Haalbaarheidsstudie ‘Boomkorvissen op aardgas’

Dit rapport is in opdracht van InnovatieNetwerk opgesteld door:
Ir. P. ’t Hart, Koers & Vaart BV

Projectleider:
Drs. H.J. Riphagen (InnovatieNetwerk)

Dit rapport is opgesteld in het kader van het thema ‘Duurzaam Ondernemen’, concept ‘Noordzeevisserij: naar nieuwe energie’.

Postbus 19197
3501 DD Utrecht
tel.: 070 378 56 53
www.innovatienetwerk.org
Het ministerie van LNV nam het initiatief tot en financiert InnovatieNetwerk.

Postbus 30145
3001 DC Rotterdam
tel.: 010 20527720
www.dutch-maritime-network.nl

ISBN: 978 - 90 - 5059 - 399 - 1
Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.
Rapportnr. 09.2.217, Utrecht, september 2009.

Voorwoord

Nederland Maritiem Land en InnovatieNetwerk hebben samen de opdracht gegeven voor deze haalbaarheidsstudie. We hebben namelijk het idee dat het gebruik van aardgas bij de voortstuwing van (vissers) schepen in potentie heel interessant is. Bij een hoge gasolieprijs zoekt de visser naarstig naar goedkopere alternatieven, en aardgas is de laatste jaren aanzienlijk goedkoper dan olie. Bovendien is dit een schone brandstof met veel lagere emissies, hetgeen politiek steeds hoger op de agenda komt te staan.

Consultant Pieter 't Hart van Koers & Vaart BV heeft in dit rapport de ombouw van een bestaande boomkorkotter beschreven. Hij schenkt daarbij aandacht aan de technische aspecten van een ombouw van een schip van 42 meter lang – de Aardgas-1 (AG-1) op gas – maar gaat ook uitvoerig in op de economische kant en op de verkrijgbaarheid van aardgas als motorbrandstof. De beste technische oplossing lijkt om aardgas in vloeibare vorm (LNG) op te slaan in twee onderdeks geplaatste 20 voet cryogene containers. De bestaande dieselmotor kan met enkele beperkte ingrepen worden omgebouwd tot een dual fuel-motor, die deels op gas en deels op gasolie loopt. Belangrijkste knelpunt is de verkrijgbaarheid van LNG, maar dat lijkt een kwestie van tijd te zijn. De kosten van de ombouw zijn met een investeringsimpuls van de overheid binnen drie jaar terug te verdienen.

Rest ons nog om enkele vissers te bedanken voor hun nuttige commentaar bij de voortgang van dit onderzoek. Pieter Louwe van Slooten, Cees van de Berg, Gert-Jan Kooij en Klaas-Jelle Koffeman hebben de onderzoeker geholpen om een realistische case te bouwen.
We wensen u veel leesplezier met dit rapport en hopen dat het u inspireert om hier verder over na te denken.

Dr. G. Vos,
Directeur InnovatieNetwerk

Prof.dr.ir. N. Wijnolst,
Voorzitter Nederland Maritiem Land

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting 1

1. Introductie 5

1.1 Doel van de haalbaarheids-studie 'Boomkorvissen op aardgas' 6
1.2 Onderzoeksaanpak 6

2. Aardgas als brandstof 9

2.1 Aardgas 9
2.2 Nadelen van aardgas 10

3. Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren 13

3.1 Ontwikkelingen met betrekking tot dual fuel-motoren 15

4. Aardgas als brandstof aan boord van schepen 19

4.1 Aardgas onder druk (CNG) 20
4.2 Vloeibaar aardgas (LNG) 21

5. Wet- en regelgeving voor aardgas aan boord van schepen 25

6. Aardgasopslag aan boord van kotters 29

6.1 Gasopslag bovendeks 30
6.2 Gasopslag onderdeks 31
6.3 LNG-opslag in het nettenruim 31
6.4 LNG-opslag in het visruim 33
6.5 LNG-opslag in het nettenruim en het visruim 33
6.6 Eisen aan aardgasopslag aan boord volgens de BLG-richtlijn 34

7. Gasmotoren aan boord van kotters 37

7.1 Caterpillar 37
7.2 Mitsubishi 38
7.3 Rolls Royce/Bergen Diesel 38
7.4 Wärtsilä 39
7.5 Ombouw naar dual fuel-motoren in de boomkorvisserij 39
7.6 Principe van de Caterpillar dual fuel-motor (D3512B) 40
7.7 Eisen aan dual fuel-motoren volgens de BLG-richtlijn 41

8. Gassysteem aan boord van kotters 43

8.1 Vulsysteem 44
8.2 Opslagsysteem 45
8.3 Verdamperinstallatie 46
8.4 Gasstraat 48

9. Veiligheidseisen aan boord van kotters 51

9.1 Ventilatie 52
9.2 Brandveiligheid 52
9.3 Elektrische systemen 53
9.4 Control, monitoring en veiligheidssystemen 54

10. Betrouwbare levering van aardgas 57

10.1 LNG-distributie direct van de terminal 57
10.2 LNG-distributie via kleinere stations 59
10.3 Conclusies met betrekking tot betrouwbare levering van LNG 60

11. Brandstofkosten 63

11.2 Variatie LNG-prijzen 64
11.3 Historische prijzen gasolie 65
11.4 Vergelijking LNG- en gasolieprijzen 66

12. Verbouwingskosten boomkorkotter AG-1 71

12.1 Terugverdientijd van het LNG-systeem op de AG-1 72

13. Conclusies en aanbevelingen 77

13.1 Technische haalbaarheid van aardgassystemen op kotters 77
13.2 Haalbaarheid van betrouwbare aardgaslevering 79
14.3 Economische haalbaarheid van ombouw naar dual fuel voor kotters 80

Bijlage I: Lijst met geïnterviewde personen 83

Summary 87

Samenvatting

Nederland Maritiem Land en InnovatieNetwerk hebben samen deze haalbaarheidsstudie naar het boomkorvissen op aardgas laten uitvoeren. Aardgas is de laatste jaren goedkoper dan aardolie en is volop beschikbaar. Zou aardgas als brandstof een aantrekkelijk alternatief zijn voor olie? De vraag was of de ombouw van een bestaand vissersschip van gasolie naar aardgas haalbaar was. En met 'haalbaar' bedoelen we drie dingen: is de ombouw technisch uitvoerbaar, is er voldoende (vloeibaar) aardgas beschikbaar en kan de visser de investering in een redelijke periode terugverdienen?

