebben nieuwe truckfabrikanten in de Verenigde Staten grote plannen. Nikola wil diverse modellen FCEV-trucks lanceren tot 36 ton GVW, serieproductie zou in 2022-2023 moeten starten. Hyzon heeft ook diverse modellen op stapel staan tot maar liefst 50 ton GVW waarvan de productie in november 2020 al zou moeten starten.

In Nederland zijn tot nog toe voornamelijk ombouwers en kleine seriebouwers actief, zoals Holthausen die FCEV-voertuigen bouwt op een DAF chassis. Ditzelfde Holthausen is onlangs een samenwerking aangegaan met de Amerikaanse producent Hyzon Motors voor het opzetten van een eerste Europese waterstoftruck productiefaciliteit in Nederland. Hyzon verwacht eind 2021 honderden zware voertuigen met brandstofcel te verschepen (HYZON Motors Inc., 2020). Verder is VDL in 2020 een eerste demonstratieproject (H2-share) gestart met een 27 ton bakwagen (H2-Share, 2020).

Bovenstaande ontwikkelingen draaien allemaal om de inzet van brandstofcellen in trucks. Daarnaast gaan er ook geluiden op om ook de verbrandingsmotor op waterstof een kans te geven. Keyou, een Duitse startup, zet in op het modificeren van bestaande verbrandingsmotoren voor waterstof verbranding, en DAF stelde onlangs in een interview

ook de kansen voor verbrandingsmotoren op waterstof aan de orde (Van de Weijer, 2020).

3.2.2 Vulinfrastructuur

In 2019 waren er vijf waterstoftankstations in Nederland (Rhoon, Helmond, Arnhem, Groningen, Delfzijl) plus een aantal nieuwe stations in voorbereiding. Volgens het (als uitvloeisel van het klimaatakkoord) dit jaar af te sluiten convenant stimulering waterstofmobiliteit moeten er in 2025 vijftig waterstoftankstations zijn in Nederland en de verwachting van het H₂Platform is dat dit aantal in 2050 tot 210 gegroeid zal zijn.

Niet elk waterstoftankstations is ook geschikt voor FCEV-trucks. Hiervoor is een hoog debiet en een voldoende grote buffer van belang, zodat trucks snel en kort na elkaar kunnen tanken. Daarnaast moet er ook voldoende manoeuvreerruimte zijn voor vrachtwagens.

Zoals in hoofdstuk 2 genoemd hebben Air Liquide en Havenbedrijf Rotterdam onlangs gezamenlijk het initiatief genomen om in 2025 duizend vrachtwagens op waterstof te laten rijden in Nederland, België en het westen van Duitsland en tegelijkertijd zo'n 25 waterstoftankstations langs de belangrijkste transportcorridors tussen deze gebieden te ontwikkelen. Meerdere bedrijven uit de supply chain zijn aangehaakt en voeren eerst een gezamenlijke haalbaarheidsstudie uit. Investeringsbeslissingen zijn eind 2022 voorzien.

3.2.3 Regelgeving

Er zijn in Nederland geen grote belemmeringen in de regelgeving voor voertuigen op waterstof. Typegoedkeuring en registratieproces zijn hetzelfde als voor conventionele voertuigen. Daarbij moet worden aangetekend dat typegoedkeuring wel een kostbaar proces kan zijn. In de regelgeving omtrent het gebruik van waterstofvoertuigen zijn nog wel leemtes die voor onzekerheid kunnen zorgen, bijvoorbeeld het gebruik in tunnels en parkeergarages. (Van der Meer et al., 2019).

Voor vulstations is PGS35, voor levering van gecompriëerde, gasvormige waterstof aan motorvoertuigen, van toepassing.

Bulktransport van waterstof over de weg, ten behoeve van de bevoorrading van vulstations, valt onder de ADR¹³. Als gevolg hiervan is transport door vrijwel alle tunnels in Nederland verboden (Van de Meer, 2019). Vanzelfsprekend dient hiermee rekening te

10. OEM: Original Equipment Manufacturer; in deze context de vrachtwagenfabrikanten 11. Zie <https://fuelcelltrucks.eu/> voor een actueel overzicht 12. GVW: Gross Vehicle Weight; maximum bruto voertuiggewicht 13. ADR: Europese overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg

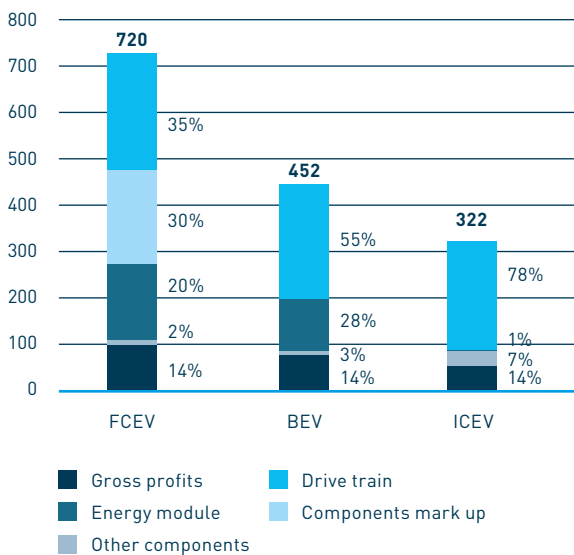
worden gehouden bij de locatiebepaling van nieuwe vulstations, om onnodig hoge kosten voor aanvoer van waterstof te vermijden.

3.2.4 Financiële propositie

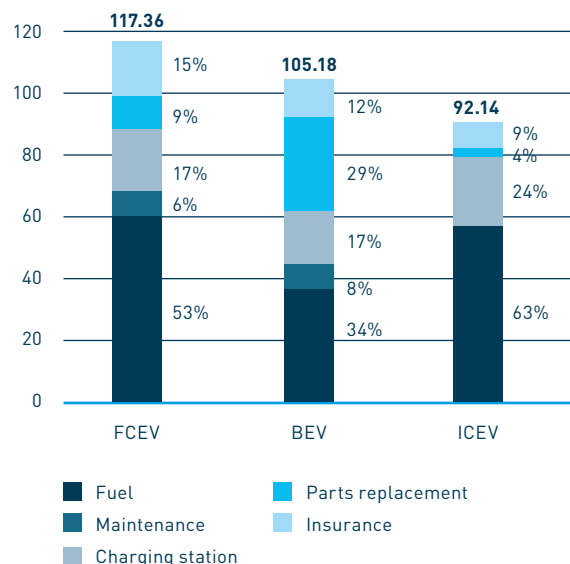
In dit stadium van de ontwikkeling van FCEV-trucks is het lastig betrouwbare uitspraken te doen over de aanschafprijs van het voertuig in vergelijking met de alternatieven (diesel en batterij-elektrisch). Inschattingen voor aanschafprijzen voor de Nederlandse markt lopen uiteen van €400.000 tot €700.000 voor een waterstoftruck, waar een batterij-elektrische truck ca. €300.000 kost en de traditionele dieselequivalent ca. €80.000 (TTM, 2020). Uit een analyse van de TCO voor bussen van Deloitte & Ballard (2020) blijkt dat de aanschafkosten voor een FCEV-bus nu nog ruim tweemaal hoger liggen dan voor een traditionele bus met verbrandingsmotor (ICEV) en 60% hoger dan een batterij-elektrische bus (BEV).

Deze hoge aanschafkosten worden voornamelijk veroorzaakt door de hoge kosten voor de energiemodule (brandstofcel, batterij, waterstoftanks) en de hogere prijs voor overige componenten door lage schaalvoordelen.

Ook de operationele kosten voor het gebruik van FCEV-voertuigen zijn hoger dan voor de alternatieven. De brandstofkosten, inclusief de kosten voor vulinfrastructuur, liggen bij de huidige prijzen voor groene waterstof beduidend hoger dan zowel diesel als elektriciteit, en ook de verzekeringskosten zijn hoger. Onderhoudskosten voor zowel FCEV- als BEV-bussen liggen lager dan voor bussen met verbrandingsmotor, maar dit voordeel wordt tenietgedaan door de hogere kosten voor vervanging van brandstofcellen en batterijen door hun beperkte levensduur (brandstofcellen 25.000 uur, batterijen 5 jaar).



