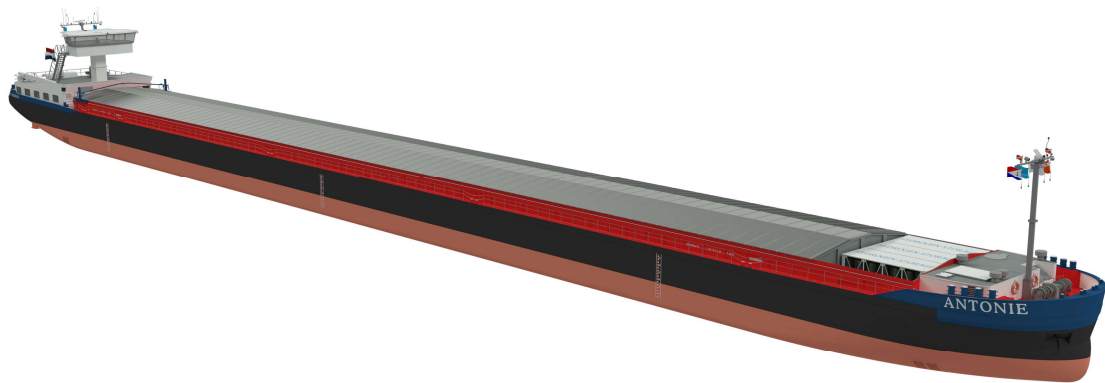


# Openbaar onderzoeksrapport

Prototype nieuwe brandstofcel,  
geschikt voor de voortstuwing van een schip.

Experimentele ontwikkeling



Waterstof-elektrisch vrachtschip Antonie

TWAS119D19/TWAS11924DU

RVO; Waterstoftender/TKI nieuw gas

Aanvraag: 21 mei 2019

Eindverslag, 30 november 2022

Kees de Vries (NPRC)

Twan Bierens (Subsidycloud)

Radja Jaaouani (Subsidycloud)

Openbaar onderzoeksrapport: prototype nieuwe brandstofcel, geschikt voor de voortstuwing van een schip.

## **Inhoudsopgave**

### **1. Gegevens project**

- Projectnummer [L] [SEP]
- Projecttitel [L] [SEP]
- Penvoerder en deelnemers [L] [SEP]
- Projectperiode [L] [SEP]

### **2. Inhoudelijk eindrapport**

- Samenvatting [L] [SEP]
- Conclusies en aanbevelingen
- Inleiding [L] [SEP]
- Doelstelling [L] [SEP]
- Werkwijze [L] [SEP]
- Resultaten A) van het project zelf en mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten [L] [SEP]
- Discussie [L] [SEP]
- Te behalen doelstellingen
- Conclusie en aanbevelingen [L] [SEP]

### **3. Uitvoering van het project**

- De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost
- Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan [L] [SEP]
- Toelichting op de verschillen tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten. [L] [SEP]

- Toelichting wijze van kennisverspreiding <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub>
- Toelichting PR- project en verdere PR-mogelijkheden <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub>
- **1. Gegevens project**
- Subsidieregeling: RVO; TKI Nieuw groen gas/waterstoftender
- Subsidiegever: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat  
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
- Projectnummer: TWAS119D19/TWAS119019
- Projecttitel: Waterstof-Elektrisch Vrachtschip Antonie <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub>
- Penvoerder: Coöperatie Nederlandse Particuliere Rijnvaart-  
Centrale U.A. (NPRC)
- Deelnemers: Coöperatie N.P.R.C. U.A. (Rotterdam)  
H. Lenten Scheepvaart B.V. (Nieuwegein)  
Nedstack Fuelcell Technology B.V. (Arnhem)  
Koedood Dieselservice B.V. (H-I Ambacht) <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub>
- Projectperiode: 1 september 2019 t/m 31 augustus 2021  
Einddatum bij besluit TWAS121Q7IPU  
verlengd tot 31 augustus 2022
- Contactpersonen: Kees de Vries (NPRC), 06-53151344  
Twan Bierens (M&K), 06-23160960

## 2. Inhoudelijk eindrapport

Het hoofddoel van dit project was een prototype van een nieuwe brandstofcel te ontwikkelen, geschikt voor de voortstuwing van een schip. Dit doel is behaald.

Binnen dit project is een ontwerp van een scheepsconfiguratie gebaseerd op de zero-emissie brandstofcel technologie en de overige noodzakelijke brandstofcel-elektrische componenten gerealiseerd. Het prototype is werkend en gereed voor inbouw in een schip opgeleverd en kon aan RVO worden gedemonstreerd. Het ontwerp voldeed aan de technische vereisten en specificaties. Lloyds Register heeft de brandstofcelconfiguratie gecertificeerd voor inbouw als voortstuwingsinstallatie in een schip.

Binnen dit project wordt hierbij een onderzoeksrapport opgeleverd, inclusief het definitieve design en technische invulling van een brandstofcelconfiguratie voor een nieuw waterstof schip van 135 meter voor de binnenvaart. Hierbij wordt de meest optimale en economische combinatie vastgesteld in het bijzonder in relatie tot de opslag en het laden van waterstof.

### • Conclusies en aanbevelingen

Het ontwikkelen van een brandstofcelconfiguratie geschikt voor voorstuwing van een binnenschip is technisch goed realiseerbaar.

Met de huidige technieken is gecomprimeerde waterstof veilig en gecertificeerd toepasbaar in auto's en schepen.

De meest optimale technische en economische combinatie voor opslag en laden van waterstof voor de binnenvaart is voornamelijk het gebruik van gecomprimeerde gasvormige waterstof onder 300/350 bar in wisselcontainers.

Voor het ms. Antonie is op basis van voorgaande combinatie gekozen voor een toekomstvast ontwerp rond de werking van de brandstofcel en de opslagmethode van waterstof, dat naar verwachting over tien jaar nog steeds functioneel is,

Naar verwachting zijn er tegen die tijd wel andere aandrijflijnen, typen brandstofcellen, opslagmethoden en verschijningsvormen van waterstof die efficiënter of aantrekkelijker (zijn op het gebied van energie-inhoud, prijs, opslagcapaciteit, gebruiksgemak en veiligheid, dan de meest optimale combinatie nu). Voorlopig zijn deze alternatieven echter te duur om nu al in schepen toegepast te worden.

Ook indien gekozen wordt voor de goedkoopste oplossing(en) is het bouwen van

een waterstofschip (2 keer) of het varen op waterstof op dit moment nog altijd vele malen (5 keer) duurder dan het bouwen van een conventioneel schip met een verbrandingsmotor.

Testrapporten geven aan dat een brandstofcel onder maritieme omstandigheden goed blijft functioneren, ook bij slagzij en onder vochtige omstandigheden.

Het binnen dit project ontwikkelde prototype van een brandstofcel geschikt voor de voortstuwing van een binnenschip bleek op de testbank naar tevredenheid te functioneren en leverde het verwachte vermogen.

Wetgevers voor de rijnvaart hebben, inspeland op deze waterstof initiatieven, snel gehandeld en richtlijnen ontworpen die in het ontwerp van de brandstofcelconfiguratie in dit project zijn toegepast. Hierdoor kan het schip naar verwachting binnen twee jaar in de vaart worden gebracht.

### **Aanbevelingen:**

Het verdient aanbeveling voor vervolgprojecten na te gaan langs welke wegen tot kostenbesparingen op de samenstelling van de brandstofconfiguratie en de opslagmethode gekomen kan worden.

Het verdient aanbeveling bij vervolgprojecten na te gaan of andere verschijningsvormen van waterstof en/of andere opslagmethoden van waterstof al marktgeraad kunnen worden toegepast.

