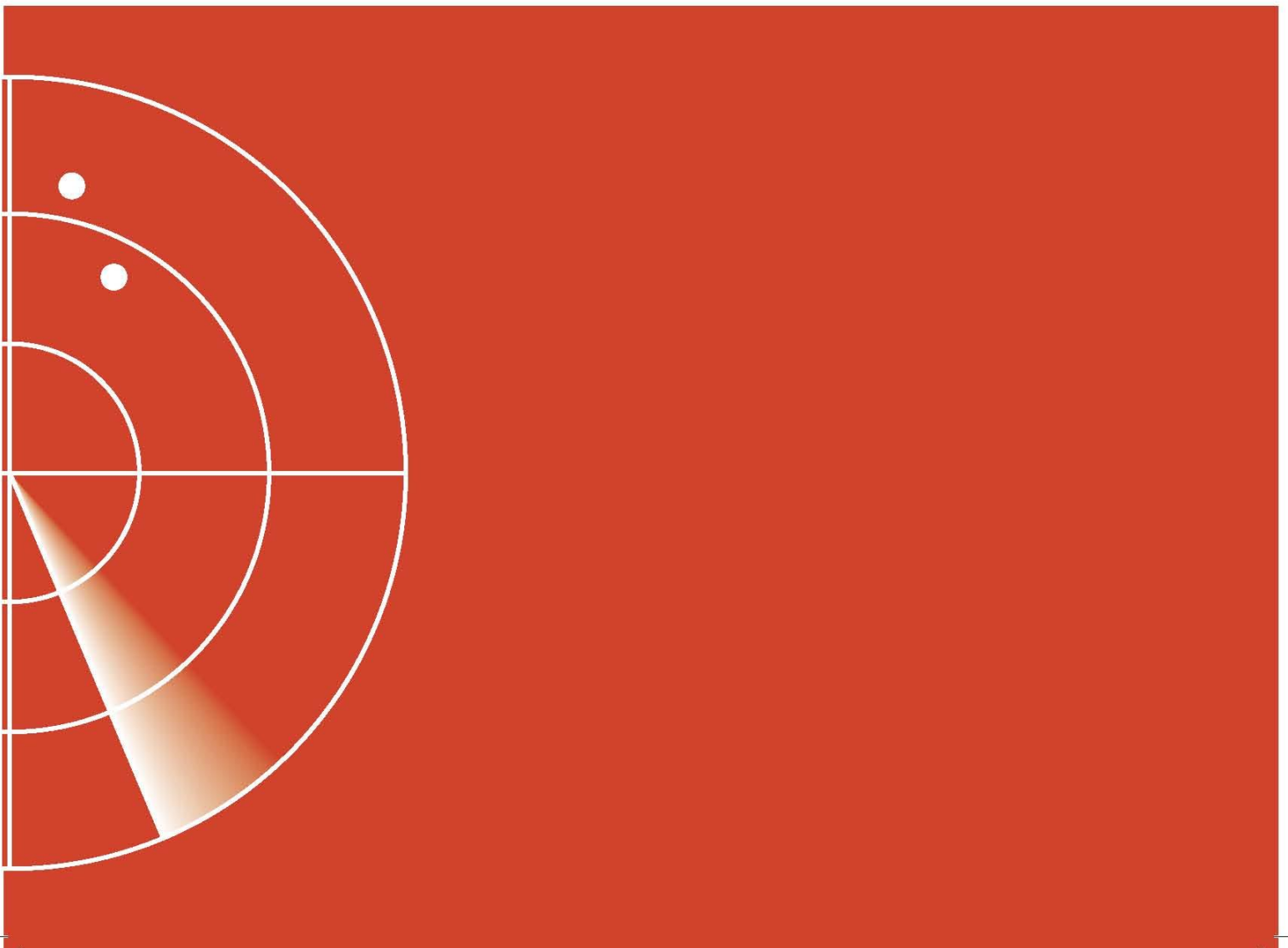


LNG als brandstof voor de binnenvaart



Centrum Maritieme
Technologie en Innovatie
(CMTI)
Postbus 138
2200AC ZOETERMEER

T: 079 353 1165
F: 079 353 1155

Haalbaarheidsstudie

CMTI.11.107.5.1A LNG als brandstof voor de binnenvaart

Datum	26 januari 2011
Auteur(s)	Boudewijn Hoogvelt Bert de Vries (Scheepsbouw Nederland)
Opdrachtgever	Martim Innovatie Forum (MIF)
Projectnummer	DVR1_200100603
Projectnummer	3107
Onderzoekperiode	Oktober t/m december 2010
Aantal pagina's	35
Aantal bijlagen	-
Aantal figuren	8
Aantal tabellen	3

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van het Centrum Maritieme Technologie en Innovatie (CMTI).

Het ter inzage geven van het CMTI-rapport aan direct belang-hebbers is toegestaan.

© 2011

Samenvatting

De internationale druk op het reduceren van scheepsemissies is groot. Toepassing van LNG (Liquefied Natural Gas / Vloeibaar Aardgas) als scheepsbrandstof biedt goede perspectieven voor zowel reductie van lokale emissies als voor CO₂ reductie.

De technologie is beschikbaar. Op dit moment is er nog geen duidelijk beeld wat er op binnenvaart gerelateerde bedrijven afkomt, wanneer zij de huidige brandstof 'gasolie' willen vervangen door LNG. Deze studie beoogt bij te dragen aan het verlagen van de drempels voor toepassing van LNG.

Het doel van het onderzoek is de haalbaarheid te onderzoeken met betrekking tot techniek en veiligheid van LNG als brandstof voor binnenvaartschepen en een beeld te krijgen van de consequenties van toepassing van LNG ten opzichte van conventionele brandstoffen.

Het accent in dit onderzoek ligt niet in de studie van de gehele keten, maar op de bepaling van effecten van LNG als brandstof in relatie tot techniek en het brede spectrum van de huidige regelgeving. De nadruk zal liggen op het onderzoeken van de mogelijkheden om LNG in de praktijk toe te passen op nieuwbouwschepen.

De informatie voor deze studie is mede verkregen uit verschillende interviews met stakeholders zoals het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, IWW, reders, werven, klasse, toeleveringsindustrie en een LNG leverancier.

Conclusies

LNG als brandstof voor binnenvaartschepen is technisch haalbaar maar er zijn nog aantal uitdagingen.

Lean-burn aardgas motoren op binnenvaartschepen gekoppeld aan elektrische aandrijving is een kansrijke toepassing. Dual-fuel motoren op diesel en aardgas bieden ook mogelijkheden bij binnenvaartschepen. Het voordeel is dat ook op 100% diesel kan worden gevaren. Het nadeel is dat de emissies in het gebied van 10% tot 100% diesel ongunstig worden beïnvloed en niet bekend zijn. Om die reden heeft IWW sterk de behoefte aan een registratie voor de feitelijke emissies, met dataopslag.

LNG-opslag systemen zijn haalbaar aan boord van binnenvaartschepen. De opslagtanks kunnen bovendecks worden geplaatst. Onderdecks moet het in een separate ruimte. De opslagtanks zijn in alle gewenste maten leverbaar. De toepassing van standaard cryogene ISO-containers zullen de kosten voor de opslagtanks drukken.

De overdrukbeveiligingen conform de eisen uit de BLG-code zijn momenteel niet haalbaar. Het plaatsen van een (warmwater)verdampers aan boord om

LNG te verwarmen is haalbaar, evenals de gasstraat aan boord om het aardgas naar de motoren te leiden. Volgens de BLG-code moet het LNG systeem inherent gasveilig zijn. De gasleidingen moeten dubbelwandig zijn uitgevoerd. Volgens de BLG-code moet dat tot op de gas injectoren.

De levering van LNG in Nederland is momenteel op een enkel punt na niet mogelijk, maar er zijn op korte termijn kansen. De provincie Zuid Holland wil het kenniscentrum zijn voor toekomstige LNG bunkerlocaties in Nederland. Het bunkeren kan voorlopig heel goed met een vrachtwagen plaatsvinden.

Aanbevelingen

LNG biedt grote kansen indien stakeholders bereid zijn samen te werken en daarbij creatief gebruik te maken van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en de Inspectie Verkeer en Milieu.

Internationale regelgeving voor de binnenvaart volgens de IMO opzet is op korte termijn nodig.

Voor grootschalige toepassing van LNG moet een bunkerinfrastructuur worden opgezet. Op korte termijn met behulp van vrachtwagens, op de langere termijn afhankelijk van de toename van LNG als brandstof met bunkerschepen of met vaste bunkerplaatsen.

Het is zeer gewenst om van meet af aan één standaard voor de vulaansluiting te hanteren.

Bij het uitwerken van het scheepsconcept moet het totale energiemangement worden beschouwd, inclusief de warmtehuishouding. Hier is nog een innovatieslag te maken.

Het aanpassen van een bestaand schip naar varen op LNG is ingrijpend en kostbaar en wordt daarom afgeraden.