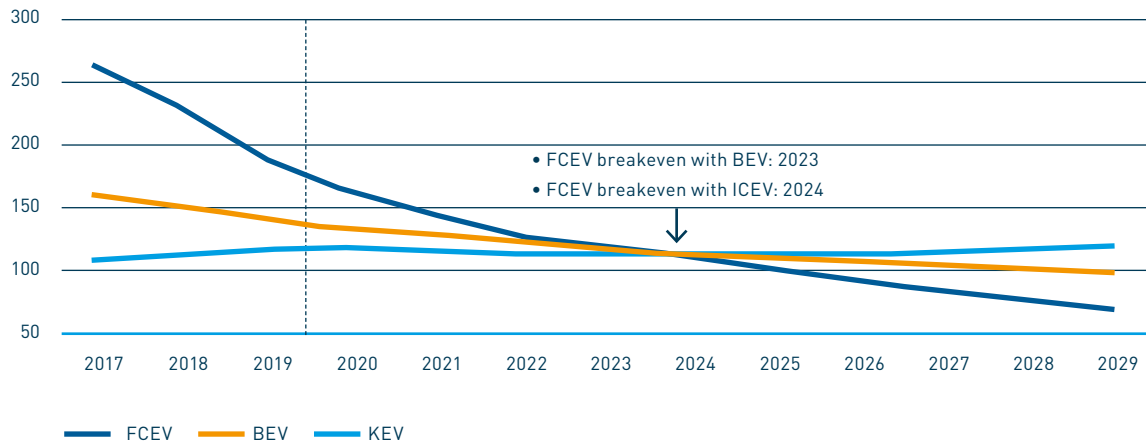
Afbeelding 3. Opbouw aanschafprijs bus, Europa 2019 (per voertuig, x 1000 usd) [Deloitte & Ballard, 2020]



Afbeelding 4. Opbouw operationele kosten bus, Europa 2019 (USD per 100 km) [Deloitte & Ballard, 2020]

De verwachting in de analyse van Deloitte en Ballard (2020) is dat de TCO voor een waterstofbus binnen 4 jaar lager ligt dan de TCO van een batterij-elektrische bus en binnen 5 jaar zelfs lager dan voor een bus met dieselaandrijving. Dit komt met name door

goedkopere brandstofcelsysteem (-60% in komende 10 jaar) en dalende waterstofprijs (-44% in komende 10 jaar). Stijgende kosten voor diesel door bijvoorbeeld CO₂-heffing zijn hierin nog niet meegenomen:



Afbeelding 5. Verwachte ontwikkeling TCO voor bussen in Europa (TCO in USD/100 km) (Deloitte & Ballard, 2020)

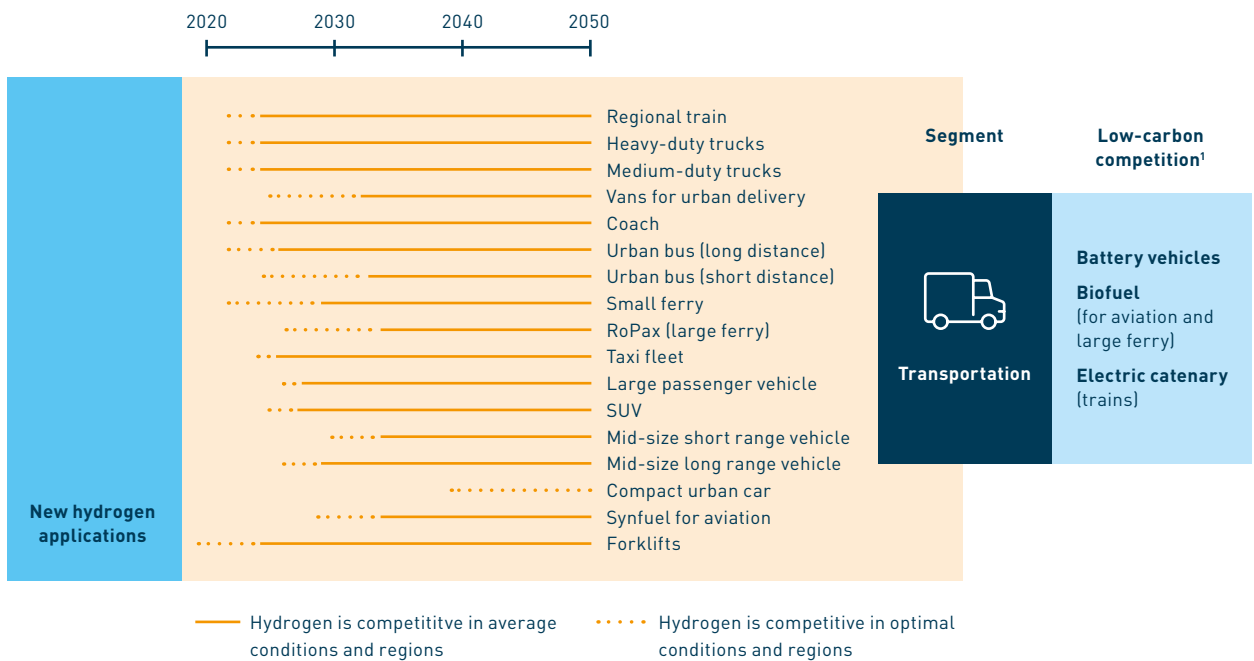


In hetzelfde rapport wordt een casestudy voor een zware truck (trekker) op waterstof in de VS behandeld. De TCO voor zo'n truck ligt nu 93% hoger dan voor de dieselvariant en 35% hoger dan voor een batterij-elektrische truck. De verwachting in deze casestudy is dat in 2024 de TCO voor de FCEV-truck lager is dan die voor de BEV-truck, en in 2028 ook lager dan de TCO voor de dieseltruck. Ook hier zijn de goedkopere brandstofcellen en waterstof, door technische ontwikkeling en schaalvoordelen, de belangrijkste oorzaken van deze kostendaling.

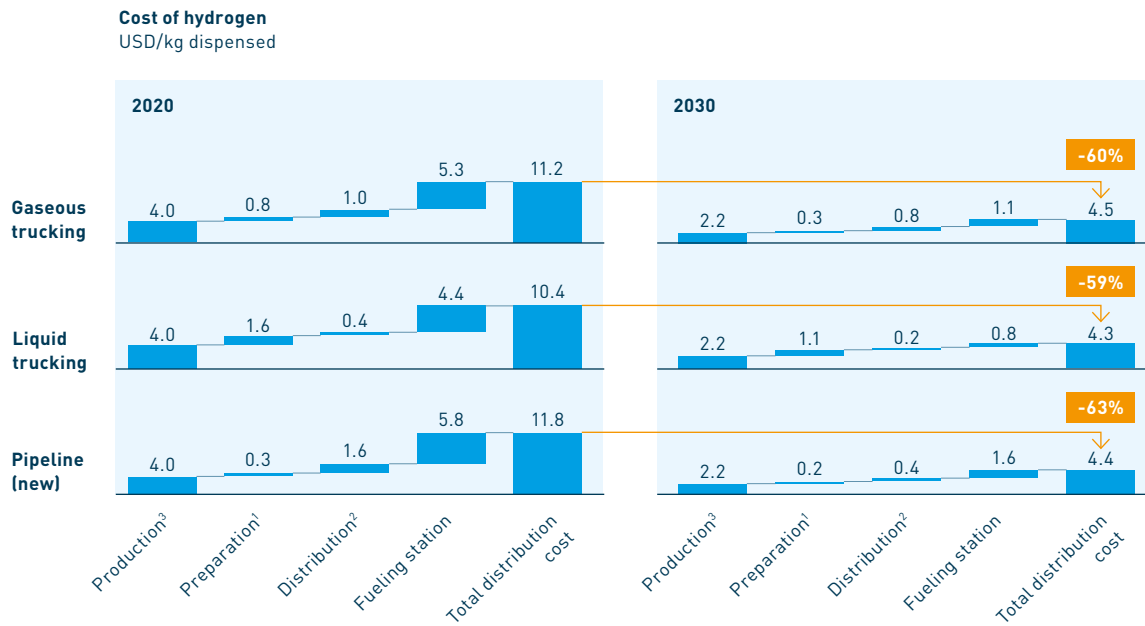
De Hydrogen Council (Council, 2020) verwacht dat waterstof als toepassing in zwaar en medium wegtransport het meest competitieve laag-CO₂ alternatief is vanaf ca. 2025 (voor wegtransport is de vergelijking in onderstaande afbeelding gemaakt met batterij-elektrisch). De conclusie van dit rapport: Op korte termijn (van 2020-2025) zou waterstof concurrerend kunnen worden in het vervoer, met name voor grote voertuigen met lange afstanden (d.w.z. treinen, vrachtwagens, touringcars en taxivloten) en heftrucks. Het batterij-elektrische alternatief is

voor deze toepassingen minder aantrekkelijk door de omvang, het gewicht en de prijs van de benodigde batterijen, en door de lange oplaadtijd.

Volgens de Hydrogen Council (Council, 2020) bestaat ca. 60% van de TCO voor zware trucks uit de kosten voor productie en distributie van waterstof. De verwachting is dat de totale TCO 50% daalt in de komende 10 jaar. Deze kostendaling is gelegen in zowel de Capex voor het voertuig (brandstofcel + opslagtank) als de kostprijs van waterstof aan de pomp. Bij een kostprijs aan de pomp van ca. €5 per kg kan een waterstof-elektrische truck concurreren met een batterij-elektrische truck. De verwachting is dat de prijs van waterstof aan de pomp daalt met ca. 60% tot minder dan €4 per kg. Naast goedkopere waterstofproductie is een significante kostenreductie in transport en vulinfrastructuur hiervoor van groot belang. Deze kostenreductie kan bereikt worden door schaalvoordelen en een hogere benuttingsgraad van de waterstofstations.