Gezien de ontwikkelingen in de energiemarkt verdient het aanbeveling om het risico van prijsschommelingen van waterstof te beperken door de gehele waarde- en supply keten bij het initiatief te betrekken, alsmede ook de betrokken verlader(s) onderdeel te laten zijn van het project en meerjarige afspraken te maken, zodat het initiatief ook na verloop van jaren kan worden voortgezet

## **Inleiding**

### **Waterstof**

We schrijven najaar 2013 als de directeur van de coöperatie NPRC (Nederlandse Particuliere Rijnvaart Centrale) een bezoek brengt aan de chloor-alkalifabriek van Nouryon Chemicals B.V. (voorheen AkzoNobel, inmiddels Nobian). Hij spreekt met de logistiek manager van Nouryon over het transport van zout. De binnenvaartcoöperatie NPRC is de huisvervoerder van Nouryon en verantwoordelijk voor de logistiek van de schepen en de onbelemmerde levering van zout. 120 zelfstandige binnenvaartondernemers zijn aan de oudste en grootste Europese binnenvaartcoöperatie NPRC verbonden. Vier ervan varen vanaf de negentiger jaren vast in een zogenaamde zoutpendel tussen Delfzijl en Rotterdam. Zout is een basisproduct van de chemische industrie en wordt in Delfzijl gewonnen en met schepen getransporteerd naar de fabriek van Nouryon in Rotterdam. De vier schepen hebben rond 2000 in samenwerking met Nouryon al de dieselmotoren van de schepen voorzien van katalysatoren en roetfilters, teneinde de uitstoot van emissies terug te brengen.

Bij het produceren van chloor in een chloor-alkali proces komt waterstof als bijproduct vrij. Elke 35 ton chloor levert 1 ton pure waterstof op. Een deel van deze waterstof wordt van oudsher ongebruikt verbrand in de lucht (de bekende eeuwige vlam). Beide heren kijken naar de vlam en zouden volgens de overlevering zich hebben afgevraagd waarom je geen schip zou laten varen op deze waterstof. Het idee laat beide heren niet meer los en na enig onderzoek wordt in 2018 besloten om het eerste nieuwbouw waterstofvrachtschip ter wereld te ontwikkelen. Een jaar later wordt de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) subsidie van EUR 259.236 verstrekt op het ontwikkelen van een prototype van een nieuwe brandstofcel voor de voortstuwing van een schip, alsmede ontwerp van een scheepsconfiguratie van de brandstofcel en de overige brandstofcel-elektrische componenten.

### **Brandstofcel**

Voor de levering van de brandstofcel wordt gekozen voor Nederlands fabricaat van de oud Akzo-dochter Nedstack Fuelcell Technology B.V.. Nedstack heeft al verschillende brandstofcellen geleverd voor toepassingen op land, maar heeft nog geen ervaring met toepassingen onder maritieme omstandigheden. Voor het ontwerp van de brandstofcelconfiguratie wordt gekozen voor het ervaren scheepsmotoren afbouwbedrijf Koedood Dieselservice B.V. Het bedrijf heeft weliswaar geen ervaring met ontwerp en de inbouw van brandstofcellen, maar de directeur, veertig jaar gepokt en gemazeld in dieseltechnologie, is er vast van overtuigd dat waterstof het in de toekomst het van de dieselmotor gaat winnen. "Aan een brandstofcel beweegt immers niets, zegt hij, terwijl aan een dieselmotor

heel veel bewegende delen zitten die slijten”. “Bovendien levert een brandstofcel geen vervuilde emissies op, alleen elektriciteit en schoon water”. Medewerkers van Koedood zijn op dat moment al bezig als hobbyproject een kleine brandstofcel in een sloep te bouwen als voortstuwing. Iedereen is enthousiast.

De eigenaar van één van de vier binnenvaartschepen die via NPRC vast voor Nobian zout varen is het ms. Antonie van schipper/eigenaar Harm Lenten (H. Lenten Scheepvaart B.V.). Hij vaart als meer dan tien jaar vast in de zoutpendel voor Nouryon. Hij heeft al een keer eerder nieuwbouw gepleegd. Hij is bereid dat nog een keer te doen met een zero-emissie waterstofschip, mits voldoende subsidie voor het dekken van de meerkosten voor het bouwen van het waterstofschip en het varen op waterstof wordt verkregen. Het project wordt Waterstof-Elektrisch Vrachtschip Antonie gedoopt, ofwel het WEVA project. Binnenvaartcoöperatie NPRC verzorgt de logistieke dienstverlening van het zoutvervoer en ondersteunt Lenten in zijn initiatief



Het bestaande motorschip Antonie van schipper/eigenaar Harm Lenten.

### **Subsidie**

Naast onderhavige aanvraag voor de ontwikkeling van een prototype van een maritieme brandstofcel, worden voor het WEVA project in 2019 en 2020 nog vier andere subsidieaanvragen ingediend, waarvan er drie worden toegekend. De andere regelingen subsidiëren de meerkosten van de aanschaf en inbouw van de brandstofcel ten opzichte van een dieselmotor. Maar ook de extra kosten die de

opslag aan boord van waterstof met zich meebrengt, de bouwkosten van een waterstofvulpunt in Delfzijl en de aanloopkosten op het project worden grotendeels gedekt. In 2020 krijgt Lenten ook het groene licht van een hypotheekverstrekker op het nieuwe schip en is voldoende budget verkregen om de bouw van het nieuwe ms. Antonie in opdracht aan het scheepswerf te geven. Lenten kiest voor Concordia Damen te Werkendam.

Wanneer alle contracten getekend zijn geeft Minister Harbers op 30 maart 2022 het startsein voor de nieuwbouw van het eerst zero-emissie waterstofschip ter wereld. De opdracht voor het ontwerp en de realisering van een prototype voor de nieuwe brandstofcel geschikt voor voorstuwing van een schip (conform onderhavige aanvraag) is dan al eerder gegeven, eind 2021.



Minister Harbers geeft op 30 maart 2022 het startsein voor de bouw van het waterstofschip ms. Antonie. Van links naar rechts; Harm Lenten (DGA Lenten Scheepvaart B.V.), Minister Mark Harbers (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Femke Brenninkmeijer (CEO NPRC) en Michael Koenig (Nobian Chemicals B.V.).

### **Prototype**

Een prototype van de brandstofcel kan vóór 31 augustus 2022 werkend worden getoond, nadat RVO de einddatum van dit project (31 augustus 2021) op verzoek van de projectdeelnemers met een jaar heeft verlengd (tot 31 augustus 2022). Het prototype blijkt geheel aan de verwachtingen te voldoen en presteert het gewenste vermogen op de testbank. Eind 2022 kan het prototype aan RVO worden getoond en gedemonstreerd.



Op dat moment is het casco van het ms. Antonie eveneens gereed en kan het van China naar Nederland worden getransporteerd, waarna januari/februari 2023 de brandstofcel wordt ingebouwd. Het schip zal medio 2023 in de vaart komen. Het WEVA-project en dit projectonderdeel "prototype" zijn dan succesvol afgerond.

## **Dank**

Vanaf deze plaats past een woord van dank aan een ieder die aan het succes en de totstandkoming van het project heeft bijgedragen, zowel financieel als technisch. Voor onderhavige subsidie gaat een bijzonder woord van dank uit naar het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, de betrokken medewerkers van dit Ministerie en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Projectdeelnemers, NPRC, Lenten, Nedstack en Koedood,

26 december 2022.

- **Doelstelling** [1]  
[SEP]

## **Doel**

Het hoofddoel van dit project is een prototype van een nieuwe brandstofcel te ontwikkelen geschikt voor de voortstuwing van een schip.

Dit betekent het ontwerp en realisering van een scheepsconfiguratie gebaseerd op de zero-emissie brandstofcel technologie en de overige noodzakelijke brandstofcel-elektrische componenten, werkend en gereed voor inbouw in een schip.