Doel van de studie zijn schonere emissies. Dit kan met LNG maar er zijn ook andere technologieën, brandstoffen en toevoegingen, waarvan de haalbaarheid voor de binnenvaart zou kunnen worden onderzocht.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	6
1.1 Doel van het onderzoek	6
1.2 Aanpak van het onderzoek	6
1.3 Opbouw van het rapport	7
2 Wet- en regelgeving voor LNG aan boord van binnenvaartschepen	8
3 Het referentieschip	11
4 Motoren voor binnenvaartschepen op LNG	14
4.1 LNG (Vloeibaar aardgas)	14
4.2 Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren	15
4.3 Aardgasmotoren voor binnenvaartschepen	17
4.4 Eisen aan motoren volgens de IMO-richtlijnen	17
4.5 Haalbaarheid van motortypen en configuraties	18
5 LNG opslag aan boord	20
5.1 Benodigde LNG opslagcapaciteit en vorm	20
5.2 Locatie voor opslagtanks	21
5.3 Eisen aan onderdekse LNG opslag aan boord	22
5.4 Opslagsysteem	22
5.5 Haalbaarheid van LNG opslag aan boord	23
6 Overige elementen van de gastoevoer aan boord	24
6.1 Vulsysteem	24
6.2 Verdampinstallatie	25
6.3 Gasstraat	25
6.4 Haalbaarheid van gassystemen aan boord	26
7 Veiligheidseisen aan het geïntegreerde systeem	27
7.1 Gasleidingen	27
7.2 Ventilatie	28
7.3 Brandveiligheid	28
7.4 Control, monitoring en veiligheidssystemen	29
8 Bunkeren van aardgas	30
9 Conclusies en aanbevelingen	33
9.1 Conclusies	33
9.2 Aanbeveling:	34
Referentielijst	35

1 Inleiding

De internationale druk op het reduceren van scheepsemissies is groot. Terugdringen van het aandeel van de binnenvaartschepen aan lokale emissies is belangrijk, omdat de vaarwegen nabij dichtbevolkte gebieden liggen. Toepassing van LNG (Liquefied Natural Gas / Vloeibaar Aardgas) als scheepsbrandstof biedt goede perspectieven voor zowel reductie van lokale emissies als voor CO₂ reductie.

De Nederlandse Maritieme Maak Industrie heeft de technologie beschikbaar. De introductie van LNG wordt echter gehinderd doordat een aantal stakeholders op elkaar wachten. Handelaren wachten op de vraag vanuit de markt, LNG terminals realiseren alleen faciliteiten als er om capaciteit wordt gevraagd, gebruikers wachten op leveringszekerheid, adequate wet- en regelgeving en lagere LNG tarieven. De regelgevers wachten op ontwikkelingen in de markt en moeten toepassingen nu nog 'case-by-case' beoordelen.

De enige manier om deze impasse te doorbreken zijn gezamenlijke initiatieven, gevoed met informatie en kennis. Essentieel daarin is het definiëren en uitwerken van de voordelen, mogelijkheden en beperkingen van LNG als brandstof voor binnenvaartschepen, zowel op het vlak van commercie, techniek als regelgeving. Op dit moment is er nog geen duidelijk beeld wat er op binnenvaart gerelateerde bedrijven afkomt, wanneer zij de huidige brandstof 'gasolie' willen vervangen door LNG. Deze studie beoogt bij te dragen aan het verlagen van de drempels voor toepassing van LNG.

1.1 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is de haalbaarheid te onderzoeken met betrekking tot techniek en veiligheid van LNG als brandstof voor binnenvaartschepen en een beeld te krijgen van de consequenties van toepassing van LNG ten opzichte van conventionele brandstoffen.

1.2 Aanpak van het onderzoek

De studie is uitgevoerd door Stichting CMTI¹ met subsidie vanuit het Maritiem Innovatie Forum van Nederland Maritiem Land.

Het accent in dit onderzoek ligt niet in de studie van de gehele keten, maar op de bepaling van effecten van LNG als brandstof in relatie tot techniek en het brede spectrum van de huidige regelgeving. Verwezen wordt naar een

¹ Stichting CMTI is een uitvoeringsorganisatie van de brancheorganisatie Scheepsbouw Nederland.

gelijksoortige studie de “Haalbaarheidsstudie Boomkorvissen op aardgas” [1]. LNG als brandstof voor binnenvaartschepen is een heel ander concept. De veranderingen in een bestaand schip zijn zo ingrijpend en kostbaar dat het zogenaamde ‘retrofitten’, het toepassen van nieuwe technologie in bestaande schepen, niet voor de hand ligt. De nadruk ligt derhalve op de mogelijkheden om LNG als brandstof toe te passen op nieuwbouwschepen.

In de omschrijving van deze studie was toegezegd om naast een onderzoek naar techniek en regelgeving ook een bedrijfseconomische beschouwing op te nemen. Uit gesprekken met binnenvaartondernemers bleek echter dat bedrijfseconomische gegevens binnen het domein van de competitie vallen. Daarom is dit aspect in deze studie niet meegenomen.

De informatie voor deze studie is mede verkregen uit verschillende interviews met stakeholders zoals het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, IWW, reders, werven, klasse, toeleveringsindustrie en een LNG leverancier.

1.3 Opbouw van het rapport

Als eerste wordt in hoofdstuk 2 de wet- en regelgeving voor LNG aan boord van schepen behandeld en hoe deze op dit moment wordt toegepast voor binnenvaartschepen. De knelpunten en de effecten van wet- en regelgeving worden beschouwd aan de hand van een representatief referentieschip. Dit schip wordt in hoofdstuk 3 nader beschreven. Vervolgens wordt bekeken of een LNG-systeem qua ruimte aan boord van het referentieschip geplaatst kan worden. Dit betreft de motorinstallatie en gasopslag aan boord, het gastoevoersysteem en de systeemconfiguratie. De motortypen voor de binnenvaartschepen op LNG wordt in hoofdstuk 4 besproken. Onderwerpen die in dit hoofdstuk aan de orde komen zijn onder andere: Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren en eisen aan motoren volgens de BLG-richtlijn. LNG opslag aan boord met de benodigde capaciteit, de locatie voor de opslagtanks en de eisen aan LNG opslag aan boord komen in hoofdstuk 5 aan de orde. Dit hoofdstuk wordt gevolgd door een beschouwing betreffende het gassysteem aan boord (hoofdstuk 6) met onder andere het vulsysteem, de verdamperinstallatie en de gasstraat. De veiligheidseisen van het geïntegreerde systeem zoals onder andere de ventilatie worden in hoofdstuk 7 beschouwd, Als laatste onderwerp wordt het bunkeren van LNG behandeld in hoofdstuk 8. De haalbaarheidsstudie wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 9.

2 Wet- en regelgeving voor LNG aan boord van binnenvaartschepen

De ruime ervaring met LNG als brandstof in de lokale Noorse scheepvaart [2] laat zien dat de toepassing van LNG haalbaar is. Al in 2000 voer in Noorwegen een eerste veerboot op LNG. Op dit moment zijn er circa tien schepen in de vaart, en circa. 20 in bestelling. Het betreft voornamelijk ferry's en bevoorradingsschepen. Regelgeving die de Noorse overheid toepast zou een goed voorbeeld kunnen zijn hoe het voor de nationale en Europese binnenvaart geregeld moet worden.

Binnenvaarttankers moeten voldoen aan de voorschriften van het Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn (ROSR) en aan ADN(R), dat het vervoer van gevaarlijke stoffen regelt. In de praktijk betekent dit dat gebouwd wordt conform de voorschriften van een klasse bureau zoals Bureau Veritas, Germanischer Lloyd of Lloyd's Register. De Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW) is echter verantwoordelijk voor afgifte van de certificaten. Een nieuw te bouwen binnenvaartschip dat LNG als brandstof gebruikt heeft de goedkeuring nodig van de IVW.

Voor binnenvaartschepen bestaan momenteel nog geen regels voor toepassing van LNG als brandstof. Sterker nog, de toepassing van LNG als brandstof is verboden omdat de brandstof voor verbrandingsmotoren een vlampunt moet hebben van boven 55 °C.

De overheid onderkent dat de huidige algemene beperking van LNG als brandstof voor schepen een radicale aanpak van schadelijke emissies in de weg staat.

IVW evenals het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) ondersteunt alle aanvragen voor LNG als brandstof voor binnenvaartschepen en wil bijdragen om de toepassing ervan mogelijk maken^[1]. Het uitgangspunt is dat de binnenvaart schoner kan en schoner moet.

In het algemeen wordt bij een nieuw onderwerp of bij nieuwe toepassingen eerst aan bestaande regelgeving gedacht. De wetgeving stelt namelijk minimum voorwaarden waar de schepen aan moeten voldoen. Wanneer de overheid eerst nieuwe regels opstelt voor nieuwe toepassingen kan het zijn dat de gewenste innovatie niet realiseerbaar is. Achteraf blijken er dan problemen te ontstaan bij de bouw of bij reeds bestaande schepen die met de nieuwe regels geen goedkeuring meer kunnen krijgen.