Afbeelding 6. Wanneer worden waterstoftoepassingen competitief? (Council, 2020)



1. Compression for gaseous trucking, liquefaction for liquid trucking or storage for pipelines
2. Gaseous trucking, liquid trucking or pipelines
3. Assumes average blue and green production cost in Europe (Germany offshore wind)

Source: McKinsey Hydrogen Supply Model

Afbeelding 7. Ontwikkeling kosten van waterstof voor transporttoepassing (Council, 2020)

3.3 BINNENVAART

3.3.1 Technologische ontwikkeling

Uit een inventarisatie door EICB (2020) blijkt dat er in Nederland 25 waterstofprojecten zijn die zich concreet richten op aandrijving in de binnenvaart of short sea. Hiervan willen zes projecten al in 2021 tot realisatie komen, waarvan zeker vijf een schip op waterstof zullen testen. In 2022 zullen nog zeven projecten worden afgerond, waarvan tenminste zes een schip zullen testen, waarbij ook grotere schepen.

De Nederlandse initiatieven richten zich vooral op de inzet van brandstofcellen aan boord van elektrisch aangedreven schepen. De wijze van opslag van de waterstof aan boord verschilt. De meeste projecten gaan uit van gasvormige opslag onder druk, maar er is ook een aantal projecten dat de mogelijkheden van vloeibare waterstof onderzoekt. Ook andere vormen van opslag worden onderzocht.

Een aantal initiatieven is gebundeld in het RH2INE-programma¹⁴, dat als doel heeft het ontwikkelen van een geïntegreerd systeem van aanbod van waterstof en afname door binnenvaart, goederenvervoer over de weg, OV en vuilnistransport. Daarbij moeten meerdere vul- en bunkerlocaties langs de EU-goederencorridor Rhine-Alpine tot stand komen. In de komende vier jaar richt het programma zich

primair op het realiseren van een demonstratieproject waarin de markt van vraag en aanbod wordt ontwikkeld, met binnenvaart als drager. Gestart wordt met 5 tot 15 schepen en 3 tot 4 vulpunten op de corridor Rotterdam-Keulen.

RH2INE heeft een half miljoen euro subsidie toegelikt gekregen van de Europese Commissie voor verder onderzoek (Havenbedrijf Rotterdam, 2020b). De Europese subsidie wordt gebruikt voor onderzoek naar welke verschijningsvormen van waterstof het meest geschikt zijn, welke bunkerscenario's daarbij horen en de benodigde wetgeving in de verschillende landen en locaties om schepen te laten varen op waterstof.

3.3.2 Vulinfrastructuur

De benodigde vulinfrastructuur is sterk afhankelijk van gekozen opslagmethode aan boord. De eerste pilotprojecten lijken nu in te zetten op gecontaineriseerde waterstofopslag (hogedrukcilinders in container) met decompressie in de container waardoor de aansluiting met het schip lage druk is. Deze containers zouden op een centraal punt gevuld kunnen worden en dan naar het schip/de haven gebracht. In deze opzet zijn er geen specifieke bunkerpunten voor waterstof voor binnenvaart nodig.

3.3.3 Regelgeving

Technische installaties aan boord moeten voldoen aan de veiligheidseisen en overige regelgeving van nationale overheden en supranationale organen (binnenvaart: CCR; zeevaart: IMO) en de Europese Unie. Zowel in CCR als in IMO is er nog geen specifieke regelgeving voor het varen op waterstof, de ontwikkeling hiervan bevindt zich nu in het beginstadium. De CCR heeft een voorstel gedaan voor het opzetten van een werkgroep rondom technische regelgeving voor binnenvaartschepen die van brandstofcellen gebruik maken. Voorlopig is er nog een uitzonderingsverklaring nodig voor een schip om op waterstof te mogen varen. De uitzondering moet aangevraagd worden bij de nationale overheid of bij CCR, afhankelijk van het vaargebied, na goedkeuring van het ontwerp door een klassebureau. Al met al is dit een tijdrovend en onzeker proces dat voor elke pilot opnieuw doorlopen moet worden zolang er geen regelgeving is voor het varen op waterstof.

3.3.4 Financiële propositie

Omdat de eerste pilotprojecten zich nog in de ontwerpfasen bevinden, is er nog weinig ervaring met de kosten voor een binnenvaartschip op waterstof. Geschat wordt dat een fuel cell-elektrisch nieuwbouwschip ongeveer tweemaal zo duur is als een conventioneel nieuwbouwschip. TNO heeft berekend dat de totale kosten voor een waterstofinstallatie (brandstofcellen, batterijen en waterstoftanks) voor een elektrisch aangedreven schip van 90 meter lengte ruim 2,5 miljoen euro bedragen (Abma et al., 2019), maar de gehanteerde aannames voor de kosten van de brandstofcel (€2000/kW) lijken aan de lage kant.

Indien voor de opslag van de waterstof aan boord gebruik gemaakt wordt van wisselcontainers dan kan de scheepseigenaar wellicht zijn investeringskosten verlagen als deze wisselcontainers gehuurd kunnen worden. Maar met een geschatte prijs van € 900.000 voor een 40ft container met een maximale opslagcapaciteit van 1.000 kg waterstof (RWTH Aachen University et al., 2018) zal ook deze huurprijs een flink aandeel in de TCO hebben.

De prijs van waterstof heeft ook een grote impact op de TCO en op de vraag of een binnenvaartschip op waterstof kan concurreren met een conventioneel schip. Door de lage prijs van de accijnsvrije gasolie die in de binnenvaart gebruikt wordt is pas bij een waterstofprijs van €2 per kg geleverd aan boord sprake van gelijke brandstofkosten¹⁵. Naast de productiekosten van waterstof zijn de distributiekosten

medebepalend voor de uiteindelijke prijs. Deze zullen sterk afhangen van de gekozen oplossing voor opslag aan boord en de daarvoor benodigde vulinfrastructuur.

De totale financiële propositie van de toepassing van waterstof in de binnenvaart is nog zeer ongewis, maar uit bovenstaande blijkt wel dat de benodigde investeringen en de hogere brandstofkosten zullen leiden tot een TCO die veel hoger ligt dan de TCO van fossiele binnenvaart. De eerste pilots leunen nog zwaar op subsidies waarmee de hoge investeringskosten gedrukt worden. Voor het afdekken van de hogere brandstofkosten wordt vaak naar verladers gekeken. In een aantal projecten heeft de verlader ook een belangrijke rol als producent/leverancier van de benodigde waterstof.

3.4 SPOOR

Ruim 70% van het Nederlandse spoorwagennet is geëlektrificeerd (CBS Statline, 2019). Op de niet geëlektrificeerde trajecten (945 km) rijden dieseltreinen. Dit zijn regionale passagiertreinen en daarnaast vracht- en rangeerlocomotieven (Van Himbergen & Altenburg, 2015). Deze dieseltreinen stoten jaarlijks circa 80 kiloton CO₂ uit. Het grootste deel daarvan komt voor rekening van vrachtvervoer: 49 kiloton CO₂ (van Wijngaarden et al., 2017).

De afgelopen twee jaar hebben twee prototypes van een waterstoftrein voor passagiers als pilot in Duitsland gereden. Deze Coradia iLint van fabrikant Alstom is een tweewagenstel voor regionale treindiensten, voorzien van brandstofcellen en met een actieradius tot 1000 km. De treinen hebben samen 180.000 km afgelegd en de proef is inmiddels afgesloten. Vanaf 2022 worden er veertien van deze treinen ingezet. Inmiddels is dit voorjaar ook een eerste proef met dit type in Nederland gehouden op het traject Groningen-Leeuwarden. Op basis van de positieve resultaten willen de provincie en betrokken partijen waterstoftreinen gaan inzetten bij toekomstige uitbreiding of aanpassing van het spoor in Groningen. Zo kunnen de eerste waterstoftreinen over een paar jaar in de reguliere dienstregeling gaan rijden. (Provincie Groningen, 2020)

Een Europese studie over het gebruik van brandstofcellen en waterstof op het spoor (Ruf et al., 2019) concludeert dat waterstoftreinen economisch zinvol zijn als ze ontwikkeld zijn voor lange niet-geëlektrificeerde lijnen van meer dan honderd kilometer. Ze zijn geschikt voor hoofdspoorwegen met een lage capaciteit (maximaal tien treinen per dag) en

voor de 'last mile'. Een hoog gebruik van waterstof-tankstations en lage elektriciteitskosten hebben een positieve uitwerking op de kostenefficiëntie. De eerste ontwikkeling en beste haalbaarheid is er voor treinstellen voor personenvervoer. Voor rangeerlocomotieven en locomotieven voor hoofdspoorlijnen is er nog meer ontwikkeling nodig. De verwachting is dat de brandstofcel- en waterstoftechnologie voor deze treintypes pas tegen 2023 in de markt worden geïntroduceerd. Voor rangeertreinen zijn batterijen een goed alternatief voor korte afstanden en langere leeglooptijden. Waterstof kan interessant zijn voor flexibiliteit bij hoge inzet en als ook langere afstanden verlangd worden.