Binnen dit project wordt tevens een onderzoeksrapport opgeleverd, inclusief definitieve design en technische invulling van een brandstofcelconfiguratie voor een nieuw waterstof schip van 135 meter voor de binnenvaart. Hierbij wordt de meest optimale en economische combinatie vastgesteld in het bijzonder in relatie tot de opslag en het laden van waterstof.

- **Werkwijze** [1]  
[SEP]

## **Workpackage 1 Projectmanagement en disseminatie**

Binnen het overkoepelend WEVA-project is een stuurgroep ingesteld waarin NPRC, Nobian en HyEnergyTranstore (leverancier van waterstof en opslagcontainers aan Lenten) deelnemen. De stuurgroep buigt zich over strategische afwegingen rond het project, subsidieverstrekingen, de planning en technische afwegingen op hoofdlijnen. Voor de technische onderdelen en de onderlinge afstemming tussen toeleveranciers en technische partners zijn werkgroepen ingesteld.

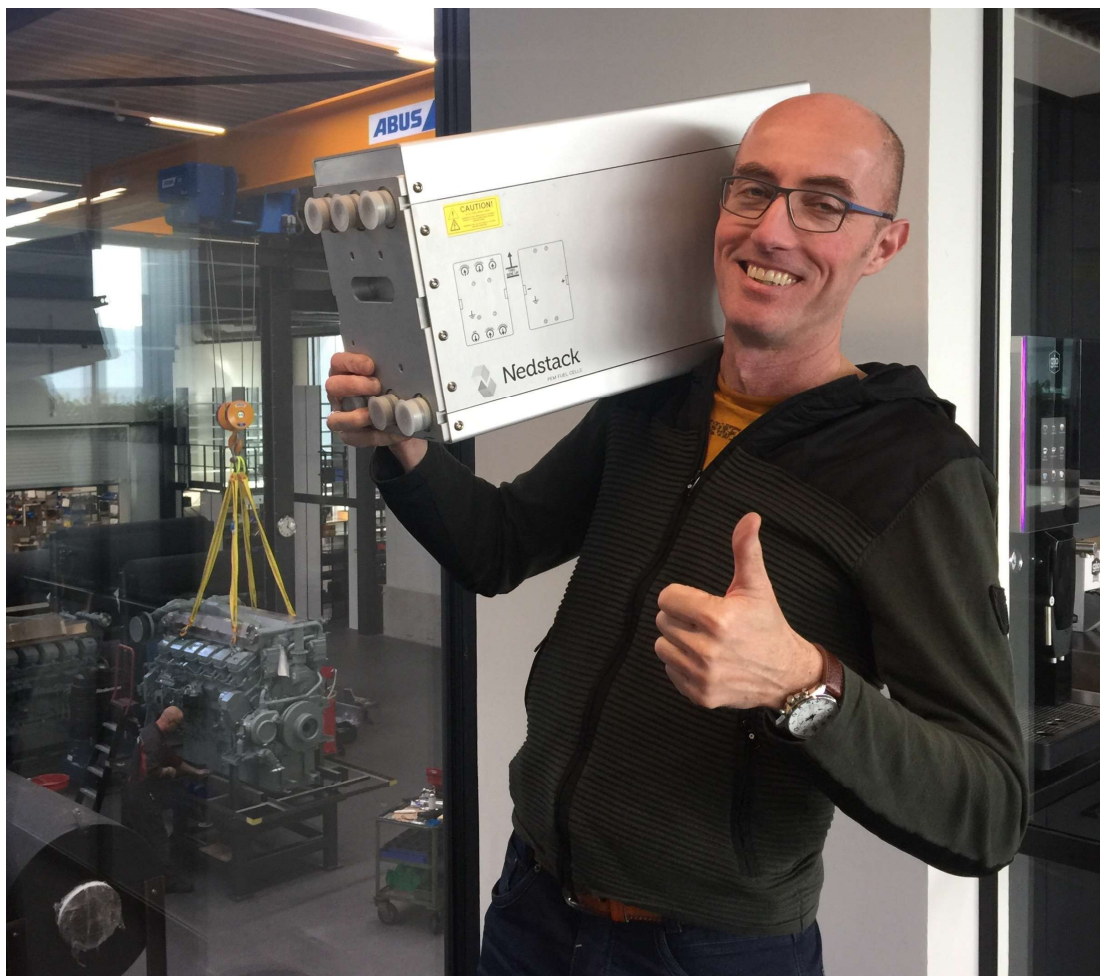
Binnen het project is de NPRC aangesteld als projectleiding, penvoerder en coördinator. NPRC heeft een projectleider aangesteld die verantwoordelijkheid draagt voor het ordelijk verloop en de voortgang van het project, de onderlinge uitwisseling van informatie en de rapportages. Binnen het project is tevens een risicoanalyse gemaakt. Medewerkers van de andere projectpartners worden ondergebracht in de workpackages 2 en 3.

Aan het onderhavige het TWAS/Waterstoftender onderdeel van Weva project nemen de volgende vier partijen deel:

### **Lenten Scheepvaart BV:**

Lenten Scheepvaart B.V. is een binnenvaartonderneming die wordt gedreven door schipper/eigenaar Harm Lenten te Nieuwegein. Het bedrijf bestaat ten tijde van de aanvraag uit één binnenschip (het m.s. Antonie). Lenten Scheepvaart is lid van de Binnenvaartcoöperatie NPRC en het schip vaart al meer dan tien jaar vast met zout

tussen Delfzijl en Rotterdam voor het Chemisch concern Nouryon (voorheen Akzo-Nobel, inmiddels Nobian). Harm Lenten is tevens één van de schippers.



**Schipper/eigenaar Harm Lenten poseert met brandstofcel met op de achtergrond een scheepsdieselmotor**

Tien jaar geleden is op verzoek van toen nog Akzo-Nobel het schip uitgerust met katalysatoren en roetfilters, teneinde de emissies van de scheepsdieselmotoren omlaag te brengen. Anno 2021 neemt Harm Lenten een belangrijke beslissing; de nieuwbouw van het eerste zero-emissie binnenschip dat geheel op groene waterstof zal gaan varen. Het project wordt samen met Nobian, NPRC, Nedstack en Koedood opgestart en uitgevoerd.

#### **NPRC:**

NPRC voert regie en coördinatie als logistieke dienstverlener aan Nobian Chemicals B.V. voor het vervoer van zout tussen Delfzijl en Rotterdam op basis van een vast contract. NPRC en Nobian zijn er beiden bij gebaat om het transport zo duurzaam mogelijk uit te voeren.

In de zoutpendel voor Nobian zijn vier NPRC-schepen actief. Indien dit project slaagt ligt het in de lijn der verwachting dat ook voor de andere drie schepen een zero-emissie aandrijflijn wordt overwogen.

NPRC heeft met andere binnenvaartpartijen en de Rijksoverheid een Green Deal gesloten voor het verduurzamen van de binnenvaart. In de Green Deal wordt het WEVA-project van de NPRC als koploper project aangeduid. Het gezamenlijke doel van de Green Deal is in 2030 150 zero-emissie binnenschepen gerealiseerd te hebben. Binnen het WEVA project voert NPRC het projectmanagement en helpt de individuele ondernemers bij het verkrijgen van subsidies.



**Het bestaande ms. Antonie dat met zout voor NPRC/Nobian vaart tussen Delfzijl en Rotterdam.**

#### **Nedstack:**

Nedstack heeft, na levering van de brandstofcel + componenten, met wekelijkse voortgangsgesprekken het ontwerpproces en de realisatie van het prototype brandstofcel configuratie ondersteund. Daarbij is veel kennis gedeeld uit ervaring met de ontwikkeling van andere brandstofcelsystemen. Daarnaast ondersteunt Nedstack in het selecteren van de juiste componenten en is op verschillende momenten het detailontwerp beoordeeld.

