



Hoezo ammoniak als scheepsbrandstof?

Met ammoniak een kringloop zonder CO₂

Figuur 1.

Ammoniak is bij velen bekend vanwege de penetrante geur. Wie het eenmaal geroken heeft in een stal of bij ammonia, vergeet de geur nooit meer. Ook staat ammoniak in een kwade reuk als medeveroorzaker van de stikstofproblematiek. Het andere gezicht van ammoniak als energiedrager en brandstof is vrijwel onbekend.

Ammoniak ontbreekt zelfs in de tabel met stookwaarden in *Binas*, zie tabel 28 B. Daarin staat voor Gronings aardgas: 32 MJ/m³ en waterstofgas: 10,8 MJ/m³ ($T=273\text{ K}$ en $p=p_0$) De stookwaarde van ammoniakgas bedraagt 15,13 MJ/m³ en zit dus in tussen aardgas en waterstof. In 2019 verscheen van Niels de Vries het proefschrift 'Veilige en effectieve toepassing van ammoniak als scheepsbrandstof'. Het is bekroond

met de Maritime Designer Award in 2019. Niels de Vries werkt als maritiem ingenieur bij Nederlands grootste onafhankelijke maritieme ingenieursbureau C-Job Naval Architects. Hij is een groot voorstander van hernieuwbare brandstoffen zoals waterstof, ammoniak en methanol. C-Job Naval Architects heeft als doel om de 'wereldwijde maritieme industrie duurzaam te maken door toewijding en vindingrijkheid'. En dat is hard nodig. De klimaatafspraken lieten tot nu toe de lucht- en scheepvaart ongemoeid, terwijl de huidige zeevaart een aandeel van maar liefst 6% heeft in alle jaarlijks in de wereld gebruikte olie, met alle bijbehorende CO₂-uitstoot. En 'bunkerolie' mag volgens het Marpolverdrag ter voorkoming van vervuiling door schepen van IMO, de In-

ternationale Maritieme Organisatie, vanaf 2020 maximaal nog steeds 0,5% zwavel bevatten of zelfs 3,5% als er een uitlaatgassenwasser of SOx-scrubber is. Een belangrijke conclusie uit het onderzoek van Niels is dat het gebruik van duurzame brandstoffen in de scheepvaart mogelijk is en dat vooral bij grote vrachtschepen NH₃ ofwel ammoniak als brandstof veel potentie heeft.

Het werk bij C-Job

Klanten van C-Job zijn voornamelijk scheepseigenaren en scheepswerven. C-Job voorziet in de volledige scope van theoretische scheepsbouw in iedere ont-



NIELS DE VRIES heeft hbo scheepsbouw, en daarna tijdens zijn werk bij C-Job Naval Architects de master TU Delft Maritieme techniek gedaan. Hij is in 2014 begonnen bij C-Job Naval Architects. Hij werkt daar nu als Lead Naval Architect.

Autonomie	Scheepstype		
	Vracht	Passagiers & Overig	
Uren	Batterijen		
Dagen	Waterstof		
Weken	Ammoniak	Methanol	Methanol

Figuur 2. Duurzame brandstoffen bij verschillende scheepstypen.

werfphase met disciplines in scheepsontwerp, hydromechanica, constructiesystemen, elektrische systemen, interieur- & bouwbegeleiding. C-Job bedient klanten wereldwijd en heeft meer dan 180 ingenieurs verspreid over drie kantoren in Nederland, en aparte kantoren in Polen, Oekraïne, Griekenland en de Verenigde Staten.