3.5 SCHEEPVAART

Er zijn de voor de zeescheepvaart nog geen haalbare alternatieve brandstoffen beschikbaar om de IMO-doelstellingen voor het reduceren van de CO₂ uitstoot mee te behalen. Uit een onderzoek van Shell en Deloitte (2020) komt naar voren dat waterstof binnen de sector gezien wordt als een van de meest beloftevolle brandstoffen, maar dat volgens de sector brandstofceltechnologie nog onvoldoende volwassen is en dat de lage energiedichtheid, technische uitdagingen voor vloeibare opslag aan boord en hoge kosten nog als voornaamste belemmeringen voor daadwerkelijke toepassing gezien worden.

Het recent gepubliceerde onderzoek van TNO, VoltaChem en SmartPort (van Kranenburg-Bruinsma et al., 2020) concludeert dat waterstof als brandstof een interessante optie kan zijn voor verduurzaming van zeescheepvaart over kortere afstanden, zoals veerdiensten en short-sea scheepvaart. Voor deep-sea scheepvaart is direct gebruik van waterstof volgens de onderzoekers niet geschikt vanwege benodigde ruimte en gewicht van de opslag aan boord. Zij beschouwen waterstof alleen als mogelijke brandstof indien er elke twee tot drie dagen gebunkerd kan worden, hetgeen toepassing in deep-sea shipping uitsluit. Voor die sectoren waar waterstof geen oplossing biedt, zien de onderzoekers een rol weggelegd voor synthetische brandstoffen zoals e-methanol, e-diesel of e-ammonia. Kenmerkend voor deze brandstoffen is dat ze geproduceerd worden uit groene waterstof.

Ondertussen zijn er wel eerste ontwikkelingen gaande voor de toepassing van waterstof in de zeescheepvaart, al bevinden deze zich nog in de teken-tafelfase en zijn ze niet gericht op scheepvaart over

lange afstanden. Het Noorse Ulstein heeft bijvoorbeeld een emissievrij offshore schip op waterstof ontwikkeld dat naar eigen zeggen in 2022 getest zou kunnen worden¹⁶.

3.6 INTERN TRANSPORT

Heftrucks op waterstof zijn al enkele jaren op de markt; gevestigde namen als Linde, Still, Toyota en Hyster bieden deze aan. Waterstof wordt gezien als een goede vervanger van diesel/LPG en als alternatief voor elektrisch rijden op batterijen, zeker in het zware heftrucksegment. Hoewel de techniek dus beschikbaar is, wordt deze in Nederland nog weinig gebruikt, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de VS, Japan en Korea, waar al wel veelvuldig heftrucks op waterstof worden ingezet.

In België heeft supermarktketen Colruyt op basis van de ervaringen met het testen van heftrucks op waterstof binnen het project 'Waterstofregio Vlaanderen - Zuid-Nederland' besloten een grotere demonstratie uit te voeren. Hiertoe wordt de vloot opgeschaald naar 75 heftrucks. Een dergelijke grote vloot, uniek voor Vlaanderen en Nederland, geeft bijkomende inzichten over de operationele ervaringen in een logistiek centrum. Om deze vloot efficiënt te kunnen bedienen is een indoor vulpunt gerealiseerd. (Colruyt Group, 2020)

Een bottleneck voor de economische haalbaarheid van het gebruik van waterstof voor intern transport is de infrastructuur voor het tanken van waterstof. Omdat voertuigen voor intern transport niet zelf naar een waterstofvulpunt kunnen rijden, moet een vulpunt op locatie gerealiseerd worden. Als dit vulpunt aanwezig is, is volgens Linde een economisch interessante businesscase haalbaar bij gebruik vanaf twintig voertuigen (MotracLinde, 2019). Ook op het gebied van zwaarder materieel voor intern transport zijn er waterstofontwikkelingen gaande. Zo werkt Zepp.solutions met fabrikant Terberg aan een prototype voor een terminaltrekker met een brandstofcelsysteem (Buccaneer Delft, 2019), en ontwerpt Hyster een zero-emissie reach stacker met brandstofcel voor een pilot in de haven van Valencia als onderdeel van het H2Ports project (H2Ports, 2019).

POTENTIEEL VOOR WATERSTOF IN TRANSPORT

Nederland staat voor een grote duurzaamheidsopgave, zoals geschetst in hoofdstuk 2. Ook de logistieke sector zal hier zijn steentje aan bij moeten dragen. In dit hoofdstuk wordt op basis van de eerder gedeelde inzichten een kwalitatieve inschatting gemaakt van de wijze waarop waterstof kan bijdragen aan deze duurzaamheidsopgave voor de sector. Hiertoe wordt een vergelijking gemaakt met andere emissievrije mogelijkheden, met name met batterij-elektrische alternatieven.

De structuur van dit hoofdstuk spreekt voor zich. In paragraaf 4.1 worden achtereenvolgens de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen behandeld.

4.1 DE SWOT-ANALYSE

In onderstaande SWOT-analyse wordt het potentieel van fuel cell-elektrische transporttoepassingen vergeleken met batterij-elektrische opties en wordt een aantal belangrijke kansen en bedreigingen voor de succesvolle toepassing van waterstoftechnologie in de logistiek sector besproken.

4.1.1 Sterkten

Brandstofcel-elektrische techniek heeft ontegenzeggelijk een aantal sterke punten waardoor het uitermate geschikt is om toe te passen in transport:

Zero emissie

Bij het genereren van elektriciteit door middel van een waterstof-brandstofcel komt alleen waterdamp vrij, waarmee dit proces zero emissie is. Wanneer hierbij gebruik gemaakt wordt van groene waterstof, dan is de volledige keten in potentie emissie-vrij.

Grote actieradius/lange bedrijfsduur

Afhankelijk van de wijze van opslag heeft waterstof een hogere energiedichtheid dan een batterij, waardoor het kan zorgen voor een grotere actieradius of een langere onafgebroken bedrijfsduur dan het batterij-elektrische alternatief. Hierdoor is het ontwerp technisch aantrekkelijker om langeafstand- of continue opererende voertuigen als FCEV uit te voeren. Bij de uitvoering als BEV moet de grotere actieradius of langere bedrijfsduur immers komen uit meer (zware) batterijen, terwijl bij een FCEV kan worden volstaan met het bijplaatsen van minder zware opslagtanks.

Korte vultijd

Net als bij traditionele brandstoffen duurt het tanken van waterstof, afhankelijk van benodigde

hoeveelheid, gevraagde en aangeboden druk en debiet, slechts enkele minuten. Dit in tegenstelling tot Battery Electric Vehicle-toepassingen waarbij oplaadtijden relatief lang zijn en alleen kunnen worden verkort met behulp van zeer hoge laadvermogens¹⁷.

Schaalbare vulinfrastructuur

Hoewel het aantal waterstofvulpunten in Nederland nog zeer beperkt is, is uitbreiding van dit netwerk relatief eenvoudig te realiseren. Distributie van waterstof kan plaatsvinden per truck (tubetrailers) of door aan te takken op het gasnet dat in de toekomst geschikt zou moeten zijn om waterstofgas in plaats van aardgas te distribueren (waterstofbackbone). Volledige (BEV) elektrificatie van het Nederlandse wagenpark daarentegen, vraagt om een dermate groot aantal (snel)laadpunten dat de elektrische infrastructuur hiervoor, in combinatie met de toenemende vraag naar elektriciteit en piekvermogen in andere sectoren, niet toereikend is. Uitbreiding en verzwaring van het elektriciteitsnet kan een langdurig traject zijn¹⁸.

4.1.2 Zwakten

Ten opzichte van batterij-elektrische oplossingen kent waterstof ook een aantal nadelen:

Ontwikkeling nog in kinderschoenen

Hoewel de brandstofcel beproefde technologie is, staat de ontwikkeling van de geïntegreerde FCEV-techniek voor de meeste toepassingen nog in de kinderschoenen. Dit geldt in mindere mate voor BEV-techniek, die in ontwikkeling een aantal jaar voorloopt op de FCEV-ontwikkeling.

¹⁷. Zulke hoge laadvermogens stellen hoge eisen aan de elektrische infrastructuur en de te gebruiken laadkabels ¹⁸. Zie ook: Natuur & Milieu (2020) en: Groen et al. (2019)

Hoge kosten voor techniek

Brandstof-elektrische aandrijflijnen zijn nog erg duur, zoals besproken in hoofdstuk 4. De verwachting is dat deze kosten door technische ontwikkeling en schaalvoordelen significant zullen afnemen. Deze ontwikkeling zien we al in de batterijtechnologie, waar de afgelopen jaren al een forse daling van de kosten per KWh gerealiseerd is, die naar verwachting de komende jaren nog verder door zal zetten.

Kostprijs groene waterstof

Waar bij de meeste BEV-toepassingen geldt dat de energiekosten lager zijn dan het fossiele alternatief, is dit voor FCEV-toepassingen nog niet het geval. Groene waterstof moet nog tenminste een factor 3 in prijs zakken om te kunnen concurreren met diesel en zal het in kostprijs af blijven leggen tegen elektriciteit.

Lagere energie-efficiëntie door omzettingsverliezen

Het energetische rendement van de productie van waterstof middels elektrolyse ligt rond 60% en het rendement van een brandstofcel ligt daar nog iets onder, waardoor het totale energieketen rendement voor FCEV nog niet boven de 30% komt. Het ketenrendement van BEV zit hier duidelijk boven.