In de laatste maanden van het project heeft Nedstack de software voor het brandstofcelsysteem geconfigureerd en samengesteld voor de specifieke toepassing op dit systeem in de binnenvaart. De software is daarna overgedragen zodat de Koedood Marine Group dit duurzaam en adequaat kan onderhouden. Nedstack zal daarbij blijven ondersteunen. Ook de laatste maanden, na afloop van het project heeft Nedstack actief ondersteund bij het in bedrijf stellen en uiteindelijk goedgekeurd krijgen van het brandstofcelsysteem voor de Antonie.



Twee brandstofcellen met daarin de stacks van producent Nedstack, meerdere naast elkaar vormen de brandstofcelconfiguratie. In de brandstofcel bevinden zich geen bewegende delen.

### **Koedood:**

Koedood Diesel Service B.V. bestaat sinds 1961 en is een familiebedrijf dat zich gespecialiseerd heeft op de inbouw van dieselmotoren voor de binnenvaart, offshore en zeeschepen. Oprichter en eigenaar Arie Koedood, opgegroeid met de dieselmotor, begrijpt dat de toekomst om andere schonere technieken zal vragen en onderzoekt met zijn enthousiaste team het alternatief van de brandstofcel. Medewerkers bouwen een sloep die wordt voortgestuwd door een brandstofcel op waterstof. Het eerste prototype is geboren.

Samen met consortiumpartner Nedstack wordt binnen dit project een maritieme brandstofcelconfiguratie ontwikkeld voor inbouw in het nieuwe schip van Harm Lenten, het ms. Antonie.

## **Resultaten van het project zelf en mogelijkheden voor spin off c.q. vervolgvactiteiten**

**Het project.** Als gevolg van dit project is een werkend prototype van een brandstofcel geschikt voor de voortstuwing in een schip ontwikkeld en gebouwd. Vervolgens zal deze worden gedemonstreerd, in een nieuw binnenvaartschip worden ingebouwd en gedurende de technische levensduur voor voortstuwing van het schip worden gebruikt.

**Visitekaartje.** De nieuwbouw van het waterstofschip Antonie vormt een visitekaartje voor de Nederlandse scheepsbouwindustrie en de binnenvaart. Het eerste nieuwbouw vrachtschip dat 100% op groene waterstof kan varen. Het ontwerp en concept kan over de gehele wereld naar 30 landen worden getransporteerd die binnenvaart toepassen. De verkregen expertise kan ook gebruikt worden om tot een vergelijkbaar initiatief in de kustvaart te komen.

Het project is ook na afloop van de subsidieverstrekking voldoende levensvatbaar om gedurende de levensduur van de installaties te worden voortgezet. Het is realistisch na te gaan of bij de afloop van de technische levensduur van de componenten nieuwere technieken als vervanging kunnen dienen. Dit geldt ook toepassing van nieuwe verschijningsvormen van waterstof die komende jaren mogelijk op de markt verschijnen. Mits gecontaineriseerd en mits de waterstof van de juiste kwaliteit is, kunnen deze ook op de Antonie worden toegepast.

**Vervolg.** Het WEVA project heeft een vervolg gekregen in de opzet van het RH2INE project en het Pallas project. Binnen RH2INE is in samenwerking met de Provincie Zuid Holland en het Havenbedrijf Rotterdam gezocht naar financiering naar nog eens 12 waterstofscheppen en 4 vulpunten. Het Pallas project heeft geresulteerd in een soortgelijk initiatief als WEVA met een Duits schip en een vergelijkbare subsidie (en waterstofleveringen) vanuit een chlooralkali productie proces in Duitsland. Ook dit proces wordt door NPRC aangestuurd. Zeer waarschijnlijk wordt bij de bouw van het Duitse schip gebruik gemaakt van de in het WEVA project verkregen Nederlandse expertise.

Soortgelijke initiatieven worden ontwikkeld door Future Proof Shipping voor een containerschip (ms Maas) en voor de VT-Group (mts Volendam). Bij deze schepen is sprake van een retrofit voor een bestaand schip waarbij de dieselmotor op het achterschip wordt vervangen door een brandstofcelconfiguratie. Ook andere schip-waterstofinitiatieven op een kleinere schaal (havenboten, werkschepen, baggervaartuigen) zijn in ontwikkeling.

**Spin off.** Als spin off effect heeft een deel van de Nederlandse scheepsbouwindustrie ontwerpen voor waterstofscheepen ontwikkeld. Met deze ontwikkeling wordt kennis vergaard en gedeeld. De ontwikkelingen in de markt gaan echter zo snel dat nieuwe interessante initiatieven zich regelmatig aandienen. Belangrijke stappen zijn gezet in de richting van de ontwikkeling van scheepsverbrandingsmotoren die op een mengsel van waterstof en dieselolie kunnen werken of 100% op waterstof. Deze nieuwe motoren zijn weliswaar niet zero-emissie (maximaal klimaat neutraal), maar wel veel schoner dan bestaande dieselmotoren. De verkregen kennis voor het opslaan van waterstof aan boord in dit project kan ook hier worden toegepast.

Een soortgelijke ontwikkeling doet zich voor op het gebied van nieuwe motoren die op een mengsel van de waterstofdragers methanol of ammonia met dieselolie kunnen draaien. Voor een overgangperiode naar zero-emissie wordt hier veel van verwacht omdat de aanschafkosten veel lager liggen dan van de brandstofcel. Ook is een ontwikkeling aangekondigd waarbij bestaande motoren worden omgebouwd voor toepassing van waterstof of methanol. Tenslotte is ook een concept in ontwikkeling waarbij een apparaat aan boord methanol omzet in waterstof. Methanol is kanshebber om wereldwijd een belangrijke carrier (drager) van waterstof te worden. NPRC is voornemens om deze technieken ook in vervolgprojecten met kleinere schepen toe te passen.

**Expertise.** Bij de aanvang van het project is alle informatie verzameld die binnen Nederland beschikbaar is voor het ontwikkelen en toepassen van brandstofcellen. Naast literatuurstudie zijn ook diverse personen met relevante expertise geraadpleegd, teneinde mogelijke beperkingen of problemen te kunnen lokaliseren. Hierbij is ook gesproken met partijen die ervaring hebben met de toepassing van brandstofcellen in de ruimtevaart en in onderzeeboten, alsmede bij producenten en leveranciers van gecompriëerde gassen aan de industrie en ziekenhuizen. Voorts is met wetenschappelijk medewerkers van Universiteiten en vertegenwoordigers van Ministeries gesproken, teneinde de technische- en juridische reikwijdte te bepalen.

Vervolgens is ruwe schets ontwikkeld voor de omvang van het vermogen van de brandstofcel en de benodigde hoeveelheden waterstof voor het project. Een Nederlandse producent van brandstofcellen (Nedstack) is bereid gevonden aan het projectdeel te nemen en expertise te leveren.

**LNG.** Vervolgens is gezocht naar een bedrijf voor de inbouw van de brandstofcel + componenten dat al ervaring had met de toepassing van LNG als binnenvaart brandstof en de inbouw van gasmotoren. In grote lijnen kent het toepassen van waterstof aan boord overeenkomsten met het opslaan en in leidingen transporteren van LNG als gas. Nadat tien jaar geleden de eerste LNG voortgestuwde schepen in de vaart kwamen, waren anno 2020 de kinderziekten uit deze installaties wel onder controle. Hiervan kon veel worden geleerd voor de toepassing van waterstof. Ook in het wetgevingstraject voor de brandstofcel zijn de LNG richtlijnen en voorschriften het vertrekpunt geweest.

Samen met Nouryon/Nobian als eindafnemer van het transportproduct (en tevens producent van de waterstof), hebben vier projectdeelnemers de handen ineengeslagen voor de ontwikkeling van een waterstofschip. Voor het gehele WEVA project konden de extra bouwkosten in belangrijke mate door Europese-, nationale-, rijks- en regionale subsidies worden gecompenseerd.