Pieter 't Hart van Koers & Vaart BV heeft dit onderzoek voor ons uitgevoerd. Hij is daarbij uitgegaan van een typisch voorbeeld van een bestaande 42 meter lange boomkorkotter in de Nederlandse Noordzeevisserij. Is dit bestaande schip, de Aardgas 1 (AG-1), om te bouwen van gasolie naar aardgas? Dit moet natuurlijk wel passen binnen de constructie- en veiligheidseisen van het klassenbureau, de Inspectie Verkeer en Waterstaat, dat zich in haar oordeel voornamelijk baseert op de richtlijnen van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO). IMO heeft voor gasaangedreven schepen een specifieke code ontwikkeld met de naam 'bulk liquid and gases (IMO-BLG)', waaraan dit soort schepen moet voldoen.

Hoe sla je gas op aan boord?

Gas is weliswaar veel schoner dan gasolie, maar heeft per liter een veel kleinere energie-inhoud. Als je aardgas onder druk aan boord neemt, heb je vijf keer zoveel volume nodig om hetzelfde aantal uren op zee te kunnen vissen. Neem je daarentegen vloeibaar aardgas mee, dan heb je slechts twee keer zoveel volume nodig. Daarom is in de studie gekozen voor vloeibaar aardgas dat onder een temperatuur van minus 162 graden in speciale 20 voet cryogene containers wordt opgeslagen.

Voor een normale visreis zijn twee volle cryogene containers nodig. De beste plek om deze twee containers te plaatsen, is op een locatie onderdeks. Overdwars op het schip in het nettenruim lijkt technisch goed haalbaar.

Kan de bestaande motor op gas lopen?

Er blijkt nog weinig ervaring te bestaan met gasmotoren op relatief kleine schepen, zoals vissersschepen. Het blijkt dat het verbranden van 100% gas in bestaande scheepsmotoren technisch niet haalbaar is. Wat wel goed kan, is het verbranden van een mengsel van maximaal 70% gas en 30% gasolie. De bestaande motor kan worden omgebouwd tot een zogenoemde dual fuel-motor. Motoren van de fabrikant Caterpillar zijn hiervoor op dit moment het meest geschikt. De motorombouw omvat de aanleg van een gasstraat en het installeren van een elektronisch motormanagementsysteem. Verder moet er een verdamper geïnstalleerd worden om het vloeibare LNG weer gasvormig te maken, een vulsysteem en de nodige veiligheidsvoorzieningen. Technisch lijkt dit allemaal goed haalbaar.

Is er voldoende aardgas leverbaar?

In Nederland is er op dit moment geen leverancier van LNG als brandstof voor motoren. De dichtstbijzijnde leverancier zit in Zeebrugge, in België. Wel wordt er een grote aardgasterminal gebouwd op de Maasvlakte die eind 2011 operationeel is. Deze zogenoemde Gate terminal is bedoeld om het LNG weer gasvormig te maken en in het pijpleidingnetwerk te pompen. Andere plannen voor LNG-terminals liggen nog op de tekentafel. De overheid zou kunnen stimuleren dat LNG ook beschikbaar komt als brandstof voor verbrandingsmotoren. Dit lijkt op termijn haalbaar. Natuurlijk moeten ook gemeenten meewerken om vloeibaar aardgas over te slaan in de haven.

Hoeveel goedkoper is aardgas dan gasolie?

Sinds 2003 is vloeibaar aardgas goedkoper dan olie. Dit heeft te maken met marktomstandigheden en met een efficiëntere verwerking van gas tot LNG. Het gemiddelde verschil in de periode 2005-2008 bedraagt tussen de 17 en 26 eurocent per liter gasolie. De jaarlijkse besparing op de brandstofrekening van de AG-1 kan naar schatting oplopen van € 135.000 tot zo'n € 360.000, afhankelijk uit welk land de LNG afkomstig is.

Wat kost de verbouwing van de AG-1 en wat is de terugverdientijd?

De kosten van de verbouwing van schip en motor zijn aanzienlijk. Het uitvoeren van alle beschreven aanpassingen op het modelschip AG-1 kost in totaal naar schatting
€ 700.000. Natuurlijk kun je de cryogene containers ook huren in plaats van kopen – dan wordt het een kleine twee ton goedkoper. Mogelijk kan ook het elektronisch motormanagement achterwege gelaten worden. Dat scheelt wederom een kleine twee ton.
Een investering van € 700.000 is onmogelijk snel terug te verdienen met goedkope LNG. Met een overheidssubsidie van bijvoorbeeld 40% van de investeringskosten komt de ombouw wel binnen handbereik.

De economische haalbaarheid wordt groter als er geen cryogene containers worden gekocht maar geleased, en als er geen elektronisch motormanagement nodig is. Dan is het economisch zeker interessant om over te schakelen van gasolie naar LNG.

1. Introductie

De Nederlandse boomkorvisserij bevindt zich in zwaar weer. Voornamelijk als gevolg van vangstbeperkingen is er de laatste jaren sprake van een gestaag krimpende vloot. Eind 2006 bestond de beroepsmatige kottervloot varend onder Nederlandse vlag uit 360 kotters. Visserijbedrijven staan onder grote financiële druk en zoeken naar wegen om goedkoper te werken of om op andere manieren dan via visvangst geld te verdienen met het schip. Er wordt nauwelijks nieuw gebouwd, waardoor de gemiddelde leeftijd van de vloot verder toeneemt.

De visprijzen op de afslagen staan als gevolg van de kredietcrisis en de stagnerende afzet onder druk. De huidige prijzen van schol en tong zijn laag, terwijl de brandstofprijzen in 2008 een recordhoogte bereikten. Hoewel de brandstofprijzen inmiddels flink gezakt zijn, lijkt het een kwestie van tijd totdat de prijzen van fossiele brandstoffen wederom sterk zullen stijgen. Deze stijging van de brandstofprijzen is vooral merkbaar bij de brandstofintensieve boomkorvisserij.