4.1.3 Kansen

Complementariteit met batterijen

De grootste kansen voor FCEV toepassingen lijken te liggen in die segmenten waar de nadelen van batterij-elektrische oplossingen te zwaar wegen. Dit gaat

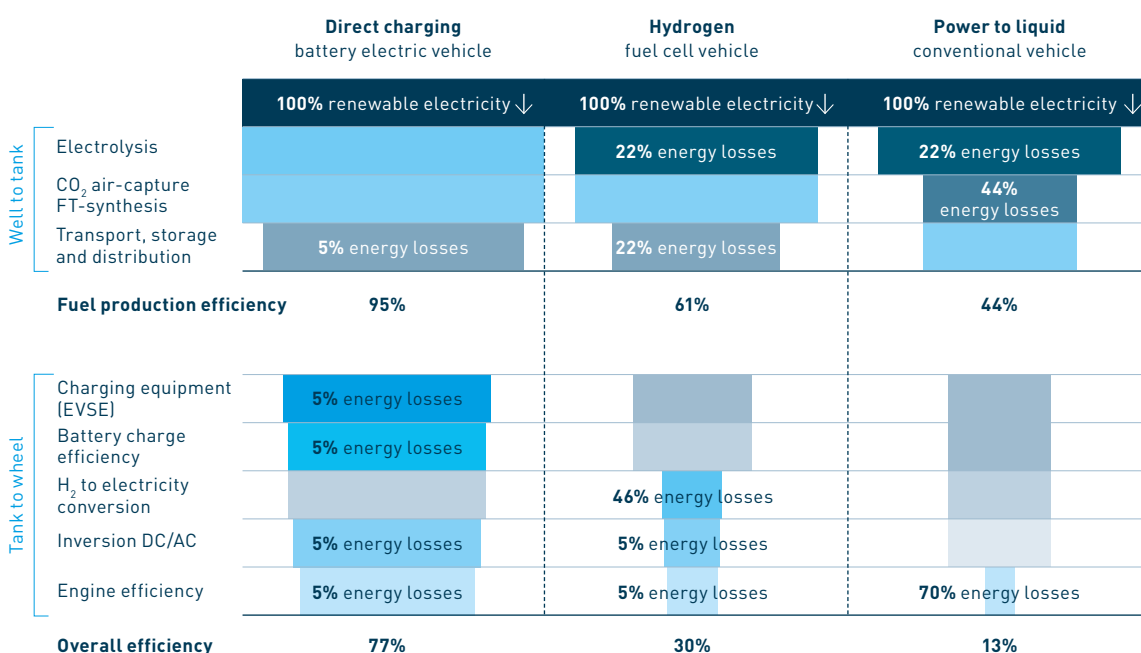
dan met name om die segmenten waar veel vermogen of langdurige onafgebroken inzet gevraagd wordt, zoals zwaar wegtransport of wegtransport over langere afstanden, binnenvaart (met name grotere schepen en langere afstanden), rangeertreinen en heftrucks in (semi-)continuidienst. Hierbij is het batterij-elektrische alternatief minder aantrekkelijk door de omvang, het gewicht en de prijs van de benodigde batterijen, en door de lange oplaadtijd.

Aansluiting bij beleidsinitiatieven

Zoals in hoofdstuk 2 blijkt, is er veel aandacht voor waterstof in zowel Europees als nationaal beleid. Door aansluiting bij de verschillende beleidsinitiatieven kan de ontwikkeling van waterstof in de transportsector hiervan profiteren.

Synergie met andere sectoren

Een belangrijke zwakte is op dit moment nog gelegen in de hoge kosten voor het gebruik van waterstoftechnologie voor logistieke toepassingen. Zowel de kapitaalkosten van de techniek als de prijs van waterstof geleverd in de juiste vorm en op de juiste plaats, zijn nog te hoog voor een goede economische haalbaarheid. Om op kosten te kunnen concurreren met batterij-elektrische alternatieven is zowel een technologiesprong als een forse schaalsprong noodzakelijk. Voor de productie van groene waterstof zal deze ontwikkeling vooral gedreven worden door de vraag in andere sectoren, met name de industrie waar nu al op grote schaal (grijze) waterstof wordt gebruikt¹⁹. De kosten voor productie van waterstof kunnen significant afnemen doordat elektrolyse-



Afbeelding 9. Energie-efficiëntie van BEV, FCEV en Power to liquid (Transport & Environment, 2018)

¹⁹. De huidige vraag naar waterstof voor de industrie bedraagt 0,8 Mt. In 2050 kan dit toegenomen zijn tot 5,3 Mt. Voor mobiliteit over land is dan 1,7 Mt nodig. (Havenbedrijf Rotterdam, 2020a)

technologie goedkoper wordt terwijl het rendement verder verbetert. De distributiekosten kunnen gereduceerd worden door gebruik te maken van pijpleidingen waarvan ook voor toepassing in industrie en gebouwde omgeving gebruik gemaakt zal worden. En ook voor de brandstofceltechnologie geldt dat de lagere kosten door schaal en hogere vermogensopbrengst mede gedreven kunnen worden door de vraag naar andere (stationaire) toepassingen. Hier ligt dus een kans voor de toepassing van waterstof in de logistiek om mee te liften op de ontwikkeling in andere sectoren.

Synergie tussen modaliteiten

Reductie van kosten kan versneld worden door ontwikkeling in andere sectoren, maar ook door schaalvoordelen die te halen zijn uit vraagaggregatie van verschillende modaliteiten. De kosten voor vulinfrastructuur maken een belangrijk deel uit van de totale waterstofkosten voor logistieke toepassingen. Door schaal en hoge benutting kan de impact van dit kostenonderdeel beperkt worden. Door vulstations zo te plaatsen en in te richten dat hier door meerdere modaliteiten gebruik van gemaakt kan worden, kan de benodigde schaal en bezettingsgraad sneller bereikt worden. Vooral (achterland-)havens lijken een goede plek voor deze modaliteit-overstijgende integratie van infrastructuur.

4.1.4 Bedreigingen

Beschikbaarheid groene waterstof

Groene waterstof is slechts op kleine schaal beschikbaar. Zolang er in Nederland nog geen overschot is aan elektriciteit vanuit hernieuwbare bronnen is het vanuit systeemperspectief niet zinvol om van deze beperkte hoeveelheid duurzame elektriciteit²⁰ een deel om te zetten in groene waterstof, met de bijbehorende omzettingsverliezen. De komende jaren zal het aandeel duurzaam opgewekte

elektriciteit weliswaar versneld toenemen, maar het duurt naar verwachting nog tien jaar voor Nederland een dermate groot aandeel duurzame elektriciteit heeft dat er voldoende momenten van overschot ontstaan om omzetting naar groene waterstof zinvol en rendabel te maken²¹. Om in de toekomst aan de verwachte vraag naar groene waterstof voor industrie, gebouwde omgeving en verkeer en vervoer te kunnen voldoen is het potentieel aan hernieuwbare energie dat in Nederland opgewekt kan worden onvoldoende, daarom wordt er gerekend met import van groene waterstof vanuit gebieden met een overschot aan hernieuwbare bronnen²². Serieuze importvolumes zijn dit decennium echter niet te verwachten.

Nog veel leemten in wet- en regelgeving

Waar voor het wegverkeer weinig belemmeringen meer zijn voor FCEV-toepassing, zijn er voor andere modaliteiten nog veel leemten in de wet- en regelgeving waardoor toestemming voor het gebruik van waterstof in deze modaliteiten nog slechts op uitzonderingsbasis verkregen kan worden. Dit vergroot de complexiteit en onzekerheid en potentieel ook de kosten en doorlooptijd van toepassingstrajecten.

Standaarden ontbreken

Bij het gebruik van waterstof in de logistiek zijn verschillende verschijningsvormen en opslagwijzes mogelijk. Een eenduidige keuze is in deze fase van de ontwikkeling nog moeilijk te maken. Zo wordt er in meerdere binnenvaartpilots uitgegaan van tenminste vier verschillende verschijningsvormen en opslagmethodes. Zolang de verscheidenheid nog zo groot is zullen standaarden voor vulinfrastructuur zich moeilijk laten ontwikkelen. Dit kan het behalen van schaal- en synergievoordelen, nodig voor een snelle kostenreductie, in de weg staan.

