WATERSTOF IN BINNENVAART EN SHORT SEA

EEN INVENTARISATIE VAN INNOVATIEPROJECTEN

Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart
EICB

INHOUDSOPGAVE

	pagina
Management summary	3
Inventarisatie van waterstofprojecten	4
Pijlers en problemen bij Waterstoftoepassing	4
Handelingsperspectieven om waterstoftoepassing verder te stimuleren	5
1. Inleiding	8
1.1. Aanleiding	8
1.2. Verantwoording	9
1.3. Het landschap	11
2. Waterstof in de maritieme waardeketens	13
2.1. Marktpartijen actief met waterstof als aandrijving	13
2.2. De positie van deze partijen in de waardeketen	15
2.3. Concrete pilots die op korte termijn starten	15
2.3.1. Voorbeeldproject: Future Proof Shipping MS Maas	18
2.3.2. Voorbeeldproject: Crew Transfer	18
2.3.3. Voorbeeldproject: H2 Ships, Directieschip PoA	19
2.3.4. Voorbeeldproject: Het Theo Pouw Initiatief	19
2.4. Tussenstand en Uitgesproken ambities; een tijdspad	20
3. Verschijningsvormen en dragers van waterstof	23
3.1. Waterstof in Gasvorm	23
3.2. Vloeibare Waterstof	24
3.3. Vloeibare waterstofdragers (o.a. LOHCs)	25
3.3.1. Uitgelicht: Mierenzuur	25
3.4. Waterstof in poedervorm	26
3.5. Vergelijking waterstofvormen en -dragers	26
4. Kansen en voorwaarden	29
4.1. Waterstof: het Nederlandse Doel	29
4.2. De vijf opgaven voor maritieme toepassing	30
4.2.1. Infrastructuur als basisbehoefte	32
4.2.2. Operationele kosten of de Business Case	34
4.2.3. Investeringskosten	36
4.2.4. Veiligheid en regelgeving	38
4.3. De rol van de stakeholders	40
4.3.1. De Corridorgerichte aanpak	41
4.3.2. De Focale Punten Aanpak	43
4.3.3. De Regiofocus Aanpak	44
4.3.4. RH2INE: een eerste stap naar de corridorgerichte aanpak	44
5. Handelingsperspectieven	47
5.1. Instrumenten	47
5.2. Aanvullende onderzoeken	49
Bijlage A	50
COLOFON	54

MANAGEMENT SUMMARY

De Nederlandse klimaatdoelen zijn nationaal vastgelegd in onder andere het Klimaatakkoord, het Schone Lucht Akkoord en – in Europees verband – de European Green Deal. Om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5 ºC zal de nationale CO2-uitstoot in 2030 met 49% moeten afnemen ten opzichte van 1990. Dat vergt een significante transitie van het energiesysteem. Het kabinet ziet waterstof als een cruciale Zero Emission energiedrager en zet bij de energietransitie in op een grootschalige uitrol van de productie en de toepassing van 'klimaatvriendelijke' waterstof (Kabinetsvisie Waterstof, maart 2020). Naast de sectoren 'Industrie' en 'Gebouwde omgeving' leent ook de sector 'Mobiliteit' zich voor toepassing van waterstof, met name in de logistieke sector (met zwaardere vermogens).

Het kabinet ziet waterstof als een cruciale Zero Emission energiedrager en zet bij de energietransitie in op een grootschalige uitrol van de productie en de toepassing van klimaatvriendelijke waterstof.

Waterstof kent nog grote uitdagingen die moeten worden geslecht voordat een brede toepassing in Nederland mogelijk is. Dat betreft zowel economische, infrastructurele als technische vraagstukken. Daarnaast is het essentieel om een goed veiligheidskader te ontwikkelen. Zonder een aanzienlijke opschaling aan de aanbodkant – en daarmee: een forse kostenreductie voor 'klimaatvriendelijke' waterstof – zal de afname van waterstof niet snel aantrekkelijk worden. Het creëren van een markt waarin op relatief korte termijn zowel de vraagkant als de aanbodkant tot ontwikkeling wordt gebracht, is voorwaarde voor brede toepassing van waterstof. De Nederlandse binnenvaart en short sea scheepvaart zijn in aanleg heel geschikte deelmarkten om deze markt te laten groeien. Deze sectoren hebben een grote energiebehoefte en de noodzakelijke infrastructuur (i.c. bunkerlocaties) om deze sectoren te bedienen is relatief beperkt.

De scheepvaart heeft ook haar eigen verduurzamingsdoelen; vastgelegd in de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens. In deze Green Deal zijn de doelstellingen ten aanzien van de binnenvaart uit het Klimaatakkoord nogmaals bevestigd: een reductie van 40%-50% CO2 in 2030, met daarbij een taakstelling van het realiseren van (tenminste) 150 Zero Emission schepen (op een totale vloot van circa 5.500 schepen). In internationaal verband zijn afspraken vastgelegd via de Verklaring van Mannheim, waarin de Europese landen zich hebben vastgelegd op een C02 reductie in de binnenvaart van 35% in 2035. Naast een bredere toepassing van biobrandstoffen is de innovatie richting Zero Emission scheepvaart (via batterij-elektrische en waterstof-elektrische aandrijving) hierbij een onmisbare schakel.

Inzicht in de innovatiecurve ten aanzien van het thema "Waterstof in binnenvaart en short sea" start met het in beeld krijgen van al lopende projecten en initiatieven. In opdracht van de Ministeries van EZK en IenW heeft EICB daarom een inventarisatie uitgevoerd van lopende waterstofinitiatieven in de genoemde sectoren, aangevuld met het formuleren van handelingsperspectieven om de waterstoftransitie in binnenvaart en short sea te versnellen. Hiervoor is gebruik gemaakt van desk research en interviews met experts.

Inventarisatie van waterstofprojecten

Er zijn 72 projecten geïdentificeerd die zich in Noordwest Europa bezighouden met waterstofaandrijving van schepen waaronder 63 concrete uitvoeringsprojecten. Nederland doet met 25 uitvoeringsprojecten door Nederlandse partijen niet onder voor haar buurlanden. Alleen in Noorwegen is een vergelijkbare innovatiedynamiek. Naast de geïnventariseerde projecten is er in Nederland waarschijnlijk nog een grote verzameling van stilzwijgende initiatieven van scheepseigenaren die de potentie van waterstof zien, maar de stap nog niet durven te nemen. Met deze informatie is een globale inschatting gemaakt van het aantal schepen dat in de nabije toekomst met waterstof als energiedrager zal worden aangedreven. In 2020/2021 staan er zes schepen op de planning om daadwerkelijk in de vaart te worden genomen. Het betreft dan vooral kleinschalige toepassingen. In 2022 zal dit aantal waarschijnlijk zijn opgelopen naar 11 en is een opschaling in scheepsomvang zichtbaar. In de jaren 2023 – 2025 zal dit aantal oplopen naar minstens 16 tot maximaal circa 65. **Hieruit kan worden geconcludeerd dat de sector al verrassend veel initiatief toont.** Als referentie: de sector legt zich in haar Green Deal vast op het realiseren van 150 zero-emissie schepen in 2030. In ogenschouw nemend dat er ook andere zero-emissie oplossingen zijn (batterij-elektrische initiatieven) lijkt de sector al goed op weg om deze doelstelling al eerder te realiseren, mits belangrijke belemmeringen in de verdere ontwikkeling worden weggenomen.

Er zijn 72 projecten geïdentificeerd die zich in Noordwest Europa bezighouden met waterstofaandrijving van schepen waaronder 63 concrete uitvoeringsprojecten.

Pijlers en problemen bij Waterstoftoepassing

Een versnelde toename van het aantal schepen op waterstof kan alleen slagen als er via succesvolle demonstratieprojecten meer ervaring wordt opgedaan en daarmee ook meer vertrouwen bij ondernemers in de binnenvaart ontstaat om de switch naar de waterstof-elektrische aandrijving te maken. Daarbij is het ook belangrijk dat er in de markt een "preferentie energiedrager" ontstaat. Op dit moment is de variatie aan waterstof-energiedragers nog groot (gasvormig, vloeibaar, of gebonden in vloeibare of poedervormige waterstofdragers).

Om te kunnen adviseren over handelingsperspectieven zijn vijf pijlers van succesvolle waterstoftoepassing op een schip onderzocht: de interne pijler (veilige technische toepassing aan boord: ontwerp, ombouw etc.), de infrastructuur (netwerk van bunkerlocaties), operationele kosten (voornamelijk brandstofprijs), investeringskosten (aanschaf van brandstofcellen etc.), het juridische- en veiligheidskader (toestemming voor varen op waterstof). Dit onderzoek maakt duidelijk dat scheepseigenaren en hun directe partners (lokale scheepswerven en leveranciers) alleen goed zijn toegerust om de interne

pijler te realiseren. Voor de andere pijlers is expertise nodig die zij niet hebben, of financiële participaties waar zij zelf niet kapitaalkrachtig genoeg voor zijn. Ook ontstaat het beeld dat bij de nu concreet lopende waterstofprojecten de betrokken scheepseigenaren bij elk van de laatste vier pijlers steeds weer het wiel vrijwel opnieuw moeten uitvinden. Dit belemmert de sector bij het breed uitrollen van waterstoftoepassingen.

Om de problemen bij de laatste vier pijlers op te lossen is er behoefte aan;

- expertise (doorlopen procedures in het veiligheidskader);
- grote investeringen (aanleg infrastructuur en aanschaf waterstofaandrijflijn per schip);
- het mitigeren van extra operationele kosten, in het bijzonder de energiekosten (bijvoorbeeld via een langjarig contract met een verlader, met een compensatie voor de meerkosten van waterstof).

Deze opgave ligt niet primair bij scheepseigenaren, maar bij producenten en distributeurs van waterstof (aanleg infrastructuur), verladers (afdekken operationele kosten met langjarig contract), overheid (expertise ten aanzien van veiligheid en regelgeving, investeringen aan boord stimuleren via innovatiebeleid en fiscale instrumenten) en het bankwezen (financieringsvormen voor waterstofinvesteringen faciliteren).

Een mogelijke oplossing voor het complexe innovatie-dilemma is de corridorgerichte aanpak. Hier creëren overheden, verladers, brandstofleveranciers, ondersteund door het bankwezen, samen **proeftuinen op corridorschaal**. Gezamenlijk bieden zij in die corridor oplossingen op gebied van infrastructuur, juridische expertise, vervoerscontracten die de kosten voor waterstof afdekken en lange tijd zekerheid bieden en financiering van de investeringskosten aan boord. Scheepseigenaren die willen meedoen, worden in het bovenstaande gefaciliteerd en hoeven zich alleen op hun eigen specialiteit te richten: de ombouw van hun eigen schip met behulp van de eigen werf. Deze aanpak neemt veel belemmeringen voor de sector weg.

Een mogelijke oplossing voor het complexe innovatie-dilemma is de corridorgerichte aanpak. Hier creëren overheden, verladers, brandstofleveranciers, ondersteund door het bankwezen, samen proeftuinen op corridorschaal.

Handelingsperspectieven om waterstoftoepassing verder te stimuleren

Als inderdaad wordt gekozen om waterstoftoepassing in binnenvaart en short sea verder te stimuleren, kunnen er door middel van de volgende handelingsperspectieven stappen worden gezet naar een verdere uitrol van waterstof in de sector. Belangrijk om te beseffen is dat de overheid in deze ontwikkelopgave voornamelijk een coördinerende en faciliterende rol heeft en niet succesvol kan zijn zonder medewerking van verladers, brandstofleveranciers en het bankwezen. Daarnaast spelen regionale overheden en havenbedrijven een vitale ondersteunende rol.

De volgende handelingsperspectieven zijn geïdentificeerd:

1. **Faciliteren van basisinfrastructuur.**
   Opbouw van een basale infrastructuur van bunkerlocaties waar schepen waterstof aan boord kunnen nemen. Belangrijkste partij hierin zijn de brandstofleveranciers, maar ook overheden, havenbedrijven en bankwezen spelen hierbij een duidelijke en significante rol.

2. **Financieel stimuleren.**
   Het bundelen van stimuleringskracht om scheepseigenaren te compenseren voor de hoge investeringskosten en de permanent hoge operationele kosten van waterstofaandrijving. Verladers hebben een grote rol bij het compenseren voor gestegen operationele kosten. Ondersteuning bij het dragen van investeringskosten ligt bij overheden (via innovatiebeleid), bankwezen en in mindere mate verladers.

3. **Normeren.**
   Het versnellen en toegankelijk maken van het juridische proces om toestemming te krijgen voor varen op waterstof. Waarschijnlijk is ook het aanpassen van regelgeving noodzakelijk, uiteraard onder de stringente voorwaarden die vanuit het veiligheidskader worden gesteld. Daarnaast kan standaardisering het makkelijker maken voor leveranciers van technische oplossingen voor waterstofaandrijving om schaalvergroting te bereiken. Hier ligt een rol voor overheden, klasse bureaus en havenbedrijven.

4. **Gecoördineerde aanpak.**
   Het combineren van bovenstaande acties onder één gecoördineerde aanpak, gericht op het met waterstof verduurzamen van een bepaalde corridor of regio. Dit resulteert in een proeftuin waar de belemmeringen bij externe pijlers van tevoren worden opgelost. Scheepseigenaren richten zich alleen nog op de directe toepassing van waterstof aan boord. Het inrichten van zo'n gecoördineerde aanpak kan onder impuls van de overheid, maar ook andere sterke partners (zoals: grote verladers of energieleveranciers) kunnen hierin het voortouw nemen.

5. **Community building.**
   Als ondersteuning bij bovenstaande punten is een overlegstructuur tussen de sector, verladers, het bankwezen, de waterstofindustrie, havenbedrijven en overheden een waardevolle fundering. Dit biedt partijen een gestructureerde omgeving om informatie uit te wisselen en te bouwen aan een gezamenlijke aanpak.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

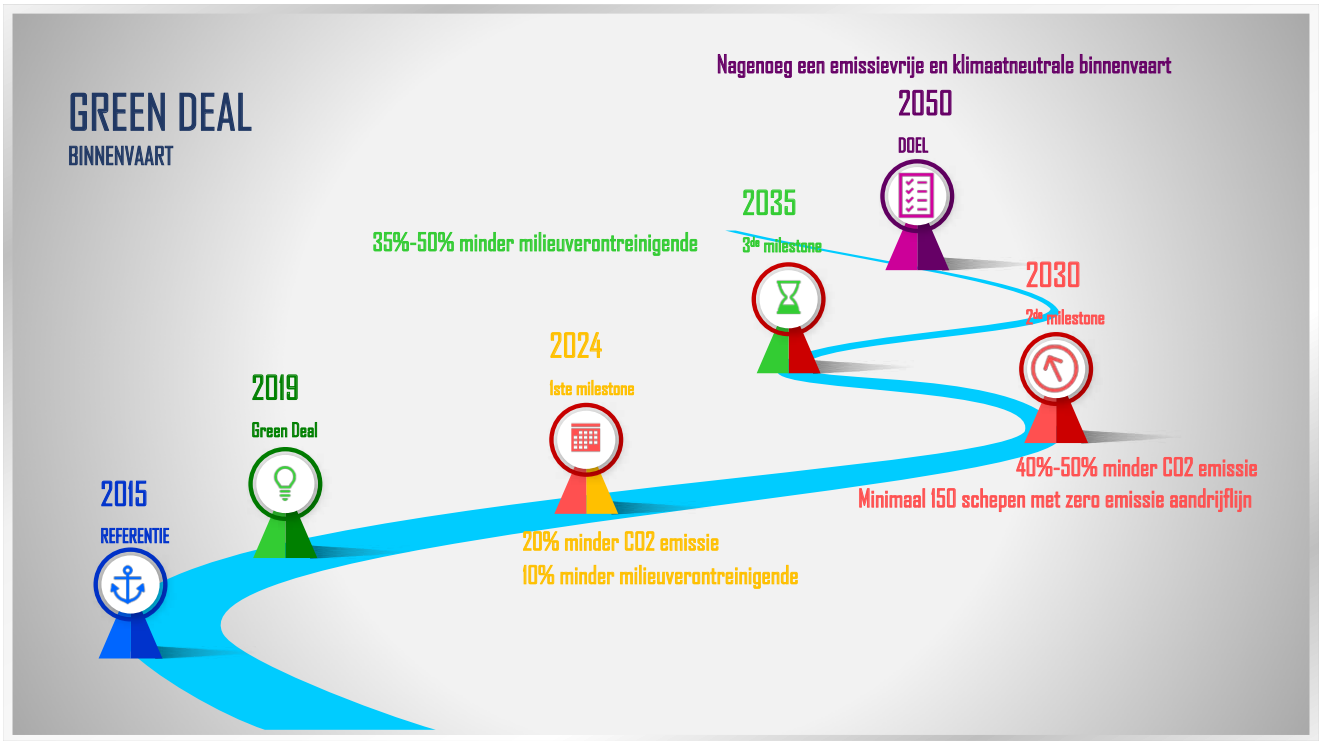
Nederland heeft zich toegelegd op het halen van een aantal belangrijke doelstelling met betrekking tot klimaat en luchtkwaliteit. Deze doelen zijn nationaal vastgelegd in het Klimaatakkoord, vele Green Deals en het Schone Lucht Akkoord en in Europees verband in de European Green Deal, de verklaring van Mannheim en de resolutie van de Europese Parlement. Om de opwarming van de aarde niet verder te laten oplopen dan 1,5 °C zal de totale CO2-uitstoot in Nederland in 2030 met 49% moeten verminderen vergeleken met 1990. Voor de binnenvaart is een reductie van 35% in 2035 overeengekomen van zowel broeikasgassen als milieuverontreinigende stoffen ten opzichte van 2015[1].

Deze doelen zijn uiteindelijk slechts punten op een transitie pad naar (nagenoeg) emissie loos vervoer in 2050.

Op 30 maart 2020 gaf het kabinet in een kamerbrief aan waterstof als noodzakelijke energiedrager voor het behalen van deze doelen te zien[2]. Mits groen opgewekt is waterstof namelijk een emissievrije bron van energie. Juist in Nederland biedt dat een wenkend perspectief, want wij zitten al in de voorhoede op gebied van waterstofinnovaties. In het zware segment van mobiliteit, waar binnenvaart en shortsea onder vallen, zijn grote kansen voor toepassing van waterstofinnovaties. Er is immers slechts een beperkte infrastructuur nodig om een grote dekking te verzorgen voor deze mobiliteitsvormen. Daarbij brengen deze mobiliteitsvormen een relatief hoge vraag naar voortstuwingsenergie met zich mee. Binnenvaart en short sea zouden een springplank kunnen vormen voor andere toepassingen van waterstof en een rol van formaat kunnen vervullen in het bewerkstelligen van schaalvoordelen in de nationale waterstofindustrie.

Minister Wiebes schrijft: "Realisatie van de kansen die waterstof biedt, vergt inspanningen op

Figuur 1: Green Deal Binnenvaart, eigen afbeelding EICB



meerdere terreinen. In de afspraken over waterstof in het Klimaatakkoord zijn deze al voor een deel geadresseerd met als kernwoorden opschaling, kostenreductie en innovatie. De overheid moet de noodzakelijke randvoorwaarden vervullen, bedrijven en kennisinstellingen gaan investeren in schaalbare toepassingen en innovatie". De opdracht die het kabinet zichzelf hiermee stelt, vraagt om inzicht en overzicht.

Al vele rapporten hebben de afgelopen jaren het daglicht te zien gekregen die de potentie van waterstof in de industrie c.q. economie beschreven. Hierin kregen met name productie, de import en distributie en de algemene toepasbaarheid in verschillende segmenten (gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit) de aandacht. Dit rapport belicht de actuele stand van zaken op het gebied van waterstoftoepassingen in de maritieme sectoren binnenvaart en short sea. De meest prominente spelers worden geïdentificeerd, alsmede hun plek in de waardeketen. Een overzicht van de projecten die ontwikkeld zijn geeft inzicht in de verschillende wijzen waarop marktpartijen denken over de toepassing van verschillende technieken in de betreffende maritieme deelsegmenten.

Als afsluiting van de verkenningen wordt er, op basis van de belangrijkste dimensies in de implementatie van waterstof, een aantal strategische handelingsalternatieven voor de opschaling van deze toepassingen beschreven.

Dit rapport belicht de actuele stand van zaken op het gebied van waterstoftoepassingen in de maritieme sectoren binnenvaart en short sea.

1.2. Verantwoording

De inzet op waterstof is in de eerste plaats ingegeven door klimaatdoelen en de daarvoor vereiste emissiereductie die waterstof in algemene zin kan bieden. Dit raakt zowel de productie als de toepassing van waterstof. Dit rapport beperkt zich hoofdzakelijk tot de toepassing van waterstof(dragers) in binnenvaart en short sea, inclusief de (nationale) distributie en het aan boord krijgen van de brandstof. De identificatie en specificatie van de verschillende relevante dimensies in maritieme toepassingen zijn gebaseerd op inzichten van experts uit verschillende posities in de waardeketen, aangevuld met deskresearch.