Mede hierdoor is in de boomkorvisserij een verschuiving zichtbaar in vangstmethoden, en een trend om meer met kleinere schepen niches in de markt te zoeken. Naast nieuwe vangstmethoden om brandstofkosten te besparen, zijn er ook mogelijkheden voor het gebruik van alternatieve brandstoffen dan de gebruikelijke gasolie.

Een beperkt aantal kotters heeft in 2008 de motoren om laten bouwen, zodat zij geschikt zijn voor het gebruik van goedkopere zware olie. Een ander milieuvriendelijk alternatief is het ombouwen van scheepsmotoren voor het gebruik van aardgas – de zogenoemde gasmotoren. Gasmotoren worden al op grote schaal toegepast in de tuinbouw. Ook in de scheepvaart wordt steeds vaker gebruik gemaakt van gasmotoren. Wellicht vormen deze gasmotoren een interessant alternatief voor de boomkorvisserij.

1.1 Doel van de haalbaarheids-studie 'Boomkorvissen op aardgas'

In deze haalbaarheidsstudie worden de mogelijkheden onderzocht om bestaande boomkorkotters om te bouwen voor het gebruik van aardgas als alternatieve brandstof. Haalbaar betekent dat de investering, op basis van de lagere brandstofkosten, binnen drie jaar moet kunnen worden terugverdiend. Marktprijzen van de vis worden in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Naast de technische en economische aspecten van de ombouw van kotters worden ook de veiligheid en de leveringsbetrouwbaarheid van aardgas onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op deskresearch, interviews, LNG-symposia en discussiebijeenkomsten met vissers.

Het onderzoek is in de periode van januari tot juni 2009 door Koers & Vaart BV uitgevoerd in opdracht van InnovatieNetwerk en Stichting Nederland Maritiem Land.

1.2 Onderzoeksaanpak

In het najaar van 2008 is een eerste inventarisatie gemaakt naar de mogelijkheden om bestaande boomkorkotters om te bouwen voor het varen met gasmotoren. De eerste resultaten van het onderzoek waren positief, zodat besloten is een uitgebreider vervolgonderzoek op te zetten.

Hiertoe is een projectplan opgesteld met een aantal werkpakketten waarbij de haalbaarheid van de technische installatie aan boord, de haalbaarheid van de levering van CNG/LNG aan boord, de veiligheid, de integrale kosten en de terugverdientijd centraal staan.

Deze werkpakketten zijn verder uitgewerkt in de volgende onderdelen:

1. De haalbaarheid van aardgasopslag en de complete gasinstallatie aan boord:
   - Aardgas als brandstof,
   - Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren,
   - Aardgas als brandstof aan boord van schepen,
   - Wet- en regelgeving voor aardgas aan boord van schepen,
   - Aardgasopslag aan boord van boomkorkotters,
   - Gasmotoren aan boord van boomkorkotters,
   - Gassystemen aan boord van boomkorkotters,
   - Veiligheidsaspecten met betrekking tot gassystemen aan boord van boomkorkotters.

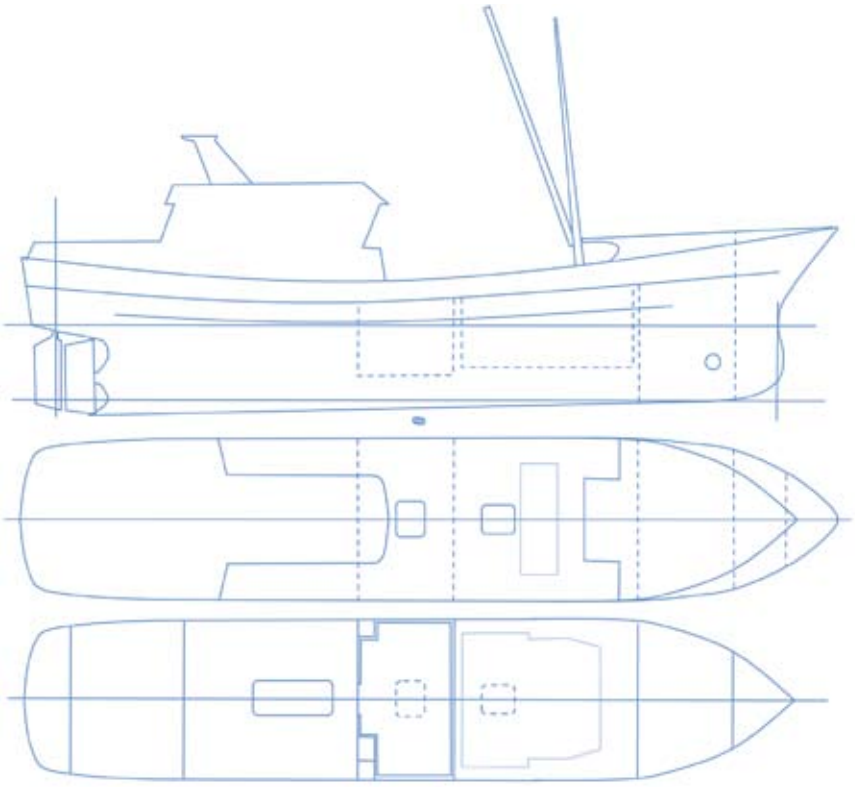
2. De betrouwbare levering van aardgas in gecomprimeerde of vloeibare vorm aan boord:
   - Levering vanuit Zeebrugge,
   - Levering vanuit Rotterdam,
   - Levering vanuit andere locaties,
   - Veiligheidsaspecten met betrekking tot het laden en lossen van aardgas.

3. De verwachte brandstofkosten voor aardgas versus gasolie:
   - Historische ontwikkelingen in brandstofprijzen,
   - Recente ontwikkelingen in brandstofprijzen,
   - Vergelijking van LNG-prijzen en gasolieprijzen,
   - Mogelijke brandstofbesparingen voor boomkorkotters.

4. De verwachte kosten voor de verbouwing van de boomkorkotters:
   - Kosten van diverse deelsystemen.
   - Totale verbouwingskosten.
   - Terugverdientijden van verschillende technische configuraties.
   - Terugverdientijd met eventueel gebruik van subsidies.
   - Conclusies met betrekking tot de haalbaarheid.

De realiseerbaarheid van de installatie aan boord en de betrouwbare levering van gas zijn essentiële voorwaarden voor de haalbaarheid.