Sterkten	Zwakten
<ul style="list-style-type: none"> • Zero-emissie • Grote actieradius/ lange bedrijfsduur • Korte vultijd • Schaalbare vulinfrastructuur 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkeling nog in kinderschoenen • Hoge kosten voor techniek • Kostprijs groene waterstof • Lagere energie-efficiëntie
Kansen	Bedreigingen
<ul style="list-style-type: none"> • Complementariteit met batterijen • Aansluiting bij beleidsinitiatieven • Synergie met andere sectoren • Synergie tussen modaliteiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschikbaarheid groene waterstof • Nog veel leemten in wet- en regelgeving • Standaarden ontbreken

20. Volgens het CBS was in 2019 18% van het elektriciteitsverbruik in Nederland afkomstig uit hernieuwbare bronnen. 21. Illustratief voor deze bedreiging is de recente weigering van de Europese Commissie om toestemming te geven voor Nederlandse plannen om milieuvriendelijke productie van waterstof te steunen met subsidie (McDonald, 2020) 22. De Nederlandse waterstofvraag in 2050 wordt geschat op 13,6 Mt per jaar. Om dit met elektriciteit uit wind op te wekken is ca. 136 GW aan windcapaciteit nodig. Dit is ruim het dubbele van het maximaal realiseerbaar opgesteld vermogen aan off-shore windcapaciteit op het Nederlandse deel van de Noordzee. Een belangrijk deel van dit vermogen zal benut worden voor elektriciteitsvraag van eindverbruikers. Het grootste deel van de Nederlandse waterstofvraag in 2050 zal daarom geïmporteerd moeten worden. (Havenbedrijf Rotterdam, 2020a)

VISIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit rapport beschrijft de betekenis van waterstof voor de transportsector en gerelateerde logistieke functies. De kenmerken zijn in voorgaande hoofdstukken uitvoerig beschreven. De vraag is welke rol de logistieke sector hierbij kan spelen. Om dat te kunnen bepalen is een visie nodig. In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 1 deze visie gepresenteerd. Vervolgens wordt in paragraaf 2 aandacht besteed aan de rol en aanpak die daarbij passend is. Dit hoofdstuk sluit af met conclusies en aanbevelingen.

5.1 NAAR EEN VISIE

In het licht van het Akkoord van Parijs en de vele waterstof initiatieven (zie hoofdstuk 2) is het voor de logistieke sector van groot belang dat alle vervoersmodaliteiten minder CO₂ uitstoten. De introductie van waterstof kan daarbij een belangrijke schakel zijn. Voor een visie op de potenties van waterstof voor de logistieke sector zijn drie aandachtsgedebieden van belang.

1. Het eerste aandachtsgedebied richt zich op de unieke *eigenschappen* die waterstof te bieden heeft. Er lopen momenteel meerdere initiatieven, waarvan sommige zich nog in de conceptuele fase bevinden, andere zijn in de planfase en bij een beperkt aantal projecten is sprake van een project in demonstratie- of pilotfase. Gelijkertijd staat waterstof ook sterk in de belangstelling voor industriële toepassing waardoor sprake kan zijn van systeemintegratie, bijvoorbeeld op het gebied van opslag en distributie. Daar kan de logistieke sector direct van profiteren. Hoewel bekend is dat technologische innovaties zich volgens vaste patronen ontwikkelen (pad-afhankelijkheid) is het van belang dat een flexibele opstelling wordt gekozen voor ontwikkelingen die zich aandienen omdat, zeker voor een lange termijn ontwikkeling, deze niet altijd zijn te voorzien.
2. Ten tweede dient aandacht te bestaan voor verschillende *stakeholders* waaronder private partijen en TKI's van verschillende topsectoren die een rol spelen bij grootschalige R&D-projecten. Er is sprake van een dynamische omgeving waarbij publiek-private samenwerking een belangrijke meerwaarde heeft. Bij de transitie naar een waterstofeconomie op systeemniveau is van belang te onderkennen dat ook nieuwe partijen kunnen toetreden tot het proces, zoals infraproviders of een nieuwe generatie energiemaatschappijen. Daardoor zal tevens aansluiting gevonden moeten

worden bij sector overstijgende initiatieven.

3. Ten derde is een belangrijke rol weggelegd voor *beleidsontwikkeling*. De EU en de nationale overheid spelen een belangrijke rol bij het stimuleren van waterstof om te komen tot een klimaat-neutrale samenleving. Voor de overheid betekent dit dat primair groene waterstof de voorkeur zal krijgen. De instrumenten die de overheid ten dienste staan om dit te bereiken zijn: consortiaontwikkeling (voor onderzoek tot en met realisatie), onderzoekfinanciering (m.n. toegepast onderzoek), stimuleren van standaarden, regulering, grootschalige uitrol en fiscale maatregelen.

Vanwege de lange termijn (minimaal 20 jaar) en de grote belangen die aan de orde zijn, moet aan een aantal procesmatige randvoorwaarden voldaan worden. De randvoorwaarden moeten erop zijn gericht om zo goed mogelijk om te gaan met onzekerheden. De randvoorwaarden, die ook van pas komen bij de inschatting van de verschillende alternatieven voor de logistieke sector zijn:

- **Flexibiliteit.** Flexibiliteit moet worden beschouwd als het potentieel om zich aan te passen aan veranderingen in het programma wanneer zich belangrijke veranderingen voordoen. In het verleden is gebleken dat maatschappelijke evaluaties van milieueffecten zeer dynamisch zijn. Zo lag vier decennia geleden de nadruk in de stedelijke omgeving vooral op lawaai, drie decennia geleden op veiligheid, twee decennia geleden op bereikbaarheid, 10 jaar geleden op stedelijke luchtkwaliteit zoals fijn stof en momenteel wordt meer gewicht toegekend aan wereldwijde vervuiling en impact van verkeer op gezondheid. Een strategie moet dus kunnen worden aangepast aan veranderingen in de maatschappelijke waardering.
- **Robuustheid.** Alternatieve energie georiënteerde

innovaties (waaronder waterstof) worden geïmplementeerd in een wereldwijde setting. Technologiebeleid inzake transport en gekoppeld aan duurzame ontwikkeling, heeft haast per definitie te maken met hoge risico's, lange termijn trajecten en de internationale arena. Dit maakt dat een transitie naar waterstof ook in belangrijke mate speculatief is zodra de externe omgeving varieert.

- **Prioritering.** Er is nog altijd geen overeenstemming tussen landen over klimaatverandering, de impact die het heeft en de oplossingen die daarvoor voor handen zijn. Dit geldt ook voor de logistieke sector. Het is van belang dat er overeenstemming ontstaat over opwarming van de aarde, dat het gebruik van alternatieve materiële hulpbronnen prioriteit krijgt.
- **Coherentie, consistentie, integriteit.** Lange-termijn technologische trajecten omvatten hoge risico's. Er zijn nieuwe samenwerkingsverbanden ontstaan tussen betrokkenen (public-private) over de ontwikkeling en implementatie van waterstof en er zijn aanzetten tot een samenhangend onderzoeksprogramma door de EU (Green Deal) en de nationale overheid (Hydrogen Alliance). Dit sluit niet uit dat er een open geest moet zijn voor (verwachte of onverwachte) nevenresultaten. Integratie met aanverwante beleidsterreinen zal de toepassing van deze resultaten in andere sectoren stimuleren.
- **Transparantie.** Een technologieontwikkelingsproject met veel betrokken actoren heeft te maken met een poly-centrisch perspectief. Als het algemene technologiebeleid wordt gestuurd door een goed gedefinieerde heuristiek, is het belangrijk te benadrukken dat ook de logistiek belangen aan tafel moeten zijn vertegenwoordigd.
- **Betrouwbaarheid en vertrouwen.** Mega-technologische innovaties als waterstoftechnologie worden ontwikkeld door strategische consortia bestaande uit deelnemers met verschillende achtergronden en grote eigen belangen. Strategische samenwerking en het idee dat het een gezamenlijke poging is om het probleem op te lossen, vereist niet alleen de formele inzet van de verschillende deelnemers, maar ook het vertrouwen dat het doel voor alle partners tegelijkertijd een uitdaging is. Hieraan kunnen de topsectoren een belangrijke bijdrage leveren.

5.2 VAN VISIE NAAR AANPAK

Deze studie laat zien dat er nog veel onzekerheden en onduidelijkheden zijn over de technologische, economische en maatschappelijke aspecten die een rol spelen bij de introductie van waterstof. Een

belangrijke versneller die zich manifesteert is het toenemende gewicht dat wordt toegekend aan de opwarming van de aarde en de duurzaamheidsdoelen. Het rapport laat ook zien dat de kansen die waterstof biedt voor de logistieke sector zich niet automatisch zullen aandienen; een proactieve houding is noodzakelijk en de vooruitzichten verschillen aanzienlijk naar gelang de toepassing en het type waterstof dat wordt ingezet. Omdat we ons ervan bewust moeten zijn dat een maximale uitrol pas op lange termijn zal plaatsvinden, vraagt dit dus een flexibele opstelling. Zoals in eerdere paragrafen is aangegeven, zijn het niet alleen technische kenmerken en mogelijkheden die een rol spelen bij succesvolle uitrol naar een waterstofeconomie (de techware), maar vormt ook het proces (de orgware) een doorslaggevende rol.

De waterstofeconomie heeft nadrukkelijk een technologische component in zich. Deze techniek wordt in belangrijke mate ontwikkeld bij onderzoeksinstituten, maar vooral bij startups en grote multinationale ondernemingen. Het hoeft niet van een topsector te worden verwacht dat zij dit actief volgt. Hetzelfde geldt voor alle andere technische aspecten die een rol spelen in de waterstof keten van productie, via distributie tot eindgebruik. Een ander belangrijk domein is de orgware. Hierin spelen overheden een belangrijke rol variërend van het stimuleren van fundamenteel onderzoek, het stimuleren van pilots en demonstratieprojecten tot fiscale maatregelen en het faciliteren van de uitrol.