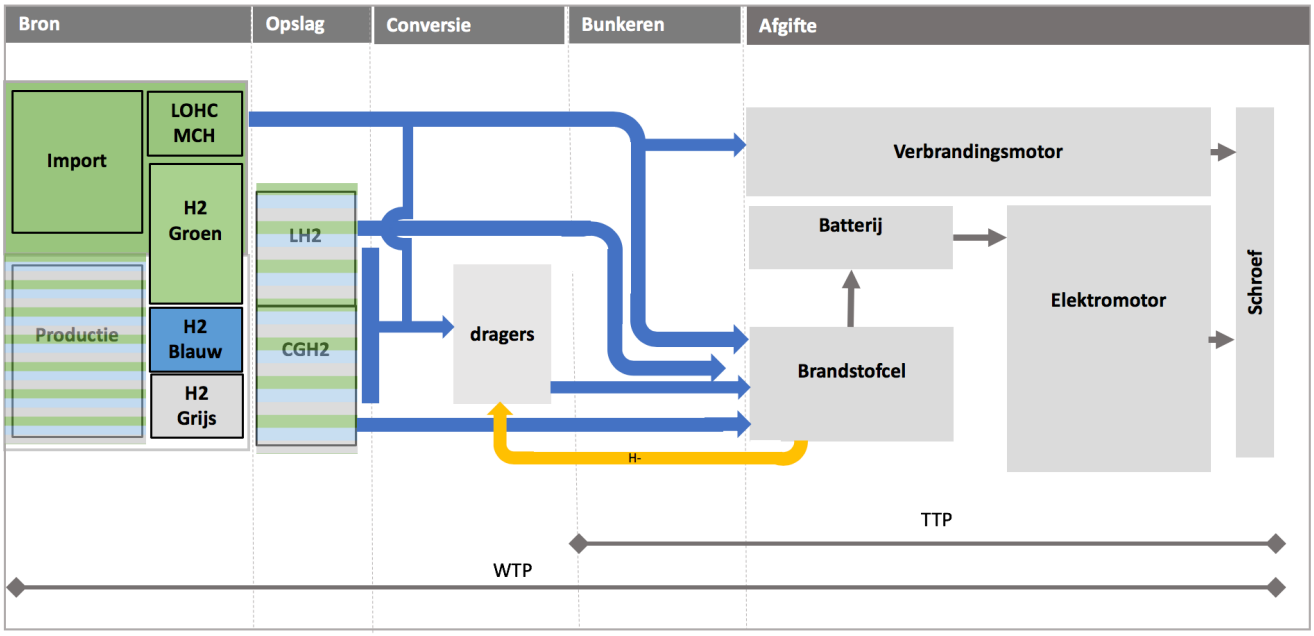
Aanbod van waterstof, en de verschijningsvorm waarin dit wordt aangeboden is onderdeel van de bespiegeling omdat de vraag naar waterstof door zwaar transport schaaleffecten kan bevorderen aan de aanbodkant, en omdat import van waterstof de prijsverhoudingen tussen de verschillende verschijningsvormen kan veranderen, en daarmee een factor kan worden in de keuze voor een specifieke verschijningsvorm[3]. Omdat nog niet zeker is wélke vorm(en) van waterstof uiteindelijk grootschalig ter beschikking van de Nederlandse scheepvaart zal komen is dit gedeelte van de business case kwalitatief van karakter.

1 Akte van Mannheim 2019

2 Kamerbrief over Kabinetsvisie waterstof dd. 30-3-2020

3 Met name intercontinentaal transport van waterstofdragers dwingt tot keuzes ten aanzien van de verschijningsvorm. Er zal een afweging gemaakt worden tussen import van gasvormige waterstof (door aangepaste gasleidingen-infrastructuur), vloeibare waterstof en waterstof gebonden aan een drager (ammoniak, methylcyclohexaan, mierenzuur, methanol, LOHC, poedervormig). De mix van het aanbod zal voor een prijsdifferentiatie zorgen die mede bepalend is voor business cases voor toepassing in binnenvaart en short sea.

Figuur 2: Schets van het waterstoflandschap



Hiernaast kent dit rapport nog drie begrenzingen. Ten eerste is er een begrenzing die te maken heeft met het domein waarbinnen waterstof wordt toegepast. Deze is beperkt tot de toepassing in de aandrijving binnen binnenvaart en short sea. Deze selectie hangt samen met de overeenkomsten tussen vaarprofielen en de daarbij behorende infrastructuur voor de brandstof. De beperkte afstand tussen bunkerlocaties verbindt binnenvaart en short sea. Wat de binnenhavens zijn voor de binnenvaart zijn de zeehavens rond de Noordzee voor short sea (en binnenvaart). Binnenvaart wordt hier gedefinieerd als alle beroepsvaart op de binnenwateren.

De beperkte afstand tussen bunkerlocaties verbindt binnenvaart en short sea. Wat de binnenhavens zijn voor de binnenvaart zijn de zeehavens rond de Noordzee voor short sea (en binnenvaart).

Pleziervaartuigen worden dus uitgesloten, maar rondvaartboten, waterbussen en watertaxi's zijn wel relevant. Short sea beperkt zich niet tot de kustvaart, maar bevat ook schepen die over zee van Nederland naar bijvoorbeeld Engeland of Scandinavië varen. Sleepboten, werkschepen en (service)schepen voor de offshore vallen ook binnen de scope van dit onderzoek.

Ten tweede is er de geografische begrenzing. Dit onderzoek richt zich op Nederland en haar buurlanden. De noemer 'buurlanden' wordt in haar breedste zin opgevat. Ontwikkelingen in Scandinavië zijn dermate vernieuwend en relevant dat ze niet buiten beschouwing mogen worden gelaten.

Tot slot: de beschreven technieken behelzen vooral toepassingen van waterstof in brandstofcellen. Er wordt een summier aantal projecten beschreven waar waterstof wordt ingezet als brandstof voor interne verbrandingsmotoren. Enkele innovatieve technieken blijven buiten beschouwing omdat ofwel het TRL te laag is, of omdat de toepassing niet of te weinig bijdraagt aan de duurzaamheidsdoelstelling die ten grondslag ligt aan de keuze voor waterstof(dragers).

1.3. Het landschap

Binnen de scope van dit rapport kan in waterstof gevatte energie verschillende routes afleggen. De meeste aandacht gaat uit naar de aanwending van waterstof (vloeibaar of gasvormig) via een brandstofcel naar een elektromotor. Ook waterstofdragers, die in een industrieel conversieproces verbonden worden met waterstof, kunnen als voeding dienen voor brandstofcellen. De ratio hierachter zal verder in dit document worden uiteengezet.

Brandstofcellen hebben grote voordelen wat betreft emissies, maar zijn beperkt in de mate waarin de energieafgifte kan variëren.

In de inventarisatie in Hoofdstuk 2 wordt ook het gebruik van waterstof in interne verbrandingsmotoren genoemd. Een dergelijke toepassing heeft als voordeel dat het beschikbare vermogen vergelijkbaar is met toepassingen van conventionele brandstoffen in verbrandingsmotoren. Bij verbranding van waterstof in verbrandingsmotoren gaat (deels) het voordeel van het uitblijven van de vorming van NOx verloren.

Brandstofcellen hebben grote voordelen wat betreft emissies, maar zijn beperkt in de mate waarin de energieafgifte kan variëren. Varen, en met name manoeuvreren, vraagt vaak om een variabel vermogen dat niet direct geleverd kan worden door brandstofcellen. Deze beperking kan worden bemiddeld door de combinatie met batterijen. Batterijen hebben een zeer flexibele afgiftecapaciteit. Wanneer de afgifte van de brandstofcel lager is dan het gemiddeld gevraagd vermogen van de motor, dan functioneert de brandstofcel als 'range extender'.

Figuur 3: Redenatie Brandstofcellen,
Bron: Nedstack

Waarom brandstofcellen?

Waterstof + PEM brandstofcel			
HFO + ICE		Batterij	
Nadelen	**Voordelen**	**Voordelen**	**Nadelen**
• Impact klimaat • Impact luchtkwaliteit • Afhankelijk van import	• Lange afstand • Snelle bunkering • Weinig afhankelijk van weer	• Zero emissie • Efficiënt • Stil • Lokale bron • Directe koppel	• Beperkte afstand • Lange laadtijd • Laag vermogen • Afhankelijk van weer

2. WATERSTOF IN DE MARITIEME WAARDEKETENS

Als basis voor dit onderzoek is een inventarisatie uitgevoerd aan de hand van vier kernvragen:

1. Welke marktpartijen zijn actief bezig met aandrijving gebaseerd op waterstof(dragende) brandstof?
2. Wat is de positie van de gevonden marktpartijen in de waardeketen?
3. Welke trends in vorm van waterstof-energiedragers zijn op dit moment in Nederland en omringende landen waarneembaar en om welke reden?
4. Welke concrete eerste pilots zijn er reeds gestart of starten er op korte termijn? Van welke ondersteunende Nederlandse en Europese beleidsinstrumenten (i.c. subsidies) maken zij gebruik of beogen zij gebruik te maken?

Er zijn 72 initiatieven met een zekere mate van concreetheid in beeld gebracht, zoals weergegeven in Bijlage A. De lijst die daar wordt gepresenteerd is tot stand gekomen na vergelijking van resultaten uit de eigen inventarisatie en inventarisaties van ENVIU, de RVO en de CCNR. Een eerste blik op de lijst levert interessante informatie op: zo zijn Nederland en Noorwegen de landen met de meeste projecten, gevolgd door Duitsland, Frankrijk en België, en zijn 63 van de 72 projecten feitelijk gericht op aandrijving. Van 38 projecten kon de funding met zekerheid worden vastgesteld (veel EU funding) en is er een divers beeld wat betreft de waterstofvorm of -drager die gebruikt wordt.

In de volgende paragrafen worden deze onderwerpen meer in detail behandeld, waarbij telkens wordt teruggegrepen op de lijst in Bijlage A. De derde vraag over trends wat betreft waterstofdragers komt aan de orde in hoofdstuk 3.

2.1. Marktpartijen actief met waterstof als aandrijving

Van de 72 gevonden projecten zijn er 63 concreet gericht op aandrijving. Zoals te zien in Tabel 1 lopen Nederland en Noorwegen voor op de andere landen in de regio Noordwest Europa. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat dit onderzoek, ondanks de getrooste inspanningen, een zekere oververtegenwoordiging van projecten uit Nederland zal bevatten. Het algemene beeld in de sector is dat Noorwegen een voorsprong heeft op Nederland. De opsomming van Noorse projecten is naar alle waarschijnlijkheid niet uitputtend. Dat geldt ook voor de inventarisatie in andere buurlanden. Naar projecten in de overige buurlanden (Schotland, Zweden en Finland) is geen gerichte inventarisatie gedaan. Toch kan voorzichtig worden geconcludeerd dat Nederland tot de koplopers wat betreft toepassing van waterstof mag worden gerekend.

Waterstofprojecten gericht op aandrijving			Totaal 63		
Nederland	Noorwegen	Duitsland	Frankrijk	België	Overige buurlanden
25	18	6	5	4	5

Tabel 1: Waterstof projecten gericht op aandrijving verdeeld per land

In Tabel 2 is te zien dat er 38 partijen in Nederland direct betrokken zijn bij projecten gericht waterstofaandrijving in binnenvaart of short sea. Bedrijven die zich richten op techniek zoals aandrijvingstechniek, scheepsbouw, om- of inbouw en overige installaties zijn het grootst in aantal. Zij ondersteunen een klein aantal scheepseigenaren bij hun zoektocht naar verduurzaming door waterstof.

Tabel 2: Nederlandse partijen in projecten gericht op aandrijving van schepen met waterstof

Nr	Speler	Haven	Educatie/ onderzoek	Aandrijvings-techniek	Scheepsbouw	Techniek ondersteunend	Scheepseige-naar	Verlader	Transporteur overig	Overig
1	Havenbedrijf Amsterdam	x								
2	Zilvermeeuw BV						x			
3	Yrseke Engine Services			x						
4	Zepp Solutions			x						
5	Koedood			x						
6	De Ruyter Dieseltechniek					x				
7	Nedstack			x						
8	Da Vinci College		x							
9	TU Delft		x							
10	Nouryon							x		
11	NPRC						x			
12	Lenten Scheepvaart						x			
13	PTC						x			
14	TATA Steel							x		
15	Theo Pouw						x	x		
16	Stork					x				
17	Scheepswerf Poppen Zwartsluis				x	x				
18	ENVIU BV									x
19	Damen				x					
20	PitPoint									
21	Havenbedrijf Den Helder	x								
22	Havenbedrijf Rotterdam	x								
23	ENGIE									x
24	Bureau Veritas									x
25	ZOEV city BV								x	
26	Mokum Mariteam						x			
27	TNO		x							
28	Bouwaanvoerder BV							x		
29	Colibri BV					x				
30	Alewijnse					x				
31	Linde Gas					x				
32	Marine Service Noord			x		x				
33	Lovers Rondvaarten						x			
34	NG Shipyards				x					
35	Habbeké Shipyard				x	x				
36	Sailing Innovation Centre		x							
37	Maritieme Academie Harlingen		x				x			
38	Waterstportverbond									x

2.2. De positie van deze partijen in de waardeketen

Figuur 4: Waardeketen waterstof in binnenvaart en Short Sea

De gevonden partijen die actief zijn met toepassing van waterstof in binnenvaart en short sea, zoals weergegeven in Tabel 2, hebben ieder hun plaats in de overkoepelende waardeketen van waterstof. In Figuur 4 is deze waardeketen uiteengezet, vanuit de invalshoek van een maritiem project, waarbij alle facetten van het productieproces van waterstof zijn weggelaten om een focus te kunnen bieden op aspecten die relevant zijn voor toepassing in de scheepvaart. Dit begint bij de distributie. Daarbij is het vooral van belang wie de toeleverancier is, waar deze bunkerlocaties heeft en in welke vorm waterstof wordt aangeboden. Opslag richt zich op het bewaren van waterstof, aan boord of op een bunkerpunt. De ontwikkelaars van aandrijvingstechniek werken aan voortstuwingsoplossingen zoals een brandstofcel (in combinatie met een elektromotor) of een verbrandingsmotor geschikt voor (vloeibare) waterstof. Dit alles stelt de partijen bij toepassing (i.c.m. scheepseigenaren) technisch in staat om waterstof als aandrijvingsbrandstof te gebruiken. Hierbij is tevens relevant dat het deze partijen ook economisch mogelijk wordt gemaakt. Hiervoor zorgen de Incentive Providers, bijvoorbeeld met subsidie (overheden), regelgeving (overheden, havens) en langjarige contracten die duurzaamheid belonen (verladers).

Er is ook een tweedeling aangebracht tussen enerzijds pure waterstof en anderzijds waterstofdragers, waarbij duidelijk wordt dat de keten voor een aantal dragers nog in de kinderschoenen staat. De meeste gevonden partijen zijn actief met pure waterstof en minder op het gebied van waterstofdragers. Dit geldt niet voor ammoniak en methanol, die hun eigen toeleveringsketen hebben, maar omdat die niet gericht is op het opwekken van energie via waterstof worden zij niet verder in beschouwing genomen.

2.3. Concrete pilots die op korte termijn starten

Zoals hierboven al vermeld zijn er 63 projecten geïdentificeerd, die werken aan concrete pilots of dit al hebben gedaan (zie Tabel 1). De meeste projecten worden gefinancierd door regelingen van nationale overheden. In Nederland zijn dat onder andere de DKTI, de Innovatieregeling Duurzame Binnenvaart en de Stimuleringsregeling Schone Binnenvaart en Duurzame Logistiek in Rotterdam en het Waddenfonds. Europese subsidies worden ook gevonden: de Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, via het Horizon 2020 programma, maar vooral de verschillende regionale Interreg

programma's financieren een aantal grensoverschrijdende projecten. In de buurlanden weet men ook de weg naar de Europese programma's te vinden; projecten gebruiken daarnaast subsidies van nationale en lokale overheden. Dit beeld wijkt niet veel af van Nederland.

Tabel 3: Subsidieregelingen gebruikt door pilotprojecten. Sommige projecten gebruiken meerdere subsidies. Landen met een minimaal aantal projecten zijn niet meegenomen.

Bron subsidieregeling	Nederland	Noorwegen	Duitsland	Frankrijk	België
EU	6	3	2	1	2
Nationaal	8	4	3	-	-
Lokaal	5	-	-	1	1
Onbekend	5	11	1	3	1
Totaal	25	18	6	5	4

In Tabel 3 komt al naar voren dat er 25 Nederlandse projecten zijn die zich richten op concrete toepassing. Een verdere uiteenzetting hiervan is te vinden in Figuur 5, een sectie van de eerder gepresenteerde lijst gericht op Nederland en concrete projecten. Wat betreft de buurlanden geeft Tabel 3 alleen de gevonden projecten weer. Het zou wat te kort door de bocht zijn om al te harde conclusies uit deze cijfers te trekken: ten eerste omdat verwacht mag worden dat er projecten in de buurlanden zijn die niet zijn gevonden, ten tweede omdat er van de gevonden projecten een significant deel een onbekende bron van financiële steun heeft en ten derde omdat hier geen informatie wordt gegeven over de hoeveelheid geld die beschikbaar wordt gesteld.

Toch is Noorwegen een opvallend land waar veel concrete projecten uit voortkomen. Hoewel het uit Tabel 3 niet direct blijkt – van veel Noorse projecten kon immers geen duidelijke subsidieverstrekker worden geïdentificeerd – uit de interviews kwam een duidelijk beeld naar voren. Noorwegen, dat geen lid van de EU is, lijkt meer vrijheid te hebben op het gebied van staatssteun. Noorwegen hoeft zich namelijk niet te houden aan de AGVV (Algemene Groepsvrijstellingsverordening) en hoeft ook geen regelingen aan te melden bij de Europese Commissie[4]. Dit stelt de Noorse overheid in staat meer en makkelijker subsidie te verlenen dan overheden binnen de EU. De voorsprong van Noorse partijen op het gebied van short sea projecten, waar Noorwegen duidelijk de Europese koploper is, zou deels hierdoor zijn te verklaren. Daarnaast zijn er in Noorwegen veel zeeroutes die relatief kort zijn, bijvoorbeeld het overbruggen van een fjord. Dit maakt toepassingen met kleine vermogens mogelijk en maakt Noorwegen een ideale proeftuin voor duurzame short sea oplossingen. In het geschetste beeld valt duidelijk de ontwikkelingsstrategie van Noorwegen op het thema "Maritiem & H2" waar te nemen.

De meeste projecten worden gefinancierd door regelingen van nationale overheden. In Nederland zijn dat onder andere de DKTI, de Innovatieregeling Duurzame Binnenvaart en de Stimuleringsregeling Schone Binnenvaart en Duurzame Logistiek in Rotterdam.

4 Lidstaten van de EU hebben twee mogelijkheden voor het geven van staatssteun (o.a. "subsidie"), de betreffende regeling aanmelden bij de Europese Commissie met alle voorwaarden en procedures van dien of voldoen aan de voorwaarden in de Algemene Groepsvrijstellingsverordening. Zie: https://europadecentraal.nl/onderwerp/staatssteun/vrijstellingen/algemene-groepsvrijstellingsverordening/

Figuur 5: Concrete Nederlandse Projecten

Lijst samengesteld d.m.v. desk research EICB en vergelijkbare lijsten van de RVO, ENVIU en de CCNR.