In dit onderzoek is een bestaande viskotter met een lengte van 42 meter gekozen als vergelijkingsschip. De realiseerbaarheid van de aardgasopslag en de technische installatie aan boord, de veiligheid evenals alle kostprijsberekeningen zijn gerelateerd aan dit schip. Voor het gemak heeft dit schip de naam AG-1 gekregen (zie Afbeelding 1).



Afbeelding 1: De vergelijkingskotter AG-1.

De AG-1 heeft de volgende kenmerken:

Lengte over alles:	*42,00 meter*
Lengte tussen de loodlijnen:	*37,50 meter*
Breedte:	*8,50 meter*
Holte:	*5,30 meter*
Diepgang:	*4,00 meter*
Bruto tonnage:	*470 BT*
Waterverplaatsing:	*720 ton*
Brandstofcapaciteit	*circa 100 m³*

2. Aardgas als brandstof

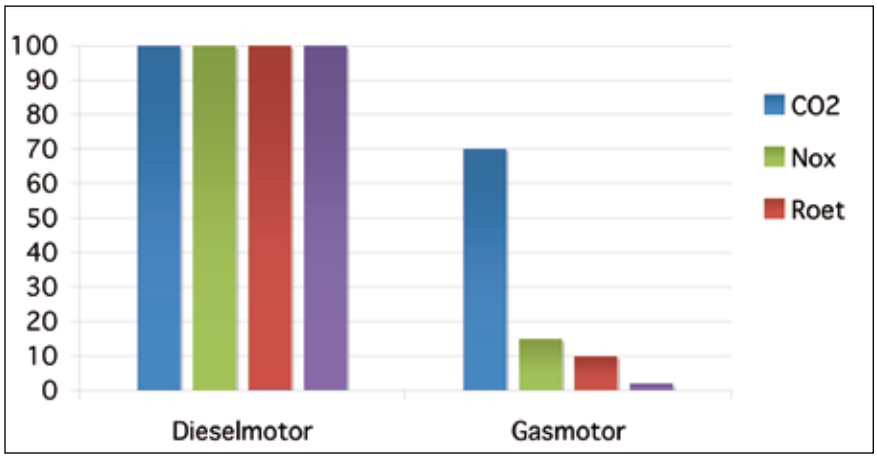
2.1 Aardgas

Aardgas wordt vaak samen met aardolie gevonden, hoewel het gas soms kans ziet in andere aardlagen door te dringen dan de veel zwaardere olie, en er zo een scheiding kan zijn ontstaan. Aardgas bestaat voor het overgrote deel uit methaan (CH4), maar bevat ook mengsels van andere gassen, zoals stikstofgas (N2), kooldioxide (CO_2) en waterstofsulfide (H2S). Aardgas uit het Groningse Slochteren bestaat voornamelijk uit methaan (82%) en stikstofgas (14%). In het verleden werd aardgas vaak als een afvalproduct beschouwd van oliewinning en eenvoudigweg 'afgefakkeld'. Ook nu gebeurt dit nog wel als het erg ver van de bewoonde wereld aangetroffen wordt en het transport naar de gebruiker te veel problemen oplevert. Dit zogenoemde *stranded gas* wordt wereldwijd in grote hoeveelheden in kustwateren gevonden en vormt een enorme energievoorraad die de komende jaren benut kan gaan worden.

Voordelen van aardgas

Het gebruik van aardgas heeft een groot aantal voordelen. Van alle fossiele brandstoffen is aardgas het schoonste. In de onderstaande afbeelding (Afbeelding 2) is een relatieve vergelijking gemaakt tussen de uitstoot van diesel en die van aardgas, waarbij de emissie van diesel op 100 is gesteld.

Afbeelding 2: Emissies van diesel en aardgas.



Aardgas is op alle terreinen dus aanzienlijk schoner dan diesel. In het verbrandingsproces van methaan ontstaat namelijk relatief veel water en weinig van het broeikasgas kooldioxide. Daarnaast geeft de verbranding van aardgas nauwelijks roetvorming en is aardgas relatief eenvoudig te ontdoen van onzuiverheden.
Aardgas is ook relatief veilig omdat het lichter is dan lucht. Dit in tegenstelling tot LPG, dat een zogenoemde ontvlambare 'deken' kan vormen op de grond.

2.2 Nadelen van aardgas

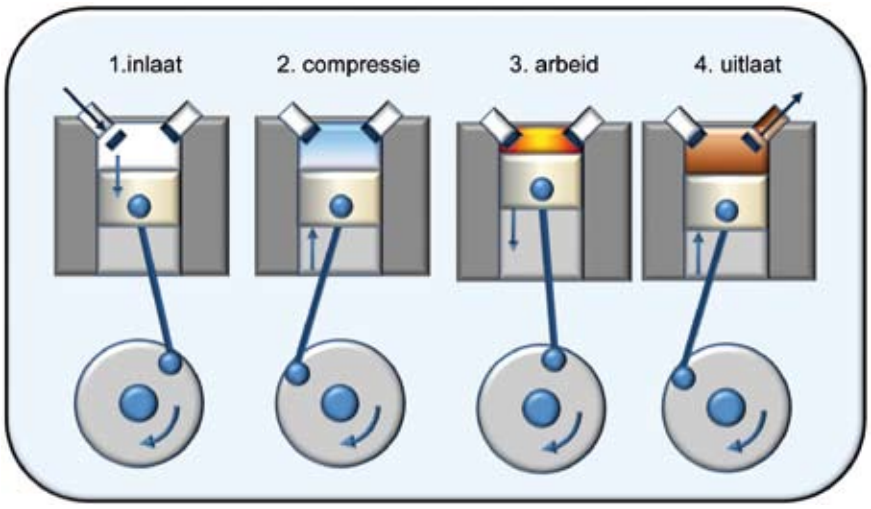
Aardgas kent ook een aantal nadelen. Het gas heeft een veel lagere energetische waarde dan andere traditionele brandstoffen, zoals gasolie. Als het vervoer van aardgas niet via een leidingennet kan verlopen, is het transport van gas te duur. Om het gas kosteneffectief te kunnen transporteren, dient het gecomprimeerd of vloeibaar gemaakt te worden.