Met LNG als scheepsbrandstof voor de binnenvaart is een andere benadering gekozen. IVW en het ministerie faciliteren het verantwoord

^[1] Er zijn nu meerdere LNG aanvragen voor binnenvaartschepen. IVW werkt er hard aan om dit jaar (2011) een aantal schepen in de vaart te krijgen.

ontwikkelen van nieuwe scheepstypes en innovaties. Meedenken met ontwerp, kinderziektes eruit halen en gezamenlijk met ondernemers regels opstellen om verantwoorde toepassingen te realiseren. De wettelijke onmogelijkheden mogelijk maken. Dit proces wordt gezien als een leermoment dat efficiënt moet leiden tot regelgeving en uiteindelijk nieuwe wetgeving.

Men mag afwijken van de bestaande wet en regelgeving met een aanbeveling. In een aanbeveling is de afwijking beschreven en wordt, soms met aanvullende voorwaarden, aangetoond dat met deze oplossing een gelijkwaardig of beter veiligheidsniveau wordt bereikt dan volgens de wet is voorgeschreven. De aanbeveling wordt, doorgaans na Nationale instemming, door de Nederlandse delegatie aan de overige Europese lidstaten voorgelegd om de ontheffing ook internationaal te mogen toepassen.

De onderwerpen die een hoge mate van belangstelling hebben zijn:

1. Brand-, stabiliteits- en aanvaringsrisico's;
2. Opleiding van bemanning en of organisatie betrokken bij de innovatie. De bemanning moet getraind zijn om met het nieuwe product om te gaan. Zij moeten vertrouwd zijn met de installaties en bij calamiteiten weten hoe te handelen.

Belangrijk bij het onderbouwen van de aanbeveling is een risico analyse (QRA). De vragen die hierbij gesteld worden: "Wat kan men tegenkomen en hoe gaat men ermee om? "Op welke wijze worden de risico's beheersbaar gehouden". Het betreft hier de hele exploitatie (de gehele bedrijfsvoering, het operationele management of scheepvaartmanagement). Inclusief gecertificeerde opleidingen en procedures. Een dergelijke risicoanalyse gebeurt per reder en per schip en een Klasse bureau ondersteunt hierbij de toekomstige eigenaar van het schip.

IWW gebruikt de QRA als basis voor de aanbeveling bij nieuw te bouwen binnenvaartschepen met LNG als brandstof. Daarnaast zijn de relevante delen van de richtlijnen van de International Maritime Organisation (IMO) belangrijke hulpmiddelen:

- IMO / Interim Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships²;
- IMO sub-committee on Bulk Liquids and Gases (IMOBLG)³;
- IMO sub-committee on Fire Protection (IMO-FP)⁴.

² Resolution MSC.285(86); Interim Guidelines On Safety For Natural Gas-Fuelled Engine Installations In Ships; (adopted on June 1st, 2009).

³ Development of Provisions for Gas-fuelled Ships (ref. BLG12/7; May 14th, 2007).

⁴ Development of Provisions for Gas-fuelled Ships (ref. FP 53/11; October 1st, 2008).

Deze richtlijnen zijn weliswaar voor zeeschepen opgesteld maar belangrijke delen ervan zijn ook van toepassing voor binnenvaartschepen.

De Klassebureaus Lloyd's Register, Det Norske Veritas, Bureau Veritas en Germanischer Lloyd hebben regels betreffende LNG voor voortstuwing opgesteld, welke zijn afgestemd op de interim guidelines van IMO.

3 Het referentieschip

Binnenvaartschepen zijn er in allerlei soorten en maten. Vooral het vaargebied en de lading zijn bepalend voor de bouw en inrichting van een schip. Een verdeling naar lading van nieuw gebouwde schepen in de jaren 2000 t/m 2009 is gegeven in de onderstaande Tabel 1 en in Figuur 1.

Tabel 1: Verdeling nieuw gebouwde schepen 2000 – 2009. Bron: CCR-ZKR.org

Type	Aantal
Droge lading	898
Tanklading	455
Duwvaart	54
Passagiers	161
Anders	124
Totaal	1692



Figuur 1: Verdeling nieuw gebouwde schepen 2000 – 2009. Bron: CCR-ZKR.org

Veel van de schepen voor tanklading en droge lading hebben een lengte van 110 meter. De lengte wordt vaak bepaald door de kortste lengte van de sluisen van het vaargebied, zoals in Figuur 2 te zien is. Indien het schip langer is, wordt het bevaarbare gebied beperkt.

In dit onderzoek is als referentieschip een veel gebruikt type binnenvaartschip gekozen. Het schip heeft een lengte van 110 meter en een breedte van 11,4 meter. Het schip wordt in vakjargon aangeduid met “110 bij 11,40; 4000 m³” (zie Figuur 3). Voor het gemak krijgt dit referentie schip de naam ‘Margriet’. De kenmerken van de ‘Margriet’ zijn gegeven in Tabel 2.



Figuur 2: De sluis op vaarroute bepalend voor lengte van schip, bron: Wikipedia

De Margriet is een dubbelwandige motortanker met de machinekamer en accommodatie in het achterschip. Het schip is geconstrueerd voor bulk transport van vloeistoffen. De tien ladingtanks hebben elk hun eigen lading pomp. Het schip is ontworpen voor het bevaren van alle Europese rivieren en kanalen met in achtneming van de afmetingen van het schip.



Figuur 3: Een voorbeeld van een moderne binnenvaartanker

Tabel 2: Kenmerken van de binnenvaarttanker 'Margriet'.

Kenmerk	Eenheid	
<i>Totale lengte</i>	[m]	110
<i>Totale breedte</i>	[m]	11,4
<i>Geladen diepgang</i>	[m]	4,1
<i>Hoogte dubbele bodem</i>	[m]	0,7
<i>Ruimte tussen de zijwanden</i>	[m]	1.00
<i>Waterverplaatsing</i>	[ton]	4600
<i>Brandstofcapaciteit (diesel)</i>	[m ³]	60
<i>Draagvermogen</i>	[ton]	3600
<i>Aantal ladingstanks</i>		10
<i>Totale lading grootte (100%)</i>	[m ³]	3700
<i>Totale brandstofinhoud (100%)</i>	[m ³]	65
<i>Waterballast</i>	[m ³]	1500
<i>Voortstuwingsvermogen</i>	[kW]	2 * 900

Gesteld wordt dat het schip van Rotterdam naar Bazel op en neer moet kunnen varen zonder bij te tanken. Met diesel als brandstof gebruikt dit schip hiervoor 25 m³. Voor de heenreis wordt 20 m³ gebruikt en voor de terugreis 5 m³.

4 Motoren voor binnenvaartschepen op LNG

Aardgas is een schone en goedkope fossiele transportbrandstof. Nederland beschikt nog steeds een grote hoeveelheid daarvan. Aardgas is echter fossiel en voor opslag in normale omgevingscondities als gasvormige transportbrandstof minder geschikt dan vloeibare transportbrandstoffen als benzine en diesel. Voor de opslag en transport wordt aardgas om die reden in een vloeibare vorm gebracht (LNG).

LNG wordt ook in de scheepvaart steeds populairder als brandstof voor de aandrijving, vanwege de geringe emissies die vrijkomen bij het gebruik ervan. In de zeevaart zijn al diverse schepen gebouwd die LNG als brandstof gebruiken voor de voortstuwing. Een goed voorbeeld is de 'Viking Energy', met een lengte van 95 meter en een breedte van 20,4 meter. De Viking Energy is uitgerust met een viertal dual-fuel motoren. Het schip kan hiermee zowel op LNG als op diesel varen en in elke gewenste verhouding van gas en diesel. Het gebruik van LNG resulteert in een 80% tot 90% reductie van NO_x-emissies en een 20% tot 25% reductie van CO₂, de roet en zwavelemissies zijn vrijwel nul.

In paragraaf 4.1 wordt nader ingegaan op vloeibaar aardgas en de kwaliteitsverschillen van aardgas. Vervolgens wordt in paragraaf 4.2 beschreven welke vormen kunnen worden toegepast om aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren te gebruiken. Vervolgens worden enkele typen aardgasmotoren besproken in paragraaf 4.3 en worden in paragraaf 4.4 de eisen beschreven die aan deze motoren moeten worden gesteld volgens de BLG-richtlijn. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de haalbaarheid van deze motortypen en configuraties in paragraaf 4.5.

4.1 LNG (Vloeibaar aardgas)

LNG staat voor 'Liquified Natural Gas', of vloeibaar aardgas. Het is een type gas waarvan het hoofdbestanddeel methaan is. Methaan is de lichtste koolwaterstof verbinding. Het aandeel methaan is tenminste 90% en derhalve hoger dan van het Nederlandse Slochteren aardgas. Naast methaan bevat aardgas ook ethaan, propaan, n-butaan en ISO butaan. De samenstelling varieert binnen grenzen. LNG wordt bij de bron⁵ of uit het Nederlandse aardgasnet⁶ eerst ontdaan van alle stoffen die vast-vormig (vooral water en CO₂) zijn bij de benodigde temperaturen of die schade kunnen aanrichten aan apparatuur. Vervolgens wordt het vloeibaar gemaakt

⁵ Voorbeelden van LNG-producerende landen zijn Trinidad, Nigeria, Algerije, Egypte, Oman, Qatar, Indonesië, Maleisië, Australië. Gezien de sterk toenemende vraag naar LNG zal dit aantal exporterende landen de komende jaren groeien.