**Waardeketen.** Het kan niet genoeg benadrukt worden dat de aanwezigheid van de gehele waarde- en supplyketen binnen het project, zowel voor de brandstofcellleveringen en toepassingen, alsmede de productie en levering van waterstof, in hoge mate hebben bijgedragen aan het succesvol verloop van dit project. Met name de deelname en het commitment van de zijde van de verlader aan het project (in dit geval Nobian) in andere projectonderdelen is van doorslaggevend belang geweest.

**Projectrisico's.** De projectrisico's zijn door middel van contracten helder en evenredig over de projectdeelnemers gespreid en liggen bij de eerstverantwoordelijke leveranciers en betrokkenen. Ook dit heeft in hoge mate bijgedragen aan het welslagen van het project. Sommige projectdeelnemers hebben hierbij in een vroegtijdig stadium, nog voor zij het geheel van het verloop van het project konden overzien, in vertrouwen naar elkaar en met overtuiging gehandeld. Partijen hadden er veiligheidshalve ook voor kunnen kiezen om eerst nog een periode van onderzoek en studie te voltooien alvorens een concreet bouwproject in de steigers te zetten. Maar het was tijd om te handelen.

Dat partijen met voldoende lef en vertrouwen in elkaar dit project aangedurfd hebben stemt ons allen tot tevredenheid aan het eind van deze eerste fase. Ondanks de veranderingen op het wereldtoneel en de energievoorziening vanaf begin 2022 zijn onze inzet en vooruitzichten onveranderd positief. Wij zijn ervan overtuigd dat dit project gaat slagen en ook na de verstrijken van de subsidieperiode met succes door betrokkenen kan worden voortgezet. Dit blijkt o.a. uit het feit dat waterstofleveranties voor de komende tien jaar zijn vastgelegd binnen het project.

**Staatssteun.** Ten behoeve van het gehele Weva-project is door PriceWaterhouseCoopers(PwC) in oktober 2020 een juridische staatssteuntoets uitgevoerd, teneinde na te gaan of de door Lenten Scheepvaart B.V. verkregen subsidies in overeenstemming zijn met de Europese regels op het gebied van de Staatssteun. PwC heeft deze vraag, met inbegrip van het onderhavige project, in positieve zin beantwoord. Het PwC advies, overgenomen in de belangrijkste subsidiebeschikkingen, is niet beschikbaar voor deze openbare rapportage.



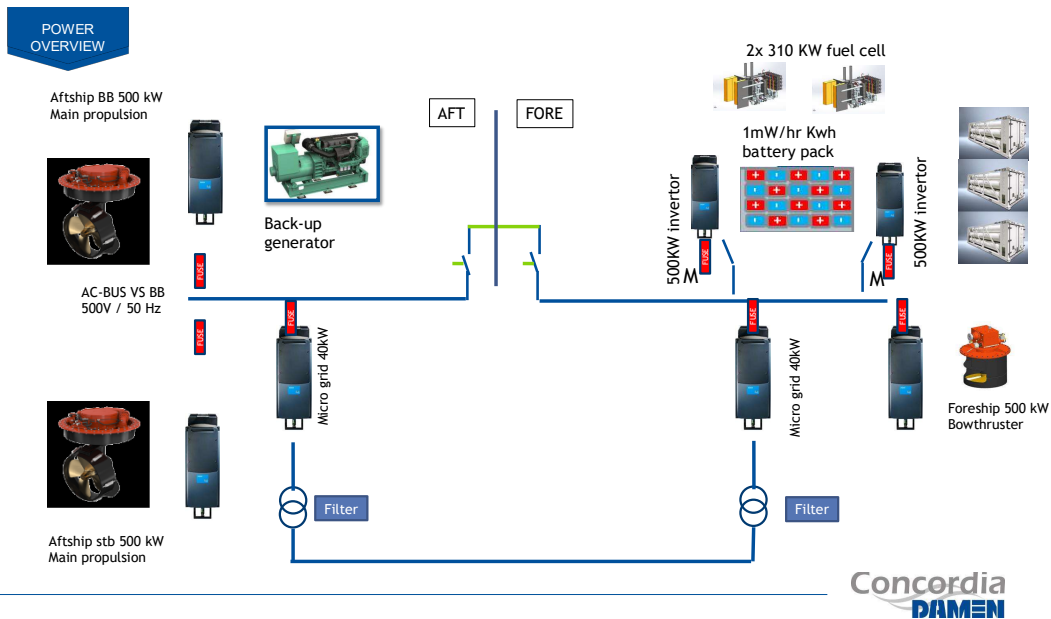
## **Workpackage 2; R&D Waterstofcomponenten**

Voor het workpackage 2, R&D Waterstofcomponenten, werkten alle projectdeelnemers (Nedstack, Koedood, NPRC en Lenten) samen om tot een volwaardig nieuwe aandrijflijn voor een schip te komen. Brandstofcellen van het type dat Nedstack produceert zijn de afgelopen jaren alleen voor toepassingen op land ontwikkeld, met goede resultaten.

**Maritiem.** Voordat het besluit tot nieuwbouw van de Antonie genomen kon worden moesten eerst een aantal belangrijke vraagstukken worden opgelost. Allereerst moest worden vastgesteld of een brandstofcel onder maritieme omstandigheden goed zou functioneren. Een schip beweegt en stoot immers regelmatig tegen een kade en/of andere schepen. Kan een brandstofcel daar tegen? Voorts was het de vraag of een brandstofcel in een vochtige omgeving goed blijft functioneren.

Projectdeelnemer Nedstack Fuelcell Technology heeft voorafgaande aan dit project hellingproeven laten uitvoeren, waarbij is vastgesteld dat een slagzij van het schip geen nadelige werking op de brandstofcel heeft. De werking van Nedstack brandstofcellen is ook getest in vochtige omstandigheden met dezelfde positieve resultaten. Deze testrapporten maken geen onderdeel uit van deze openbare rapportage, maar zijn voor subsidiegevers beschikbaar. Als gevolg van dit project is het mogelijk tot een upscaling te komen van meerdere waterstofscheperen die werken volgens dezelfde methode met dezelfde technieken.

**Brandstofcelconfiguratie.** De brandstofcelconfiguratie van het ms Antonie bestaat uit de brandstofcel (de stacks en de koeling), een powermanagementsysteem, een groot accupakket, de waterstofopslag en de onderlinge verbindingen. Om een zo storingsvrije powerline te realiseren dienen de componenten en verbindingen van de hoogste kwaliteit te worden gebruikt. De leidingen waar de waterstof onder hoge druk wordt getransporteerd dienen van de juiste legeringen te zijn gemaakt, omdat anders lekkage kan optreden. Waterstof onder hoge druk via een een lekkage snijdt als een laserstraal door sommige materialen heen.



Voorbeeld van een brandstofcelconfiguratie voor een binnenvaartschip

**Opslagmethode.** Bij het ontwerp van de nieuwe Antonie moest worden bepaald wat de beste opslagmethode aan boord zou zijn. Aanvankelijk ging hierbij de voorkeur uit naar opslag van waterstof in vaste tanks (tubes) aan boord. Bedacht werd dat in Delfzijl kort voor of na het laadproces de waterstof onder hoge druk met een pijp of slang geladen zou kunnen worden. Onderzocht is ook of het laden van waterstof gecombineerd zou kunnen plaatsvinden tijdens het laden van zout. Dit leek vanuit een veiligheidsoptiek een minder wenselijke oplossing, omdat een schip tijdens het laden moet verhalen (voor- en achteruit varen). Mogelijk zou dit wettelijk ook niet worden toegestaan.



Voorbeeld van een opslagcontainer voor gasvorming gecompriëerde waterstof.