Projectnaam	Consortium	Schip	Locatie	Tijdlijn	Brandstof	Soort (aandrijving/ productie/infra)	IWT/SS	Vermogen	Verschijnings-vorm	Subsidie
Crew Transfer	CMB (BE) / Vattenfall // windcat workboats	Hydrocat	NL-IJmuiden	eind 2020	Waterstof	aandrijving	Offshore	-	-	-
FELMAR 'Marinisering' en integratie van waterstoftechniek voor binnenvaart en short-sea toepassingen	Nedstack, Damen, FPS, Marin, MSN, holland ship electric	-	NL	eind 2019	Waterstof	aandrijving	beiden	40KW	-	DKTI/TSE
Future Proof Shipping	Future Proof Shipping, Holland Shipyards Group	MS Maas	NL	2020-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	635KW	Gas/Vloeibaar	SSBDLiR
Groen Varen	E-Naval BV	-	NL	-	-	aandrijving	Jachtbouw	-	-	-
H Energy Island	PoR / TuD	Geen	NL-Rotterdam	-	Waterstof	TuD - developement / PoR- Distributie	Bunkeren	-	-	-
H2ermes	PoAmsterdam, TATA, NOURYON	Geen	NL-Amsterdam	-	Waterstof	productie, regionale verduurzaming	Geen	-	-	-
H2Ships	ElfER (DE), PoA	Directieschip PoA	NL-Amsterdam	2019-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	-	Poedervormig	Interreg
H2Watt	ABH Engineering, Mariko, FME, Hochschule Emden Leer, rederij Norden Frisia	Watertaxi	Waddenzee NL/DE	2019-2021	Waterstof	aandrijving, productie	SS	-	-	Interreg (5A)
ISHY	PoOostende, zilvermeeuw BV, Yreseke Engine Services, Zepp Solutions BV	Zilvermeeuw	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Vessels and ports	-	-	Interreg
ISHY	PoOostende	Vera Cruz	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Vessels and ports	-	-	Interreg
OZEGW: Ontwikkeling zero-emission geintegreerd waterstofsysteem 100ekw	Koedood, De Ruyter Dieseltechniek, HEAT.lab, Nedstack, Da Vinci College	Geen	NL	2020-2021	Waterstof	Aandrijving	IWT	100Kw	Gasvormig	SSBDLiR
RH2INE (Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence)	MinI&W, Provincie Zuid-Holland, Deelstaat Noordrijn-Westfalen, PoR	Geen	NL/DE	2020-2024	Waterstof	2024: 10 H2 IWT schepen op de Rijn. Productie en infra	IWT, infra	-	-	EU aanvraag
Study on zero-emissions hydrogen shipping	Nouryon en NPRC	Geen	NL	-	Waterstof	prodcutie, transport, bunkeren, aandrijving	IWT	-	-	-
SWIM	Enviu BV	Watertaxi	NL-Rotterdam	2019-2023	Waterstof	aandrijving	IWT	30Kw	Waarsch. gas	IDB
Tanker op H2	Koedood	Tanker	NL	2018-2020	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	IDB
Waterstof op het Water	PTC, TATA, PoAmsterdam, TuD		NL	Niet gestart	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	-
Waterstofschip	Theo Pouw, Koedood, Stork, Scheepswerf Poppen Zwartsluis	Nieuwbouw Container Cemt V	NL	Niet gestart	Waterstof	aandrijving	IWT	-	Waarschijnlijk Gas	-
WEVA	Lenten Scheepvaart BV (NPRC)	Bestaand binnenvaartschip	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	500Kw	Gasvormig	IDB
Proeftuin H2 in Den Helder	Damen, Pitpoint, Port of Den Helder, ENGIE, FME, TU Delft, New Energy Coalition, Bureau Veritas	Damen ontwikkelt en test (haven)schip	NL	2019-	Elektrisch+ h2 range extender	aandrijving (H2 range extender), productie, bunkeren	?	-	Gasvormig	DKTI & Waddenfonds
Proeftuin H2 Elektrisch Binnenvaart Bouwtransport	ZOEV City B.V., Mokum Maritiem, H2Consultancy, TNO, Bouwaanvoerder B.V. Port of A'dam	Duwboot	NL	2019-	Waterstof-hybride	aandrijving	-	-	-	DKTI
Fuel Cell Boat	Alewijnse, Integal, Linde Gas, Lovers, MSN	Nemo H2	NL-Amsterdam	2006-2010	Waterstof	aandrijving en bunkerlocaties	IWT	50-100Kw	Gas	RVO/EOS
Progress Events rondvaartboot	Progress events, Holthausen Watersofcentrum	Rondvaartboot	NL-Groningen	Klaar in 2016	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	IWT	10 kW	-	Prov. Groningen
Ecolution	Stichting Wad Duurzaam	zeilschip Ecolution	NL	-2020	Waterstof	aandrijving	-	2x30 kW	Gas	Waddenfonds
H2 Coach Boat	Koedood, Habbeké , TU Delft, Sailling Innovation Centre, Watersportverbond	Coach boot voor WK zeilen	NL	Doel: 2020	Waterstof	aandrijving	-	-	-	RVO/ Innovation Quarter
Marigreen	MAH, ESF, Conoship, i.s.m. BSC, DNV-GL, Mariko, FME	Opleidingsschip EMELI Maritieme Academie Harlingen & Maritiem Collega Velsen 700 Ton Kempenaar	NL	2-stage refit, 1st stage afgerond	Waterstof-Elektrich	Aandrijving	IWT	30 kW	Gas	Interreg (5A)
H2 Rondvaartboot	NG Shipyards, Lauwersoog Water Events, FME, J. Bos Holding	H2 rondvaartschip rondom Lauwersoog	NL	-	Waterstof	aandrijving	waddenzee	2x60 Kw FC	-	Mogelijk Waddenfonds
H2 Viskotter	-	Viskotter	NL	-	Waterstof	aandrijving	-	-	-	Waddenfonds

Voor de beeldvorming volgen hieronder enkele toonaangevende Nederlandse projecten:

2.3.1. Voorbeeldproject: Future Proof Shipping MS Maas

Future Proof Shipping werkt in haar gelijknamige project aan het realiseren van een waterstof-elektrisch aangedreven containerschip, dat vrachtcontainers gaat vervoeren tussen de Rotterdamse haven (containerterminals Maasvlakte) en Meerhout in België. Dit schip wordt volledig aangedreven door elektromotoren, die elektrisch vermogen ontvangen van een 635 kW brandstofcel (type PEM-Proton Exchange Membrane), gevoed met waterstof. Opslag van de (waarschijnlijk gasvormige) waterstof zal plaatsvinden in makkelijk uitwisselbare tankcontainers. FPS heeft in het afgelopen jaar het CEMT Klasse-V schip MS Maas aangekocht en heeft subsidie gekregen uit de Stimuleringsregeling Schone Binnenvaart en Duurzame Logistiek in Rotterdam (SSBDLiR). Het project loopt van 2020 t/m 2022, met een demonstratiefase vanaf 01-04-2021.

Figuur 6: MS Maas,
foto geleverd door Future Proof SHipping

2.3.2. Voorbeeldproject: Crew Transfer

In het project Crew Transfer heeft Vattenfall een contract afgesloten met Windcat Workboats. Deze firma zal Vattenfall zogenaamde crew transfer vessels leveren voor de windparken Hollande Kust Zuid 1&2. Dit project zal een van de eerste zijn die de waterstof aangedreven schepen gaat inzetten. De ontwikkeling van de scheepstypen moet in 2020 zijn afgerond, terwijl de windparken in 2022 gegund zullen worden. Praktische inzet zal hierna plaatsvinden.

Figuur 7: Een windcat crew transfer vessel, zoals voor Vattenfal ontwikkeld zal worden aangedreven op waterstof

2.3.3. Voorbeeldproject: H2 Ships, Directieschip PoA

Binnen het project H2Ships wordt het nieuwe directieschip van het Havenbedrijf Amsterdam gebruikt voor een waterstofpilot. Het schip van 20 meter zal opereren op de grachten en in het havengebied tot aan IJmuiden. Om de veiligheid te waarborgen wordt gekozen voor een waterstofdrager: waterstof in poedervorm (zie hoofdstuk 3 voor details). Door de natriumboorhydride te vermengen met water ontstaat de benodigde waterstof voor de aandrijving van het schip. Doel is een systeem te testen dat zero-emissie en stil is, bestaande uit een brandstofcel en een batterij. Het project H2Ships krijgt subsidie van Interreg en loopt van 2019 t/m 2022. H2Ships partner TU Delft zal na afloop van de pilot de gedemonstreerde techniek proberen in te zetten op een ander binnenvaartschip, dat vracht vervoert voor TATA steel.

2.3.4. Voorbeeldproject: Het Theo Pouw Initiatief

Het initiatief van Theo Pouw verschilt van de andere initiatieven in dit hoofdstuk, omdat het nog niet concreet genoeg is om een project te mogen heten. Toch is de Theo Pouw Groep al jaren concreet bezig met het ontwikkelen van verduurzamingsopties. Als producent én transporteur van bouwmaterialen wil Theo Pouw graag een vijfde eigen schip in de vaart brengen. Omdat de overheid als een van de grootste klanten steeds vaker duurzaamheid een rol laat spelen bij gunningen is zero-emissie belangrijk geworden. Wegens het vaarprofiel is men intern overtuigd van (gasvormige) waterstof, en er ligt al een compleet scheepsontwerp dat binnen een jaar gerealiseerd kan zijn. Zo zal het schip een 500Kw brandstofcel gaan gebruiken en twee 20 voet containers voor opslag van waterstofgas onder druk (500 bar). Koedood en Scheepswerf Poppen Zwartsluis gaan het schip inclusief aandrijflijn bouwen.

Echter, de kosten van investering en vooral de operationele kosten van waterstof liggen vooralsnog te hoog om nu al tot concrete stappen over te gaan. Theo Pouw wacht het moment af waarop de operationele kosten dalen en heeft voor dat moment zelfs al toezeggingen wat betreft subsidie en funding voor de investeringskosten gekregen. Dit initiatief is naar verwachting kenmerkend voor een groot aantal andere partijen die waterstof uiterst serieus overwegen, of zelfs al plannen hebben, maar door de hoge aanloop- en exploitatiekosten nog niet tot uitvoering over kunnen gaan.

Figuur 9: Een bulkschip, soortgelijk aan het nieuwe schip dat Theo Pouw, aangedreven op waterstof, op de markt wil brengen.

2.4. Tussenstand en uitgesproken ambities; een tijdspad

De inventarisatie, zoals weergegeven in dit hoofdstuk, heeft een aantal duidelijke resultaten opgeleverd. We weten welke verschijningsvormen en dragers van waterstof op dit moment het meest in beeld zijn en welke potentie voor de toekomst hebben. Hiernaast is duidelijk geworden dat er in Nederland minstens 38 partijen zijn die zich in 25 projecten bezighouden met aandrijving van schepen op waterstof. Door interviews en het integreren van lijsten van derde partijen (RVO, ENVIU, CCNR), kon een redelijk actueel beeld geschetst worden van de openbare initiatieven.

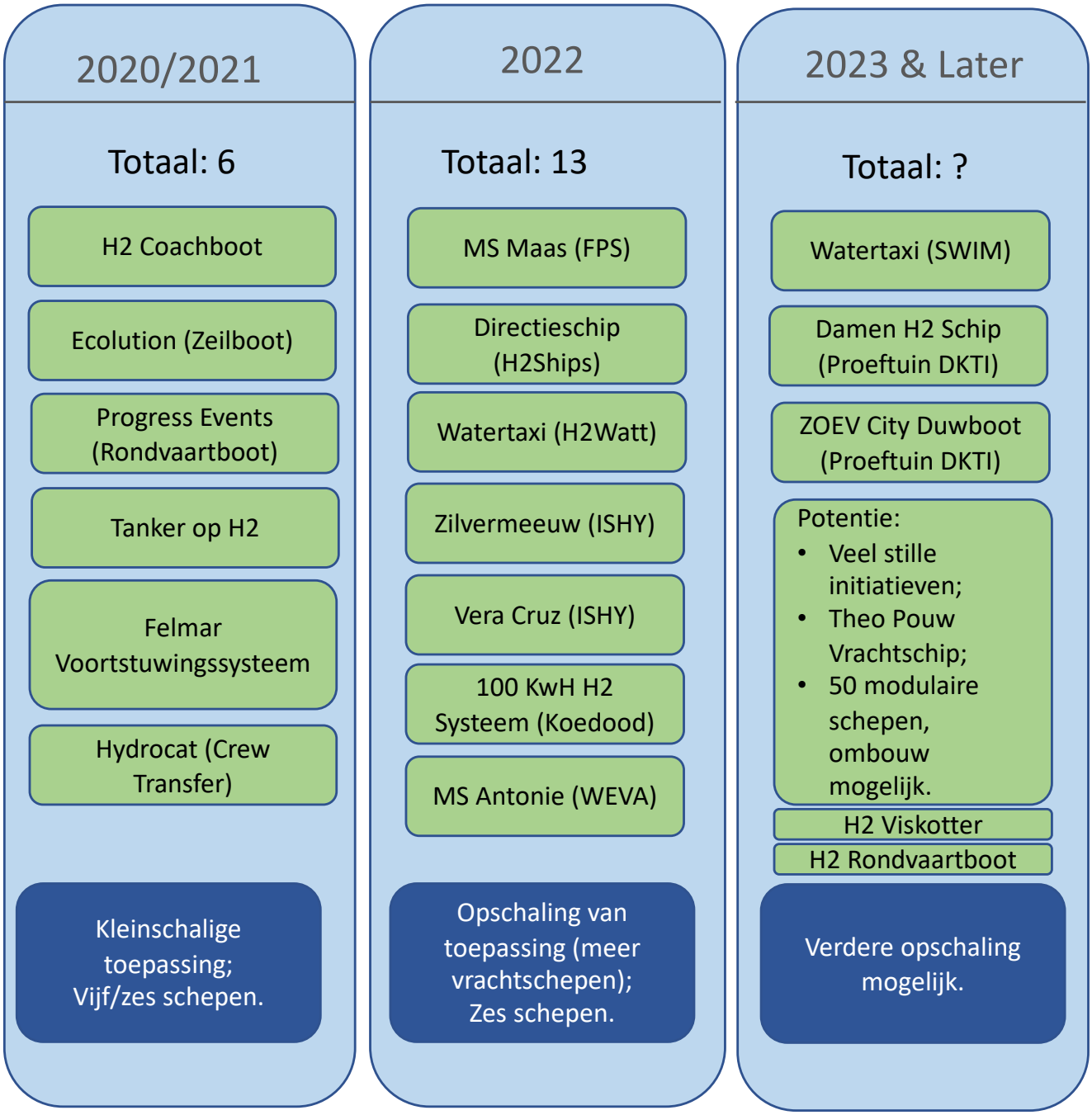
Uit de interviews kwam ook naar voren dat een groot aantal partijen zijn initiatieven voorlopig liever stilzwijgend voortzet. Het huidige aantal concrete projecten ligt dus mogelijk hoger. Daarnaast is er hoogstwaarschijnlijk een aanzienlijk aantal partijen die overwegen een project te starten maar ook dat niet delen met de buitenwereld. Hier speelt de business case een rol: op dit moment is die nog niet rond te rekenen voor individuele ondernemers in binnenvaart of short sea. Dit werd hierboven al beschreven voor het Theo Pouw initiatief, dat waarschijnlijk exemplarisch is voor een groot aantal scheepvaartondernemers (hoewel Theo Pouw binnen die groep wel een van de meest ver gevorderden zal zijn).

Hoe groot de groep stilzwijgende initiatieven zal zijn is niet te zeggen, maar uit de interviews valt een beeld op te maken dat de groep afwachtende partijen waarschijnlijk significant groter is dan de groep partijen die nu al werk maakt van haar ambities. Het potentiële aantal waterstofinitiatieven ligt dus markant hoger dan het aantal huidige projecten (25).

Succesvolle demonstraties in de nabije toekomst kunnen steeds meer twijfelende partijen aanzetten tot concrete actie, en de groep geïnteresseerden zal hierdoor ook groeien. Als overheden (of verladers) de business case helpen verbeteren mag een nog grotere stijging van het aantal initiatieven verwacht worden. Figuur 10 beschrijft deze situatie: al in 2021 willen zes projecten tot realisatie komen, waarvan zeker vijf een schip op waterstof zullen testen. De toepassingen zijn dan nog vrij kleinschalig. In 2022 zullen zeven andere projecten zijn afgerond, waarvan minstens zes een schip zullen testen. Daar zitten dan al grotere schepen tussen. Eind 2022 kunnen er dus al 11 waterstofschepen varen, mochten deze projecten slagen. In latere jaren leveren zeker nog drie projecten een (test)schip op waterstof op, of pogen dit te doen. Dit betreft allemaal projecten die in 2020 al van start zijn gegaan.

Samen met projecten die nu al lopen en projecten die in de toekomst op zullen komen, zijn er in de nabije toekomst dus 16 tot 65 waterstofschepen in de vaart. In perspectief: het Klimaatakkoord stelt als opgave om in 2030 tenminste 150 Zero Emission schepen in de vaart te hebben.

De stille initiatieven en afwachtende partijen zouden na de beginjaren een steeds grotere rol kunnen gaan spelen. Als indicatie van een mogelijk orde van grote kwam uit de interviews naar voren dat er op dit moment al 50 schepen met een modulair energieconcept en een elektrische aandrijflijn rondvaren. Die modulaire inrichting van het aandrijfsysteem maakt deze schepen makkelijker om te bouwen naar andere energiedragers, zoals waterstof. Een mogelijke eerste stap is het vervangen van de generator door een klein-vermogen brandstofcel. Als hiervoor wordt gekozen is dat een grote stimulus voor de marktontwikkeling van waterstof in de scheepvaart. Samen met projecten die nu al lopen en projecten die in de toekomst op zullen komen, zijn er in de nabije



Figuur 10: Tijdspad waterstofinitiatieven.

toekomst dus 16 tot 65 waterstofschepen in de vaart. In perspectief: het Klimaatakkoord stelt als opgave om in 2030 tenminste 150 Zero Emission schepen in de vaart te hebben. Samen met de initiatieven op volledige batterij-elektrische aandrijving (m.n. project Groene Cirkels) lijkt deze opgave al in het jaar 2025 binnen handbereik, mits de overheid haar innovatiebeleid op dit thema actief blijft inzetten.

H2
HYDROGEN
ENERGY
STORAGE
H2
D2

3. VERSCHIJNINGSVORMEN EN DRAGERS VAN WATERSTOF

Waterstof kan op verschillende manieren worden opgeslagen, vervoerd en ingezet voor afgifte van energie. De meest gangbare vormen zijn gasvormig en vloeibaar. Hiernaast kan waterstof worden gebonden aan, of vermengd worden met andere stoffen. De stoffen die uit deze chemische reacties voortkomen worden in dit onderzoek aangemerkt als waterstofdragers. Bijlage A illustreert dat veel geïdentificeerde projecten waterstof in pure vorm benutten, waarbij vloeibare waterstof het meest in Scandinavische landen wordt gekozen. In Nederland zelf is de gasvormige variant gangbaar. Ook is te zien welke dragers het meest worden genoemd: dit zijn methanol en in mindere mate ammoniak. Deze stoffen zijn waterstofdragers, maar kunnen ook voor andere doeleinden worden ingezet en hebben daarom al een bestaande distributieketen. Dit laatste geldt overigens ook voor waterstof in gasvorm, dat al veel industriële toepassingen heeft.

In onderstaande paragrafen worden enkele bekende waterstofdragers en -verschijningsvormen beschreven: gasvormige waterstof, vloeibare waterstof, vloeibare waterstofdragers, mierenzuur en de poedervormige waterstofdrager (Natriumboorhydride). Deze categorieën bevatten de meest gebruikte vormen in de huidige toepassingsprojecten, maar ook dragers die nu weinig tot niet gebruikt worden. Leidend bij de keuze voor deze dragers en vormen waren de Nederlandse pilotprojecten (welke drager/vorm zij gebruiken) en interviews met toepassende, academische en beleidsvormende partijen (welke drager/vorm in de toekomst potentie heeft).

Aan de hand van resultaten uit desk research en de interviews worden zij beoordeeld op hun inzetbaarheid voor aandrijving in de binnenvaart en short sea.

5 Bevestigd in "Waterstof voor de Energietransitie" (TKI Nieuw Gas, 2020)

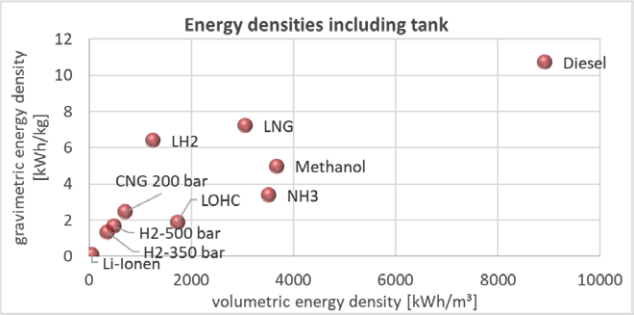
Waterstof in gasvorm is onder druk op te slaan in cannisters en zo ook te vervoeren. Hier is in relatief kleine volumes al ervaring mee opgedaan.

3.1. Waterstof in Gasvorm

Gasvormige waterstof is veruit de bekendste verschijningsvorm van waterstof, en ook de meest geteste variant van alle dragers en verschijningsvormen. Waterstof in gasvorm is onder druk op te slaan in cannisters en zo ook te vervoeren. Hier is in relatief kleine volumes al ervaring mee opgedaan. Uit de gehouden interviews blijkt dat deze toepassingsvorm het populairst is, omdat ze op dit moment wordt gezien als de enige optie die nu al technisch haalbaar is met een nog acceptabele impact op de bedrijfsvoering en vaarschema's. Dit drukt de kosten. Een voorbeeld is de toepassing die de Theo Pouw groep (geïnterviewd in dit onderzoek) voor zich ziet: gasvormig waterstof kan worden opgeslagen in containers, welke op containerterminals aan boord worden gebracht. Zo hoeft het schip nergens apart waterstof te bunkeren, wat volgens de gesprekspartners voor grote hoeveelheden (boven de 1000kg) langer dan 12 uur kan duren[5]. Ondanks dat opslag van gasvormige waterstof zijn uitdagingen heeft, komt het nog steeds goed uit de vergelijking met andere waterstofdragers wanneer de factor energie/volume wordt beschouwd.

Alle geïnterviewde partijen zien gasvormig waterstof een grote rol spelen in de eerste jaren van waterstoftoepassingen in de maritieme sectoren. Ditzelfde beeld komt naar voren uit de lijst van gevonden pilotprojecten: een groot deel richt zich op waterstof in gasvorm (bijvoorbeeld het Noorse Offshore Schip van Ulstein, dat gebruik maakt

van containers die waterstof onder druk opslaan). Dit betekent overigens niet dat de nadelen niet worden gezien, er moet namelijk wel een infrastructuur van locaties worden gerealiseerd waar men gasvormig waterstof aan boord kan nemen. Hier zitten veel uitdagingen rondom veiligheidseisen en logistiek aan vast.



Figuur 12: Ter illustratie: Energiedichtheid inclusief tank. Bron: (Consortium E-Container-Logistiek aan de Rijn en Waal, 2019).

3.2. Vloeibare Waterstof

Net als aardgas kan waterstofgas vloeibaar worden gemaakt onder zeer lage temperaturen. Er bestaat al een infrastructuur voor LNG (= vloeibaar aardgas) wat ook al wordt toegepast in de maritieme sectoren. Wat dat betreft is er veel ervaring opgedaan met transport, opslag, bunkeren en vervoer van vloeibaar gas onder zeer lage temperatuur. Ook vloeibare waterstof wordt sinds kort per schip vervoerd, en lijkt voor het overige te kunnen voortbouwen op kennis, ervaring en infrastructuur van LNG-toepassingen. Echter, een aantal geïnterviewde partijen zijn onder de indruk van de veiligheidseisen die komen kijken bij bunkeren en opslag (zowel aan land als aan boord) van een vloeibaar gemaakt gas. Daarnaast zijn voor vloeibare waterstof waarschijnlijk zeer grote tanks nodig die ruimtegebrek opleveren, wat toepassing op bestaande schepen lastig maakt. Ook rijst de vraag of er genoeg waterstof aan boord kan worden genomen om een trip mee te maken. Veiligheid wordt ook als beperkende factor gezien. Liquide toepassingen zijn vooral populair in Scandinavië, bijvoorbeeld voor transport over korte afstanden of door fjorden. Het Coastal Route Project van het Noorse Havila streeft ernaar in 2023 een cruiseschip uit te rusten met een combinatie van brandstofcellen en batterijen, met waterstof die vloeibaar wordt gebunkerd en aan boord opgeslagen.