Verschillende duurzame brandstoffen

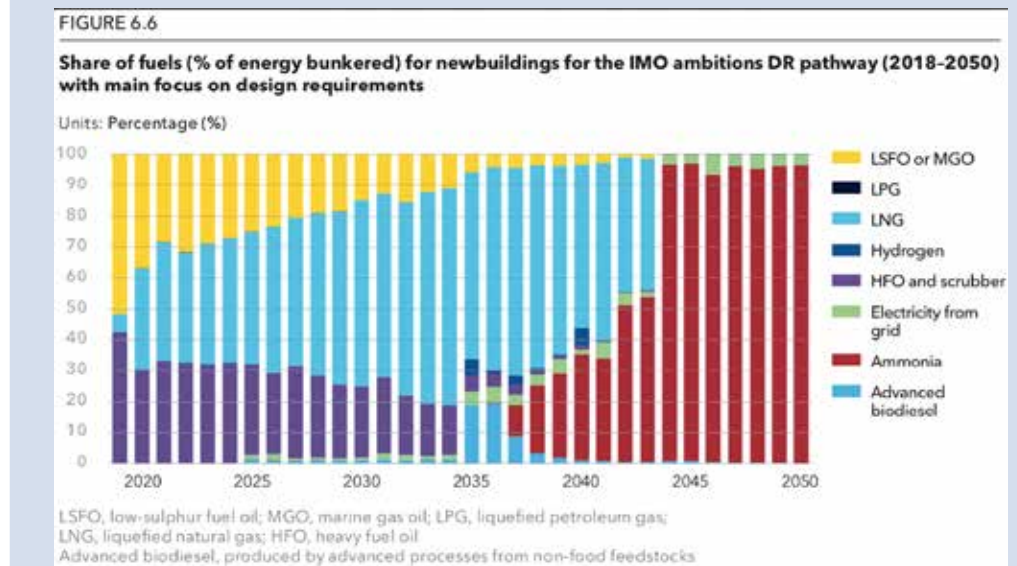
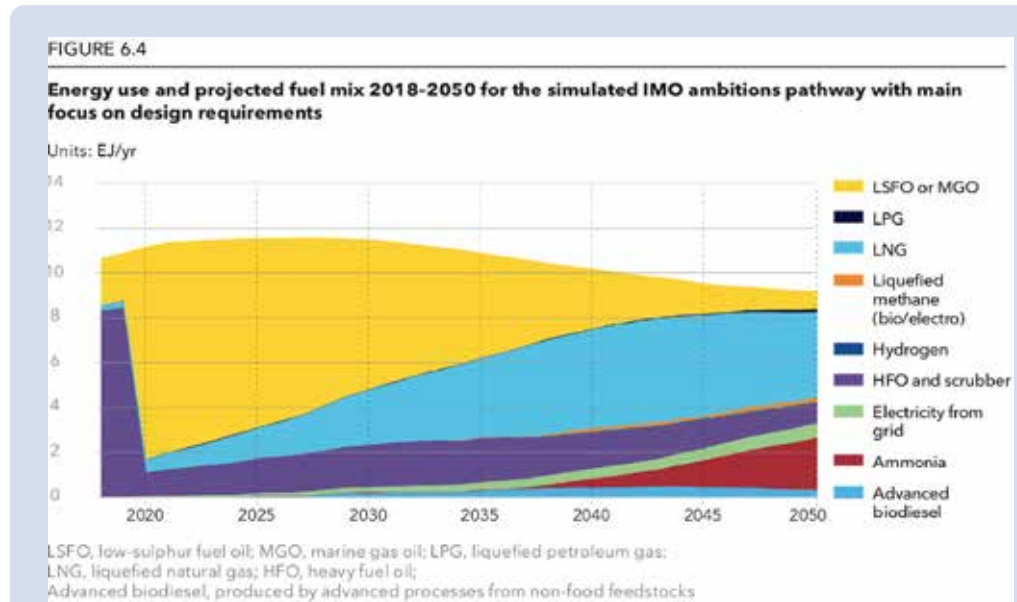
Kijkend naar de grote verschillen in type, grootte en operationeel profiel van de schepen zijn verschillende duurzame oplossingen gewenst. De circa 300 miljoen ton olie die momenteel in de maritieme industrie jaarlijks wordt verbruikt, zal dus door een grote mix van alternatieve brandstoffen stapsgewijs worden vervangen.