5.3 CONCLUSIES

Mede versneld door het Akkoord van Parijs en de dagelijkse confrontatie met de effecten van klimaatverandering (zoals bosbranden, uitstervende diersoorten, etc.), is er momenteel zowel nationaal als internationaal sprake van een breed gedeelde opvatting dat de emissie van broeikasgassen moet worden teruggedrongen. Zowel de Europese Commissie als het Nederlandse kabinet hebben zich daarom tot doel gesteld in het jaar 2050 klimaatneutraal te zijn. De komende vijf jaar zal de Green Deal richtinggevend zijn voor Europese beleid en projecten die zich richten op waterstof een impuls gaan geven. Nederland voert weliswaar een eigen beleid, maar dat beleid is afgestemd met de Europese R&D agenda. Vanuit deze context kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Energie perspectief

Waterstof kan een belangrijke rol spelen en de sleutel zijn naar een klimaatneutrale toekomst omdat

waterstof de dominantie van fossiele brandstoffen (schijnbaar ruim beschikbaar, daardoor relatief goedkoop maar ook meest verontreinigend) kan terugdringen. Een belangrijke voorwaarde daarbij is dat de waterstof onder strikte condities wordt geproduceerd. In dit rapport wordt onderbouwd waarom op dit moment groene waterstof de voorkeur verdient, maar dat ook aan deze vorm van waterstof nog belangrijke bezwaren kleven.

Nederland kan worden gezien als koploper op het gebied van groene waterstofontwikkeling. De industrie heeft het voortouw genomen, daarbij gefaciliteerd door de overheid, om windmolenparken op land en in zee aan te leggen. Dit heeft geleid tot een enorme kostenreductie in de aanleg en exploitatie van de windparken waardoor zij marktconform kunnen opereren. De meeste initiatieven zijn gericht op stationaire toepassingen. De afnemers van de groene energie opgewekt op zee zijn waterstoffabrieken of eindgebruikers. De bedrijven hebben allen z.g. PPA's (inkoopovereenkomsten) afgesloten met de windparken voor de afname van groene stroom. Voldoende beschikbaarheid van groene stroom wordt daarmee een probleem want die is niet genoeg om de huidige industriële vraag te dekken, laat staan voor nieuwe toepassingen. Uitdagingen liggen verder, naast voldoende beschikbaarheid van groene waterstof, op leemtes in de wet- en regelgeving en de vraag hoe de schaa sprong is te realiseren die noodzakelijk is voor een significante kostenreductie.

Waterstof kan goed worden toegepast en is zeer kansrijk als zero-emissie alternatief. Daarbij ondervindt waterstof op dit moment concurrentie van de batterijtechnologie die ook reeds wordt toegepast in de transportsector en logistieke dienstverlening. Waterstof heeft echter unieke karakteristieken waar batterijtechnologie tekortschiet en omgekeerd. Met name voor zware en/of langdurige inzet kan waterstof aantrekkelijk zijn. Belangrijk voordeel van batterij-technologie is de veel hogere energie-efficiëntie. Daarom: gebruik batterijen waar dit kan en waterstof waar batterijen tekortschieten. Dit ondersteunt dat de implementatie van waterstof daarom het meest kansrijk is als het wordt geïntroduceerd in samenhang met alternatieve energiedragers als batterijen, afgestemd op de specifieke omstandigheden van de toepassing.

Gelijktijd moet een schaa sprong worden gerealiseerd. Deze schaa sprong zal niet voortkomen uit de bijdrage die de transportsector kan bewerkstelligen, maar door een samenwerking tussen sectoren kan

massa en synergie worden gecreëerd. Daarmee zal een noodzakelijke kostenreductie kunnen worden gerealiseerd die voordelig is voor de transportsector.

Er is dus sprake van hooggespannen verwachtingen van de rol van waterstof in de koolstofarme samenleving. Deze verwachtingen zijn nog wel met grote onzekerheden omgeven, zoals de hoge kosten, beschikbaarheid op lange termijn, leemtes in de wet- en regelgeving en antwoord op de vraag hoe de schaa sprong is te realiseren die noodzakelijk is voor een significante kostenreductie. Deze onzekerheid wordt ook gereflecteerd in de een groot aantal investeringsbeslissingen (go/no go) die zullen plaatsvinden in de periode 2023-2025. Dit geldt zowel voor stationaire toepassingen als voor investering in de aanschaf van waterstof aangedreven voertuigen.

Speciale aandacht verdient de positie van havens. De ligging aan zee creëert niet alleen een goede uitgangspunt voor de aanlanding van groene elektriciteit van de windmolenparken van zee, het biedt ook goede mogelijkheden zich verder te profileren als energy hub voor West-Europa. Met de aanleg van een waterstof backbone in het Rotterdamse havengebied voor multipurpose doeleinden, wordt het mogelijk bijv. terminal-equipment, vrachtwagens en binnenvaart en short-sea schepen te bevoorraden.

Logistiek perspectief

De logistieke sector speelt een volgende rol op afstand als het gaat om de ontwikkelingen rond waterstof. De R&D activiteiten zijn vrij versnipperd, zowel in typen van betrokken organisatie (van TNO en Marin tot hogescholen en universiteiten en een veelheid van TKI's), van startup tot multinational, als in betrokkenheid van regio's (van alle havens in Nederland tot Helmond als centrum van automotive activiteiten). Het centraal monitoren en bij elkaar brengen van activiteiten ontbreekt momenteel.

Voor de transportsector en gerelateerde logistieke functies zijn een aantal evidente voordelen te behalen met de grootschalige introductie van waterstof, zoals daar zijn:

- Zero-emissie activiteiten
- Grote actieradius/ lange bedrijfsduur
- Korte vultijd in vergelijking met batterijen
- Schaalbare vulinfrastructuur
- Complementariteit met batterijen

De nadelen zijn:

- Lagere energie-efficiëntie

- Hoge kosten: kapitaalkosten voor aanschaf, running costs en brandstofkosten

De prioriteiten waar de komende jaren aandacht aan moet worden besteed zijn niet zozeer technische vraagstukken, maar vraagstukken die raken aan de organisatie en economische haalbaarheid. Daarbij moet worden gedacht aan

- Synergie met andere sectoren
- Synergie tussen modaliteiten
- Beschikbaarheid van groene waterstof
- Leemten in wet- en regelgeving
- Ontwikkelen van standaarden.

Op dit moment is sprake van het voorbereiden van een groot aantal initiatieven gericht op het uitvoeren van pilots. De initiatieven die in voorbereiding zijn hebben vooral betekenis voor het goederenvervoer over de weg, de binnenvaart en in warehouses of op terminals. Het is van belang te zoeken naar hefboomen die de uitrol kunnen versnellen en verbreden naar andere sectoren. Nederland heeft daarvoor goede uitgangspunten te weten:

- Geografische ligging aan de Noordzee die zeer geschikt is voor het aanlanden van groene elektriciteit die vervolgens kan worden omgezet in waterstof. Dit bevestigt de positie van Rotterdam als energy hub en legitimeert de aanleg van een waterstof backbone.
- De Nederlandse aardgastraditie die tot uiting komt in een uitgebreid distributienetwerk, waardoor de acceptatie van waterstof eerder gerealiseerd zal worden.
- Nederland is de grootste binnenvaart natie met eigen maakindustrie (schaalkansen en de mogelijkheid standaarden te ontwikkelen die wereldwijd zullen worden gevoeld).
- Een goed ontwikkelde Kennisinstructuur en praktische ervaringen.
- Beleidsmatige erkenning dat we moeten vergroenen.

Het is van groot belang te wijzen op twee fundamentele risico's, die maken dat waterstof op voorhand niet de oplossing zal zijn voor het energie- en klimaatvraagstuk in de toekomst:

1. Zelfs met een Noordzee vol windmolens zal de opbrengst slechts in een deel van de vraag naar duurzaam opgewekte elektriciteit kunnen voorzien. Het tekort aan leveringscapaciteit zal in toenemende mate een beletsel vormen.

2. Vrijwel alle waterstof die nu wordt geproduceerd is grijze waterstof. De productie van groene waterstof vindt nog nauwelijks plaats op industriële schaal. Bovendien zullen alle nieuwe initiatieven moeten worden ondersteund met omvangrijke subsidies. Het verstrekken van deze subsidies staat ter discussie vanwege het negatieve effect op de CO₂-uitstoot door een tekort aan duurzaam opgewekte elektriciteit.

5.4 AANBEVELINGEN

Het gebruik van groene waterstof biedt goede kansen voor de transportsector en gerelateerde logistieke functies om te vergroenen. In de voorgaande paragraaf is ingegaan op de kansen en tekortkomingen, maar ook aan welke voorwaarden moet worden voldaan om deze verwachtingen te realiseren.