Om risico's uit te sluiten is gekozen voor het gebruiken van wisselcontainers voor de opslag van waterstof aan boord van de Antonie. Belangrijke beweegreden hierbij was ook dat het logistieke proces van het zoutvervoer niet toelaat, dat het schip na belading elke keer enkele uren nodig heeft om waterstof onder hoge druk via een slang of pijp te laden. De beladingsdruk van ca. 350 bar is hier nu leidend geweest. Zou het mogelijk geweest zijn het schip met waterstof te laden met een compressie van 500 bar of zelfs 700 bar, dan zou wellicht een andere afweging zijn gemaakt.

Technisch zijn 500 of 700 bar wel mogelijk (in Duitsland wordt waterstof in een trein met 700 bar geladen), maar dit vergt veel hogere investeringskosten in een compressor. Bovendien gelden voor deze hogere compressies ook zwaarder wettelijke voorschriften. Een container met 500 bar waterstof mag op dit moment nog niet over de weg worden vervoerd. Naar verwachting mag dit in de toekomst wel. Vooralsnog beschouwen wij de keuze voor wisselcontainers (met 300 bar) als een toekomstvaste keuze in die zin dat het Weva-project deze containers binnen het project ook over tien of twintig jaar nog steeds kan gebruiken en, als het nodig is, ook over de weg kan aanvoeren. Waarschijnlijk zijn er tegen die tijd ook andere, betere en goedkopere, opslagmethoden voor waterstof op de markt.

Voor het type opslagcontainer zijn vier verschillende typen mogelijk, met ieder eigen voor- en nadelen. Voor het ms. Antonie is gekozen voor type 4 opslagcontainers. De tubes in de deze containers zijn geheel van kunststof. Bij het schrijven van dit rapport bevinden de containers zich nog in het ontwerp- en certificeringsproces. De tubes van type 1 en 2 opslagcontainers zijn geheel vervaardigd van staal en dus erg zwaar. De tubes van type 3 containers zijn gedeeltelijk staal en gedeeltelijk kunststof. Het type 4 twintig voet container dat gekozen is voor de Antonie weegt 11 ton. Bij een compressie van 300 bar bevat de container 400 kg waterstof. Bij 500 bar 500 kg waterstof.

Opslagcontainers van dit type zijn erg kwetsbaar en dienen met grote zorg te worden behandeld en onderhouden.

**Scheepsontwerp.** Nadat rond de belangrijkste buitenmaten van het schip en het vermogen beslissingen waren genomen diende bepaald te worden hoe het schip zou worden ingedeeld. Besloten werd een geheel nieuwe indeling van het schip te ontwerpen, waarbij alle brandstofcelcomponenten en de waterstofopslag op het voorschip zouden worden geplaatst. Traditioneel bevindt de machinekamer met de hoofdmotor zich vrijwel altijd onderin het achterschip, waar direct de schroefas wordt aangedreven. Een waterstofschip is in feite een elektrisch schip waarbij de schroefas wordt aangedreven door een elektromotor. In het ontwerp van de Antonie is ervoor gekozen om deze elektromotor aan te drijven met een groot accupakket van 1 Megawatt. De brandstofcel drijft dus niet rechtstreeks de schroefas aan, maar produceert elektriciteit die wordt opgeslagen in de accu's.

Deze constructie maakt het mogelijk om de brandstofcel, een deel van het accupakket en de waterstofopslagcontainers op het voorschip te plaatsen. Op het voorschip bevinden zich traditioneel de bemanningsverblijven (de voorwoning), Door deze voorwoning bij de Antonie te laten vervallen (en op het achterschip te integreren) ontstaat er ruimte voor vier twintig voets containers naast elkaar, met daaronder de brandstofcel- en de batterijruimte. Een dikke elektriciteitskabel brengt de elektriciteit naar het achterschip. Op het achterschip kan dan met een veel kleinere machinekamer worden volstaan.

Door deze indeling is het mogelijk op het ms. Antonie een brandstofcelconfiguratie te plaatsen + opslagcontainers zonder lengte van het laadruim (en dus verdien capaciteit) in te leveren. Bij de ombouw van een bestaand schip naar een waterstofschip dienen alle componenten op het achterschip geplaatst te worden. Soms zal het dan noodzakelijk zijn dan opslagcontainers in de ruim te plaatsen tegen het achterpiekschot.

Met betrekking tot de overige technische aspecten verwijzen wij naar bijlage 5 bij dit rapport: Update Report Weva Project 12/12/2022, S. Roosjen.

### **Workpackage 3 Testen prototype**

Voor het uitvoeren van pilotvaarten met een zero-emissie waterstofschip diende binnen het project een prototype van een brandstofcel geschikt voor het voortstuwen van een schip te worden getest, alvorens tot inbouw in een schip kon worden overgegaan.

Bij de uitvoering van deze workpackage zijn alle projectdeelnemers betrokken.

De oplevering van het prototype van de brandstofcel configuratie heeft in augustus 2022 plaatsgevonden. Succesvolle tests zijn in september en oktober 2022 uitgevoerd. Hiervan zijn video opnamen beschikbaar. De voorspelde vermogens konden worden geleverd. Daarna is de installatie door Lloyds Register gecertificeerd en geschikt gemaakt voor inbouw in een schip. Subsidiegever RVO kon half oktober worden uitgenodigd om een werkbezoek af te leggen aan de werkende brandstofcelinstallatie. De geplande inbouw van de installatie voor het ms. Antonie staat gepland voor maart-april 2023. De oplevering van het schip zal medio 2023 plaatsvinden.

Met de oplevering van het prototype is het project TWAS119D19/TWAS11924DU/RVO; Waterstoftender/TKI nieuw gas formeel opgeleverd volgens de in het projectplan gestelde specificaties.

- **Discussie** 

**Veiligheidsaspecten.** Rond het gebruik van waterstof heerst nog een zekere mate van ongemak vanwege het bekende ongeluk met de zeppelin Hindenburg in 1937 waarbij 35 mensen omkwamen. Vrij algemeen is de gedachte dat waterstof erg explosief is en met de nodige distantie behandeld moet worden. Maar met de kennis en wetenschap van nu is waterstof tenminste even veilig te behandelen LPG of LNG. Waterstof heeft bovendien nog het voordeel dat gecompriemd bij uitreden snel vervliegt en niet de neiging heeft om “geconcentreerd op de grond te gaan liggen” zoals bij LPG. Met de huidige technieken is gecompriemde waterstof veilig toepasbaar in auto’s en schepen.

**Bouwkosten.** Het bouwen van een compleet zero-emissie waterstofschip vergde bij de totstandkoming van de contracten in 2019 een investering van ruim EUR 10,5 miljoen. Een vergelijkbaar conventioneel schip kostte rond die tijd EUR 4,5 miljoen. Inmiddels zijn deze prijzen door de gestegen staalprijzen in 2022 met ruim EUR 2 miljoen opgelopen. Voor de Antonie ligt de oorspronkelijke prijs vast.

Ten tijde van de contractvorming varieerde de marktprijs voor waterstof tussen de EUR 5 en 6 euro per kg. De vergelijkbare marktprijs voor scheepsdieselolie bedroeg op dat moment ruim 1 euro. Anno 2022 is de marktprijs voor waterstof opgelopen tot meer dan 10 euro per kg. Tegen de prijzen van 2022 zou het heel problematisch zijn het WEVA project te realiseren.

Voor dit projectonderdeel zijn vooral de kosten van de brandstofcel, de brandstofcelcomponenten, de opslag van de waterstof aan boord en de leveringskosten van de waterstof van belang.

Omdat het ms. Antonie wordt ingezet tussen Delfzijl en Rotterdam bleek, na berekeningen, dat volstaan kon worden met een voortstuwingsinstallatie met minder vermogen dan doorgaans voor vergelijkbare schepen op de Rijn wordt toegepast. Het ms. Antonie wordt vooral ingezet op kanalen en het IJsselmeer.