Figuur 13: Een cruisship van het formaat waarvan Havila er een op waterstof wil laten varen in 2023.

3.3. Vloeibare waterstofdragers (o.a. LOHCs)

LOHCs (Liquid Organic Hydrogen Carriers) zijn waterstofdragers, zij werken aan de hand van binding van waterstof en een andere stof. Dit levert een derde stof op: de LOHC. LOHCs zijn vloeibaar en hebben eigenschappen die lijken op conventionele brandstoffen als diesels. Dit maakt LOHCs uitermate geschikt voor opslag en transport. Eenmaal aangekomen op plaats van bestemming wordt de waterstof aan de LOHC onttrokken. Dit proces levert waterstof én een andere stof op. De waterstof kan worden ingezet als brandstof en de reststof wordt terug getransporteerd naar de productielocatie en daar weer verrijkt met H2 tot LOHC. Zo is er sprake van een cyclisch proces. Naast LOHCs zijn er ook andere vloeibare waterstofdragers. Methanol bijvoorbeeld, maar ook ammoniak is geschikt, hoewel zij beide niet cyclisch zijn: omzetting naar waterstof levert CO2, respectievelijk stikstof op.

LOHCs en andere vloeibare dragers hebben voordelen wat betreft infrastructuur, transport en bunkeren ten opzichte van pure waterstof. Ammoniak heeft bijvoorbeeld al een eigen infrastructuur met transportstromen over lange afstand. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat ammoniak toxisch is, transporteren van een toxische stof is significant makkelijker dan deze gebruiken als brandstof[6]. Er is dus veel ervaring die ingezet kan worden om vloeibare dragers toe te passen voor aandrijving in maritieme sectoren.

Volgens geïnterviewde partijen zijn LOHCs nog niet klaar voor toepassing in de maritieme sectoren. Overigens werd aangegeven dat dit over enkele jaren wel realiteit kan zijn.

Uit interviews bleek dan ook een positief beeld van LOHCs en in mindere mate andere vloeibare dragers, maar niet op de korte termijn. Enkele partijen wezen op een tweeledig probleem: ten eerste is het onttrekken van waterstof aan een LOHC geen eenvoudig proces: er zijn op dit moment nog twijfels over de marktrijpheid van deze toepassing. Ten tweede is het proces nog niet zo ver dat de reststof, na onttrekking van waterstof uit de LOHC, gemakkelijk kan worden opgevangen en geretourneerd. Dit zorgt ervoor dat de geïnterviewde partijen LOHCs nog niet zien als klaar voor toepassing in de maritieme sectoren. Dit beeld wordt ondersteund door de algemene inventarisatie van projecten: ammoniak en methanol komen voor, maar LOHCs minder. Overigens werd aangegeven dat dit over enkele jaren wel realiteit kan zijn.

3.3.1. Uitgelicht: Mierenzuur

Een vloeibare waterstofdrager die vanuit wetenschappelijk oogpunt interessant is, is mierenzuur. Mierenzuur kan worden gewonnen uit planten (onderzoeksfase) of uit het mengen van water met CO2 en een katalysator (testfase). Weer door middel van een katalysator kan het ontstane mierenzuur worden gesplitst in CO2 en waterstof. Deze waterstof kan dan ingezet worden voor aandrijvingstoepassingen, de CO2 moet worden afgevangen en weer worden ingezet om nieuw mierenzuur te creëren. Zo ontstaat het cyclische proces waar ook LOHCs bekend om staan. Mierenzuur is, wederom zoals LOHCs, geschikt voor opslag, transport en bunkeren in een vloeibare

6 Ammoniak, NH3, is onder de juiste omstandigheden inzetbaar als brandstof in een verbrandingsmotor of een SOFC-brandstofcel. Daarnaast zijn er industriële toepassingen, waardoor Ammoniak veelvuldig vervoerd wordt- ook per schip. De effecten van ammoniak op mens, dier en natuur zijn echter gevaarlijk. Daarom is het niet eenvoudig de stof als brandstof te gebruiken, daarbij is meer risico op lekkage dan bij louter transport in opslagtanks. TU-Delft, TNO en C-Job onderzoeken met partners de mogelijkheden voor inzet van ammoniak als brandstof in een MIIP project: https://www.maritiemland.nl/news/miip013-ammoniadrive-research-feasibility-study/

vorm, gelijkend aan reguliere brandstoffen. In de afgelopen jaren heeft Team Fast, een studententeam van de TU Eindhoven, samen met Voltachem de toepassing van hydrozine (zoals zij duurzaam opgewekt mierenzuur noemen) succesvol getest in generatoren voor elektriciteit op bouwplaatsen[7]. Voltachem is van plan een fabriek te bouwen waarin 1MW mierenzuur kan worden opgewekt uit water, CO2 en duurzame energie. Hoewel op dit moment niet direct toe te passen, is mierenzuur een waterstofdrager die in de toekomst mogelijk gebruikt kan worden in binnenvaart en short sea.

3.4. Waterstof in poedervorm

Een waterstofdrager in meer solide vorm is Natriumboorhydride, een natriumzout. Gemengd met water en een katalysator komt waterstof vrij. De reststoffen kunnen, met toevoeging van waterstof, energie en warmte weer in Natriumboorhydride worden omgevormd. Net als vloeibare dragers heeft Natriumboorhydride grote voordelen ten opzichte van reguliere waterstof bij transport en opslag. Het hoeft namelijk niet onder druk of onder zeer lage temperaturen te worden gehouden. Het bedrijf H2fuel-Systems[8] werkt samen met onder andere de TU Delft aan het optimaliseren van dit proces. In het H2Ships project (2019-2022) zal Natriumboorhydride worden ingezet als waterstofdrager op een schip van 20 meter dat gebouwd en uitgebaat zal worden door het havenbedrijf Amsterdam. Waterstof in poedervorm is bij de geïnterviewde partijen nog niet prominent in beeld. Echter, een succesvolle test binnen H2Ships kan daar snel verandering in brengen en deze waterstofdrager geniet grote aandacht binnen de academische wereld.

3.5. Vergelijking waterstofvormen en -dragers

De voorgaande paragrafen zijn samengevat in Tabel 4. Hier zijn ook enkele toevoegingen aan gedaan, zoals het aantal pilots waarvan duidelijk is dat het de vorm/drager gebruikt. Dit geeft een indruk hoe ver de vorm/drager technisch is doorontwikkeld. Gasvormige en vloeibare waterstof en vloeibare dragers lopen wat dit betreft voorop. Mierenzuur en waterstof in poedervorm worden nog niet vaak toegepast, zij bevinden zich dus verder van de markt. Wat betreft de veiligheid is de duidelijke conclusie dat waterstof in poedervorm en mierenzuur op dit moment veiliger

	# Pilots	Veiligheid	Business Case	Relatieve Dichtheid	Efficiëntie Systeem	Beschikbaarheid Schepen	Opslag	Aandrijving
H2 Gas	8	Compressed	Opex Capex	Redelijk, onder druk	50%	Beperkt	Tanks; Containers	Brandstofcel
H2 Vloeibaar	6	Lage Temperatuur	Opex Capex	Hoog	49%	Beperkt	Tanks Niet lang	Brandstofcel + Vaporizer
Vloeibare Dragers (o.a. LOHCs)	4	Vloeibaar; Ammoniak is giftig	Opex	Hoog	38%	Minimaal	Tanks; Containers; Retourstroom is minpunt	Brandstofcel + Omvormer
Mierenzuur	0	Vloeibaar, bijtend	Opex Capex	Redelijk	-	Nog niet	Vloeibare staat	Brandstofcel + Omvormer
H2 Poeder	1	Vaste vorm	Opex	Erg hoog	-	Minimaal	Vaste staat	Brandstofcel + Omvormer

Tabel 4: Vergelijking van Waterstofvormen en -dragers Bronnen: (Consortium E-Container-Logistiek aan de Rijn en Waal, 2019)

7 Zie: teamfast.nl

8 Zie: h2-fuel.nl

lijken dan de andere besproken verschijningsvormen. De overige verschijningsvormen hebben allen eigenschappen die het waarborgen van de veiligheid moeilijk(er) maken. De interviews wezen overigens uit dat de meeste partijen die veiligheidsaspecten niet als onoverkomelijk zien. De business case is een negatiever verhaal: bij beide waterstofvormen is nog een grote investering in ombouw van het schip (capex) nodig en zijn de operationele kosten (opex), o.a. brandstofkosten, nog erg hoog. Vloeibare dragers en waterstofpoeder zijn makkelijker aan boord op te slaan en te transporteren, dat brengt de capex omlaag. Desalniettemin zullen deze dragers duur zijn in de aanschaf (brandstofkosten).

De energiedichtheid van al deze stoffen valt vergeleken met diesel over het algemeen tegen. Toch levert compressie en koeling van waterstof acceptabele niveaus op. Ditzelfde geldt overigens voor de dragers. Niet alleen energiedichtheid is belangrijk, want de stof zal moeten worden omgezet in aandrijfvermogen. Dit gebeurt met een efficiëntiegraad. Waterstof in gas- of vloeibare vorm kan middels een efficiënt systeem (brandstofcel en bij vloeibare waterstof een vaporizer) worden omgezet in vermogen. De vloeibare dragers presteren ongeveer net zo goed als een dieselgenerator (de efficiëntie van Diesel via een generator naar elektriciteit is 37%.)[9]. Van Mierenzuur en H2 poeder kon geen betrouwbaar percentage worden vastgesteld.

Vloeibare waterstof is niet bedoeld voor lange termijn opslag, maar de overige vormen en dragers zijn (in meer of mindere mate) geschikt voor opslag aan boord. De dragers zijn wel makkelijker op te slaan dan waterstof zelf. Tegelijkertijd zien we dat de dragers nog minimaal tot niet beschikbaar zijn om aan boord te nemen (met uitzondering van bijvoorbeeld ammoniak). Beide waterstofvormen zijn wel beschikbaar, maar nog in beperkte mate.

Uit deze vergelijking blijkt dat de TRL (technologische gereedheid voor toepassing) van pure waterstoftoepassing (in gasvorm of vloeibaar) op dit moment het hoogst liggen. Zij worden dan ook het meest onderzocht in de gevonden projecten. Vloeibare dragers worden al voorzien als brandstof voor projecten en hebben op gebied van veiligheid en opslagmogelijkheden een voorsprong op pure waterstof. Wel hebben zij een retourstroom van de residustof die de logistieke processen ingewikkelder maakt, nog niet in alle gevallen is het TRL hiervan dusdanig dat van toepassingsgereedheid kan worden gesproken. Mierenzuur en waterstofpoeder hebben veel voordelen op gebied van veiligheid, echter de TRL van deze verschijningsvormen voor toepassing in scheepvaart is op dit moment nog laag. Er lijkt enige animo te bestaan om hier verandering in te brengen, en met het oog op de veiligheid aan boord verdienen zij zeker aandacht.

Mierenzuur en waterstofpoeder hebben veel voordelen op gebied van veiligheid, echter de TRL van deze verschijningsvormen voor toepassing in scheepvaart is op dit moment nog laag. Er lijkt enige animo te bestaan om hier verandering in te brengen, en met het oog op de veiligheid aan boord verdienen zij zeker aandacht.

9 Deze gegevens (efficiëntie van diesel en waterstofvorm/-dragers) zijn afkomstig uit "E-Container-Logistiek aan de Rijn en Waal", eindrapport van het gelijknamige Interreg project (Consortium E-Container-Logistiek aan de Rijn en Waal, 2019).

4. KANSEN EN VOORWAARDEN

Om de meest kansrijke handelingsalternatieven voor succesvolle implementatie van waterstof in de scheepvaart te vinden, identificeren en beoordelen we de belangrijkste variabelen in de opgave. Na de schets van de huidige stand van zaken in het vorige hoofdstuk, komen hieronder de belangrijkste aangrijpingspunten aan de orde die de slagingskansen van maritieme implementatie vergroten. Aangrijpingspunten op gebied van regelgeving, stimulering (subsidie, launching customer, contractvorm) en infrastructuur worden beschreven. Hieruit vloeit een benaderingswijze voort, weergegeven in drie mogelijke varianten, die de hele logistieke keten verbindt aan de waterstofdoelstellingen en waarbij iedere partij zo dicht mogelijk bij haar eigen specialisatie blijft.

4.1. Waterstof: het Nederlandse doel

Op 28 juni 2019 presenteerde het kabinet het Nederlandse Klimaatakkoord, met daarin de eisen om in 2030 49% en in 2050 100% minder broeikasgassen uit te stoten. Deze eisen vragen om veranderingen in het nationale grondstoffen- en energiesysteem. Belangrijk subdoel is om deze veranderingen zodanig proactief op te pakken, dat in Nederland een onderscheidende cleantech-industrie ontstaat die langdurig waarde toevoegt aan de Nederlandse economie. In dit licht zal waterstof op termijn een aantal belangrijke rollen moeten vervullen: duurzame energievoorziening voor de industrie; energieopslag van energie uit een variabele energievoorziening; brandstof voor zware mobiliteit; een mogelijke rol in de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Echter, waterstof zal niet optimaal inzetbaar zijn zonder dat beschikbaarheid opgeschaald wordt en kosteneffectiviteit verbetert.

Om het bovenstaande te realiseren wordt vanuit het klimaatakkoord een waterstofprogramma geïnitieerd. Dit is gericht op het opschalen en ontsluiten van het aanbod, de ontwikkeling van de nodige infrastructuur en het faciliteren van lopende initiatieven voor ontwikkeling van de vraagzijde. Dit programma richt zich op korte termijn op de opschaling van de productie van groene waterstof uit duurzame elektriciteit en op het verduurzamen van de productie van grijze waterstof (via CCS, leidend tot "blauwe" waterstof). Deze opschaling moet leiden tot een technologische sprong voorwaarts op het gebied van de productie van groene waterstof en het opschalen van de elektrolyse-capaciteit. Dit betaalt zich uit in een lagere kostprijs van waterstof. In het komende decennium wordt dus hard gewerkt aan het opschalen van waterstofproductie, wat in 2030 moet leiden tot 3-4GW aan geïnstalleerd vermogen door waterstof elektrolysers[10].

Zware mobiliteit, waaronder binnenvaart en short sea, speelt hierin een tweeledige rol: ten eerste heeft zij op de lange termijn waterstof nodig voor het behalen van haar eigen klimaatdoelen en is zij dus gebaat bij het opschalen van waterstofproductie. Ten tweede kan zij als een van de weinige sectoren in Nederland al op relatief korte termijn op vrij grote schaal waterstof afnemen. Immers, binnenvaart en short sea hebben voor hun voortstuwing een grote energiebehoefte. Op deze manier kunnen binnenvaart en short sea bijdragen aan het versneld opschalen van de markt voor (groene) waterstof en de daarvoor benodigde productiecapaciteit.

Hierboven werd al kort aangehaald dat binnenvaart en short sea als sectoren zelf ook klimaatdoelen hebben. Deze zijn vastgelegd in de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens[11]. De ambities van deze green deal zijn samengevat in Figuur 17.

10 Te vinden op de www.klimaatakkoord.nl (Klimaatakkoord.nl, 2019).

11 https://www.greendeals.nl/green-deals/green-deal-zeevaart-binnenvaart-en-havens (Rijksoverheid, Provincies, scheepvaartsectoren, 2019)

In 2030:

1. De CO2-emissies van de Nederlandse binnenvaartvloot gereduceerd te hebben met 40% tot 50% ten opzichte van 2015;
2. Tenminste 150 binnenvaartschepen voorzien te hebben van een zero-emissie aandrijflijn;
3. Tenminste een emissieloos zeeschip in de vaart gebracht te hebben

In 2035:

4. Een reductie van de emissie van milieuverontreinigende stoffen door de binnenvaart met 35% tot 50% ten opzichte van 2015 .

In 2050:

5. Een absolute CO2-reductie van 70% ten opzichte van 2008 door de zeevaart gerealiseerd te hebben.
6. Zo spoedig mogelijk na 2050 en in ieder geval voor het eind van deze eeuw te komen tot een klimaatneutrale zeevaart.

Figuur 17: Klimaatambities Binnenvaart en Short Sea (Bron: Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens)

De sector heeft dus zelf belang bij het toepassen van waterstof, omdat deze zich gecommitteerd heeft aan de ambities uit het Klimaatakkoord en dit de eigen Green Deal kan helpen realiseren. Daarnaast heeft de Rijksoverheid er belang bij dat de sector versneld een afnemer van betekenis wordt om de systeemrol van waterstof in het energiesysteem te versterken. Het gemeenschappelijke doel is een versnelde toename van het aantal schepen varend op waterstof.

4.2. De vijf opgaven voor maritieme toepassing

Een versnelde toename van het aantal schepen op waterstof kan alleen slagen als er een groot aantal succesvolle waterstofprojecten in de scheepvaart wordt gerealiseerd. Een waterstofproject binnen de scheepvaart heeft vijf pijlers.

De meest vitale hiervan staat in zijn geheel binnen het project: de scheepseigenaar zal met zijn scheepswerf, ontwerpers en leveranciers van de verschillende installaties aan boord moeten overwegen hoe een waterstof aandrijflijn het beste kan worden ingepast op zijn schip. Omdat elk schip uniek is en bovendien ook een specifiek vaarprofiel heeft, is hiervoor geen standaard ontwerp voorhanden. Daarnaast is grote aandacht nodig voor het oplossen van alle moeilijkheden op het gebied van veiligheid aan boord bij varen op waterstof. Toch is het voor het bovengenoemde team niet ondoenlijk om een oplossing te verzinnen waarmee waterstofaandrijving voor het schip technisch haalbaar en veilig is. Immers, door de toenemende leerervaringen goed tot te passen wordt de ontwerpopgave relatief steeds eenvoudiger.

Een probleem dat hierbij ontstaat is een grote versnippering wat betreft de manier van aanpak, de uitspraak 'ieder voor zich het wiel opnieuw uitvinden' is op dit moment passend. Inmiddels is duidelijk dat gekozen kan worden tussen verschillende vormen en dragers van waterstof, hieronder zal duidelijk worden dat er daarnaast veel verschillende mogelijkheden zijn om de gekozen brandstof aan boord te krijgen. Echter, zelfs bij gelijke keuzes in die categorieën staan schippers nog voor een aantal andere vraagstukken die op verschillende manieren zijn op te lossen: welk voltage te gebruiken voor boordnet en aandrijflijn, welk soort bedrading, welke afmetingen de ruimten voor accu's en brandstofcellen krijgen, locatie van brandstofopslag aan boord en zo zijn er nog meerdere vraagstukken die men moet oplossen. Veel van deze vraagstukken kunnen op meerdere manieren worden opgelost en zoals hierboven al benoemd is ieder schip uniek, maar hebben wel alle variabelen een impact op

de te maken keuzes. De sector loopt het risico dat op termijn zo veel verschillende systemen en totaaloplossingen bestaan dat geen enkele leverancier hiervan schaalvergroting kan realiseren. Dit terwijl de voordelen van schaalvergroting, bijvoorbeeld een daling in productiekosten, hard nodig zijn om waterstofimplementatie te realiseren. Standaardisatie van totaalsystemen maakt voor (toekomstige) leveranciers van waterstof aandrijfoplossingen de randvoorwaarden duidelijk en stelt hen zo in staat een basissysteem te produceren dat met relatief kleine aanpassingen op de meeste schepen in te bouwen is.

Zodra men de tekentafel wil verlaten komen de andere pijlers, allen met externe invloeden, in beeld:

- er zijn infrastructurele behoeften (zoals waar, hoe vaak en op welke manier te bunkeren);
- men wordt geconfronteerd met een dermate hoog prijsniveau van brandstofkosten (operationele kosten) dat er steun van klanten nodig is;
- de kosten voor om- of inbouw van een waterstof aandrijflijn zijn dermate hoog dat schippers deze zelf niet kunnen dragen, voor de investeringskosten is een passend financieringsmodel nodig;
- tot slot moet men nog aan alle juridische eisen rondom het varen op een onconventionele brandstof voldoen en dit aantonen. Zeker op gebied van veiligheid is dit cruciaal.

In onderstaande paragrafen worden deze vier externe pijlers beschreven en wordt aangegeven hoe projecten daar op dit moment mee om (moeten) gaan. Bij de beschrijvingen wordt aangenomen dat de aandrijflijn op het schip al is ontworpen op het moment dat het project in zijn verkenning aankomt bij de vier externe pijlers. In werkelijkheid is er een wisselwerking en sluiten bepaalde keuzes bij het ontwerp van de aandrijflijn opties in de externe pijlers uit, en vice versa.

De sector loopt het risico dat op termijn zo veel verschillende systemen en totaaloplossingen bestaan dat geen enkele leverancier hiervan schaalvergroting kan realiseren.

4.2.1. Infrastructuur als basisbehoefte

Het eerste externe vraagstuk speelt zich af rondom het aan boord krijgen van waterstof. Schippers zullen zich afvragen waar zij waterstof aan boord kunnen nemen en hoe dit proces eruit ziet. Als een schip brandstof bunkert, maakt zij gebruik van een eindpunt van een grote logistieke keten die voorziet in: de productie van de energiedrager, het transport, de opslag en het aan boord brengen van waterstof op het bunkerpunt. Bij de huidige fossiele brandstoffen zit hier een omvangrijke infrastructuur achter. Het opzetten van zo'n infrastructuur voor een nieuwe brandstof in de scheepvaart is tijdrovend en kostbaar. Het is een essentiële voorziening die de scheepvaartsector niet zelf kan realiseren. Dit werd bevestigd in het succesvolle project LNG Breakthrough, ondersteund door de Connecting Europe Facility en geleid door EICB. Hier is de uitrol van LNG in de binnenvaartsector gestimuleerd door het realiseren van schepen en een infrastructuur[12]. Voor de infrastructurele kant van het project waren gespecialiseerde partners betrokken.