De energiedichtheid van vloeibaar aardgas is 500 keer groter dan normaal aardgas en de energiedichtheid van aardgas onder druk (200 bar) is 200 keer groter dan normaal aardgas. Alleen onder hoge druk of in vloeibare vorm is aardgas dus geschikt voor opslag en gebruik in transportmiddelen. Het vloeibaar maken en houden van aardgas is een relatief kostbaar en energie-intensief proces. Ook het op hoge druk brengen en houden van aardgas kost veel energie en is duur.

Tevens levert methaangas dat zonder verbranding in de atmosfeer vrijkomt een grote bijdrage aan het broeikaseffect. De bijdrage van methaan aan het broeikaseffect is meer dan twintig keer hoger dan de bijdrage van kooldioxide.

3. Aardgas als brandstof voor verbrandingsmotoren

Schepen worden sinds jaar en dag uitgerust met viertaktdieselmotoren. Viertaktmotoren werken volgens het principe als afgebeeld in Afbeelding 3:



Afbeelding 3: Schematische voorstelling viertaktdieselmotor.

1. Een inlaatslag, waarbij de zuiger naar beneden gaat en door de geopende inlaatklep lucht wordt aangezogen.

2. Een compressieslag, waarbij de zuiger naar boven gaat en de lucht wordt samengedrukt. Hierdoor wordt de lucht heet genoeg om de brandstof spontaan te laten ontbranden. De zelfontbrandingstemperatuur van diesel is 320 à 360°C. Aan het einde van de compressieslag wordt de diesel ingespoten. De verbranding produceert een heet gasmengsel van 60 à 180 bar en 2000 à 2500 °C.

3. Een arbeidsslag, waarbij de zuiger naar beneden geduwd wordt door de ontstane verbrandingsdruk van 60 à 180 bar.

4. Een uitlaatslag, waarbij de zuiger naar boven beweegt en de uitlaatgassen via de uitlaatklep naar buiten gedrukt worden.

Gasmotoren zijn veelal dieselmotoren die aardgas als brandstof gebruiken in plaats van diesel. Doordat de zelfontbrandingstemperatuur van aardgas (537 graden Celsius) aanzienlijk hoger is dan die van diesel, zal aardgas niet spontaan ontbranden bij inspuiting in de cilinder.

Het laten ontbranden van het aardgas in de cilinder kan op twee manieren in gang worden gezet:
1. Door gebruik te maken van een bougie.
2. Door een hoeveelheid diesel in te spuiten die de ontbranding in gang zet.

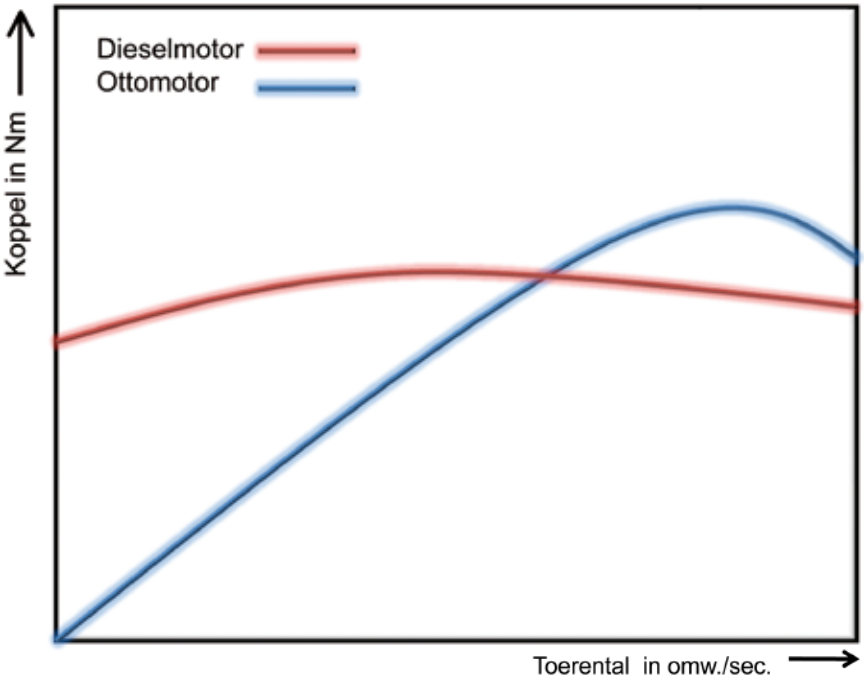
Motoren die gebruik maken van een bougie voor de ontsteking worden gasmotoren (Engels: *gas diesels*) genoemd. Motoren die gebruik maken van een bougie functioneren volgens het Otto-principe. Zij hebben een optimaal werkpunt, waar bij een bepaald toerental de motor zijn maximumvermogen levert. Deze motoren zijn dus uitermate geschikt voor het draaien op een constant toerental, zoals voor generatorsets (zie ook Afbeelding 4).

Motoren die gebruik maken van diesel voor de ontbranding van het gas/diesel-mengsel worden dual fuel-motoren genoemd. Bij deze motoren kan de verhouding van het gas/diesel-mengsel variëren.

Bij maximale gastoevoer wordt er alleen een kleine hoeveelheid dieselolie gebruikt voor de ontsteking van het mengsel. Wanneer het maximaal vermogen door de dieselmotor geleverd moet worden, is de dual fuel-motor in staat om alleen op dieselolie te opereren.

Dual fuel-motoren werken volgens het Diesel-principe en zijn in staat om bij verschillende toerentallen een nagenoeg constant vermogen te leveren. In Afbeelding 4 wordt een schematische voorstelling weergegeven van de koppel toeren krommen van een motor volgens het Otto-principe (gasmotoren) en volgens het Diesel-principe (dual fuel-motoren).

Afbeelding 4: Schematische koppel toeren kromme.

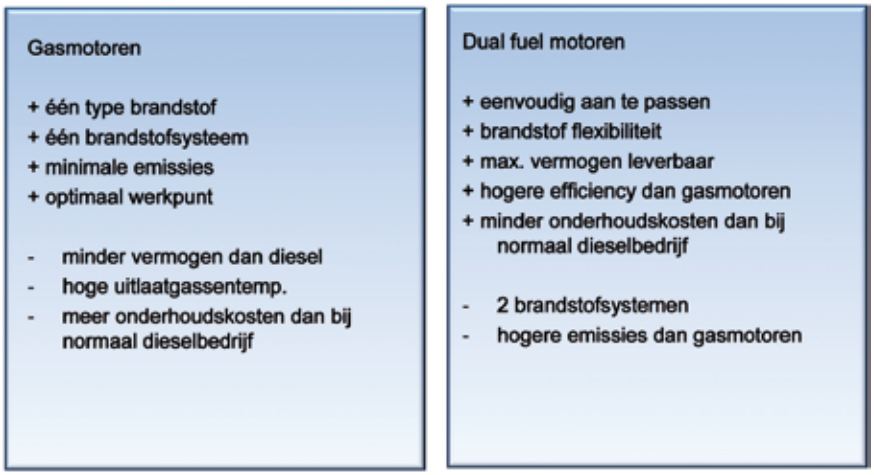


Afbeelding 5 toont een beknopt overzicht van diverse voor- en nadelen van gasmotoren versus dual fuel-motoren.