Batterijen hebben een lage energiedichtheid en zullen een zeer beperkte rol als primaire energiedrager in schepen spelen. Met waterstof kunnen schepen op brandstofcellen varen. Waterstof speelt een sleutelrol zowel in directe als in indirecte vorm. Voor een deel van de markt kan waterstof in gecomprimeerde en vloeibare vorm worden toegepast. Daarnaast is waterstof in indirecte vorm belangrijk voor e-ammoniak en e-methanol. E-ammoniak of groene ammoniak wordt gemaakt uit stikstof en groene waterstof met het Born-Haberproces volgens $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. Daarbij is dan wel duurzame energie nodig. Groene of e-methanol, CH_3OH , wordt gemaakt uit 'groene' CO_2 en groene waterstof volgens: $CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$. De 'grondstof' CO_2 moet wel van een hernieuwbare bron komen zoals biomassa of via directe luchtynametechnieken.

De precieze verdeling van deze en andere brandstoffen in de markt zal de tijd moeten uitwijzen. De bovengenoemde IMO heeft verschillende scenario's ontwikkeld zie figuur 3a en 3b.

Ammoniak

Vloeibare ammoniak heeft een veel hogere volumetrische energiedichtheid dan vloeibare waterstof. Verder kan ammoniak onder veel acceptabelere drukken en temperaturen worden opgeslagen met -34°C onder atmosferische druk of 10 bar bij kamertemperatuur. Vergelijk waterstof met -253°C of 700



Figuur 3a en 3b. Twee IMO scenario's voor scheepsbrandstoffen tot 2050: ammoniak is rood weergegeven.

bar. (Met de kennis van scheikunde havo en vwo zijn deze verschillen in eigenschappen te verklaren: ammoniakmoleculen vormen waterstofbruggen en waterstofmoleculen niet.) Daarnaast kost het minder energie om ammoniak te maken dan methanol. Dit maakt ammoniak een gebalanceerde oplossing met veel potentie voor schepen.

Invoering in drie fasen

Ammoniak reageert met zuurstof in een exotherme reactie volgens $4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$. De stikstof die bij de vorming van ammoniak werd gebonden, komt weer vrij. De eerste logische stap is het gebruik van ammoniak in een interne verbrandingsmotor. Het rendement van scheepsmotoren is

betrekkelijk hoog, circa 50%, vergelijk 25% bij de verbrandingsmotor in een auto. Ammoniak verbrandt niet heel gemakkelijk. De zelfontbrandingstemperatuur is hoog, 651°C en de ontvlambaarheidsbandbreedte is relatief smal namelijk 15-28%. Stookolie, die gebruikt wordt in een scheepsdieselmotor is geschikt als pilot; ook wel pilotbrandstof genoemd. Deze zorgt voor de start van de ontbranding en je kunt daar volledig op terugvallen indien er iets mis gaat in het ammoniak-brandstofsysteem. Hiermee blijft de continuïteit van de operatie en daarmee de betrouwbaarheid gewaarborgd, wat essentieel is voor scheepseigenaren. Motorfabrikanten MAN en Wartsila zijn beide actief met de ontwikkeling van dergelijke motoren en brengen deze binnen een paar





jaar op de markt. In de tweede fase kan de ammoniak-waterstof-verbranding worden overwogen. Dan is geen diesel meer vereist, waardoor de CO₂-emissie naar nul kan worden gebracht. De waterstof kan worden verkregen door een deel van de ammoniak te kraken met warmte, bijvoorbeeld van de uitlaatgassen. Dit mengsel van ammoniak en waterstof heeft met aardgas vergelijkbare verbrandingseigenschappen en kan met een vonk, net als in een benzinemotor van een auto, worden ontstoken.

In de derde en laatste fase komen brandstofcellen voor ammoniak in beeld. De verwachting is dat de cellen in 2035-2040 voldoende ontwikkeld zijn om voor de grote vaart in productie te worden genomen.

Veiligheid

Ammoniak is erg giftig en het is een gas onder atmosferische condities. Daarom zijn specifieke veiligheidsmaatregelen essentieel om het transport en gebruik van ammoniak veilig te laten verlopen. Voor de toepassing op schepen kan veel worden geleerd van de procesindustrie die al meer dan 100 jaar met ammoniak werkt. Een vrachtschip is een gesloten omgeving met getrainde professionals waar ammoniak als brandstof een heel interessante optie is.