Om waterstof succesvol uit te rollen is dus een infrastructuur van bunkerlocaties nodig, waar schepen de waterstof aan boord kunnen nemen. Idealiter is zo'n infrastructuur uitgebreid van aard: zeegaande schepen zijn gebaat bij voldoende bunkerlocaties in zeehavens, terwijl de binnenvaart ook diep in het achterland brandstof nodig heeft. In het begin van de uitrol van een nieuwe brandstof zal het nog niet op iedere locatie zowel juridisch als economisch mogelijk zijn om een bunkerstation aan te leggen. Het is daarom zaak dat de eerste bunkerlocaties in Nederland op strategische punten worden aangelegd. De grote zeehavens lijken een veilige eerste keuze, maar daarbij is wel snelle uitrol nodig in het achterland en in kleinere zeehavens om binnenvaart en short sea te faciliteren. Het zal in ieder geval duidelijk zijn dat de locatie van een bunkerpunt niet kan worden gekozen door een individuele

Om waterstof succesvol uit te rollen is een infrastructuur van bunkerlocaties nodig, waar schepen de waterstof aan boord kunnen nemen.

Figuur 18: Reguliere bunkerlocatie in Zwijndrecht, om waterstof uit te rollen zijn veel geschikte bunkerpunten nodig.

schipper. Deze zal daarvoor afhankelijk zijn van de keuzes van distributeurs.

Hiermee hangt samen de keuze tussen de verschillende vormen en dragers van waterstof. Elke vorm of drager heeft namelijk zijn eigen eigenschappen met impact op de infrastructurele behoeften. In een van de hoofdstukken hierboven zijn deze verschillende vormen al uitgebreider besproken, zie ook hoofdstuk 3, hieronder wordt kort hun impact op de benodigde infrastructuur uiteengezet.

Ten eerste de gasvormige waterstof: we konden eerder al zien dat veel Nederlandse projecten gasvormige waterstof, onder druk gebracht in verwisselbare tankcontainers, het meest praktisch lijken te vinden. Groot voordeel is dat deze in principe op elke containerterminal aan boord genomen kunnen worden, waardoor een groot deel van de infrastructuurbehoefte al is opgelost. De vraag is wel waar deze containers dan gevuld gaan worden met waterstof. Vullen nabij een bestaande productie- of distributielocatie ligt voor de hand, echter er is dan wel een grote transportbehoefte. Dit kan worden opgelost door de scheepvaart zelf, door wegvervoer of per spoor, maar dat zal kosten met zich mee brengen. Voordeel hiervan is dat in principe elke containerterminal als bunkerpunt kan dienen. De andere optie is het vullen van de containers op de terminal. Naast de bijkomende veiligheidseisen brengt dit hoge investeringskosten met zich mee, omdat er een pijpleiding of een grote opslaglocatie zal moeten worden aangelegd. Het ligt daarom niet voor de hand dat op deze manier binnen korte tijd iedere terminal als bunkerpunt kan dienen.

Ten tweede: vloeibare waterstof. Met opslag van vloeibare gassen is al ervaring opgedaan in LNG projecten. In principe zijn zowel tankcontainers als tanks aan boord mogelijk. Bij die laatste optie moeten dan specifieke bunkerpunten worden gerealiseerd. Tankcontainers kunnen wederom op containerterminals aan boord worden genomen, met de bijbehorende transportbehoefte van die containers. Complicerende factor is dat het waterstof eerst vloeibaar moet worden gemaakt.

Vloeibare dragers, ten derde, kunnen ook van het tankcontainer concept gebruik maken, maar het is daarnaast mogelijk om deze te tanken op manieren die gelijk is aan de bunkerprotocollen van de huidige brandstoffen. Als er in de toekomst op gedeelten van de infrastructuur volledig van diesels wordt afgestapt, zou die infrastructuur mogelijk gebruikt kunnen worden voor een vloeibare drager. Wederom is de complicerende factor dat de waterstof eerst in de vloeibare drager moet worden omgevormd. Belangrijker is echter dat bij LOHCs een cyclisch proces, en dus een retourstroom, ontstaat. Nadat de LOHC aan boord is omgevormd naar waterstof, blijft er immers nog een stof achter die terug moet worden vervoerd naar een locatie waar men deze weer verrijkt met waterstof. Dit komt in de huidige processen nagenoeg niet voor. Een logische oplossing kan zijn dat schepen deze stof aan boord houden tot het volgende bunkermoment, waarna hij terug aan land wordt gebracht. De bunkerpunten moeten dan wel goed met deze reststof overweg kunnen en de retourstroom zo optimaal mogelijk inrichten.

Hoewel in vaste vorm heeft waterstofpoeder, als vierde vorm, ook een retourstroom van een reststof. De vaste, niet vluchtige vorm, maakt wel veel verschillende manieren van bunkeren mogelijk.

De scheepseigenaren zullen dus niet alleen tussen de verschillende vormen en dragers moeten kiezen vanuit wat het beste is voor hun schip, maar

In principe zijn zowel tankcontainers als tanks aan boord mogelijk. Bij die laatste optie moeten dan specifieke bunkerpunten worden gerealiseerd.

12 Bron: https://lngbinnenvaart.eu/.

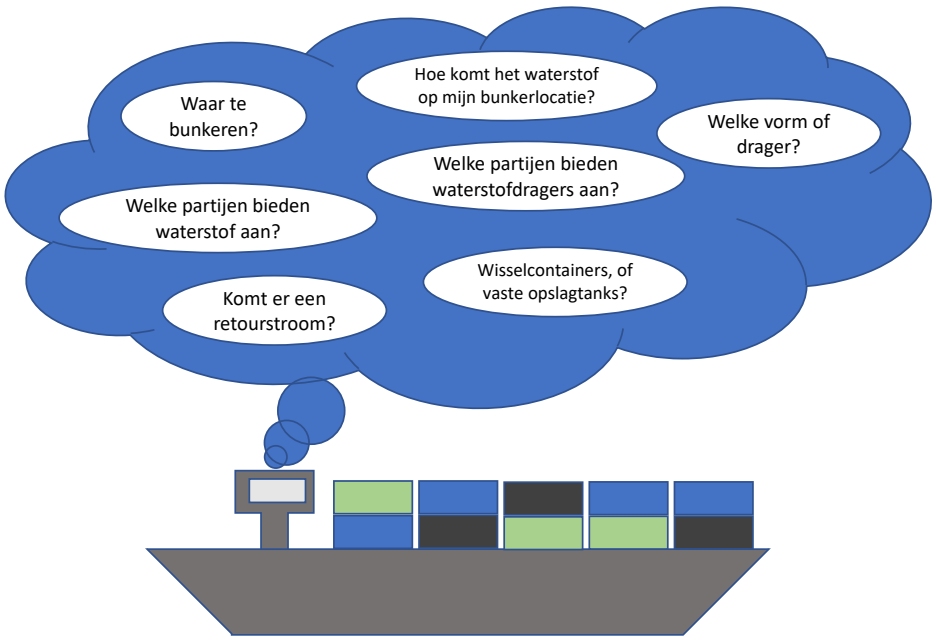
ook vanuit de infrastructurele voorzieningen. In de praktijk zullen scheepseigenaren hierin alleen kunnen kiezen binnen de bandbreedten die leveranciers en distributeurs van waterstof(-dragers) toestaan. Een waterstofdrager kan aan boord de beste keuze zijn, maar als er geen oplossing wordt aangeboden om die drager ergens aan boord te nemen kunnen scheepseigenaren hem niet gebruiken.

Op dit moment zijn er al enkele projecten die zich specifiek op de infrastructuur van waterstof richten, zoals RH2INE (Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence) dat zich richt op de eerste schepen en infrastructuur op/voor waterstof langs de Rijn. Deze gecombineerde aanpak zorgt ervoor dat grote vraagstukken beantwoord kunnen worden in samenspraak met meerdere ketenpartijen. Er zijn echter nog altijd veel meer kleinschalige projecten, die zich op een of enkele specifieke schepen richten. Zij moeten zelf bij leveranciers en distributeurs van waterstof aankloppen en overwegen wie hen waar op de beste manier van welke waterstofvorm of -drager kan voorzien. Zie ter illustratie Figuur 19. Dit is een complicerende factor voor elke scheepseigenaar met de wens op waterstof te gaan varen.

4.2.2. Operationele kosten of de Business Case

De tweede externe pijler zijn de operationele kosten. In haar publicatie "Contouren van een Routekaart Waterstof" gaat TKI Nieuw gas onder andere in op de productiekosten en prijs 'aan de pomp' van waterstof. De prijs van waterstof als brandstof is voor de scheepvaart een groot bestanddeel van de operationele kosten. Onderstaande beschrijving heeft betrekking op waterstofgas, maar heeft overeenkomsten met andere vormen en dragers. Daarom is zij gekozen ter illustratie.

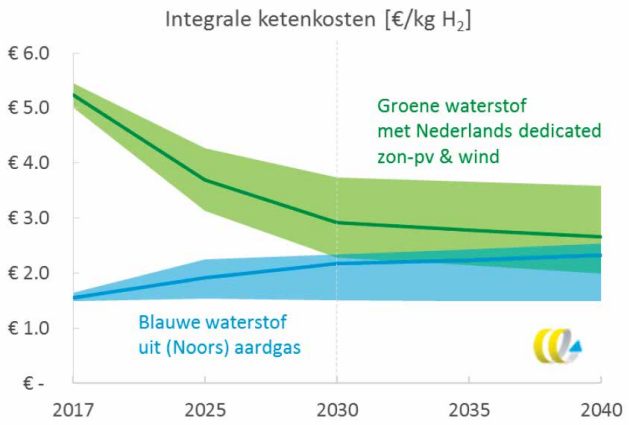
Waterstof is op veel manieren te produceren, bijvoorbeeld: grootschalige en kleinschalige productie uit aardgas (€ 1-€ 1,50 respectievelijk € 3-€ 4 per kilogram waterstof), productie uit elektrolyse (tussen de € 5 en € 6,50 per kg) en vergisting van biomassa (€ 3,5-€ 5,5 bij kleinschalige productie, € 3,00-€ 3,50 per kg bij grootschalige productie). Hiernaast zijn er nog andere opties, die veel onderzoek vergen voor ze echt in de praktijk kunnen worden gebracht. De goedkoopste optie, productie uit aardgas, is niet duurzaam omdat hier broeikasgassen bij vrij komen. Er bestaan plannen om deze broeikasgassen af te gaan vangen, zogenaamde Carbon Capture and Storage (CCS), maar op de langere termijn neigen beleidsmakers meer naar duurzame waterstof. Daarom wordt winning uit aardgas in dit onderzoek grotendeels



Figuur 19: Schippersvragen rondom infrastructuur.

buiten beschouwing gelaten. Hiernaast worden accijnzen buiten beschouwing gehouden, omdat er op dit moment geen duidelijkheid bestaat over de vraag of deze in de toekomst betaald zullen moeten worden voor waterstof. Relevant hierbij is dat reguliere (fossiele) binnenvaartbrandstoffen voor de binnenvaart zijn vrijgesteld van accijns. De business-case voor waterstoftoepassing in de binnenvaartsector zal dus negatief beïnvloedt worden door heffing van accijns (in zekere zin geldt dat ook voor de short sea).

CCS bij waterstofproductie kan wel een rol spelen in de opstartfase[13]. Zo berekende CE Delft in haar rapport uit 2018, "Waterstofroutes Nederland. Blauw, Groen en Import" dat in de eerste jaren van waterstofgebruik de prijs van blauw waterstof (gewonnen uit aardgas, eventueel geïmporteerd) vele malen lager zal zijn dan die van groene waterstof[14]. Als blauwe waterstof voldoende voorhanden is, biedt dat dus kansen voor het opstarten van een waterstofeconomie met betaalbare waterstof, ook voor binnenvaart en short sea. Zoals hierboven al beschreven, wordt blauwe waterstof niet uitgebreid overwogen (of meegewogen) in dit onderzoek. Het betreft namelijk geen zero-emissie oplossing, en daarnaast is het onduidelijk in hoeverre ze beschikbaar zal komen voor Nederlandse scheepvaart. Mocht blauwe waterstof wel breed tot de beschikking van de sectoren komen, dan zal dat een duidelijk positief effect hebben op de operationele kosten.



Figuur 20: Integrale ketenkosten groene en blauwe waterstof (CE Delft, 2018).

Relevant is dat reguliere binnenvaartbrandstoffen voor de binnenvaart zijn vrijgesteld van accijns. De business-case voor waterstoftoepassing zal dus negatief beïnvloedt worden door een eventuele heffing van accijns.

De bovengenoemde cijfers zijn een mooie indicatie, maar geven geen compleet beeld van de prijs aan de pomp – of in ons geval: 'bij het bunkerpunt'. Waterstof moet namelijk naar dit bunkerpunt vervoerd worden, en klaar worden gemaakt voor bunkeren (onder druk brengen in het geval van gasvormige waterstof). TKI Nieuw Gas schat in dat de totale prijs van gecomprimeerd waterstofgas bij een tankstation op dit moment € 5 per kilogram is. Dit zal vergelijkbaar zijn met de prijs bij een bunkerpunt. Met schaalvergroting en optimalisaties kan die prijs dalen tot € 4 per kilogram. Deze prijzen liggen een stuk hoger dan de dieselprijs, wanneer gekeken wordt naar de prijs per kilowattuur[15]. Ter illustratie, zie Figuur 21: TNO schat de operationele kosten van waterstof per KWh tussen de € 0,37 en € 0,35 in 2020 met een daling richting de € 0,27 – € 0,25 in 2030 en de operationele kosten van diesel (Stage V) als € 0.14 per KWh.

13 Info uit "Contouren van een Routekaart Waterstof" (Topsector Energie, TKI Nieuw Gas, 2018)

14 Info en betreffende afbeelding uit "Waterstofroutes Nederland. Blauw, Groen en Import" (CE Delft, 2018)

15 Het rapport "waterstof voor off-grid toepassingen" schetst de kosten van diesel en heavy fuel oil als liggend rond de € 0,05 per KWh (Recoy B.V. en ECN, Part of TNO, 2019).

Projecten die overwegen met gasvormige waterstof (onder druk in containers) te gaan varen, hebben ook een groot aantal containers nodig[16]. Hoewel men nu voorziet dat scheepseigenaren de benodigde containers niet zelf zullen aanschaffen, maar via een abonnementsvorm van een leverancier zullen afnemen (pay-per-use), zal ook dit kosten met zich meebrengen.

Dit alles maakt het toepassen van waterstof als energiedrager in schepen significant duurder per energie-eenheid dan het gebruik van de huidige brandstoffen. Omdat scheepseigenaren de brandstofkosten meewegen bij het berekenen van de prijs van hun vervoersprestatie, zullen de eerste schepen op waterstof bij het bepalen van de kostprijs voor hun klanten veel duurder zijn dan de concurrentie die op fossiele brandstof vaart. Gesprekken met verladers en de sector maakten duidelijk dat deze duurdere schepen dan te weinig klanten zullen vinden om economisch te overleven.

Er bestaat natuurlijk de optie deze extra kosten niet door te berekenen aan de klant, maar het overgrote deel van de scheepseigenaren heeft niet de financiële ruimte om dit te doen. Wel zijn er enkele verladers die zelf achter de energietransitie staan en scheepseigenaren langjarige contracten aanbieden met prijzen die de kostenverhoging door waterstof dekken. Dit zijn ofwel grote verladers die anticiperen op het verduurzamen van hun totale toeleveringsketen, of partijen die niet alleen verlader maar ook producent van waterstof zijn. Overheden spelen hierin vaak een complementaire rol: zij kunnen tijdens een beperkte projectperiode subsidie geven op investeringskosten (zie hieronder) en de operationele kosten. Het is voor overheden meestal niet mogelijk om gedurende periodes langer dan een aantal jaar de operationele kosten te ondersteunen met subsidie. Omdat de operationele kosten van een schip decennia doorlopen, blijven scheepseigenaren op dit punt afhankelijk van de medewerking van verladers Althans: zolang de afnameprijs van waterstof niet significant daalt.

Overheden kunnen daarnaast een normerende rol overwegen: milieuzones in steden zijn, naast het beperken van lokale luchtvervuiling, onder meer bedoeld om een boost te geven aan zero-emissie stadslogistiek. Dit principe zou ook kunnen worden toegepast op de scheepvaart en de voor haar belangrijke locaties zoals havens. Een bonus-malus systeem kan vervuilende schepen duurder maken door het heffen van toeslagen die gebruikt worden om duurzame schepen significante kortingen te geven. Veel havens (waaronder Rotterdam) passen dit al op kleine schaal toe en geven duurzame schepen korting op havengelden. De havengelden zijn echter zo'n klein onderdeel van de operationele kosten dat die kortingen nog geen significante stimulans voor waterstoftoepassingen zijn.

Samenvattend kunnen scheepseigenaren de verhoogde operationele kosten door waterstoftoepassing niet zelf dragen en de meeste verladers zijn in algemene zin niet bereid hogere prijzen te betalen voor duurzaam vervoer. Scheepseigenaren zijn daarom afhankelijk van enkele, vaak grote, verladers die dit wél willen en daar langjarige contracten voor aanbieden. Met subsidies spelen overheden een rol bij het drukken van operationele kosten in de eerste jaren.

4.2.3. Investeringskosten

De derde externe pijler beslaat de investeringskosten. Hierboven werd duidelijk dat de toepassing van waterstof als energiedrager de operationele kosten (OPEX) significant doet stijgen. In deze paragraaf bekijken we de financiële impact die waterstof heeft wat betreft investeringen aan boord van het schip (CAPEX).

Met ditzelfde doel rondde TNO in 2019 haar studie, "Feasibility study for a zero emission, hydrogen fuel cell powertrain for the Gouwenaar II" af[17]. De eigenaren van de Gouwenaar II wilden

16 TNO in haar rapport "feasibility study for a zero emission, hydrogen fuel cell powertrain for the Gouwenaar II" (TNO, 2019)

17 Zie noot 16

hun schip verduurzamen en vroegen TNO om voor dit specifieke schip en haar specifieke vaarprofiel een haalbaarheidsstudie te doen naar waterstof en batterij-elektriciteit. Uiteindelijk koos de eigenaar voor batterij-elektriciteit, maar de bevindingen uit het waterstofrapport blijven waardevol door de gedetailleerde aanpak. De Gouwenaar II vaart tussen Alphen a/d Rijn en de Maasvlakte, dan wel Antwerpen, en heeft een capaciteit van 104 TEU. Het maximum energieverbruik op trips naar en van Antwerpen (heen én weer) werd door TNO becijferd op 11.5 MW, een waterstofverbruik van ongeveer 760Kg. De benodigde brandstofcellen leveren samen 600 KW (6 maal 100Kw units), hiernaast is er een batterij voor peak-shaving van 330KWh.

In het algemeen zal aan boord een investering nodig zijn voor het aanschaffen van: brandstofcel(len), batterijen, opslagtanks, converters en een elektrische aandrijflijn (de meeste schepen zijn immers uitgerust met een verbrandingsmotor).

In het algemeen zal aan boord een investering nodig zijn voor het aanschaffen van: brandstofcel(len), batterijen, opslagtanks, converters en een elektrische aandrijflijn (de meeste schepen zijn immers uitgerust met een verbrandingsmotor). Daarnaast zullen al deze zaken ingebouwd moeten worden, en bij ombouw moet oude apparatuur verwijderd worden en is soms een totale verbouwing van het schip nodig. **TNO schat de totale kosten van zo'n investering op € 2.8 MLN**, de totale jaarlijkse extra kosten van het varen op waterstof (investering en operationele kosten) werden voor de Gouwenaar II zelfs op € 750.000 geschat. Daarnaast maakt Figuur 21 duidelijk dat de investeringskosten per kWh in 2020 van waterstof nog 16-26 maal hoger zullen liggen dan die voor een Stage V verbrandingsmotor. TNO gaat in de berekeningen uit van een kostendaling wanneer niet één maar zes schepen op waterstof worden aangedreven.

Hoewel het onderzoek van TNO specifiek voor één schip met één vaarprofiel is uitgevoerd, geeft het wel een inzicht in de extra investeringskosten waar scheepseigenaren op dit moment mee te maken krijgen. Wanneer een Stage V motor, de modernste en wat betreft uitstoot de meest gelimiteerde binnenvaartoplossing met verbrandingsmotoren, in totaal 4 keer goedkoper is en wat investering betreft zelfs 16 tot 26 keer voor een specifiek schip, zullen de kosten van andere schepen ook in die orde van grootte liggen. Een zeer grote meerderheid van de scheepseigenaren kan dit soort investeringen niet opbrengen, zelfs niet als deze in 2030 echt met 25% dalen zoals TNO weergeeft.

	2020 (€/kWh)			2030 (€/kWh)		
	CAPEX	OPEX	Total	CAPEX	OPEX	Total
1 ship H2 fuel Cell	0.26	0.37	0.63	0.21	0.27	0.48
6 ships H2 fuel Cell	0.16	0.35	0.51	0.12	0.25	0.37
Stage V diesel direct	0.01	0.14	0.15			
Stage V diesel genset	0.03	0.14	0.17			

Figuur 21: Overzicht Capex en Opex waterstof vs. Stage V, projectie 2020 en 2030 (TNO, 2019).