Gasmotoren zijn vooral geschikt als dieselgeneratorsets voor het boordnet. Vanuit het boordnet wordt vervolgens een elektrische voortstuwingsinstallie van energie voorzien.

De boomkorvisserij maakt vooral gebruik van dieseldirecte voortstuwing, en niet van elektrische voortstuwing. Bij dieseldirecte voortstuwing is de dieselmotor direct gekoppeld aan de schroef. Een ombouw van een bestaande kotter naar dieselelektrische voortstuwing wordt

niet haalbaar geacht, met het oog op de beperkte hoeveelheid ruimte aan boord in de machinekamer en de hoge investeringskosten voor de ombouw van een dieseldirect systeem naar een dieselelektrisch systeem.



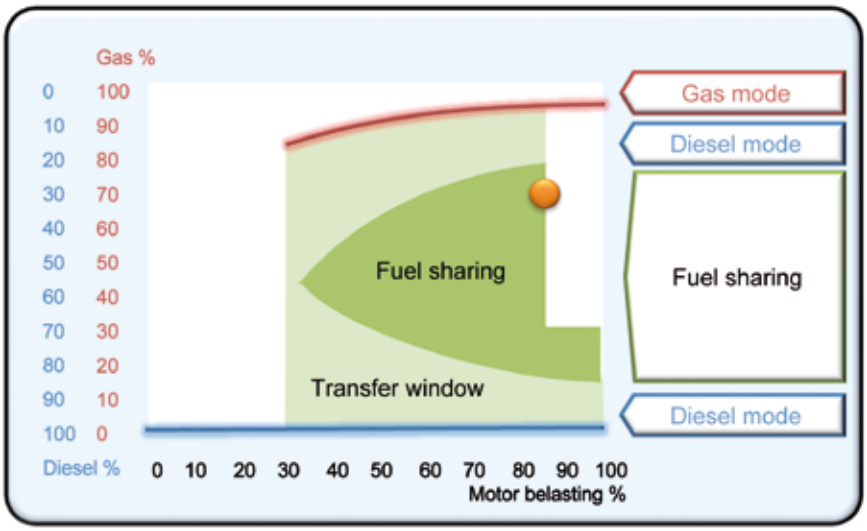
Afbeelding 5: Voor- en nadelen van gasmotoren versus dual fuel-motoren.

Voor de ombouw van een bestaande kotter naar gas heeft het gebruik van dual fuel- motoren grote voordelen. Er hoeven geen nieuwe motoren ingebouwd te worden, maar men hoeft alleen de bestaande motoren om te bouwen naar dual fuel. Er hoeven verder geen aanpassingen gedaan te worden aan de voortstuwingsinstallatie, waardoor de kosten beperkt blijven.

De dual fuel-motor is in staat om te allen tijde het gevraagde maximumvermogen te leveren en ook de brandstofflexibiliteit, waarbij de visser kan kiezen tussen gas of diesel, biedt voordelen uit het oogpunt van kosten en operationele inzet. Voor de ombouw van bestaande kotters wordt alleen het dual fuel-concept met directe aandrijving haalbaar geacht.

3.1 Ontwikkelingen met betrekking tot dual fuel-motoren

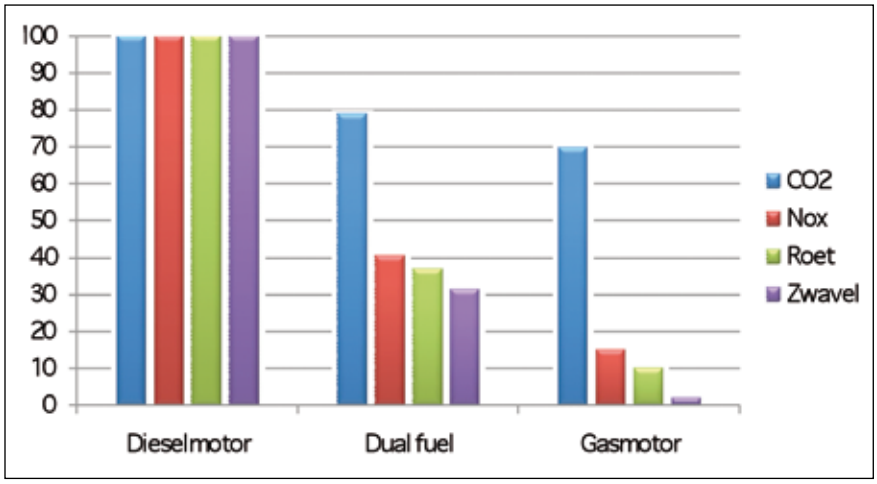
Uit deskresearch en gesprekken met motorenfabrikanten blijkt dat de ontwikkeling van dual fuel-motoren op gas en dieselolie zich nog in een vroeg stadium bevindt. Sommige motorenfabrikanten kunnen dual fuel-motoren leveren c.q. ombouwen voor de kleinere vermogens, andere hopen binnenkort dual fuel-motoren toe te kunnen voegen aan hun leveringsprogramma. Specifieke gegevens zoals koppel toeren krommen voor gas- en of dual fuel-motoren zijn echter vaak nog niet beschikbaar. Afhankelijk van de vaarprofielen van de visserij wordt geschat dat de verhouding gasolie/gas bij het gebruik van dual fuel-motoren 30/70 is. Dat betekent dat het benodigde vermogen voor de voortstuwing aan boord voor 30% geleverd wordt door de gasolie en voor 70% door gas.



Afbeelding 6: Dual fuel-motor gas/diesel-verhouding bij verschillende belastingen.