Uit een vermogensberekening van het bestaande schip kon worden afgeleid dat het gebruikte vermogen op het gehele traject vrijwel niet boven de 500 KW uitkomt. Aldus werd besloten het vermogen van de brandstofcel te beperken tot 550 KW. Op een vergelijkbaar schip dat de Rijn bevaart wordt doorgaans een dieselmotor van max. 1800 KW geplaatst, om ook onder de meest extreme omstandigheden van hoog water en tegenstroom het schip manoeuvreerbaar en op snelheid te kunnen houden. Een brandstofcel met een vermogen van 550 KW is anno 2019 zesmaal duurder in aanschaf dan een CCR II dieselmotor en ruim driemaal duurder dan een Stage V motor (de norm voor nieuwe verbrandingsmotoren voor de binnenvaart na 2019).

**Scheepsafmetingen.** De bestaande Antonie heeft een lengte van 110 m. lang en meet 2700 ton laadvermogen. Om een deel van de extra kosten aan boord van de aanschaf van de waterstofinstallatie en het gebruik van waterstof te kunnen compenseren werd besloten de nieuw te bouwen Antonie de maximaal toegestane lengte van 135 m. te geven. Het schip kan hierdoor per keer 1000 ton meer laden. De vaarweg Lemmer-Delfzijl is kort daarvoor geschikt gemaakt voor de schepen met deze maximale afmetingen. Breedte en diepgang van het schip bleven hetzelfde (11,45 m. breed en 4,5 m. diep).

Met dit stukje efficiencywinst wordt beoogd in ieder geval een deel van de extra kosten af te dekken als gevolg van:

- Eerdere en waarschijnlijk duurdere revisie van de brandstofcelplaten (na 30.000 uur) ten opzichte van een scheepsdiesel (deze wordt na 50.000-60.000 draaiuren gereviseerd). Daar staat tegenover dat een brandstofcel geen bewegende onderdelen heeft en dus minder slijt dan een dieselmotor.
- De opslagcontainers voor waterstof zijn relatief kwetsbaar en dienen frequent te worden gekeurd en onderhouden. Dit zijn relatief hoge kosten van ca. EUR 10.000 per jaar per container.
- Brandstofcel en opslagcontainers kennen een maximale levensduur die korter is dan een dieselmotor en dieselopslagtanks aan boord.

Met al dit soort zaken en kosten moet eerst nog ervaring in de praktijk worden opgedaan, alvorens met zekerheid uitspraken kunnen worden gedaan.

**Optimale combinatie.** Naast het ontwerpen en realiseren van een prototype van een nieuwe brandstofcel, geschikt voor de voortstuwing van een schip, moet binnen dit project ook vastgesteld worden wat de meest optimale en economische combinatie is, in het bijzonder in relatie tot de opslag en het laden van waterstof. Dit is een ingewikkeld vraagstuk en het antwoord kan per casus verschillen.

Voor het ms. Antonie is vastgesteld dat de belading van waterstof in Delfzijl niet meer dan een half uur in beslag mag nemen. Door te kiezen voor de goedkoopste oplossing voor de compressie (300 bar) valt het laden van waterstof aan een pijp of slang met een vaste opslagtank aan boord dus af. Het logistieke proces kan een extra oponthoud van ruim 2,5 uur per roundtrip niet aan. Vanuit die optiek is gekozen voor een systeem van wisselcontainers. Het nadeel hiervan is dat dubbele set van twee keer drie containers nodig is, drie aan boord en drie aan de wal. Deze oplossing werkt erg kostenverhogend. Dit type 4 containers kost op dit moment 230.000 euro per stuk.

Een hogere compressiedruk zou mogelijk in de toekomst de noodzaak van het gebruik van wisselcontainers overbodig maken en aan de scheepskant tot besparingen leiden. Mogelijk kan het laadproces van een vaste tank aan boord dan tot een korte periode van maximaal een half uur worden teruggebracht. Maar

waarschijnlijk is dan wel een compressiedruk van minimaal 700 bar nodig, hetgeen de aanschafprijs van de compressor enkele miljoenen euro's duurder maakt. Voorts dienen nieuwe nog duurere opslagcontainers te worden ontworpen en gecertificeerd. Vooralsnog is dit naar onze mening niet haalbaar.

De meest optimale technische en economische combinatie voor opslag en laden van waterstof voor de binnenvaart is vooralsnog het gebruik van gecomprimeerde gasvormige waterstof onder 300/350 bar in wisselcontainers. Naar verwachting is dit voor de eerste vijf tot tien jaar de meest optimale methode voor gebruik van waterstof aan boord van binnenvaartschepen.

**Verschijningsvorm.** Waterstof kent vele verschijningsvormen, zoals puur gecomprimeerd in een tank (tube), gebonden aan een drager (LOHC's of methanol, ammoniak), liquid (cryogen, -253 g. Celcius) of vast (o.a. Natrium Boor Hydride). Elke verschijningsvorm heeft zo zijn eigen voor- en nadelen, veiligheidseigenschappen, prijs en energie-inhoud. Welke de meest waarschijnlijke verschijningsvorm van de toekomst zal zijn is onzeker. Wij denken dat een optimale combinatie van prijs, energie-inhoud en gebruiksgemak uiteindelijk de doorslag zal geven. Een vloeibare veilige vorm van waterstof die net zo gemakkelijk kan worden getankt als benzine of diesel, lijkt een logische toepassing.

Waterstof komt op aarde niet voor en dient te worden gemaakt in een fabriek of een elektrolyser. De productiekosten van elke vorm van waterstof is nog steeds veel hoger dan van elke fossiele vergelijkbare brandstof. Voor het WEVA project hebben wij daarom gekozen voor de goedkoopst mogelijke beschikbaarheid van waterstof (die nog steeds vele malen duurder is dan fossiel). De waterstof die Nobian produceert als bij-product van het chlooralkali productie proces is 99% pure waterstof. In Delfzijl produceert Nobian ongeveer 1000 kg waterstof per dag. Omdat deze waterstof met groene elektriciteit van een nieuw windpark op zee wordt geproduceerd is sprake van echte groene gecertificeerde waterstof. De uitgangsdruk aan de pijpleiding is 2 tot 3 bar.

**Vulstation.** Binnen het WEVA project wordt in Delfzijl als onderdeel van het Heavenn project (Hydrogen Valley Noord Nederland) door HyEnergyTransstore (HTS) met Europese subsidie een vulstation voor de waterstof gerealiseerd. HTS zal de waterstof van Nobian comprimeren tot ca. 350 bar en de 3 opslagcontainers van de Antonie vullen. Het ms Antonie heeft totaal 6 waterstofopslag containers, waarvan er steeds drie aan boord staan en drie aan de wal bij het vulstation om te worden gevuld. De containers bevatten onder deze druk 400 kg waterstof per stuk. Drie containers is voldoende om de roundtrip Delfzijl-Rotterdam geheel op waterstof te maken. In Delfzijl worden de lege containers steeds omgewisseld voor volle. Op termijn wordt ook in Rotterdam een dergelijk vulstation voorzien.

**Wetgeving.** Voor toepassing van waterstof of een brandstofcel voor voortstuwing van een binnenschip is wettelijk (nog) niets bepaald. Hierbij is de (Europese) wetgeving voor de rijnvaart (CEVNI) leidend. In een vroeg stadium is overleg gevoerd met het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat teneinde de introductie van een waterstofschip juridisch ook mogelijk te maken. Binnen het wetgevingskader van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCNR) is kort daarna een speciale werkgroep waterstof ingericht om bouwvoorschriften voor een waterstofschip te ontwerpen.

Het werk van deze internationale commissie heeft vrijwel synchroon plaatsgevonden aan het bouwproces van het waterstofschip.