⁶ Het Nederlandse aardgasnet (Groninger gas en overige velden in Nederland met toevoegingen van Noorwegen, Rusland etc.).

door het af te koelen tot een temperatuur van -162° C onder normale atmosferische druk.

Nederland heeft de ambitie om de 'gasrotonde' van Noordwest Europa te worden. Nederland heeft hiervoor een unieke infrastructuur die zich bij uitstek leent voor de functie van opslag en doorvoer. Nederland wil zorgvuldiger omgaan met de eigen gas voorraad. De geplande LNG terminal op de Tweede Maasvlakte zal aardgas leveren dat is samengesteld uit diverse verre bronnen. Zoals eerder beschreven staat de precieze samenstelling en de mate waarin dit verandert niet vast. Het Groninger gas is stabiel van samenstelling. Machines en installaties zijn afgestemd op de constante samenstelling van dit aangevoerde gas.

Variaties in de samenstelling zijn van invloed op het verbrandingsproces en de energetische prestaties van motoren, maar ook op de emissies, gezondheid en veiligheid. Het aardgas dat via de LNG terminal geleverd zal worden moet van constante samenstelling zijn.

Het volume van LNG is ongeveer 580 maal kleiner dan van aardgas bij normale temperatuur en onder atmosferische condities. Deze volumereductie maakt het goedkoper om het gas te transporteren als er geen pijpleiding aanwezig is. Het LNG blijft vloeibaar in thermisch geïsoleerde opslagtanks. Het transport van aardgas over zee vindt daarom vooral plaats in LNG-tankers. De energiedichtheid per kilogram LNG is vergelijkbaar met die van gasolie en diesel. Vanwege de hoge investeringskosten van cryogene installaties wordt LNG nog niet op grote schaal toegepast. Onder druk geproduceerde LNG wordt na productie in druk verlaagd voor opslag en vervoer.

Het benodigde opslagvolume voor LNG is bij benadering twee maal zo groot is als dat voor gasolie of diesel.

4.2 Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren

Er zijn twee typen scheepsmotoren voor aardgas als brandstof:

1. De ('lean-burn') gasmotor;
2. De zogenaamde 'dual-fuel' motoren. Dit zijn motoren die gebruik maken van diesel voor de ontbranding van het gas/ diesel-mengsel.

Doordat de zelfontbrandingstemperatuur van aardgas (537° C) aanzienlijk hoger is dan die van diesel, zal aardgas niet spontaan ontbranden bij insputting in de cilinder. De gasmotor heeft een bougie nodig om de verbranding te initiëren. Zij functioneren volgens het Otto-principe. De lean-burn motor heeft een forse overmaat aan verbrandingslucht en is zeer efficiënt, vergeleken met een state of the art dieselmotor, sommige tot 48% met een NO_x uitstoot van 1,2 g/kWh. Het aardgas kan in de aangezogen

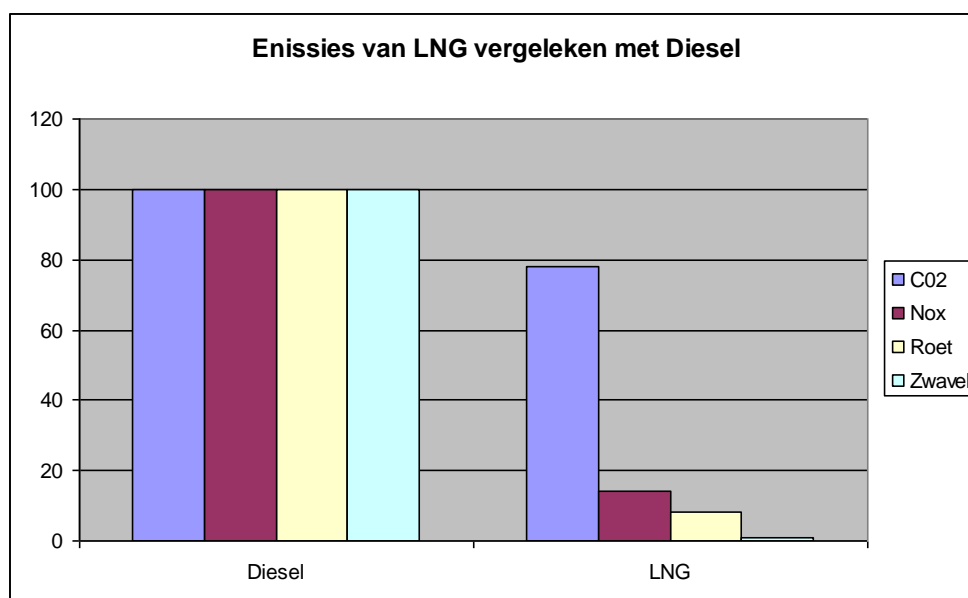
luchtstroom worden meegenomen of direct worden geïnjecteerd⁷. De gasmotoren waarbij het aardgas in de aangezogen luchtstroom wordt meegenomen zijn iets trager in het volgen van het gewenste vermogen. Dit gedrag is verwaarloosbaar klein voor de toepassing bij scheepsmotoren. De DING motor kan het gewenste vermogen goed volgen.

Dual-fuel motoren werken volgens het Diesel-principe. Een kleine hoeveelheid dieselolie (10%) is nodig voor de ontsteking van het mengsel. De maximale gastoevoer is 80 tot 90%. De verhouding van het gas/diesel-mengsel bij dual-fuel motoren kan variëren in de aangegeven range. Indien gas niet voor handen is werkt de motor op 100% diesel brandstof.

Bij is 80 tot 90% gas in het gas/diesel mengsel neemt de NO_x uitstoot ten opzichte van dieselmotoren af met 80-90%, de CO₂ uitstoot met 20-25% en de roet en zwavelemisssies zijn vrijwel nul (zie Tabel 3 en Figuur 4). Tevens komen er geen kankerverwekkende stoffen als PAKs, aldehyden en butadien vrij.

Tabel 3: Brandstof emissies

Brandstof	SO _x (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Zware olie 3,5% S	13,0	9 - 12	1,50	580 - 630
Gasolie 0,5% S	2,0	8 - 11	0,25 - 0,50	580 - 630
Diesel <0,1% S	0,4	8 - 11	0,15 - 0,25	580 - 630
LNG	0,0	2	~0	430 - 480



Figuur 4: Emissies van LNG vergeleken met Diesel

⁷ DING motor: Directe Injectie Natuurlijk Gas.

4.3 Aardgasmotoren voor binnenvaartschepen

De bekendste fabrikanten die ervaring met aardgasmotoren voor de maritieme sector zijn onder andere ABC Diesel, Caterpillar, Mitsubishi, Scania en Wärtsilä.

ABC

ABC Diesel heeft medium speed dual-fuel motoren in de DXD en DZD series, welke voor ruim 90% op aardgas kunnen draaien. Deze motoren kunnen in principe ook in de binnenvaart worden toegepast.

Caterpillar

Caterpillar heeft ervaring met kleinere gasmotoren in de maritieme sector sinds 1985. Met dual-fuel motoren heeft men ervaring sinds 2005. Tankvaartondernemer Deen Shipping brengt in 2011 een binnenvaarttanker in de vaart die op vloeibaar aardgas (LNG) kan varen met Caterpillar dual-fuel motoren.

Mitsubishi

Mitsubishi Heavy Industries heeft ervaring met gasmotoren voor maritieme toepassingen. De Pioneer Knutsen, gebouwd door de voormalige Scheepswerf Bijlsma, is uitgerust met Mitsubishi-gasmotoren.

Scania

Sandfirden Technics kan voor de maritieme sector aangepaste zescilinder motoren leveren welke geheel op LNG draaien. De motoren hebben een lage compressie en een lage NO_x emissie.

Wärtsilä

Wärtsilä heeft in de zeevaart inmiddels veel ervaring met gas- en dual-fuel motoren voor maritieme toepassingen en biedt een uitgebreide lijn, maar niet voor alle motortypen.