Milieu, kringloop van stikstof

De uitlaatgassen kunnen nog ammoniak en stikstofoxiden bevatten. Diverse methoden om de uitlaatgassen te behandelen zijn reeds beschikbaar en moeten alleen nog worden verfijnd. Het grote voordeel van ammoniak boven methanol is dat er geen CO₂ vrijkomt bij de verbranding. De stikstof, die uit de atmosfeer wordt gehaald bij de productie van ammoniak, komt na de verbranding weer in de atmosfeer. Er is dus voor stikstof sprake van een kringloop.

De toekomst

De scheepvaart is zeker in beweging te brengen om te verduurzamen. Hierbij is een gelijkwaardig economisch speelveld essentieel. De meerwaarde van schone(re) scheepvaart moet zijn prijs gaan krijgen in de markt. Dit kan door bereidheid te vinden bij klanten van scheepseigenaren die meer willen betalen voor schone(re) scheepvaart. Verder zou ook de uitstoot van schadelijke stoffen belast



Figuur 4. Gaat het Australische schip MMA Leveque in 2022 als eerste schip ter wereld op groene ammoniak varen? Foto: MMA Offshore

kunnen gaan worden met bijvoorbeeld een CO₂-eq belasting. Op internationaal niveau is een doelstelling om schadelijke emissies te reduceren geformuleerd. Maar de regels en de handhaving zijn nog niet volledig uitgewerkt. Gelukkig zijn er in de maritieme industrie frontrunners actief bezig hun vloot te verduurzamen. Ze willen dat hun hele vloot voor 2050 vaart met schepen op hernieuwbare brandstoffen. Kijkende naar de levensduur van een schip (25-30 jaar) zullen de eerste schepen in dit decennium (2021-2030) worden opgeleverd.

Opeens en onverwacht?

Al in 1822 ontwierp edelman en wetenschapper Sir Goldsworthy Gurney een ammoniakmotor voor een locomotief. Begin twintigste eeuw werd veel geëxperimenteerd met allerlei brandstoffen waaronder ammoniak. Toen er tijdens de Tweede Wereldoorlog in 1942 gebrek kwam aan dieselolie, was er voldoende kennis aanwezig voor Belgische werktuigbouwkundigen om dieselmotoren om te bouwen voor ammoniak. Honderd autobussen werden omgebouwd en cilinders met ammoniak werden op de daken van de bussen geplaatst. Ruim 100.000 kilometer werd gereden zonder ook maar een enkel ongeluk. Door de lage olieprijs bleef het na de oorlog een tijd rustig rondom ammoniak. Pas in 2013 bracht Toyota weer een ammoniakmotor op de markt met het model Marangoni Toyota GT 86-R Eco-Explorer. Korea introduceerde in 2018 de AM Veh, een bifuel van ammoniak en benzine die doet

denken aan de Chevrolet Spark, ook een bifuel maar dan van LPG en benzine. In Australië wordt in een locomotief een ammoniakmotor getest voor het schip MMA Leveque. De Australische miljardair Andrew Forrest, rijk geworden met mijnbouw, zet alles op alles om in 2022 dit 75 meter lange schip als eerste schip ter wereld alleen op ammoniak te laten varen op brandstofcellen met een vermogen van 2 megawatt. Hij doet denken aan Alfred Nobel die de geschiedenis niet in wou gaan als degene die schatrijk was geworden met de verkoop van dynamiet.

Of ammoniak op land, anders dan op zee, een grote rol gaat spelen, is vooralsnog de vraag. De genoemde voorbeelden tonen wel aan dat ammoniak als brandstof werkt en dat het op zee fossiele brandstoffen kan gaan vervangen. ●

BRONNEN

- *Techno-Economic Challenges of Green Ammonia as an Energy Vector 1st Edition - September 30, 2020* pag. 115
 - Valera-Medina, A. et al. Review on Ammonia as a Potential Fuel. *Energy Fuels* 2021, 35, 6964-7029
 - Vries N. de (2019). *Safe and effective application of ammonia as a marine fuel*. TU Delft 2019.
 - <https://spectrum.ieee.org/why-the-shipping-industry-is-betting-big-on-ammonia>
 - <https://newatlas.com/marine/fortescue-worlds-first-ammonia-ship/> 11-11-2011
- Internetbronnen geraadpleegd op 4-12-2021