Dit betekende dat op het moment dat componenten van de brandstofcelconfiguratie werd ontworpen er reeds een set van voorlopige richtlijnen van deze werkgroep voor de scheepswerf beschikbaar was, op grond waarvan een degelijk het ontwerp kon worden bepaald. Zowel bij het opstellen van deze richtlijnen als bij het beoordelen van het ontwerp van de brandstofcelconfiguratie + componenten is het Classificatiebureau Lloyds Register London betrokken. Met de Nederlandse vaarwegbeheerder is afgesproken dat wanneer Lloyds Register de brandstofcelconfiguratie goedkeurt, voor het ms Antonie een aantekening op het Certificaat van Onderzoek zal worden toegekend voor het varen op waterstof.

Per 31 augustus 2022 is binnen dit project het prototype van een brandstofcel geschikt voor het voortstuwten van een schip werkend opgeleverd. Lloyds Register heeft, na een uitvoerige procedure (HAZID, HAZOP) dit prototype inmiddels goedgekeurd voor certificering voor de rijnvaart. De procedure loopt nog door voor het certificeren van het ms. Antonie voor het varen op waterstof en de opslagcontainers.

Een bijzonder woord van dank, vanuit de Weva-projectdeelemers, richten wij aan de ambtenaren die zo snel gewerkt hebben en aan een ieder die daaraan heeft bijgedragen. Nieuwe wetgeving opstellen binnen twee jaar is een prestatie van formaat.

### **Te behalen doelstellingen**

Het hoofddoel van dit project was een prototype van een nieuwe brandstofcel te ontwikkelen, geschikt voor de voortstuwing van een schip. Dit doel is behaald.

Binnen dit project is een ontwerp van een scheepsconfiguratie gebaseerd op de zero-emissie brandstofcel technologie en de overige noodzakelijke brandstofcel-elektrische componenten gerealiseerd. Het prototype is werkend en gereed voor inbouw in een schip opgeleverd en kon aan RVO worden gedemonstreerd. Het ontwerp voldeed aan de technische vereisten en specificaties. Lloyds Register heeft de brandstofcelconfiguratie gecertificeerd voor inbouw als voortstuwingsinstallatie in een schip.



Binnen dit project wordt hierbij een onderzoeksrapport opgeleverd, inclusief het definitieve design en technische invulling van een brandstofcelconfiguratie voor een nieuw waterstof schip van 135 meter voor de binnenvaart. Hierbij wordt de meest optimale en economische combinatie vastgesteld in het bijzonder in relatie tot de opslag en het laden van waterstof.

- **Conclusies en aanbevelingen** 

Het ontwikkelen van een brandstofcelconfiguratie geschikt voor voorstuwing van een binnenschip is technisch goed realiseerbaar.

Met de huidige technieken is gecomprimeerde waterstof veilig en gecertificeerd toepasbaar in auto's en schepen.

De meest optimale technische en economische combinatie voor opslag en laden van waterstof voor de binnenvaart is vooralsnog het gebruik van gecomprimeerde gasvormige waterstof onder 300/350 bar in wisselcontainers.

Voor het ms. Antonie is op basis van voorgaande combinatie gekozen voor een toekomstvast ontwerp rond de werking van de brandstofcel en de opslagmethode van waterstof, dat naar verwachting over tien jaar nog steeds functioneel is,

Naar verwachting zijn er tegen die tijd wel andere aandrijflijnen, typen brandstofcellen, opslagmethoden en verschijningsvormen van waterstof die efficiënter of aantrekkelijker (zijn op het gebied van energie-inhoud, prijs, opslagcapaciteit, gebruiksgemak en veiligheid, dan de meest optimale combinatie nu). Voorlopig zijn deze alternatieven echter te duur om nu al in schepen toegepast te worden.

Ook indien gekozen wordt voor de goedkoopste oplossing(en) is het bouwen van een waterstofschip (2 keer) of het varen op waterstof op dit moment nog altijd vele malen (5 keer) duurder dan het bouwen van een conventioneel schip met een verbrandingsmotor.

Testrapporten geven aan dat een brandstofcel onder maritieme omstandigheden goed blijft functioneren, ook bij slagzij en onder vochtige omstandigheden.

Het binnen dit project ontwikkelde prototype van een brandstofcel geschikt voor de voortstuwing van een binnenschip bleek op de testbank naar tevredenheid te functioneren en leverde het verwachte vermogen.

Wetgevers voor de rijnvaart hebben, inspeliend op deze waterstof initiatieven, snel gehandeld en richtlijnen ontworpen die in het ontwerp van de

brandstofcelconfiguratie in dit project zijn toegepast. Hierdoor kan het schip naar verwachting binnen twee jaar in de vaart worden gebracht.

### **Aanbevelingen:**

Het verdient aanbeveling voor vervolgprojecten na te gaan langs welke wegen tot kostenbesparingen op de samenstelling van de brandstofconfiguratie en de opslagmethode gekomen kan worden.

Het verdient aanbeveling bij vervolgprojecten na te gaan of andere verschijningsvormen van waterstof en/of andere opslagmethoden van waterstof al marktgeraad kunnen worden toegepast.

Gezien de ontwikkelingen in de energiemarkt verdient het aanbeveling om het risico van prijsschommelingen van waterstof te beperken door de gehele waarde- en supply keten bij het initiatief te betrekken, alsmede ook de betrokken verlader(s) onderdeel te laten zijn van het project en meerjarige afspraken te maken, zodat het initiatief ook na verloop van jaren kan worden voortgezet

### **3. Uitvoering van het project**

- De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost.

Tijdens de ontwerp en bouwfase hebben zich geen onoverkomelijke technische of organisatorische problemen voorgedaan die niet konden worden opgelost. Het prototype van de brandstofcelconfiguratie geschikt voor de voortstuwing van een schip is ontworpen, gebouwd en getest en bleek conform de verwachting te functioneren en het gevraagde vermogen te leveren.

- Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan <sup>[1]</sup><sub>[SEP]</sub>

Ten opzichte van het projectplan zijn geen noemenswaardige wijzigingen aangebracht in het verloop van het project of de te verwachten uitkomsten.

- Toelichting op de verschillen tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten.

De projectpartners Lenten, Koedood en Nedstack hebben meer kosten gemaakt dan vooraf verwacht en NPRC juist minder. De ene partij heft gedurende het project wat meer taken op zich genomen dan de andere en er ook meer dan wel minder tijd in hoeven steken. Het verzoek is deze wijziging in tijdsbesteding en kosten tussen de partners te kunnen verrekenen, zodat onder aan de streep de volledige subsidie benut kan worden.

- Toelichting wijze van kennisverspreiding <sup>[L]</sup><sub>[SEP]</sub>

Binnen het Weva-project wordt alle expertise verzameld om de opgedane kennis inzake het ontwerpen en bouwen van waterstofscheperen te bundelen en aan de markt beschikbaar te stellen.

Wanneer het project is afgerond worden verschillende mogelijkheden benut via publicaties, evenementen en via internet.

- Toelichting PR- project en verdere PR-mogelijkheden <sup>[L]</sup><sub>[SEP]</sub>

Binnen het WEVA project zijn middelen gereserveerd en beschikbaar om na het in de vaart brengen van het waterstofschip PR-activiteiten te doen die het project en de uitkomsten onder de aandacht van het publiek en bestuurders brengen.

Bijlagen:

- Bijlage 1; Subsidiebeschikking RVO; Waterstoftender/TKI nieuw gas, TWAS119D19/TWAS11924DU
- Bijlage 2; Wijzigingsbeschikking TWAS121Q7IPU, uitstel tot 31-8-2022,
- Bijlage 3; Basic Design brandstofcelconfiguratie ms. Antonie, S020001-MT-FCPP-500,
- Bijlage 4, dwarsdoorsnede ms. Antonie met max. 4 opslagcontainers voor waterstof. 2022 0 - 4 11 3355 - CS882,
- Bijlage 5; Technisch voortgangsrapport WEVA project, Koedood Dieselservice, S. Roosjen, 12/12/2022,
- Bijlage 5; WEVA-project,
- WEVA Leaflet, factsheet,

Financiële bijlagen:

-