4.4 Eisen aan motoren volgens de IMO-richtlijnen

Voor motoren van zeeschepen worden aanvullende eisen gesteld in de IMO richtlijnen. Deze eisen zijn hieronder puntsgewijs samengevat:

- Voor motoren geldt, gelijk aan de overige componenten die gekoppeld zijn aan de aandrijving van het schip, dat er minimaal twee van aanwezig moeten zijn en klaar voor gebruik;
- De richtlijn schrijft voor dat de luchtinlaat en de uitlaatgassenleiding uitgerust moeten zijn met explosieveiligheidskleppen die buiten de machinekamerruimte geleid moeten worden;
- Het normale starten en stoppen van de dual-fuel motor dient te geschieden op dieselolie. Gasinjectie mag niet mogelijk zijn als er niet

tegelijkertijd pilotdiesel geïnjecteerd wordt. Indien de gastoevoer stopt, moet de motor in staat zijn om te kunnen blijven opereren op alleen dieselolie;

- Het overgaan van diesel- naar gas mode en vice versa mag alleen op vermogensniveaus waarop dit voldoende betrouwbaar uitgevoerd kan worden en dient met testen aangetoond te worden. De overgang van diesel- naar gas mode en vice versa dient automatisch te geschieden;
- Bij het normale afsluiten van de brandstoftoevoer evenals de noodstop van de motor dient het afsluiten van de gastoevoer niet later te geschieden dan het afsluiten van de dieseltoevoer;
- Het gasluchtmengsel dient ontstoken te worden door de pilot-diesel. De hoeveelheid pilot-diesel dient in iedere cilinder voldoende te zijn om een goede ontbranding te garanderen. Het mag niet mogelijk zijn om de toevoer van de pilot fuel af te sluiten, zonder tegelijkertijd of vooraf ook de gastoevoer naar elke cilinder of de gehele motor af te sluiten.

4.5 Haalbaarheid van motortypen en configuraties

Beide type motoren (gasmotor en dual-fuel) zijn bij diverse leveranciers voorhanden en kunnen met betrekking tot de binnenvaartschepen worden toegepast.

De toepassing van (lean-burn) gasmotoren in combinatie met elektrische aandrijving is een kansrijk concept. De meerdere motor-generatorsets worden gekoppeld door middel van een motor-/ energie-managementsysteem al dan niet met een power-back-up batterijsysteem. Het managementsysteem zorgt ervoor dat het gewenste vermogen wordt geleverd door de motor-generatorset bij/af te schakelen en/of het toerental van de geschakelde motoren te regelen. Kortstondige pieken kunnen worden opgevangen door het power-back-up batterijsysteem. Redundantie is gegarandeerd. Voordeel is dat naast de elektriciteit voor de elektromotoren voor de aandrijving ook het hele energiegebruik aan boord kan worden verzorgd.

Het ligt voor de hand om bij het uitwerken van het scheepsconcept ook de warmtehuishouding mee te nemen.

Dual-fuel motoren kunnen zowel voor directe aandrijving als in combinatie met een generatorset worden toegepast. Er zijn tot op heden weinig motorenfabrikanten die praktijkervaring hebben met dual-fuel motoren die direct gekoppeld zijn aan de schroefas. Het voordeel van een dual fuel toepassing is dat de motor op 100% diesel ook werkt. Als de LNG tank leeg is en gas lastig te verkrijgen is, kan moeiteloos deze configuratie worden toegepast. Daarbij is bij gebruik van dual-fuel motoren één LNG opslagtank toegestaan.

De meest gunstige emissies van dual-fuel motoren worden verkregen indien de motor bij de maximale gas-diesilverhouding werkt. Naarmate er verhoudingsgewijs meer diesel wordt toegepast worden de emissie waarden ongunstiger. De emissies in het gebied van 10% tot 100% diesel in het mengsel zijn nog onbekend. Om die reden heeft IVW sterk de behoefte aan een registratie van de feitelijke emissies, met dataopslag. Meten wat de uitstoot is. Emissiemetingen gekoppeld aan vermogen, want deze emissies zijn aan regels gebonden.

5 LNG opslag aan boord

LNG wordt opgeslagen in vacuüm geïsoleerde tanks en kunnen worden geproduceerd bij een partij met jarenlange ervaring met cryogene stoffen en LNG. De tanks zijn van het type 'full containment'. De tank bestaat uit een speciale nikkelstalen binnentank en buitentank. Tussen de twee tankwanden bevindt zich een speciale isolatielaag voor een minimale warmtetoetreding. Hoe efficiënt de isolatie van de tanks ook is, er zal altijd enige toetreding van omgevingswarmte optreden. Deze geringe warmtetoetreding zorgt ervoor dat een hele kleine hoeveelheid van het vloeibare aardgas (ongeveer 0,065% per dag) weer gasvormig wordt. Indien langere tijd geen gas wordt gebruikt kan, afhankelijk van de vullingsgraad en de toegestane druk in de tank, het weken duren voordat het LNG verdampingsverlies dat in de tank ontstaat gaat af blazen. Het afblazen van de brandstof komt bij normaal gebruik zelden tot nooit voor en kan volledig worden opgevangen zodat het niet vrij in de buitenlucht komt. Het gas kan in een zogenoemde flare⁸ worden verbrand maar het zou ook kunnen worden gecondenseerd tot LNG en weer toegevoegd als LNG-vloeistof.

In paragraaf 5.1 wordt eerst de benodigde opslagcapaciteit berekend voor een reis van Rotterdam naar Bazel en terug. De locatie voor opslagtanks aan boord wordt in paragraaf 5.2 besproken gevolgd door de eisen aan LNG opslag aan boord volgens de BLG-richtlijn. Deze eisen zijn beschreven in paragraaf 5.3. Het opslagsysteem wordt in paragraaf 5.4 besproken. Het hoofdstuk wordt afgesloten met paragraaf 5.5 betreffende de haalbaarheid van LNG opslag aan boord.

5.1 Benodigde LNG opslagcapaciteit en vorm

Voor de benodigde capaciteit van de brandstof opslag is gesteld dat de Margriet van Rotterdam naar Bazel op en neer moet kunnen varen zonder bij te tanken. Met de dieselmotoren gebruikt de Margriet hiervoor 25 m³ (20 m³ voor de heenreis en 5 m³ voor de terugreis).

Als de Margriet volledig op 100% LNG zal gaan varen (lean-burn gasmotor), is een minimale LNG-opslagvolume geschat van 50 m³, dit is circa twee keer de benodigde capaciteit bij volledige diesel als brandstof. Bij een maximaal vulling percentage van een LNG-tank van 95% is het gewenste bruto tankvolume 53 m³. Deze opslagcapaciteit moet minimaal in twee opslagtanks worden opgeslagen. De 20 en 40 voet cryocontainers hebben

⁸ Een 'flare' is een kleine verbrander die ervoor zorgt dat eventueel vrijgekomen methaan, welke door te hoge druk in de brandstoftank afgeblazen wordt, wordt verbrand. Hierdoor kan de brandstof niet in de atmosfeer terecht komen. Methaan valt onder de broeikasgassen. Het is als broeikasgas vele malen sterker dan koolstofdioxide. De levensduur van methaan in de atmosfeer is om en nabij de tien jaar, wat wel beduidend minder is dan de meeste schadelijke gassen.

als buitenafmetingen LxBxH respectievelijk 6.06x2.44x2.59 meter en 12.06x2.44x2.59 meter en een tankvolume van respectievelijk circa 19,5 m³ en 43 m³ (zie Figuur 5).



Figuur 5: Een standaard 20 voet LNG cryogene opslagtank

Bij de toepassing van de gasmotor kunnen drie 20 voet containers worden toegepast voor de LNG brandstof voor de gestelde reis naar Bazel en terug, of één 40 voet en één 20 voet container. Bij de dual-fuel toepassing bieden twee 20 voet cryocontainer of één 40 voet cryocontainer net te weinig opslagcapaciteit.

Conform BLG-code 2.8.1 dient de opslagtank een type C-tank te zijn ontworpen in overeenstemming met de International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC code) hoofdstuk 4.

Om 'efficiënt' met de beschikbare ruimte om te gaan kunnen de benodigde LNG opslagtanks ook 'op maat' worden gemaakt. Een tank moet sterk genoeg zijn en vormvast blijven bij een drukopbouw tot 10 bar. De vorm blijft daardoor cilindrisch/ ovaal met bolvormige eindstukken. Voor een niet standaard tank geldt wel dat deze volledig moet worden gekeurd, wat een behoorlijke kostenpost met zich mee brengt.

5.2 Locatie voor opslagtanks

Een nadeel van LNG opslagtanks is dat het, mede dankzij de cilindrische vorm van de tanks, tot vier keer zoveel ruimte in beslag neemt als dieselbrandstof.

De BLG-richtlijn paragraaf 2.8.4. schrijft voor dat LNG onder voorwaarden bovendecks opgeslagen mag worden. Met het oog op de veiligheid van de opslag van LNG verdient opslag bovendecks de voorkeur. Bij een nieuw te bouwen schip kan dit in het ontwerp worden opgenomen. Een mogelijkheid is op het achterdek van het schip, rekening houden met de verschillende aan- en afvoerleidingen (buitenlucht, rookgassen, ventilatie, etc.). Bij bestaande concepten van binnenvaartschepen kunnen de tanks (hoewel

niet echt gewenst) ook aan dek boven de ladingzone voor de stuurhut worden geplaatst.

De BLG-richtlijn paragraaf 2.8.5.1 schrijft voor dat LNG onder voorwaarden onderdeks mag worden opgeslagen, mits de maximale werkdruk lager is dan 10 bar. Voor de LNG-opslag levert dat geen problemen, omdat de maximaal toegestane werkdruk van de cryogene containers 8 bar is. Indien een deel van de ladingzone wordt prijsgegeven kan op het referentieschip Margriet de LNG-opslag onderdeks plaatsvinden in een separate ruimte bijvoorbeeld net voor de machinekamer.