Toch is er in Nederland een aantal scheepseigenaren die hun schepen wel op waterstof willen laten varen. Zij krijgen steun van, wederom, grote verladers die een deel van de investering op zich nemen en van overheden. Innovatie- en subsidieprogramma's van overheden sluiten namelijk beter aan op investeringskosten dan op operationele kosten.

Subsidie	Instantie	Omvang projectsteun	TRL [18]	Opmerkingen
DKTI	RVO	++	5-7	2020 geen budget binnenvaart
DEI+	RVO	++	6-9	
Waddenfonds	Wadden Provincies	+	6-9	
IDB	MINIenW/ EICB	+	4-9	In 2020 niet
SSBIR[19]	HbR/EICB	+	4-9	In 2020 niet
H2020/FCH JU	INEA (EU)	++	3-9	
CEF	INEA (EU)	+++	8/9 & verder	
Interreg	EU	++	3-7	
Topsector Energie	RVO	++	1-8	
Fiscaal: MIA/ VAMIl en/of EIA	RVO	+	7-9 & verder	
Subsidieregeling Duurzame Scheepsbouw	RVO	++	5-9	

Tabel 5: Meest gebruikte subsidieregelingen in Nederland

In Nederland kunnen scheepseigenaren terecht bij in totaal elf regelingen. De in dit onderzoek meest voorkomende (zes van de rijksoverheid, twee van lokale instanties en drie van de Europese Unie) zijn weergegeven in Tabel 5. De regelingen geven subsidie op projectkosten tussen de 10% en 75%. Partijen moeten dus altijd ook zelf geld investeren. Daarnaast hebben de meeste regelingen een maximaal subsidiebedrag per project. Bij de Innovatieregeling Duurzame Binnenvaart (IDB) is dit de afgelopen jaren bijvoorbeeld € 250.000 geweest. Het komt dan ook voor dat projecten op verschillende onderdelen subsidie krijgen uit een mix van kleine en middelgrote subsidieregelingen. Dit is slechts toegestaan onder strikte voorwaarden (geen dubbele subsidie op één investering bijvoorbeeld) en brengt dus een behoefte aan extra expertise met zich mee. Enkele partijen die deze expertise hebben weten met een mix van regelingen, of een enkele grote regeling, hun project van genoeg subsidie te voorzien om met een behapbare eigen inleg daadwerkelijk te kunnen starten. Toch is het algemene beeld dat de vraag naar subsidie het aanbod nog ver overstijgt. Als overheden dit zouden willen, ligt hier een kans om met meer subsidiegelden meer projecten van start te doen gaan.

Enkele partijen die de expertise hebben weten met een mix van regelingen, of een enkele grote regeling, hun project van genoeg subsidie te voorzien om met een behapbare eigen inleg daadwerkelijk te kunnen starten.

4.2.4. Veiligheid en regelgeving

De vierde externe pijler beslaat de veiligheidseisen en het juridische kader om toestemming te krijgen voor varen op waterstof. Scheepseigenaren moeten wat betreft de technische installaties aan boord voldoen aan veiligheidseisen en overige regelgeving van nationale overheden en supranationale organen. Voor zeegaande schepen wordt met dat laatste gedoeld op de regelgeving van de International Maritime Organization (IMO), binnenvaartschepen hebben

18 https://innovencio.nl/technology-readiness-levels/

19 Stimuleringsregeling Schone Binnenvaart en Duurzame Logistiek in Rotterdam: https://www.eicb.nl/projecten/424/

te maken met regelgeving uit de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). Daarnaast vallen beide soorten schepen onder regelgeving van nationale overheden en de Europese Unie. Er is van zowel de IMO als de CCR nog geen specifieke regelgeving voor het varen op waterstof[20].

Waterstof als energiedrager brengt veiligheidsrisico's met zich mee, bijvoorbeeld bij opslag van gasvormige waterstof (onder hoge druk, explosiegevaar) of vloeibare waterstof (onder extreme koude). Om met deze risico's om te gaan op een verantwoorde manier is uitgebreide regelgeving nodig. De uitvoerende sector wil hierbij liefst zo snel mogelijk gefaciliteerd worden door nieuwe regelgeving, terwijl de regelgevende partijen begrijpelijk oog hebben voor de risico's en zorgvuldigheid moeten betrachten. Deze botsing van zienswijzen trad ook op bij het opzetten van regelgeving voor LNG, opgeslagen onder extreem lage temperaturen met alle veiligheidseisen van dien. De binnenvaarsector heeft de periode tussen toepassingswens en nieuwe regelgeving als lang ervaren. Tussen eerste pilot en nieuwe CCR regelgeving verstreek vier jaar, een periode die door regelgevende partijen juist wordt geclassificeerd als regelgeving in recordtijd. Hierbij moet worden opgemerkt dat men gedurende het opstellen van nieuwe regelgeving op basis van uitzonderingen wel LNG schepen in de vaart kon brengen.

Waterstofregelgeving bevindt zich voor zowel short sea als voor binnenvaart nu in het beginstadium: men heeft een uitzonderingsverklaring nodig om op waterstof te mogen varen. Afhankelijk van het vaargebied kan dit aangevraagd worden bij nationale overheden of bij de IMO dan wel CCR.

De impact van veiligheid en regelgeving op een waterstofproject wordt duidelijk bij nadere bestudering van het project "Fuel Cell Boat". Hier werkten Alewijnse, Integral, Linde Gas en Marine Service Noord samen aan de waterstofaandrijving van een rondvaartboot van het Amsterdamse Lovers, de Nemo H2. Het project liep van 2006 tot 2010 en was technisch succesvol. Toch is de Nemo H2 nooit in bedrijf geweest. Naast grote moeilijkheden bij het verkrijgen van de benodigde certificering van de deelsystemen via klasse bureaus, werd het nooit toegestaan om waterstof te bunkeren in het vaargebied[21].

Inmiddels is bij de EU, bij nationale overheden, bij de IMO en bij de CCR wel meer urgentie gekomen voor regelgeving omtrent scheepsaandrijving op waterstof. Zo heeft de CCR plannen voor het opzetten van een werkgroep rondom technische regelgeving voor binnenvaartschepen die van brandstofcellen gebruik maken. Deze werkgroep, CESNI/PT/FC, is begin 2020 voorgesteld en moet de betreffende regels gaan opstellen[22].

Voorlopig zijn scheepseigenaren echter nog aangewezen op uitzonderingsbepalingen die zij kunnen aanvragen bij de verschillende instanties, afhankelijk van het vaargebied. Dit zijn tijdrovende processen waarvoor kennis van zaken en het juiste netwerk belangrijk zijn. Veel van de gevonden concrete projecten zullen dit soort aanvragen zelf moeten doen, of zijn daarbij afhankelijk van een enkele gespecialiseerde partij. Dit alles maakt het voor scheepseigenaren die hier geen ervaring mee hebben tijdrovend en moeizaam om toestemming te krijgen voor hun project.

---

20 De IMO heeft wel regelgeving op gebied van Ro-Ro schepen die voertuigen aangedreven op waterstof aan boord hebben. Zie de IMO website: IMO.org.

21 Het project werd uitgevoerd met steun van Agentschap NL, het eindrapport is beschikbaar via de RVO: https://www.rvo.nl/sites/default/files/rvo_website_content/EOS/DEMO06005.pdf

22 Mededeling van de Duitse delegatie: "Voorstel voor de instelling van een tijdelijke werkgroep voor technische voorschriften voor brandstofcellen op binnenvaartschepen (CESNI/PT/FC)" (CESNI/PT (20)11, 2020).

4.3. De rol van de stakeholders

In de vorige paragrafen werd duidelijk wat de noodzakelijke pijlers voor een waterstofproject zijn. Alle externe pijlers (infrastructuur, de dekking van operationele- en investeringskosten en het verkrijgen van juridische toestemming voor het project) zijn hierboven uiteengezet. Hierbij viel op dat scheepseigenaren op al deze punten afhankelijk waren van derde partijen, en dat het oplossen van de vraagstukken die bij de pijlers horen niet gemakkelijk is. We kunnen stellen dat de beschreven problemen bij iedere pijler de start en succesvolle afronding van meer waterstofprojecten in de weg kan staan.

De partijen waarvan scheepseigenaren afhankelijk zijn laten zich in drie categorieën samenvatten:

- Partijen die logistiek en infrastructuur van waterstof realiseren (producenten, distributeurs);
- Klanten voor afdekking operationele kosten (verladers);
- Partijen die de investeringskosten deels afdekken (overheden middels subsidie, enkele verladers);
- Regelgevende instanties die toestemming verlenen voor varen op waterstof (overheden).

Overheden hebben dus direct invloed op twee van de vier pijlers, en beïnvloeden indirect de andere twee. Verladers zijn bijvoorbeeld te beïnvloeden door het stellen van eisen. Het opbouwen van infrastructuur kan ook door overheden ondersteund worden. Daarnaast kan de overheid met de schepen die zij zelf in bezit heeft (bijvoorbeeld bij de Rijksrederij) de rol van eerste klant oppakken, om daarmee particuliere scheepseigenaren vertrouwen te geven in de mogelijkheden van waterstof.

De overheid zou dus voor een prominentere rol kunnen kiezen. **De interviews toonden een duidelijke behoefte aan een overheid die verbindend werkt, stimuleert en een koers uitzet**. Er zijn meerdere manieren waarop de overheid die behoefte kan invullen als zij dat wenst. Omdat

De interviews toonden een duidelijke behoefte aan een overheid die verbindend werkt, stimuleert en een koers uitzet.

het huidige beeld van de waterstofprojecten nog versnipperd is, is er met name winst te behalen door samenwerking te stimuleren.

In de huidige situatie moeten alle innovatieve partijen, ieder voor zich, de problemen zien op te lossen die in de vorige paragraaf werden beschreven: de infrastructuur, operationele- en investeringskosten die te hoog zijn en het verkrijgen van juridische toestemming. Dit wordt gezien als een gevecht en heeft alleen enige kans van slagen als een grote verlader achter het project staat, het project genoeg subsidiestromen weet aan te boren en er succesvol met waterstofleveranciers wordt samengewerkt wat betreft bunkerlocaties. Zelfs als dat alles lukt kan het resulterende schip, aangedreven op waterstof, niet de concurrentie aan gaan met schepen die op reguliere brandstoffen varen maar zal het alleen kunnen opereren op één vaste route met één vaste klant. Dit terwijl veel scheepseigenaren in de sectoren zichzelf graag op de vrije "spot" markt verhuren. Voor waterstofschepen zal dat vrijwel onmogelijk zijn.

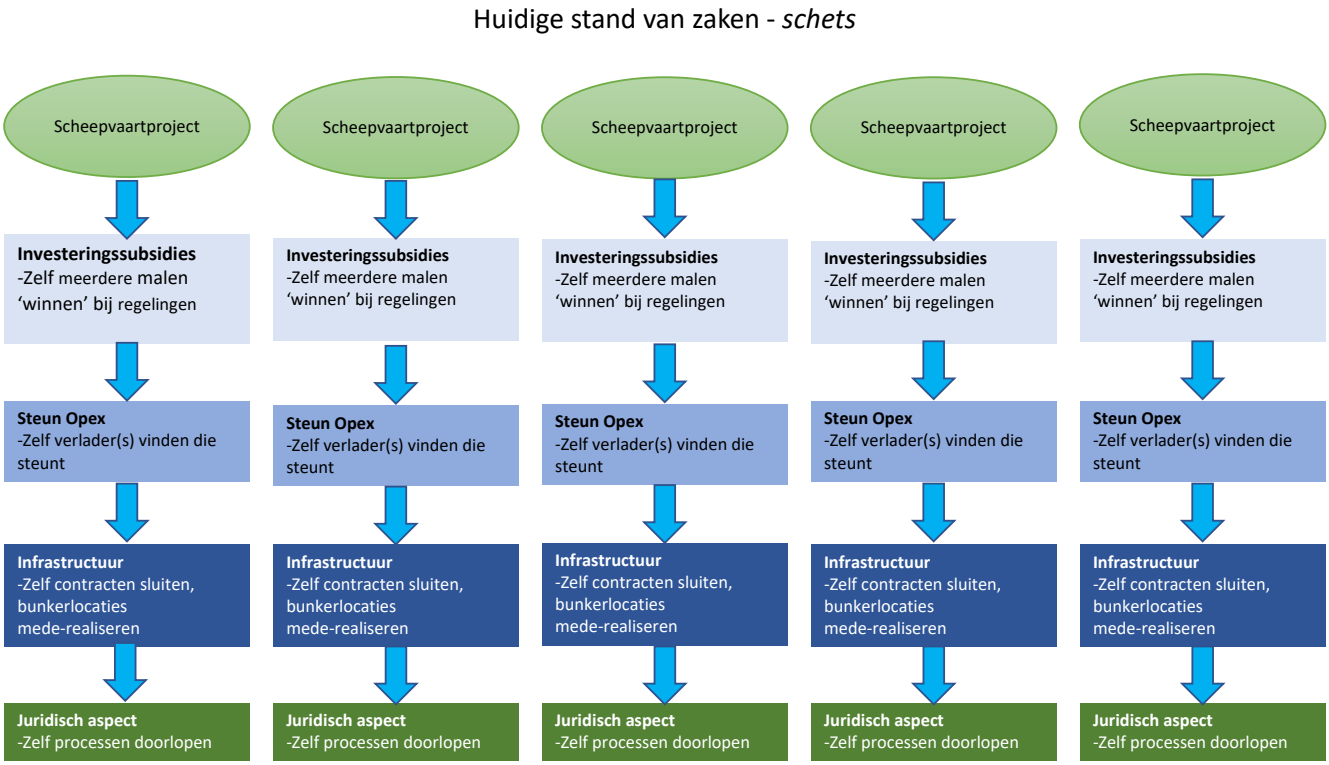
Figuur 22 geeft een schets weer van de huidige situatie: ieder project handelt zelfstandig iedere pijler af. Natuurlijk wordt er onderling informatie uitgewisseld, maar men blijft ieder voor zich verantwoordelijk voor de uitvoering. Dit terwijl de deelnemers aan deze projecten (scheepseigenaren en technische partijen) in hun reguliere werkzaamheden geen kennis van al deze aspecten nodig hebben, gebruiken of opdoen. Het zou geen vreemde stellingname zijn als scheepseigenaren menen dat het succesvol uitrollen van de overstap naar een waterstofaandrijving op hun schip een te hoge verwachting is met al deze bijkomende externe pijlers.

Onderstaand worden drie situaties beschreven die alle gekenmerkt worden door het bundelen van krachten wat betreft de externe pijlers. **Overheden, verladers en brandstofleveranciers creëren samen proeftuinen voor waterstoftoepassing, projectpartners uit de scheepvaart worden hiermee gefaciliteerd.**

4.3.1. De Corridorgerichte aanpak

Kenmerkend voor de huidige situatie is de strakke doelstelling: het realiseren van schepen, varend op waterstof in de Nederlandse short sea en binnenvaart. Partijen uit deze sectoren die hieraan willen bijdragen zijn scheepseigenaren en constructeurs van aandrijflijnen. Zij denken vanzelfsprekend eerst aan de interne kwesties op het schip. Wanneer zij na onderzoek concluderen dat waterstof als energiedrager technisch mogelijk is aan boord richten zij zich op de externe pijlers (zie de vorige paragraaf en Figuur 22).

De corridorgerichte aanpak draait dit om. Het doel is niet langer om één of enkele schepen op waterstof te realiseren, maar om binnen een totale corridor het transport te vergroenen. **Overheden** stellen hiervoor budget beschikbaar, maar maken het ook juridisch mogelijk om duurzame pilots veilig uit te voeren binnen de corridor. **Grote verladers** komen met langjarige contracten voor scheepvaartondernemingen

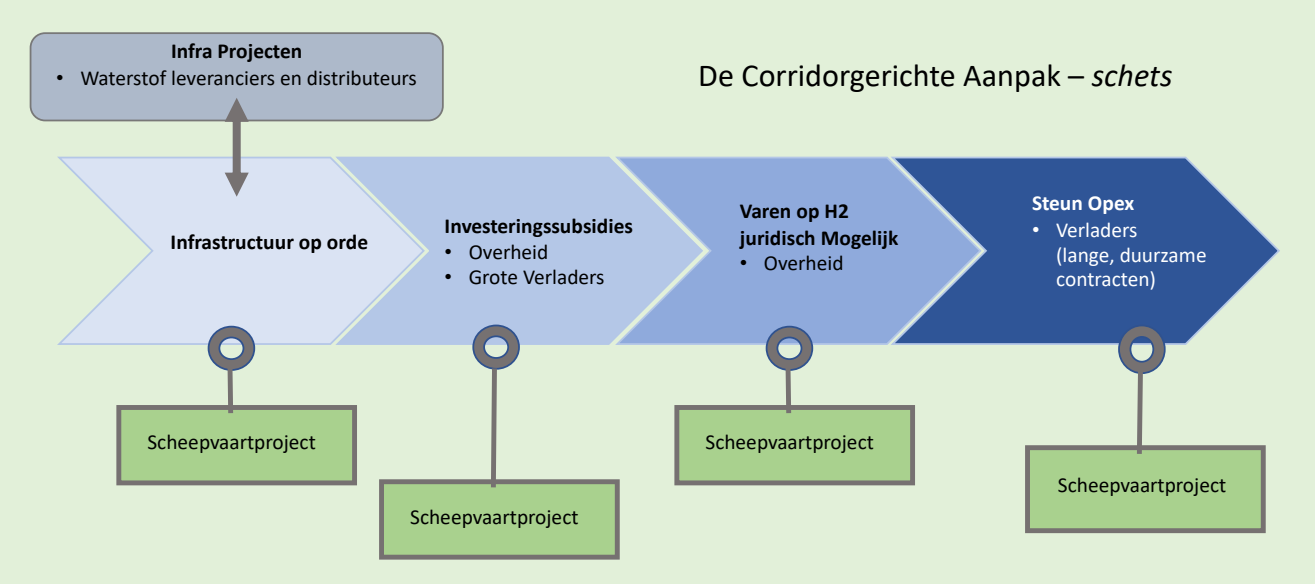


Figuur 22: Huidige stand van zaken realiseringsproces.

Als overheden en verladers middelen beschikbaar stellen voor investeringssubsidies, verladers langjarige vervoerscontracten aanbieden voor duurzaam vervoer, en de infrastructuur binnen de corridor door aparte infrastructuurprojecten wordt aangelegd, ontstaat een proeftuin waarbinnen scheepvaartondernemers zich alleen hoeven te richten op de technische aanpassingen op hun schip.

die hen helpen met het verduurzamen van hun transportstromen. Dit leidt tot een Groene- of Waterstofcorridor, waar partijen uit de waterstof infrastructuur (met steun uit de corridor) projecten kunnen starten om bunkerpunten en overige infrastructuur te realiseren. Hiernaast kan een overlegstructuur worden gerealiseerd waarbinnen overwogen keuzes tussen verschillende vormen en dragers van waterstof gemaakt kunnen worden. Overheden treden regisserend op: zij brengen alle benodigde partijen bij elkaar.

Nu overheden en verladers middelen beschikbaar stellen voor investeringssubsidies, verladers langjarige vervoerscontracten aanbieden voor duurzaam vervoer, en de infrastructuur binnen de corridor door aparte infrastructuurprojecten wordt aangelegd, ontstaat een proeftuin waarbinnen scheepvaartondernemers zich alleen hoeven te richten op de technische aanpassingen op hun schip. Investeringskosten, operationele kosten en het infrastructuur vraagstuk worden door derde partijen opgelost. Bij het juridisch aspect wordt ondersteuning geboden. Scheepseigenaren hoeven niet langer zelf contact te zoeken met distributeurs van waterstof met de vraag waar, hoe en voor hoeveel geld zij waterstof kunnen bunkeren. Ook hoeft men niet langer zelf een verlader te zoeken die het specifieke project wil steunen en men hoeft zelf het juridische proces niet te doorlopen, of althans niet zonder hulp uit de corridor-organisatie. Men zal nog altijd een aanvraag voor subsidie moeten doen, maar deze aanvraag beslaat dan het hiervoor beschreven totaalpakket in plaats van alleen (een deel van) de benodigde investeringssubsidie.



Figuur 23: Draft van Corridorgerichte aanpak.

Figuur 23 beschrijft de nieuwe situatie:

- Klanten voor afdekking operationele kosten (verladers);
  - Maken samen met overheid de corridor mogelijk, alle deelnemende projecten krijgen langjarige contracten met afdoende compensatie.
- Partijen die logistiek en infrastructuur van waterstof realiseren (producenten, distributeurs);
  - Maken gebruik van de mogelijkheden die de corridor biedt om projecten te starten, realiseren zo de benodigde infrastructuur.
- Partijen die de investeringskosten deels afdekken (overheden middels subsidie, soms verladers, ondersteuning van financiële instellingen);
  - Overheid en verladers maken de corridor mogelijk, alle deelnemende projecten krijgen voldoende investeringssteun;
  - Banken en overige financiële instellingen faciliteren bij de financiering.
- Regelgevende instanties die toestemming verlenen voor varen op waterstof (overheden).
  - Overheden op de corridor werken samen en ondersteunen projecten actief bij het aanvragen van de benodigde toestemmingen.

Deze aanpak wordt met interesse bekeken door de kennisinstellingen en een aantal provincies en is al in beginnende vorm terug te zien in enkele projecten, zoals de door de DKTI ondersteunde proeftuinen, het ISHY project en het H2Ships project. Het RH2INE project is wellicht het meest sprekende voorbeeld, dit wordt geïllustreerd in paragraaf 4.3.4. Hiernaast zijn er veel schippers die graag zouden verduurzamen, maar niet weten hoe en de stap door het economische risico niet durven te zetten. Voor hen zou de corridorgerichte aanpak een steun in de rug zijn.