In de bovenstaande figuur (Afbeelding 6) wordt aangegeven welke mengselverhouding van diesel en gas mogelijk is bij verschillende belastingen van de motor. De oranje stip geeft de maximale motorbelasting (circa 85%) aan bij de geschatte diesel/gas-verhouding van 30/70. Wanneer een motorbelasting van 100% gevraagd wordt, zal de hoeveelheid gas afnemen tot maximaal 30%.

Het emissieprofiel van een kotter wordt in de dual fuel mode iets minder gunstig dan met gasmotoren, maar is nog steeds aanzienlijk beter dan met dieselmotoren. De grafiek is weegegeven in Afbeelding 7.



Afbeelding 7: Emissieprofielen van diverse motortypen.

De dual fuel-motoren worden eigenlijk altijd gekoppeld aan een generatorset voor het opwekken van elektrische energie. Er zijn tot op heden geen praktijkvoorbeelden bekend van dual fuel-motoren die direct gekoppeld zijn aan een conventionele schroefinstallatie.

4. Aardgas als brandstof aan boord van schepen

Met de toenemende schaarste aan fossiele brandstoffen is de laatste jaren een hernieuwde belangstelling ontstaan voor aardgas. Aardgas als brandstof voor schepen is niet nieuw. Al sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw werden er LNG-tankers uitgerust met motoren die ook aardgas als brandstof gebruikten. Aan boord van deze LNG-tankers verdampt er namelijk continu een kleine hoeveelheid gas, zodat de vloeibare lading op temperatuur kan blijven. Dit zogenoemde *boil-off gas* wordt dan gebruikt als brandstof voor de motoren.

In Amsterdam varen sinds halverwege jaren negentig rondvaartboten op CNG. De eisen voor deze schepen zijn door het ministerie van Verkeer en Waterstaat vastgelegd in de Binnenvaartregeling in bijlage 3.3 Technische eisen voor rondvaartboten van het Amsterdams grachtentype.

In 2004 heeft de Friese scheepswerf Bijlsma, de Pioneer Knutsen opgeleverd. Dit schip is de kleinste LNG-tanker ter wereld, gebouwd onder DNV, heeft een lengte van 69 meter, een breedte van 11,8 meter, een holte van 5,5 meter en een ladingcapaciteit van 1100 m^3. De Pioneer Knutsen maakt gebruik van boil-off gas voor twee gasmotoren ten behoeve van energieopwekking naar het boordnet. Het schip heeft een elektrische voortstuwing met twee azimuth thrusters[1] en kwam in aanmerking voor een subsidie van 875.000 euro van de Europese Commissie.

In de zeevaart worden inmiddels schepen gebouwd die geen LNG als lading vervoeren, maar wel LNG als brandstof gebruiken voor de voortstuwing. De Viking Energy, met een lengte van 95 meter en een breedte van 20,4 meter, is hier een voorbeeld van. The Viking Energy

[1] *Azimuththrusters zijn pompen die het water wegstuwen in plaats van schroeven.*

is uitgerust met vier dual fuel-motoren, waardoor het schip zowel op LNG als op marinediesel kan varen in elke gewenste verhouding. Het gebruik van LNG resulteert in een 90% reductie van NOx-emissies en een 30% reductie van CO_2. Testen hebben aangetoond dat er vanwege de dual fuel elektrische voortstuwing, brandstofbesparingen tot 30% gerealiseerd kunnen worden.

Begin 2009 is de Coral Methane opgeleverd aan de Nederlandse rederij Anthonie Veder. Deze gastanker gaat in Noorwegen de LNG-distributie verzorgen. De Coral Methane heeft naast de gebruikelijke dieselelektrische motoren, twee gaselektrische motoren voor energie-opwekking aan boord. De voorstuwing van de Coral Methane wordt gerealiseerd met twee elektrisch aangedreven azipull-schroeven. De genoemde schepen worden weergegeven in Afbeelding 8.

Afbeelding 8: Enkele voorbeelden van schepen die varen op CNG of LNG.

Voor de visserij komt in eerste instantie zowel het gebruik van aardgas onder hoge druk (*Compressed Natural Gas* of CNG) als het gebruik van aardgas in vloeibare vorm (*Liquid Natural Gas* of LNG) in aanmerking.

4.1 Aardgas onder druk (CNG)

CNG wordt meestal gemaakt door aardgas met behulp van een compressor te comprimeren tot drukken van 200 tot 400 bar. Aardgas wordt gecomprimeerd omdat het dan minder ruimte inneemt. Het volume van CNG onder 200 bar druk is 200 maal kleiner dan aardgas onder atmosferische druk.

De energiedichtheid per kilogram CNG is vergelijkbaar met die van gasolie en diesel. Vanwege de hoge kosten van CNG fast fill-installaties en de lange vultijden bij CNG slow fill-installaties, wordt CNG nog niet op grote schaal toegepast.

In Nederland wordt CNG geleverd onder een druk van 200 bar bij diverse CNG-tankstations voor het wegtransport. Eind 2009 zijn er in Nederland ongeveer 40 CNG-tankstations en men verwacht in 2012 250 CNG-tankstations operationeel te hebben.

Deze CNG-tankstations gebruiken gas uit het Nederlandse aardgasnet. Dit zogenoemde Slochteren-gas bevat circa 82% methaan, de rest is voornamelijk stikstof. Voor de CNG-levering vanuit het Nederlands aardgasnet betekent dit dat de energiedichtheid van het geleverde Slochteren-gas ongeveer 18% lager is dan van puur methaangas.

Opslag van CNG vindt plaats in stalen of composietcilinders. Deze opslagsystemen voor CNG zijn relatief duur en zwaar.

4.2 Vloeibaar aardgas (LNG)

LNG is vloeibaar aardgas. Onder normale atmosferische druk wordt aardgas vloeibaar bij een temperatuur van minus 162°C. Het aardgas wordt ontdaan van alle stoffen die bevriezen (vooral water en CO_2) bij de benodigde temperaturen of die anderszins schade kunnen aanrichten aan apparatuur.

Het volume van LNG is ongeveer 500 maal kleiner dan van aardgas bij normale temperatuur en druk. Deze volumereductie maakt het goedkoper om het gas te transporteren als er geen pijpleiding aanwezig is. 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 kosten 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.