5.3 Eisen aan onderdekse LNG opslag aan boord

In de BLG-richtlijn paragraaf 2.3.1. wordt voorgeschreven dat het aantal ruimten waar gasopslag, distributie en gebruik plaatsvindt tot een minimum beperkt moet worden.

In de BLG-richtlijn paragraaf 2.3.4. wordt gesteld dat LNG-opslagruimten gasdicht moeten zijn en niet direct mogen grenzen aan de machinekamer. De separatie moet plaatsvindt middels een kofferdam waarbij aanvullende isolatie conform A-60 gebruikt dient te worden, schrijft de BLG-code voor. Een en ander dient in de praktijk in detail te worden uitgewerkt in samenspraak met IWW.

Naast de eis voor de maximale druk onderdeks van 10 bar, stelt de BLG-richtlijn in paragraaf 2.8.5.2 de volgende eisen voor LNG-opslag onderdeks.

De opslagtank zal zo dicht mogelijk op de lijn hart schip geplaatst worden:

- Minimaal, de laagste waarden van B/5 en 11,5 meter vanaf de scheepszijde;
- Minimaal, de laagste waarde van B/15 en 2 meter vanaf de bodembeplating;
- Tenminste 760 mm afstand tot de huidbeplating.

De breedte van de Margriet is 11.40 meter. Dat betekent dat de LNG-tank een minimale afstand van 2,28 meter tot de scheepzijde moet hebben en een minimale afstand van 0.76 meter tot de bodem.

Bij het toepassen van de richtlijn betreffende deze afstanden tot de scheepswand kan worden gerekend tot de binnenwand van de geïsoleerde LNG cryogene opslagtank, in plaats van de buitenmantel van de tank.

5.4 Opslagsysteem

Het totale opslagsysteem omvat naast de gekozen opslag containers, de bijbehorende veiligheden en signaleringen. Ook is elke cryocontainer uitgerust met een eigen verwarming/ verdampersysteem om de LNG te kunnen verdampen, zodat de container gasvrij gemaakt kan worden. Hiertoe is ook een speciale losaansluiting op de opslagcontainer

gemonteerd. De uitlaat van de overdrukbeveiligingen dient conform de IGC-code hoofdstuk 8 normaliter tenminste 6 meter boven het werkdek en de gangboorden uit te komen, en tenminste 10 meter verwijderd te zijn van de luchtinlaat, luchtuitlaat, opening naar accommodatie, werk- en controleruimtes evenals uitlaten van machines of verbrandingsinstallaties. Deze uitlaatlocatie is een lastige eis. Het ministerie I&M en IWW geven het advies is om de locatie in samenspraak met IWW en klasse nader te bepalen.

5.5 Haalbaarheid van LNG opslag aan boord

LNG opslag voor brandstoftoepassing aan boord van binnenvaartschepen is haalbaar, rekening houdend met de gegeven richtlijnen. Bij de toepassing van gasmotoren moeten er minimaal twee gasopslagtanks aan boord aanwezig zijn. Bij toepassing van dual-fuel motoren kan met één opslagtank worden volstaan. De meest eenvoudige locatie is bovendecks op het achterdek. Deze locatie is in een van de aanvragen 'LNG als brandstof bij binnenvaartschepen' opgenomen. Een andere locatie bovendecks boven de ladingszone is in een ander voorstel opgenomen. Opslagtanks onderdecks zijn ook mogelijk maar dan worden extra eisen gesteld aan de vrije ruimte, al dan niet geïsoleerd, rond de tank in relatie tot aanvaringsrisico en brandveiligheid. De overdrukbeveiligingen conform de eisen uit de BLG-code zijn momenteel niet haalbaar. In overleg met IWW zal onderzocht moeten worden wat de mogelijkheden zijn voor alternatieven.

6 Overige elementen van de gastoevoer aan boord

De gasopslag is besproken in het vorige hoofdstuk. De overige hoofdonderdelen van het gastoevoersysteem naast de opslag worden gevormd de vulaansluiting en beveiligingen voor elk van de opslagtanks, de verdamperinstallatie zodat de LNG in gasvormige toestand aangeboden kan worden aan de motor, de gasstraat en de aanpassingen aan de motor.

In paragraaf 6.1 wordt eerst het vulsysteem besproken in relatie tot de BLG-code. Vervolgens worden de verdamperinstallatie en de gasstraat behandeld in respectievelijk paragrafen 6.2 en 6.3. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beschouwing van de haalbaarheid van gassystemen aan boord in paragraaf 6.4.

6.1 Vulsysteem

Het vulsysteem bestaat uit een vulaansluiting (zie Figuur 6), een handbediende afsluiter en een op afstand bedienbare noodstopafsluiter. Het ligt voor de hand om het vulsysteem zo dicht mogelijk bij de cryocontainers te plaatsen, waardoor de hoeveelheid leidingwerk beperkt blijft.



Figuur 6: Een vulpunt aansluiting; Bron Rolande LNG BV

Afhankelijk van de plaats van de opslagtanks moet nader worden beoordeeld waar het vulsysteem moet worden geplaatst. Om het bunkeren aan beide zijden mogelijk te maken is het aan te bevelen om te onderzoeken of een vulsysteem aan beide zijden mogelijk is.

Het is zeer gewenst om van meet af aan één standaard voor de vulaansluiting te hanteren.

De eisen met betrekking tot het laden van LNG staan beschreven in BLG-code hoofdstuk 2.9. De BLG-code schrijft voor dat er voldoende natuurlijke

ventilatie dient te zijn tijdens het bunkeren. Er dienen lekbakken gemonteerd te zijn onder de bunkeraansluitingen en op plaatsen waar lekkage kan optreden. De vulaansluiting, handbediende afsluiter en de op afstand bedienbare noodstopafsluiter dienen dus voorzien te worden van een lekbak die in geval van lekkage de LNG via een (tijdelijke) leiding overboord laat lopen. Rondom de vulleiding dient een ventilatiekanaal geïnstalleerd te worden met gasdetectors en voldoende ventilatiemogelijkheden. Conform de BLG-code paragraaf 2.5.16 dienen gasleidingen bovendien een minimale afstand van 0,76 meter te hebben vanaf de zijde van het schip.

Men moet vanaf een veilige locatie de bunkeroperatie kunnen monitoren met betrekking tot tankdruk en tankniveau. Daarnaast dienen het overdrukalarm en de automatische noodstop op deze plaats zichtbaar zijn. Het ligt voor de hand om de monitoring vanaf de brug te laten plaatsvinden.

6.2 Verdamperinstallatie

Om de LNG van -162°C gasvormig te maken, dient warmte toegevoerd te worden. Deze warmte kan betrokken worden van het koelwater van de motoren of van de omgevingslucht. Een verdamperinstallatie die gebruik maakt van koelwater van de motor voor het verdampen van LNG is het meest praktisch. De installatie is relatief klein van formaat. Een verticale verdamper heeft de voorkeur boven een horizontale verdamper vanwege het beperkte ruimtebeslag. Ook hier is redundantie vereist. Bij toepassing van een gasmotor moeten minimaal twee verdamperen worden toegepast. Elke verdamper in een afzonderlijke lijn. Bij dual-fuel motoren kan met een verdamper worden volstaan.

Een verdamper mag niet in de machinekamer worden opgesteld. De BLG-code vereist een automatische afsluiter in de gastoevoer naar de motor, die zich buiten de machinekamer bevindt en zo dicht mogelijk bij de verdamperinstallatie. De BLG-code stelt nauwelijks specifieke eisen aan de verdamperinstallatie anders dan de eisen die aan het overige leidingwerk gesteld worden. Een geschikte locatie voor de verdamperinstallatie aan boord van de Margriet is afhankelijk van de plaats van de LNG opslagtanks. Ook hier geldt het advies om in overleg met IVW en klasse te treden.

6.3 Gasstraat

De gasstraat bestaat uit het fysieke gastoevoersysteem en de controller, die de regeling en de opgestelde protocollen tot uitvoering brengt. Het gas dient gefilterd en onder een door de motorfabrikant voorgeschreven druk aangevoerd te worden. De gasstraat brengt het aangevoerde gas op de juiste condities, zodat het aan het luchtinlaatsysteem van de motor toegevoerd kan worden. De gasstraat wordt vaak geleverd door de

motorenfabrikant De BLG-code hoofdstuk 6 stelt een beperkt aantal eisen aan het functioneren van de gasstraat die opgenomen kunnen worden in de programmering van de controller.

6.4 Haalbaarheid van gassystemen aan boord

Zowel een vulpunt, het verdampersysteem als het installeren van een gasstraat aan boord van het referentieschip Margriet is haalbaar.

Om het bunkeren aan beide zijden mogelijk te maken is het aan te bevelen om te onderzoeken of een vulsysteem aan beide zijden mogelijk is.