In deze situatie kan men ook de link leggen naar de eerder beschreven interne pijler, de technische (aandrijvings-) systemen aan boord en de veiligheidsaspecten. De duidelijkheid die de corridorgerichte aanpak biedt op het gebied van infrastructuur en regelgeving, kan worden doorgetrokken naar standaardisatie van technische systemen aan boord. Dit stelt leveranciers van aandrijvingssystemen in staat one-size-fitsmost oplossingen te ontwerpen en daarmee schaalvoordelen te behalen. Deze standaardisatie maakt het ook voor kleinere werven makkelijker om hun klanten te voorzien van waterstofoplossingen.

Deze aanpak is zeer veelomvattend en daarom waarschijnlijk alleen te realiseren als de Rijksoverheid er een actieve, leidende, rol in neemt.

4.3.2. De Focale Punten Aanpak

De focale punten aanpak lijkt in grote lijnen op de corridorgerichte aanpak, maar is daar een beperktere versie van. In plaats van grootschalige samenwerking binnen een totale corridor, vindt de hierboven beschreven aanpak op kleinere schaal plaats binnen zogenoemde focale punten. Deze versie kan verschijnen wanneer de Rijksoverheid zich niet actief en leidend op wil stellen. Organisaties geclusterd om enkele belangrijke punten in het Nederlandse logistieke landschap kunnen dan de leiding nemen.

De meest logische partijen lijken in dit scenario de grote zeehavens te zijn: de havens van Rotterdam en Amsterdam. Verwacht wordt dat kleinere zeehavens, bijvoorbeeld North Sea Port, Den Helder en de Eemshaven zich later zullen aansluiten, op nog langere termijn gevolgd door de grootste binnenhavens. Het verduurzamingsdoel zal zich richten op specifieke havens. Er ontstaat dan een situatie waarin de grote zeehavens gaan

Enkele partijen die deze expertise hebben weten met een mix van regelingen, of een enkele grote regeling, hun project van genoeg subsidie te voorzien om met een behapbare eigen inleg daadwerkelijk te kunnen starten.

Een mogelijk scenario is dat een provincie, ondersteund door haar grootste gemeenten, de corridorgerichte aanpak op kleine schaal zal toepassen op al haar vaarwegen. Dit levert regionaal een waterstofnetwerk op.

samenwerken met de belangrijkste logistieke partijen en infrastructuur-partners ter plaatse om, net als in de corridorgerichte aanpak, een proeftuin te realiseren waar projecten gericht op scheepvaart enkel op in hoeven te schrijven. Het is wel de verwachting dat de beschikbare fondsen dan minder groot zijn en er dus minder volume aan waterstofschepen kan worden gerealiseerd. Scheepvaartprojecten die wel worden gefaciliteerd krijgen dezelfde type ondersteuning als genoemd in en onder Figuur 23, wellicht in iets mindere mate.

Logistieke stromen die zich afspelen tussen, of met frequente stops in de grote zeehavens zullen zo op waterstof over kunnen stappen. Voor schepen die kleine zeehavens aandoen, of het achterland bedienen is er geen geschikte infrastructuur.

4.3.3. De Regiofocus Aanpak

De Regiofocus aanpak is de corridorgerichte aanpak in het klein. Als de Rijksoverheid geen actieve en leidende rol in de transitie van scheepvaart naar waterstof pakt, zijn er waarschijnlijk regionale overheden die op langere termijn deze rol decentraal gaan vervullen. Het is weer de verwachting dat de beschikbare fondsen minder groot zijn en er dus minder projecten gerealiseerd zullen worden. Scheepvaartprojecten die wel worden uitgekozen krijgen, net als bij de focale punten aanpak, dezelfde steun als genoemd in en onder Figuur 23, wellicht in iets mindere mate.

Een mogelijk scenario is dat een provincie, ondersteund door haar grootste gemeenten, de corridorgerichte aanpak op kleine schaal zal toepassen op al haar vaarwegen. Dit levert regionaal een waterstofnetwerk op, maar scheepvaartprojecten die deelnemen zijn buiten de regio niet gegarandeerd van de benodigde infrastructuur. Als meerdere provincies samenwerken komt de schaal van de corridorgerichte aanpak weer in beeld.

4.3.4. RH2INE: een eerste stap naar de corridorgerichte aanpak

Het 'Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence', kortweg RH2INE, is een initiatief van de Provincie Zuid-Holland en de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen. Hiernaast bestaat het consortium hoofdzakelijk uit (binnen-) havens, provincies, producenten en leveranciers van waterstof, enkele scheepseigenaren en toeleveranciers, kennisinstellingen en een verlader. Dit initiatief wordt ondersteund door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. RH2INE richt zich op productie, opslag, infrastructuur, distributie en bunkering van waterstof langs de Rhine-Alpine corridor. Hiervoor wordt gepoogd subsidie te verkrijgen van de Connecting Europe Facility (CEF).

Figuur 24: Het RH2INE project richt zich op productie, opslag, infrastructuur, distributie en bunkering van waterstof langs de rhine-alpine corridor.
Bron: rh2ine.eu

De doelen van RH2INE zijn onderstaand kort uiteengezet.
"Goals 2024:

- A network of hydrogen production locations along the river Rhine between Rotterdam and Cologne;
- A total of 10-15 operational hydrogen propelled inland vessels and the availability of 1,950 tons of hydrogen.

Ambition 2030:

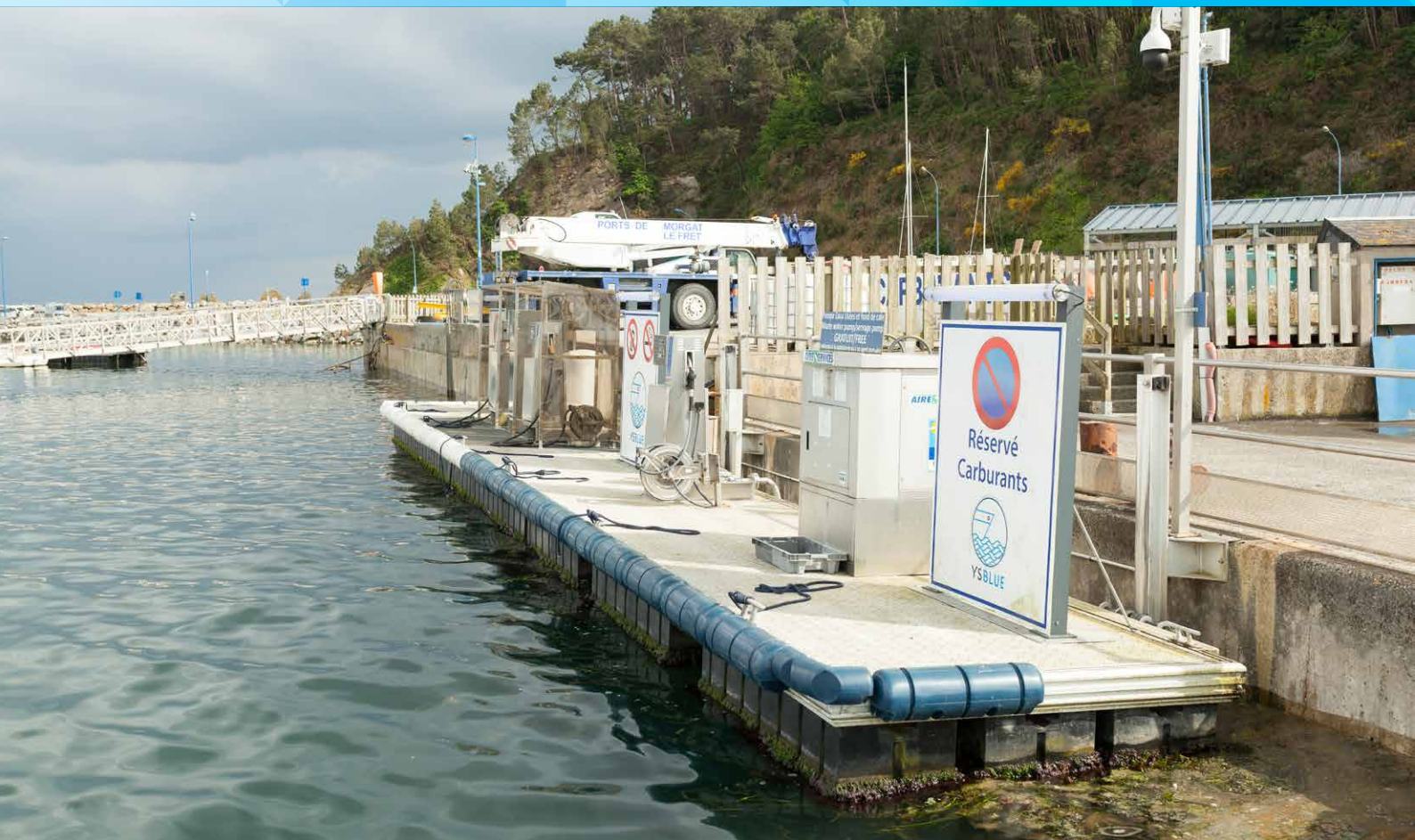
- 50-100 operational hydrogen propelled inland vessels."[23]

Behoeften op het gebied van investering, operationele kosten, infrastructuur en juridische aspecten worden niet door kleine projecten ieder voor zich opgelost, maar zijn onderdeel van één groot project. Dit leidt tot gestructureerde vraag naar waterstof van een verduurzamende transportsector, ondersteund door de supply chain die (mede door) RH2INE gerealiseerd wordt.

De RH2INE doelen en ambities sluiten aan bij de hierboven uiteengezette aanpak, namelijk het richten op verduurzaming door waterstof van een volledige transportcorridor. Dit is dan ook een interessant voorbeeld van een corridorgerichte aanpak (dan wel Focale Punten- of Regiofocus Aanpak). Mocht het consortium slagen in het binnen halen van een Grant van de Connecting Europe Facility, dan ontstaat een zeer concreet en veelzijdig project. Zonder een toegekende Grant is het bestaande consortium nog altijd te gebruiken als fundering voor een nationale corridorgerichte aanpak, zeker als naast overheden ook meer grote verladers toetreden.

23 Bron: https://www.rh2ine.eu/latest-news/principes/

Behoeften op het gebied van investering, operationele kosten, infrastructuur en juridische aspecten worden niet door kleine projecten ieder voor zich opgelost, maar zijn onderdeel van één groot project. Dit leidt tot gestructureerde vraag naar waterstof van een verduurzamende transportsector, ondersteund door de supply chain die (mede door) RH2INE gerealiseerd wordt.


PORTS DE MORGAT LE FRET
Réservé
Carburants
YSBLUE

5. HANDELINGSPERSPECTIEVEN

Uit de inventarisatie, gepresenteerd in hoofdstuk 2, blijkt dat er in de Nederlandse binnenvaart en short sea sprake is van een kleine maar actieve groep partijen die werken aan waterstoftoepassingen. Alleen al deze groep koplopers wil in de nabije toekomst zo'n 16 tot 65 waterstofschepen realiseren (zie hierboven). Daarnaast is duidelijk geworden dat de groep geïnteresseerde ondernemers groeiende is. Kenners van de sector spreken van een significant aantal projecten die vooralsnog een laag profiel houden en een grote groep partijen die zich in de oriënterende fase bevindt. Al deze activiteit is des te opmerkelijker, omdat het Rijk vooralsnog een bescheiden stimuleringsinstrumentarium inzet. Het ligt in de lijn der verwachtingen dat een ambitieus innovatieprogramma de latente ambitie bij marktpartijen zal aanwakkeren.

Naar aanleiding van de interviews met betrokken partijen en het deskresearch is een aantal handelingsperspectieven geformuleerd die in deze paragraaf worden samengevat. Wanneer werd gesproken met partijen uit het veld, kwam steevast naar voren dat er grote behoefte is aan een door de overheid uitgezette 'robuuste koers'. Het vertrouwen in een succesvolle verduurzaming van de sector zou toenemen bij voortvarendheid op het gebied van regelgeving en bij voorspelbaarheid van de te verwachten inzet van publieke middelen voor waterstofprojecten. Daarnaast is er behoefte aan het samenbrengen van expertise en uitvoeringsmogelijkheden (community building): het huidige speelveld wordt als versnipperd ervaren.

Alleen al deze groep koplopers wil in de nabije toekomst zo'n 16 tot 65 waterstofschepen realiseren.

5.1. Instrumenten

In paragraaf 4.3 werd al beschreven hoe de sector gestimuleerd kan worden tot het realiseren van meer door waterstof aangedreven schepen. De hieronder beschreven handelingsperspectieven reiken overheid, verladers en bankwezen een aantal mogelijkheden aan om de waterstofinnovatie in de sectoren gezamenlijk verder te stimuleren.

1. **Faciliteren van basisinfrastructuur**
   Het eerste handelingsperspectief betreft faciliteren van een (basale) infrastructuur: bunkerpunten voor waterstofafname door de scheepvaart en organisatie van de bijbehorende distributieketen. Deze infrastructuur kan niet worden gerealiseerd door de scheepvaartsector zelf, maar alleen door gespecialiseerde partijen. Het is daarom van belang dat het voor deze partijen aantrekkelijk wordt gemaakt een waterstofnetwerk op te bouwen waar de scheepvaart gebruik van kan maken. Faciliteren is hier een samenspel tussen leveranciers en distributeurs van waterstof, verladers, overheden en het bankwezen.

2. **Financieel Stimuleren**
   Het tweede handelingsperspectief is het bundelen van stimuleringskracht om scheepseigenaren te compenseren voor de hoge investeringskosten en de permanent hoge operationele kosten van waterstofaandrijving. De benodigde financiële mogelijkheden liggen bij de klanten van de sector, de verladers, het bankwezen en overheden. Als deze partijen zich verenigen en significante budgetten beschikbaar stellen, in de vorm van subsidie of langlopende (kostendekkende) contracten of gunstige leningen, zal de animo voor waterstofprojecten onder scheepseigenaren toenemen. Het risico van de investeringen kan niet alleen door de scheepseigenaren gedragen worden, maar dient verdeeld te worden

in de logistieke keten. Interessant voorbeeld is het recent gelanceerde ZES concept, waar een consortium bestaande uit een bank, een energieleverancier, een maritiem technologiebedrijf en een havenbedrijf, het flexibel huren van batterijcontainers mogelijk maakt met wisselpunten op strategische plekken.

3. **Normeren**
   Het derde handelingsperspectief is het opstellen van een handboek voor het juridisch aspect. Het ontzorgen van scheepseigenaren bij het tijdrovende en complexe proces van het organiseren van de juiste vergunningen, uitzonderingen en toestemmingen zal een stimulerend effect hebben. Zo wordt in ieder geval een flinke drempel weggenomen dan wel verlaagd. Overheden zouden de loketfunctie die de Inspectie Leefomgeving en Transport al heeft opgezet nog kunnen uitbreiden en/of een gedeelte hiervan specifiek voor waterstof inrichten. Aanpassing van regelgeving is waarschijnlijk ook noodzakelijk, zodat men een toetsingskader heeft bij de transitie naar waterstof. Standaardisatie van systemen aan boord zal, daarnaast, de mogelijkheid voor leveranciers van waterstof aandrijfoplossingen de kans geven uniforme systemen te produceren en zo sneller van schaalvergroting te profiteren.

4. **Gecoördineerde aanpak**
   Als overheden en verladers het bovenstaande oppakken, mag er een significante stijging in het aantal waterstofprojecten worden verwacht. Echter: het dilemma van het versnipperde speelveld, waarin bijna gesproken kan worden van een situatie waarin iedereen het wiel zelf opnieuw moet uitvinden, is daarmee niet opgelost. Het vierde handelingsperspectief is dan ook: het combineren van bovenstaande acties onder één centrale aanpak, gericht op het met waterstof verduurzamen van een bepaalde toeleveringsketen, corridor of regio. Dit resulteert in een proeftuin waar externe pijlers van tevoren worden afgedekt. Scheepvaartprojecten richten zich alleen nog op de directe toepassing van waterstof aan boord. De corridorgerichte aanpak, de meest omvangrijke versie van dit idee, vergt een actieve trekkersrol van grote verladers, de Rijksoverheid, kennisinstellingen en financiële instellingen, met voldoende kennis en budget om projecten (financieel) te steunen. Deze grote inspanning levert de meeste schepen op waterstof op. Deze aanpak en de variaties daarop zijn uiteengezet in paragraaf 4.3.

5. **Community building**
   Als ondersteuning bij bovenstaande punten is een overlegstructuur tussen de sector, verladers, het bankwezen, de waterstofindustrie, havenbedrijven en overheden een waardevolle fundering. Dit biedt partijen een gestructureerde omgeving om te bouwen aan het realiseren van een gezamenlijke aanpak. Dit soort vormen van community building hebben zich bijvoorbeeld bewezen bij de invoering van de Stage-V emissie eisen voor de binnenvaart. In een specifieke werkgroep van het EICB Innovationlab werd door de sector, bankwezen, overheid en toeleveranciers samengewerkt om hiervoor oplossingen te bedenken. Een inspanning die zich onlangs zag uitbetaald in de certificering van de eerste aan te schaffen motor voor de binnenvaart.

Tot slot mag dit onderzoek worden opgevat als een hoopvolle boodschap: de binnenvaart en short sea sectoren hebben in het huidige klimaat al verbazingwekkend veel initiatief getoond wat betreft waterstof. Als de sector, de verladers en overheden samen optrekken met een gecoördineerde aanpak gericht op het verduurzamen van een totale corridor, dan mag verwacht worden dat het aantal waterstofinitiatieven in binnenvaart en short sea drastisch zal toenemen.

5.2 Aanvullende onderzoeken

Op het moment van schrijven heeft EICB inzicht in een aantal interessante acties, die in zekere zin een vervolg zijn van dit onderzoek.

Ten eerste betreft het een onderzoek door het Duitse Development Centre for Ship Technology and Transport Systems, kortweg DST. Als onderdeel van een studie naar financiering van de energietransitie in de binnenvaart, is aan DST opdracht gegeven een vergelijking te maken tussen verschillende technologieën die kunnen bijdragen aan de energietransitie. Het rapport, waarschijnlijk binnenkort gepubliceerd, zal dieper ingaan op de voor- en nadelen van waterstofvaren en een gedetailleerd overzicht geven van de te verwachten investeringskosten en operationele kosten. Het stelt de lezer dan ook in staat waterstof te vergelijken met andere technologieën (naar verwachting methanol, LNG, batterijen en HVO).

Het is voorzien binnen het Rh2ine consortium om onderzoek te laten doen naar zowel het ontbrekende wettelijke kader voor varen op en bunkeren van waterstof; benodigde infrastructuur voor de corridor Rotterdam-Duisburg; optimaal ontwerp waterstof bunkerstations en enkele relevante scenario's voor transport, bunkering en configuraties voor waterstof.

Naast deze onderzoeken heeft de Provincie Zuid-Holland verschillende partijen gevraagd een offerte op te stellen voor een onderzoek naar tijdspad, fasering en kader van verschillende verduurzamingsmogelijkheden voor de scheepvaart. In tegenstelling tot het bovenstaande onderzoek, zal dit toekomstige onderzoek zich naast een technische en economische vergelijking van verschillende technologieën ook moeten richten op de maatschappelijke effecten en het beleidsaspect.

Deze onderzoeken kunnen interessante bouwstenen zijn voor een exacte inpassing van waterstof in de maritieme sectoren.

Afgenomen interviews:

- interview Arjen Uytendaal , NML, Rotterdam, 26-02-2020;
- interview Roel van de Pas, NWBA/Nedstack, Arnhem, 24-02-2020;
- interview Jörg Gigler en Marcel Weeda, TKI nieuw gas, Amsterdam 18-2-2020;
- interview Robert Dencher, Hans van Vliet en Jean-Paul de Poorter, H2-Platform, telefonisch, 10-03-2020;
- interview Nick Lurking, KVNR, telefonisch, 12-04-2020;
- interview Gertjan de Gelder, Sander Roosjen, Koedood, telefonisch, 16-04-2020;
- interview Klaas Visser, TU Delft, telefonisch, 19-04-2020.

Algemene Bronnenlijst:

- German Government Perspectiveson Hydrogen at Ports and At-SeaMarine Applications, E. Schumacher, H2@ Ports Workshop Sept. 10, 2019 | San Francisco, CA;
- Waterstof voor de energietransitie, TKI Nieuw Gas, 2019;
- Perspectives for the Use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping, MariGreen Consortium, 2018;
- Outlook for a Dutch hydrogen market, Rijksuniversiteit Groningen, 2019;
- DKTI-Transport: Projecten 2019, RVO, 2019;
- Feasibility study for a zero emission, hydrogen fuel cell powertrain for the Gouwenaar II, TNO, 2019;
- Op weg naar een klimaatneutrale binnenvaart per 2050, Panteia, 2019;
- The Future of Hydrogen, IEA, 2019;
- A review of fuel cell systems for maritime applications, Van Biert et. Al., 2016;
- Study on the use of fuel cells in shipping, EMSA, 2017;
- Assessment of selected alternative fuels and technologies, DNV-GL, 2018;
- Study on the use of Fuel Cells in Shipping, EMSA, 2018;
- Waterstof: Kansen voor de Nederlandse Industrie, FME, 2019;
- Waterstof: Vraag en aanbod nu – 2030, Gasunie, 2019;
- 'Marinisering' en integratie van waterstoftechniek voor binnenvaart en short-sea toepassingen, Topsector Energie, 2018;
- Eindrapport "E-Container-Logistiek aan de Rijn en Waal", 2019, Remco Hoogma (gem. Nijmegen), Bert de Groot (BCTN), Tayhan Öze, Christopher Olvis (Energy Engineers);
- Waterstofroutes Nederland, Blauw, Groen en Import, CE Delft, 2018;
- Klimaatakkoord.nl;
- Waterstof voor off-grid toepassingen, Recoy BV en ECN, 2019;
- Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens, 2019;
- Contouren van een routekaart waterstof, TKI Nieuw Gas, 2018;
- Eindrapportage H2 Power Module voor de Binnenvaart, Consortium H2 Power Module project, 2019.