Het is duidelijk dat de grootschalige uitrol van waterstoftoepassingen in transport nog 15-20 jaar op zich zal laten wachten. Toch is er wel nu al een rol weggelegd voor de logistieke sector en de innovatie-partijen daarbinnen:

- **Actief monitoren van ontwikkelingen.** Aandacht moet daarbij uitgaan naar:
 - o Actief volgen van R&D activiteiten rond waterstof;
 - o Onderzoeken en elimineren van institutionele belemmeringen binnen de transportsector en gerelateerde logistieke functies.
- **Netwerkmakelaar en verbinder.** Aandacht moet daarbij uitgaan naar:
 - o Opzetten en onderhouden van contacten en samenwerking met andere topsectoren en key-stakeholders gericht op het ontwikkeling standaardisatie, geïnformeerd blijven over EU-netwerken en het bij elkaar brengen van gebruikers vanuit meerdere modaliteiten;
 - o Het representeren van de transportsector en gerelateerde logistieke functies in verschillende overlegstructuren.
- **Integrator.** Aandacht moet daarbij uitgaan naar:
 - o Borgen van modaliteit overstijgende samenwerking binnen de transportsector en gerelateerde logistieke functies;
 - o Representeren van de transportsector en gerelateerde logistieke functies in verschillende overlegstructuren gericht op sector-overstijgende onderzoeksinitiatieven.

GERAADPLEEGDE BRONNEN

- Abma, D., Atli-Veltin, B., Verbeek, R. P., & Groep, R. (2019). Feasibility study for a zero emission, hydrogen fuel cell powertrain for the Gouwenaar II (No. TNO 2019 R10453). TNO.
- Buccaneer Delft. (2019, 14 maart). Teamwork! - Terberg Benschop & zepp.solutions. <https://buccaneerdelft.com/teamwork-terberg-benschop-zepp-solutions/>
- CBS Statline. (2019, 25 oktober). opendata.cbs.nl. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/datas-et/71024ned/table>
- CMB nv. (z.d.). 5: Hoe transporteer je waterstof? | Hydroville. hydroville.be. Geraadpleegd 21 september 2020, van <http://www.hydroville.be/waterstof/hoe-transporteer-je-waterstof/>
- Colruyt Group. (2020, januari). Waterstof in de logistiek. <https://www.colruytgroup.com/wps/portal/cg/nl/home/verhalen/environment-hydrogen-logistics/milieu-waterstof-logistiek>
- Council, H. (2020). Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. Hydrogen Council: Brussels, Belgium.
- Delft, C. E. (2018). Waterstofroutes Nederland; Blauw, groen en import. Delft, June.
- Deloitte & Ballard. (2020). Fueling the future of mobility, hydrogen and fuel cell solutions for transportation. Deloitte China.
- Dinalog. (2017, 10 maart). Sustainable service logistics for offshore wind farms. <https://www.dinalog.nl/project/sustainable-service-logistics-for-offshore-wind-farms/>
- EICB. (2020, juni). Waterstof in Binnenvaart en Short Sea – een inventarisatie van innovatieprojecten. RVO.
- European Commission (2019) The European Green Deal. Brussels. COM(2019) 640 final
- European Commission. (2020a, juli). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe COM(2020) 301 final.
- European Commission. (2020b, juli). Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration COM(2020) 299 final.
- Gigler, J., Weeda, M., Hoogma, R., & de Boer, J. (2019). Waterstof voor de energietransitie - Een programmatische aanpak voor innovaties op het thema waterstof in Nederland voor de periode 2020-2030. Topsector Energie.
- Groen, M., Vos, G., Verweij, K., Otten, M., Tol, E., Wagter, H., ... & Balm, S. (2019). Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in stadslogistiek. Connekt.
- H2Ports. (2019, 25 juli). Pilots. <https://h2ports.eu/pilots/>
- H2-Share. (2020, 10 juli). VDL: 27 ton hydrogen truck. <https://fuelcelltrucks.eu/project/vdl-27-ton-hydrogen-truck/>
- Havenbedrijf Rotterdam. (2020a, mei). Haven van Rotterdam wordt internationale waterstofhub - Visie Havenbedrijf Rotterdam NV. Port of Rotterdam.
- Havenbedrijf Rotterdam. (2020b, juli 16). EU-subsidie voor waterstofproject binnenvaart [Persbericht]. <https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/eu-subsidie-voor-waterstofproject-binnenvaart>
- HYZON Motors Inc. (2020, 11 juli). US company HYZON Motors Inc. opens Europe's first dedicated Hydrogen Truck production facility in the Netherlands, begins immediate European roll-out [Persbericht]. <https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/HMPR004.Hyzon.Europe.Press.Release.v3.pdf>
- KEYOU GmbH. (2020). Keyou.de/technologie. keyou.de. <https://www.keyou.de/technologie/>
- RWTH Aachen University, Mariko GmbH, & FME. (2018, oktober). Perspectives for the Use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping - A Feasibility Study. MariGreen.
- McDonald, O. (2020, 16 september). Brussel blokkeert Nederlandse waterstofplannen. FD.nl. <https://fd.nl/economie-politiek/1357435/brussel-blokkeert-nederlandse-waterstofplannen>

- MotracLinde. (2019). Brandstofceltechnologie, de toekomst met waterstof | MotracLinde. MotracLinde.nl. <https://www.motraclinde.nl/advies-en-expertise/energy-solutions/brandstofceltechnologie>
- Natuur & Milieu. (2020, januari). De elektrische vrachtwagen in opkomst - uitdagingen en oplossingen voor laadinfrastructuur.
- North Sea Energy. (2020, juni). Unlocking potential of the North Sea - interim program findings June 2020.
- Planbureau voor de Leefomgeving PbL (2018). Nederland duurzaam vernieuwen-Balans van de Leefomgeving. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Port of Rotterdam. (2020, 7 juli). Air Liquide en Havenbedrijf: wegtransport op waterstof [Persbericht]. <https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/air-liquide-en-havenbedrijf-wegtransport-op-waterstof>
- Provincie Groningen. (2020, 29 september). Provincie gaat dieseltrein vervangen door waterstoftrein [Persbericht]. <https://www.provinciegroningen.nl/actueel/nieuwsartikel/provincie-gaat-dieseltrein-vervangen-door-waterstoftrein/>
- Ruf, Y., Zorn, T., De Neve, P. A., Andrea, P., Erofeeva, S., Garrison, F., & Schwilling, A. (2019). Study on the use of fuel cells and hydrogen in the railway environment. Roland Berger.
- Samadi, S., Schneider, C., & Lechtenböhmer, S. (2018). Deep decarbonisation pathways for the industrial cluster of the Port of Rotterdam. Wuppertal Institute
- Sampson, J. (2020, 6 juli). Hyundai ships first hydrogen trucks to Switzerland. Hydrogen View. <https://www.h2-view.com/story/hyundai-ships-first-hydrogen-trucks-to-switzerland/>
- Shell & Deloitte. (2020, september). Decarbonising shipping - all hands on deck. Shell.
- Transport & Environment. (2018, november). Roadmap to decarbonising European cars.
- Transport & Milieu. (2020, 21 april). Daimler en Volvo in waterstof joint-venture. <https://transportenmilieu.nl/nieuws/item/daimler-en-volvo-in-waterstof-joint-venture>
- TTM. (2020, 15 september). TTM.nl Talk 2 [Video]. TTM.nl. https://eisma-media-groep.webinargeek.com/ttm-nl-talk-2-ondemand/watch_ondemand/qzOX0MrOqjQ/
- Ulstein. (2020, 3 juni). Roadmap to a hydrogen future. Ulstein Group. <https://ulstein.com/blog/2020/roadmap-to-a-hydrogen-future>
- Van de Weijer, B. (2020, 10 september). Daf-directeur: 'Schrijf de verbrandingsmotor nog niet af'. de Volkskrant. <https://www.volkskrant.nl/es-b5249ba3>
- Van der Meer, J. P., Perotti, R., & de Jong, F. (2019). HyLaw national policy paper - Netherlands. HyLaw.
- Van den Noort, A. et al. (2017), Verkenning waterstofinfrastructuur, DNV GL, OGNL.151886
- Van Himbergen, A., & Altenburg, M. (2015, mei). CO₂-footprint 2013 van de Nederlandse spoorsector. Kennisplatform Duurzaam Spoor.
- Van Kranenburg-Bruinsma, K. J., van Delft, Y. C., Gavrilova, A., de Kler, R. F. C., Schipper-Rodenburg, C. A., Smokers, R. T. M., ... & Verbeek, R. P. (2020). E-fuels-Towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation. TNO VoltaChem Smartport.
- Van Wijngaarden, L., Hoen, A., Schroten, A., & Wielders, L. (2017, september). Energiebesparing op het spoor. CE Delft.
- Waterstofnet. (2010). Waterstoftabel. waterstofnet.eu. https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/Pdf-Ppt/waterstoftabel.pdf
- wetten.nl - Regeling - Klimaatwet - BWBR0042394. (2020, 1 januari). wetten.nl. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0042394/2020-01-01>

TKI DIALOG
Graaf Engelbertlaan 75
4837 DS Breda

info@dinalog.nl
www.dinalog.nl
+31 (0)76 531 53 00



TKI Dinalog is het Topconsortium
voor Kennis en Innovatie van de
Topsector Logistiek