7 Veiligheidseisen aan het geïntegreerde systeem

De BLG-code paragraaf 2.6 schrijft twee mogelijke systeemconfiguraties voor:

- Gas safe machinery spaces, waarbij alle voorzieningen in ruimtes waar machines opgesteld staan zodanig zijn dat deze ruimtes gasveilig geacht worden onder alle omstandigheden, in normale en abnormale condities – met andere woorden: inherent gasveilig;
- ESD-protected machinery spaces, waarbij voorzieningen in ruimtes waar machines opgesteld staan zodanig zijn dat deze ruimtes geen gevaar opleveren voor de veiligheid onder normale omstandigheden, maar onder bepaalde abnormale omstandigheden potentieel gevaarlijk kunnen worden. In het geval dat deze abnormale condities optreden, dient een noodstop (ESD) van niet-veilige apparatuur en machines automatisch uitgevoerd te worden. Apparatuur en machines die actief zijn of gebruikt worden gedurende deze abnormale condities, moeten van een gecertificeerd veilig type zijn.

In paragraaf 2.6.3.1 wordt gesteld dat in ESD-protected machinery spaces, motoren voor de voortstuwing en de opwekking van elektrische energie in tenminste twee verschillende ruimten opgesteld moeten worden.

Als eerste worden in paragraaf 7.1 de eisen aan de gasleidingen besproken gevolgd door de ventilatie in paragraaf 7.2. De brandveiligheid wordt beschouwd in paragraaf 7.3. en de control, monitoring en veiligheidssystemen aan boord in paragraaf 7.4.

7.1 Gasleidingen

De BLG-code schrijft in haar paragraaf 2.6.2. voor dat alle gastoevoerleidingen in de ruimtes waar machines opgesteld staan, dubbelwandig uitgevoerd dienen te worden. In het geval van een gaslekkage in een gastoevoerleiding die een noodstop noodzakelijk maakt, dient een tweede onafhankelijke brandstofvoorziening beschikbaar te zijn. Voor de gekozen motorconfiguratie met dual-fuel is dit haalbaar. In paragraaf 2.7 worden aanvullende eisen gesteld aan de gasleidingen voor gas safe machinery spaces. Hierbij kan een keuze gemaakt worden tussen het gebruik van inert gas of geventileerde kanalen. Bij inert gas dienen de buitenste leidingen van de dubbelwandige leidingen gevuld te zijn met een inert gas onder een grotere druk dan het gas dat als brandstof dient. Alarmen dienen geïnstalleerd te zijn die het wegvallen van de druk van de inerte gasleiding kunnen signaleren.

Bij een geventileerd kanaal dienen de gasleidingen geïnstalleerd te worden in een mechanisch overdruk geventileerd kanaal met tenminste 30

luchtwisselingen per uur. De ventilatiemotor dient te voldoen aan de juiste explosiebescherming. Volgens de BLG-code dienen de gasleidingen en ventilatiekanalen tot op de injectoren geïnstalleerd te worden. In de gekozen configuratie waarbij het gas in de luchtinlaat gebracht wordt, is dit voorschrift niet van belang.

7.2 Ventilatie

De eisen aan de veiligheid van het gassysteem zijn hoog. Dit geldt vooral voor de ventilatie-eisen zoals beschreven in paragraaf 2.10 van de BLG-code. De ventilatiesystemen dienen aan speciale eisen te voldoen met betrekking tot explosieveiligheid, monitoring en alarmering, locatie van luchtinlaten en luchtuitlaten, aantal luchtwisselingen per uur en redundantie van de ventilatiecapaciteit.

7.3 Brandveiligheid

Naast ventilatie-eisen zijn er uitgebreide brandveiligheidseisen voor het varen op aardgas. Deze worden deels genoemd in hoofdstuk 3 van de BLG-code. De BLG-code verwijst tevens naar de eisen aan brandveiligheid zoals gesteld in de SOLAS-hoofdstuk II-2. Tevens wordt gebruik gemaakt van de voorschriften van het IMO sub committee on Fire Protection⁴.

Schotten in tankruimtes en bijbehorende ventilatieschachten en bunkerstations dienen te voldoen aan specifieke eisen voor brandbestendigheid. In de omgeving van het bunkerstation dient een poederblusser geïnstalleerd te worden die in staat is alle mogelijke lekpunten af te dekken. De capaciteit van de poederblusser is tenminste 50 kg, met een minimale massastroom van 1 kg/seconde. Het systeem moet gemakkelijk met de hand ontsloten kunnen worden op een veilige locatie.

Een draagbare poederblusser dient opgesteld te staan in de omgeving van de plaats van bunkeren. Een goedgekeurd vast branddetectiesysteem dient geïnstalleerd te worden voor de tankruimte en de ventilatieschacht voor tankruimte onderdeks. Alarmen en veiligheidsmaatregelen dienen te worden uitgevoerd conform hoofdstuk V tabel 3 van de BLG-code. Bovendien dient de ventilatie automatisch gestopt te worden en dienen de brandkleppen te sluiten.

Ook de elektrische systemen aan boord waar de gasinstallatie zich bevindt, dienen te voldoen aan eisen zoals gesteld in de BLG-code hoofdstuk 4. Deze eisen zijn aanvullend aan de eisen zoals beschreven in SOLAS hoofdstuk II-1.

Elektrische apparatuur en bekabeling dienen in het algemeen niet geïnstalleerd te worden in gevaarlijke gebieden, tenzij voor operationele doeleinden. Deze apparatuur en de installatievereisten dienen te voldoen

aan de IEC-standaard 60092-502 en IEC 60079-10 in overeenstemming met de zoneclassificatie. Kabeldoorvoeringen dienen in overeenstemming te zijn met de eisen die het verspreiden van gas beperken.

Voor elektrische systemen wordt gebruik gemaakt van zogenoemde zoneclassificatie, waarbij gebieden gedefinieerd worden waar het explosieve gas kan optreden. In lijn met de IEC 60079-10 worden drie gevarenczones ingesteld:

- Gevarenczone 0: waaronder,
 - De binnenzijde van de gastanks, leidingwerk, afblaassystemen en ventilatie voor gastanks, leidingen en apparatuur die gas bevat.
 - Instrumenten en elektrische apparatuur die in contact komen met het gas dienen goedgekeurd te zijn voor het gebruik in zone 0.
- Gevarenczone 1: waaronder,
 - De tankruimte,
 - Gebieden aan open of halfgesloten dek binnen 3 meter van ventilatie-uitlaten voor het gassysteem, uitlaat van overdrukbeveiligingen, bunkermanifold, gasafsluiters en –flenzen,
 - Gebieden aan open of halfgesloten dek binnen 1,5 meter van ventilatie-inlaten voor het gassysteem en ingangen naar zone 1-ruimtes,
 - Gebieden op het open dek waar LNG kan lekken met een straal van 3 meter en een hoogte van 2,4 meter boven het dek,
 - Ruimtes waar gasleidingen zich bevinden, zoals de ventilatiekanalen rond gasleidingen,
- Gevarenczone 2: waaronder,
 - Gebieden binnen 1,5 meter van ruimtes die als zone 1 gespecificeerd zijn.

7.4 Control, monitoring en veiligheidssystemen

Voor de eisen betreffende de control, monitoring en veiligheidssystemen, waaronder:

- Locatie van druk-, temperatuur- en niveaumeters;
- Beveiligingen voor en monitoring van het overvullen van gastanks;
- Locatie van alarmeren voor hoge en lage druk;
- Monitoring van de gasmotoren;
- Locatie van gasdetectors in tankruimte, ventilatieleidingen, etc.;
- Alarmeren voor gasdetectie op de brug en de machinekamer;
- Op afstand bedienbare afsluiters op de gastank;
- Afsluiters in het gassysteem;
- Signaleringen van veilige situaties;

wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 van de BLG-code.

8 Bunkeren van aardgas

Onder bunkeren wordt verstaan het leveren van brandstof voor de voortstuwing van de scheepvaart. De LNG-distributie is voorlopig nog het grootste obstakel voor de overschakeling op LNG als brandstof voor de binnenvaart. Er zijn nog geen bunkerstations die LNG aan schepen kunnen leveren. Het probleem is dat de regelgeving in de binnenvaart nog niet is ingesteld op het gebruik van aardgas als brandstof. Noorwegen [2] heeft al tien jaar ervaring met schepen die LNG als brandstof gebruiken en daardoor ook ervaring met de regelgeving betreffende het bunkeren. Door een goede voorlichting en het houden van een 'open huis' waren er geen problemen met de acceptatie van bunkeren van de LNG-schepen. Noorwegen heeft gekozen voor de bevoorrading met kleine LNG-tankers en tankwagens.

Het bunkeren van LNG is in Nederland een 'lokale aangelegenheid' gekoppeld aan de ter plaatse van toepassing zijnde milieuwetgeving en verordeningen. Er is veel weerstand tegen dergelijke bunkerlocaties. Het grootste struikelblok is dat het aan richtlijnen ontbreekt.