BIJLAGE A

Lijst samengesteld d.m.v. desk research EICB en vergelijkbare lijsten van de RVO, ENVIU en de CCNR.

	Projectnaam	Consortium	Schip	Locatie	Tijdlijn	Brandstof	Soort (aandrijving/productie/infra)	IWT/SS	Vermogen	Verschijningsvorm	Subsidie	Link
1	Crew Transfer	CMB (BE) / Vattenfall // windcat workboats	Hydrocat	NL-IJmuiden	eind 2020	Waterstof	aandrijving	Offshore	-	-	-	https://fuelcellsworks.com/news/cmb-technologies-and-windcat-to-develop-hydrogen-crew-transfer-vesselsctvs-project/
2	FELMAR 'Marinisering' en integratie van waterstoftechniek voor binnenvaart en short-sea toepassingen	Nedstack, Damen, FPS, Marin, MSN, holland ship electric	-	NL	eind 2019	Waterstof	aandrijving	beiden	40KW	-	DKTI/TSE	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/marinisering-en-integratie-van-waterstoftechniek-voor-binnenvaart-en-short-sea-toepassingen-00031425
3	Flagships	CFT (french), VTT, NCE, ABB	Push Boat	FR	2019-2021	Waterstof	aandrijving	beiden	-	-	FCH JU	flagships.eu
4	Flagships	CFT (french), VTT, NCE, ABB, Norled	Ferry	NO	2019-2021	Waterstof	aandrijving	beiden	-	-	FCH JU	flagships.eu
5	Future Proof Shipping	Future Proof Shipping, Holland Shipyards Group	MS Maas	NL	2020-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	635KW	Gas/Vloeibaar	SSBDLiR	https://futureproofshipping.com/pilot/
6	Green hydrogen for BP refinery	PoR	Geen	NL-Rotterdam	-	-	productie	Geen	-	-	-	https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/bp-nouryon-and-port-of-rotterdam-partner-on-green-hydrogen-study
7	Groen Varen	E-Naval BV	-	NL	-	-	aandrijving	Jachtbouw	-	-	-	-
8	H Energy Island	PoR / TuD	Geen	NL-Rotterdam	-	Waterstof	TuD - developement / PoR- Distributie	Bunkeren	-	-	-	-
9	H2ermes	PoAmsterdam, TATA, NOURYON	Geen	NL-Amsterdam	-	Waterstof	productie, regionale verduurzaming	Geen	-	-	-	https://www.portofamsterdam.com/nl/nieuwsbericht/nouryon-tata-steel-en-port-amsterdam-werken-samen-aan-project-h2ermes-groene-waterstof
10	H2Ships	ElfER (DE), PoA	Directieschip PoA	NL-Amsterdam	2019-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	-	Poedervormig	Interreg	https://www.nweurope.eu/projects/project-search/h2ships-system-based-solutions-for-h2-fuelled-water-transport-in-north-west-europe/
11	H2Ships	ElfER (DE), PoA	Geen, bunkersysteem oostende	BE	2019-2022	Waterstof	aandrijving	-	-	-	Interreg	https://www.nweurope.eu/projects/project-search/h2ships-system-based-solutions-for-h2-fuelled-water-transport-in-north-west-europe/
12	H2Watt	ABH Engineering, Mariko, FME, Hochschule Emden Leer, rederij Norden Frisia	Watertaxi	Waddenzee NL/DE	2019-2021	Waterstof	aandrijving, productie	SS	-	-	Interreg (5A)	https://www.fme.nl/nl/nieuws/waterstofpilot-ameland-en-borkum
13	H-vision: Blue Hydrogen	Deltalinqs, PoR	-	NL-Rotterdam	-	Waterstof	productie	Geen	-	-	-	https://www.deltalinqs.nl/h-vision
14	Hydroville	CMB (BE)	Hydroville	BE	2017-2018	Waterstof en Diesel	aandrijving	IWT	441KW	Verbranding	-	hydroville.be
15	ISHY	PoOostende, zilvermeeuw BV, Yreseke Engine Services, Zepp Solutions BV	Zilvermeeuw	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Vessels and ports	-	-	Interreg	https://www.interreg2seas.eu/en/implementation-ship-hybridisation
15	ISHY	PoOostende	Vera Cruz	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Vessels and ports	-	-	Interreg	https://www.interreg2seas.eu/en/implementation-ship-hybridisation
16	ISHY	PoOostende	-	BE	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Vessels and ports	-	-	Interreg	https://www.interreg2seas.eu/en/implementation-ship-hybridisation
17	OZEGW: Ontwikkeling zero-emission geintegreerd waterstofsysteem 100ekw	Koedood, De Ruyter Dieseltechniek, HEAT.lab, Nedstack, Da Vinci College	Geen	NL	2020-2021	Waterstof	Aandrijving	IWT	100Kw	Gasvormig	SSBDLiR	-
18	RH2INE (Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence)	MinI&W, Provincie Zuid-Holland, Deelstaat Noordrijn-Westfalen, PoR	Geen	NL/DE	2020-2024	Waterstof	2024: 10 H2 IWT schepen op de Rijn. Productie en infra	IWT, infra	-	-	EU aanvraag	https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/klimaatneutrale-rijn-alpen-corridor
19	SeaShuttle	Samskip	Samskip schip	NO	-	Waterstof	aandrijving	Short Sea			Noorse Subsidie	https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/samskip-leads-project-to-develop-hydrogen-fuel-cell-box-ships-22221
20	Studie transport H2	Deme, Engie, Exmar, Fluxys, Port of Antwerp, Port of Zeebrugge en Waterstof.net	Geen	BE	-	Waterstof	productie, transport, bunkeren	shipping	-	-	-	https://www.portofantwerp.com/nl/news/samenwerkingsakkoord-voor-transport-waterstof?_cldee=ai52b2dlbGFhckBiaW5uZW52YWFydC5ubA%3d%3d&recipientid=contact-36935c1c6528e41189126c3be5bebf30-48e7726824004cc0b96e717f66edfbd2&utm_source=ClickDimensions&utm_medium=email&utm_campaign=201912_Radar_NL&esid=ce97aba0-d020-ea11-a810-000d3a4b2a09
21	Study on zero-emissions hydrogen shipping	Nouryon en NPRC	Geen	NL	-	Waterstof	prodcutie, transport, bunkeren, aandrijving	IWT	-	-	-	https://www.nouryon.com/news-and-events/news-overview/2019/partners-cast-off-for-study-on-zero-emissions-hydrogen-shipping
22	SWIM	Enviu BV	Watertaxi	NL-Rotterdam	2019-2023	Waterstof	aandrijving	IWT	30Kw	Waarsch. gas	IDB	https://www.enviu.org/2020/02/12/first-hydrogen-fueled-water-taxi-being-developed-by-enviu-and-partners/
23	Tanker op H2	Koedood	Tanker	NL	2018-2020	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	IDB	-
24	WASh2Emden	DE (Niedersachsen Ports, Mariko)		DE	2018-2020	Waterstof	prodcutie, transport, bunkeren, aandrijving	Haven, maar ook beiden		-	Duitse Subsidie	https://www.mariko-leer.de/portfolio-item/wash2emden/
25	Waterstof op het Water	PTC, TATA, PoAmsterdam, TuD		NL	Niet gestart	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	-	http://waterstofophetwater.nl/
26	Waterstofschip	Theo Pouw, Koedood, Stork, Scheepswerf Poppen Zwartsluis	Nieuwbouw Container Cemt V	NL	Niet gestart	Waterstof	aandrijving	IWT	-	Waarschijnlijk Gas	-	-
27	WEVA	Lenten Scheepvaart BV (NPRC)	Bestaand binnenvaartschip	NL	2019-2022	Waterstof	aandrijving	IWT	500Kw	Gasvormig	IDB	https://nprc.eu/2019/10/03/trossen-los-voor-zero-emission-waterstofschip/
28	Proeftuin H2 in Den Helder	Damen, Pitpoint, Port of Den Helder, ENGIE, FME, TU Delft, New Energy Coalition, Bureau Veritas	Damen ontwikkelt en test (haven)schip	NL	2019-	Elektrisch+ h2 range extender	aandrijving (H2 range extender), productie, bunkeren	?	-	Gasvormig	DKTI & Waddenfonds	https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/12/DKTI2%20Vaartuigen_web.pdf
29	Proeftuin H2 Elektrisch Binnenvaart Bouwtransport	ZOEV City B.V., Mokum Maritiem, H2Consultancy, TNO, Bouwaanvoerder B.V. Port of A'dam	Duwboot	NL	2019-	Waterstofhybride	aandrijving	-	-	-	DKTI	https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/12/DKTI2%20Vaartuigen_web.pdf
30	River Cell	TU Berlijn en partners	Duwboot Elektra	DE	2020-	Waterstof	aandrijving	IWT	100Kw	-	Duitse Subsidie	https://www.marsys.tu-berlin.de/menue/forschung/elektra_2/
31	HyMethShip	COLIBRI BV, LEC GMBH	-	DE	2018-2021	Methanol-Waterstof	aandrijving	SS	-	Verbranding	H2020	https://www.hymethship.com/
32	Alternatieve Brandstoffen voor de Scheepvaart	Koers&Vaart, PitPoint	-	NL	-	Waterstof en/of Methanol	Verkenning	-	-	-	DKTI/TSE	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/alternatieve-brandstoffen-voor-de-scheepvaart-00031848
33	H2 Power Module voor de binnenvaart	Mobiele Stroom BV	-	NL	-	Waterstof	Haalbaarheid	-	-	-	DKTI/TSE	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/h2-power-module-voor-de-binnenvaart-00031865
34	Haalbaarheid nieuw CO2 neutraal groen waterstof aangedreven cruise schip	Actieve Vaarvakanties	-	NL	-	Waterstof	Haalbaarheid	-	-	-	-	-
35	Haalbaarheid ammoniak brandstofcelaandrijving river cruise schip	STG Rivercruise	-	NL	2018-	Ammoniak	Haalbaarheid	-	-	-	RVO/MIT	https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/haalbaarheidsonderzoek-ammoniak-brandstofcelaandrijving-river-cruise-schip
36	ShipFC Project	NCE Marine Cleantech,Eidesvik Shipping, Equinor, Prototech, Yara, Wartsila NO, Persee University of Strathclyde	Viking Energy	NO	-	Ammoniak	aandrijving	Offshore	2MW	Ammoniak	FCH JU	https://www.fch.europa.eu/news/major-fch-ju-funded-project-will-install-world%E2%80%99s-first-ammonia-powered-fuel-cell-vessel

	Projectnaam	Consortium	Schip	Locatie	Tijdlijn	Brandstof	Soort (aandrijving/productie/infra)	IWT/SS	Vermogen	Verschijningsvorm	Subsidie	Link
37	Zemships	Stad Hamburg, HHA Hamburger Hochbahn Aktiengesellschaft,Proton Motor Fuel Cell, Germany Linde AG,Germanische Lloyd AG, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Nuclear Research Institute plc, Husinec–Rez	Alsterwasser, heeft gevaren!	DE	2006-2010	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	LIFE	https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3081
38	Fuel Cell Boat	Alewijnse, Integal, Linde Gas, Lovers, MSN	Nemo H2	NL-Amsterdam	2006-2010	Waterstof	aandrijving en bunkerlocaties	IWT	50-100Kw	Gas	RVO/EOS	https://www.rvo.nl/sites/default/files/rvo_website_content/EOS/DEMO06005.pdf
39	Progress Events rondvaartboot	Progress events, Holthausen Watersofcentrum	Rondvaartboot	NL-Groningen	Klaar in 2016	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	IWT	10 kW	-	Prov. Groningen	https://www.waterstof-centrum.nl/portfolio/portfolio
40	Ecolution	Stichting Wad Duurzaam	zeilschip Ecolution	NL	-2020	Waterstof	aandrijving	-	2x30 kW	Gas	Waddenfonds	https://ngshipyards.com/shipsolutions/
41	Norled - Hjelmelandet	Norled	Ferry	NO	-2021	Waterstof	andrijving	SS	-	-	-	https://www.norled.no/en/news/norled-to-build-the-worlds-first-hydrogen-ferry/
42	GKP7H2	Brødrene Aa	high-speed schip	NO	2019-	Waterstof	aandrijving	-	1,2MW	Waarsch. Gas	Noorse Subsidie	https://www.oceanhwaycluster.no/projectlist/project-1
43	Aero 42 Hydrogen	Brødrene Aa	Ferry	NO	2019-	Waterstof	aandrijving	SS/IWT	-	-	-	https://www.braa.no/news/aero-design-revealed
44	Zero Emission Fast Ferry	Selfa Arctic As	Fast Ferry	NO	2018-2020	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	SS/IWT	-	-	Noorse Subsidie	https://maritimecleantech.no/project/zeff-zero-emission-fast-ferry/
45	E-Maran	Rødne	Ferry	NO	2019-	Waterstof	aandrijving	SS/IWT	500 (130 pax), 625 (145 pax) or 750 (190 pax) kW	Vloeibaar	-	https://www.oceanhwaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/hydrogen-vessel-1-68b62-g2dc4-2d4hx-8hgrc-544ls-99839-r8dbz-hwtj9-k8b7a-ykf4m-ebef9-5ap5n-thr8s-32d7c-ax2dw-hy4lk-fckh7-lks5d-cthg9-g3j63-69p47-ktz25-34c6j-2nazk-gecx7-7a845-9b5sk-b2rp5-97z6z-h838f
46	Hydrogen Viking	Greenstat	Jacht	NO	-	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	-	-	-	-	http://hydrogenviking.no/englishmain/index.html
47	Hydrogen PSV	NCE Maritime Cleantech	Offshore	NO	-	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	SS	-	-	-	https://maritimecleantech.no/project/hydrogen-psv/
48	Liquefied Hydrogen Bunker Vessel	Moss Maritime	Bunkerschip	NO	-	Waterstof	aandrijving	-	-	Vloeibaar	-	https://www.maritime-executive.com/article/liquefied-hydrogen-bunker-vessel-designed
49	HYBRIDShip - Pilot H2020	Fiskerstrand Holding AS		NO	-2020	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	-	-	-	H2020	https://www.oceanhwaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/hydrogen-vessel-1-68b62-g2dc4-2d4hx-8hgrc-544ls-99839-r8dbz-hwtj9-k8b7a
50	Havila Coastal Routes	Havyard	Havila Cruiseschip	NO	2019-2021	Waterstof	aandrijving	-	3,2 Mw	Vloeibaar	Noorse Subsidie	https://gcaptain.com/havyards-hydrogen-power-project-takes-step-forward/
51	Arbeidsbåt oppdrettsnæringa	Kvernevik Engineering		NO	2019-2021	Waterstof	aandrijving	-	-	-	-	https://www.nrk.no/vestland/denne-baten-skal-gjere-oppdrettsnaeringa-reinare-1.14019830
52	Hyseas 3	Hyseas 3 consortium	Testen op land, bij succes ferry	Schotland	2019-	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	-	-	-	H2020	https://www.hyseas3.eu/the-project/
53	Viking hydrogen cruise	Viking Hydrogen Cruise	Cruiseschip, te ontwikkelen	NO	2018-	Waterstof	aandrijving	-	-	-	-	https://www.norshipsale.com/take-a-look-at-the-worlds-1st-hydrogen-powered-cruise-ship/
54	Hynovar	Hyseas Energy	Touristenferry	FR	2017-2020	Waterstof	aandrijving	IWT	-	-	Franse Subsidie	https://mediterraneedufutur.com/en/projects/hynovar/
55	Maranda	Maranda consortium	Arande, onderzoeksschip	Finland	2017-2021	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	-	2x82,5 kW	-	FCH JU	https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/4.%20Laurence%20Grand-Cl%C3%A9ment%20-%20MARANDA.pdf
56	Hydrotug	Port of Antwerp	Sleepboot	BE	2019-2021	Waterstof-Diesel	aandrijving	IWT	-	Verbranding	Port of Antwerp	https://www.portofantwerp.com/nl/news/wereldprimeur-voor-haven-van-antwerpen-eerste-waterstof-aangedreven-sleepboot
57	HyDime	Orkney Islands Council	Roro ferry	Schotland	2018-2019	Waterstof injectie	aandrijving	-	75 kW	-	-	https://hydime.co.uk/
58	Pa-X-ell2	Freudenberg Sealing Technologies	AIDA Cruiseschip	DE	2019-2021	Methanol, mogelijk LNG	aandrijving	SS	-	Methanol>H2	Duitse Subsidie	https://www.e4ships.de/english/maritime-shipping/pa-x-ell-2/
59	Zero emission CSOV's	Østensjø Rederi	Intentie tot bouwen	NO	2019-2022	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	Offshore	-	-	-	https://www.oceanhwaycluster.no/member-area-hydrogen-vessels/hydrogen-vessel-1-68b62-g2dc4-2d4hx-8hgrc-544ls-99839-r8dbz-hwtj9-k8b7a-ykf4m-ebef9-5ap5n-thr8s-32d7c-ax2dw-hy4lk-fckh7-lks5d-cthg9-g3j63-69p47-ktz25-34c6j-wm7b5-k5j6d-3eema
60	SX190 Zero Emission	Ulstein	Offshoreschip	NO	2019-2022	Waterstof	aandrijving	Offshore	2 x 1280 kW + 2 x 750 kW	Gas	-	https://ulstein.com/vessel-design/sx190
61	GOT Skogsøy - Hydrocat33	Global Ocean Technology	-	NO	2019-	Waterstof	aandrijving	-	-	-	-	https://www.gotnorway.com/projects222/
62	Jules Verne 2	Navibus	Navibus, 20 pax ferry	FR	Vaart 2018	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	IWT	2 x 5 kW	-	-	https://www.symbio.one/en/navibus/
63	Stena Germanica	Stena Line	Stena roro ferry	DE	2015-2015	Methanol	aandrijving	SS	24000 kW	Methanol	-	https://www.stenaline.nl/schepen/stena-germanica/methanol-ferry
64	Mari Boyle	Marinvest	Mari Boyle	Zweden	Af in 2016	Methanol-Diesel/oil	aandrijving	-	-	Methanol	-	https://www.marinvest.se/another-milestone-achieved/
65	Mari Jone	Marinvest	Mari Jone	Zweden	Af in 2016	Methanol-Diesel/oil	aandrijving	-	-	Methanol	-	https://www.marinvest.se/another-milestone-achieved/
66	Energy observer	Energy Observer	Zeilschip	FR	Vaart 2017-2023	Waterstof-Elektrisch	aandrijving, Energie Autonomie	-	114 kW	H2 aan boord gegenereerd	-	https://www.energy-observer.org/en/#bateau
67	Race for water	Race for water	Kite Schip	FR	Vaart 2017-2023	Waterstof-Elektrisch	aandrijving	-	FC: 2 x 30 kW	Gas	-	https://www.raceforwater.org/en/#boat
68	H2 Coach Boat	Koedood, Habbeké , TU Delft, Sailling Innovation Centre, Watersportverbond	Coach boot voor WK zeilen	NL	Doel: 2020	Waterstof	aandrijving	-	-	-	RVO/Innovation Quarter	https://allesoverwaterstof.nl/coachboot-voor-de-zeilsport-op-waterstof/
69	Marigreen	MAH, ESF, Conoship, i.s.m. BSC, DNV-GL, Mariko, FME	Opleidingsschip EMELI Maritieme Academie Harlingen & Maritiem Collega Velsen 700 Ton Kempenaar	NL	2-stage refit, 1st stage afgerond	Waterstof-Elektrich	Aandrijving	IWT	30 kW	Gas	Interreg (5A)	http://nl.marigreen.eu/projects/plug-and-play-energypack-for-inland-shipping-and-short-sea/
70	H2 Rondvaartboot	NG Shipyards, Lauwersoog Water Events, FME, J. Bos Holding	H2 rondvaartschip rondom Lauwersoog	NL	-	Waterstof	aandrijving	waddenzee	2x60 Kw FC	-	Mogelijk Waddenfonds	-
71	H2 Walstroom	Groningen Seaports, Port of Den Helder, Port of Harlingen	Geen	NL	-	Waterstof	walstroom	-	-	-	Waddenfonds	-
72	H2 Viskotter	-	Viskotter	NL	-	Waterstof	aandrijving	-	-	-	Waddenfonds	-

COLOFON

Uitvoering:
Team EICB

Aanspreekpunt binnen EICB:
Niels Kreukniet, Chris van der Meulen of Khalid Tachi

Begeleidingsgroep:
Han Feenstra, Ministerie EZK
Timo Staal, Ministerie EZK
Dirk Schaap, Ministerie IenW
John van Gent, Ministerie IenW
Rens Vermeulen, Ministerie IenW
Leo van der Burg, FME
Ruud Dwars, RVO
Maurice Luijten, RVO

EICB
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam

T 010-798 98 30
secretariaat@eicb.nl
www.eicb.nl

Ontwerp:
operaconceptdesign.nl

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Copyright © Juni 2020, Rotterdam
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt worden in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch of door fotokopieën, opname, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Expertise- en Innovatiecentrum Binnenvaart

EICB