LNG opslag maar ook distributie is een al decennia oude technologie, er zijn dan ook goede veiligheidsnormen voor ontwikkeld. LNG scoort voor wat betreft de veiligheid zeer goed in vergelijking met LPG, maar ook met benzine. LNG wordt gasvormig wanneer het in aanraking komt met de buitenlucht en zal dan vervliegen. Dit geeft derhalve geen bodemvervuiling of vervuiling op het water en levert geen explosiegevaar.

Er liggen op korte termijn duidelijk kansen. Er zijn tal van initiatieven voor het gebruik van LNG als brandstof in het wegvervoer, het vervoer over het spoor en het vervoer over water. De overheid zal zich sterk moeten maken om LNG ook beschikbaar te maken voor deze transportmodaliteiten.

De provincie Zuid Holland heeft zich opgeworpen het kenniscentrum te willen zijn voor toekomstige landelijke bunkerplaatsen en is bezig met een verkenning over de wijze waarop een impuls gegeven kan worden aan de ontwikkeling van de LNG infrastructuur in Zuid Holland. Onder andere door een geschikte/ efficiënte wijze te zoeken voor het afgeven van vergunningen voor een LNG vulpunt⁹. Er wordt als eerste een stappenplan gegenereerd hoe het een en ander moet worden opgezet, gekoppeld aan relevante wet- en regelgeving alsook noodzakelijke veiligheidsaspecten. Vervolgens wordt dit plan inclusief een QRA (kwantitatieve risicoanalyse) toegepast op een locatie die aansluit bij de vaartroute van een van de pilotschepen, zodat een uitgewerkt concept ontstaat voor een geschikte inrichting. Beide fasen vinden in nauwe samenwerking plaats met het bevoegd gezag en andere relevante partijen.

⁹ Project: Versnellen ontwikkeling LNG-infrastructuur in Zuid-Holland; ALTRAN; www.altran.nl

Waar zeker ook naar gekeken moet worden is hoe het bunkerstation wordt bevoorrad.

Voor wat betreft de bevoorrading vanaf een bunkerschip (zie Figuur 7) kan verwezen worden naar de kennis en ervaring in Noorwegen. Afhankelijk van de toename van de vraag naar LNG kan dit op termijn een interessante optie worden.



Figuur 7: Een LNG bunkerschip

Het is voor de binnenvaart momenteel verboden LNG te bunkeren uit tankwagens (zie Figuur 8). Toch is deze wijze van bunkeren op de korte termijn een kansrijke oplossing voor het bevoorraden van binnenvaartschepen. In Nederland is geen ervaring aanwezig hoe hiermee om te gaan en het is onduidelijk waarom het niet zou kunnen. Ook hier wordt verwezen naar deze wijze van het bunkeren van schepen met vrachtwagens in Noorwegen.



Figuur 8: Een LNG vrachtwagen (semi-trailer).

Haalbaarheid

De keten rond het concept LNG als brandstof voor de binnenvaart is zeker nog niet gesloten. De haalbaarheid van het concept zal van de mogelijkheid tot bunkeren afhangen.

Vrijwel alle binnenvaartschepen varen regelmatig in de regio Rotterdam/Drechtsteden. Om effectief LNG als brandstof toe te kunnen passen moet tenminste één bunkervoorziening in deze regio aanwezig zijn.

Een flexibele oplossing die op korte termijn kansrijk is en de haalbaarheid van LNG als brandstof voor de binnenvaart sterk zal vergroten is het bunkeren met tankauto's (semi-trailers) te laten plaatsvinden. De capaciteit van een tankauto is 55 m³. Dat wil zeggen dat één tanklading ruim voldoende is op het schip te bevoorraden.

9 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het onderzoek is de haalbaarheid te onderzoeken met betrekking tot techniek en veiligheid van LNG als brandstof voor binnenvaartschepen en een beeld te krijgen van de consequenties van toepassing van LNG ten opzichte van conventionele brandstoffen.

De informatie voor deze studie is mede verkregen uit verschillende interviews met stakeholders zoals het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, IWW, reders, werven, klasse, toeleveringsindustrie en een LNG leverancier.

In paragraaf 9.1 worden de conclusies betreffende de haalbaarheid gegeven gevolgd door aanbevelingen in paragraaf 9.2.

9.1 Conclusies

LNG als brandstof voor binnenvaartschepen is technisch haalbaar maar er zijn nog aantal uitdagingen.

Lean-burn aardgas motoren op binnenvaartschepen gekoppeld aan elektrische aandrijving is een kansrijke toepassing. Dit type motor heeft een bewezen schone emissie. Door toepassing van meerdere motoren gekoppeld aan een motor- / energie-management systeem is een efficiënte aandrijving en energiehuishouding te realiseren.

Dual-fuel motoren op diesel en aardgas bieden ook mogelijkheden bij binnenvaartschepen. Het voordeel is dat ook op 100% diesel kan worden gevaren, bijvoorbeeld indien de gastank leeg en LNG niet voorradig is. Het nadeel is dat de emissies in het gebied van 10% tot 100% diesel ongunstig worden beïnvloed en niet bekend zijn. Het schoner varen gaat niet meer op. Om die reden heeft IWW sterk de behoefte aan een registratie voor de feitelijke emissies, met dataopslag.

LNG-opslag systemen zijn haalbaar aan boord van binnenvaartschepen. De opslagtanks kunnen bovendecks worden geplaatst. Onderdecks moet het in een separate ruimte, rekening houdend met de eisen betreffende de ventilatie, de vrije ruimte in verband met aanvaringen en de geïsoleerde ruimte betreffende in verband met de brandveiligheid. Bij het toepassen van dual-fuel motoren kan met één LNG opslagtank worden volstaan. Bij gasmotoren zijn minimaal twee LNG opslagtanks vereist. De cryogene opslagtanks zijn in alle gewenste maten leverbaar. De toepassing van standaard cryogene ISO-containers zullen de kosten voor de opslagtanks drukken.

De overdrukbeveiligingen conform de eisen uit de BLG-code zijn momenteel niet haalbaar. In overleg met IWW zal onderzocht moeten worden wat de mogelijkheden zijn voor alternatieven.

Het plaatsen van een (warmwater)verdampers aan boord om LNG te verwarmen is haalbaar, evenals de gasstraat aan boord om het aardgas naar de motoren te leiden.

Volgens de BLG-code moet het LNG systeem inherent gasveilig zijn. De gasleidingen moeten dubbelwandig zijn uitgevoerd. Volgens de BLG-code moet dat tot op de gas injectoren. In samenspraak met IWW zal bekeken moeten worden hoe aan de eisen van inherente veiligheid voldaan zou kunnen worden.

De levering van aardgas in de vorm van LNG in Nederland is momenteel op een enkel punt na niet mogelijk. Bovendien moet het LNG vanuit het buitenland worden getransporteerd. Dit komt een betrouwbare levering van LNG niet ten goede. Dit staat echter de introductie van LNG als brandstof voor de binnenvaart niet in de weg. De overheid zal zich sterk moeten maken om LNG ook beschikbaar te maken voor de binnenvaart. De provincie Zuid Holland wil het kenniscentrum zijn voor toekomstige LNG bunkerlocaties in Nederland. Het bunkeren zou voorlopig heel goed met een vrachtwagen kunnen plaatsvinden. Op dit moment wordt een plan uitgewerkt 'Bunkeren vanuit vrachtwagen (semi-trailer)' met een duidelijke beschrijving hoe het zou moeten. Daarbij wordt een praktijkdag georganiseerd met een demonstratie.

9.2 Aanbeveling:

LNG biedt grote kansen indien stakeholders bereid zijn samen te werken en daarbij creatief gebruik te maken van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en de Inspectie Verkeer en Milieu.

Internationale regelgeving voor de binnenvaart volgens de IMO opzet is op korte termijn nodig.

Voor grootschalige toepassing van LNG moet een bunkerinfrastructuur worden opgezet. Op korte termijn met behulp van vrachtwagens, op de langere termijn afhankelijk van de toename van LNG als brandstof met bunkerschepen of met vaste bunkerplaatsen.

Het is zeer gewenst om van meet af aan één standaard voor de vulaansluiting te hanteren.

Bij het uitwerken van het scheepsconcept moet het totale energiemanagement worden beschouwd inclusief de warmtehuishouding. Hier is nog een innovatieslag te maken.

Het aanpassen van een bestaand schip naar varen op LNG is ingrijpend en kostbaar en wordt daarom afgeraden.

Het uiteindelijke doel is dat de emissies van de binnenvaart gereduceerd moeten worden. Dit kan met LNG maar er zijn ook andere technologieën, brandstoffen en toevoegingen, waarvan de haalbaarheid voor de binnenvaart zou kunnen worden onderzocht.

Referentielijst

- [1] Haalbaarheidsstudie Boomkorvissen op aardgas;
lr. P. 't Hart;
ISBN 978-90-5059-399-1; Rapportnummer 09.2.217, September 2009
- [2] Remco Hoogma, secretaris Platform Duurzame Mobiliteit
LNG als scheepsbrandstof: ervaringen en perspectieven uit Noorwegen
Bevindingen van studiereis 15-17 juni 2009