In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de energetische waarde van een aantal fossiele scheepsbrandstoffen.

De energetische waarde, de warmte die vrijkomt bij verbranding, kent een bovenwaarde en een onderwaarde. Voor verwarmingsinstallaties is de bovenwaarde (HHV) van belang. Voor verbrandingsprocessen in motoren is de onderwaarde (LHV) van belang. De energetische onderwaarde is de warmte die vrijkomt bij verbranding zonder de condensatiewarmte van de verbrandingsgassen mee te rekenen.

Naam	**LHV**	**dichtheid**	**LHV**
	(MJ/kg)	(kg/liter)	(MJ/liter)
Methaan	50,10	0,0007	0,04
Gasolie	42,50	0,8900	37,83
Diesel	43,00	0,8500	36,55
CNG 200	49,38	0,1600	7,90
LNG	49,51	0,4250	21,04

Tabel 1: Onderwaarden van diverse fossiele brandstoffen.

Uit de tweede kolom van de tabel (Tabel 1) blijkt dat de onderwaarde voor de verschillende fossiele brandstoffen per kilogram vrij constant is. Het grote verschil zit in de dichtheid van de verschillende fossiele brandstoffen, waardoor de onderwaarde per volume-eenheid sterk varieert.

Globaal kan men stellen dat het benodigde opslagvolume voor LNG twee maal zo groot is als dat voor gasolie of diesel. Het benodigde opslagvolume voor CNG op 200 bar is vijf maal zo groot als het opslagvolume voor gasolie of diesel.

5. Wet- en regelgeving voor aardgas aan boord van schepen

De Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW) fungeert als klassenbureau voor de kotters die onder Nederlandse vlag gebouwd worden. Een eventuele ombouw van een bestaande boomkorkotter op aardgas vereist dus de goedkeuring van IVW. IVW hanteert voor de bouw en ombouw van gasaangedreven schepen de richtlijnen van de International Maritime Organisation (IMO). Deze richtlijnen worden ontwikkeld door het IMO sub-committee on Bulk Liquids and Gases (IMO-BLG) onder de naam Development of Provisions for Gas-fuelled Ships (ref. BLG12/7 d.d 14 May 2007).

Daarnaast worden richtlijnen voor brandveiligheid ontwikkeld door het IMO sub-committee on Fire Protection (IMO-FP) onder de naam Development of Provisions for Gas-fuelled Ships (ref. FP 53/11 d.d. 1 October 2008).

De bovengenoemde richtlijnen zijn van toepassing op nieuwe schepen. De toepassing van deze richtlijnen op bestaande schepen is ter beoordeling aan de vlagstaat voor zover zij dit noodzakelijk acht. IVW streeft ernaar om deze richtlijnen zoveel mogelijk toe te passen op zowel nieuwe als bestaande schepen. De BLG-code kent de volgende hoofdstukindeling:

1. Algemene voorschriften
2. Scheepsontwerp en systeemontwerp
3. Brandbeveiliging
4. Elektrische systemen
5. Control-, monitoring- en veiligheidssystemen
6. Compressoren en gasmotoren
7. Productie, vakmanschap en testen

In dit haalbaarheidsonderzoek ligt de primaire focus op het scheepsontwerp en systeemontwerp zoals beschreven in hoofdstuk 2 van de BLG-code, met daarin de volgende hoofdstukken:

2.1 Algemene eisen
2.2 Materiaal eisen
2.3 Locatie en separatie van ruimten
2.4 Ontwerp van toegangen en openingen
2.5 Ontwerpregels voor leidingen
2.6 Systeemconfiguraties
2.7 Gasaanvoersysteem
2.8 Gasopslagsysteem
2.9 Bunkering en distributiesysteem
2.10 Ventilatiesysteem

Zonder direct op alle details van de regelgeving in te gaan, zal eerst onderzocht worden of een LNG- of CNG-systeem qua ruimte aan boord van een bestaande kotter geplaatst kan worden. Dit betreft de gasopslag aan boord, de motorombouw, het gastoevoersysteem en de systeemconfiguratie. Dit is de eerste stap in de ontwerpspiraal. Vervolgens zullen kort de eisen met betrekking tot ventilatie, brandveiligheid en de elektrische installatie doorlopen worden.

6. Aardgasopslag aan boord van kotters

In overleg met een aantal vissers wordt voor de AG-1 een wekelijks verbruik van 30 m^3 gasolie aangenomen. Als de kotter volledig op LNG zal gaan varen, is een LNG-opslagvolume van 54 m^3 noodzakelijk. Bij een maximaal vullingpercentage van een LNG-tank van 95% is het gewenste bruto tankvolume 57 m^3. In de praktijk zal een bestaande kotter niet met gasmotoren varen maar met dual fuel-motoren. Hierdoor wordt het benodigde volume LNG naar schatting 70% van 57 m^3 is 40 m^3.

Dit opslagvolume kan gerealiseerd worden met behulp van standaard ISO-containers waarin een cryogene tank is ingebouwd. Deze 20 en 40 voet cryocontainers hebben een tankvolume van respectievelijk 19,30 m^3 en 42,85 m^3. Voor de AG-1 met een dual fuel-voortstuwingsmotor zijn twee 20 voet cryocontainers of één 40 voet cryocontainer nodig om het LNG-volume op te slaan. Hoewel het gebruik van een 40 voet container uit het oogpunt van kosten gunstiger is dan het gebruik van twee 20 voet containers, is de beschikbare ruimte aan boord en de indeling van de compartimenten dusdanig dat de 40 voet container te groot is voor het vergelijkingsschip AG-1. In dit haalbaarheidsonderzoek zal daarom vooral met 20 voet cryocontainers gerekend worden.

Als de kotter op CNG200 gaat varen, is er een CNG-opslagvolume van 144 m^3 noodzakelijk. Bij een maximaal vullingpercentage van een CNG-tank van 95% is het gewenste tankvolume 151 m^3. Ook hier geldt dat een bestaande kotter alleen met dual fuel-motoren zal gaan varen en dat daarvoor een volume nodig is van 70% van 151 m^3 oftewel 106 m^3.

Afbeelding 9: Cryogene 20 voet container. Met dank aan Cryo Containers Ltd.

Voor de AG-1 zijn minimaal vijf 20 voet CNG-containers nodig om het CNG-volume op 200 bar op te slaan. Daarbij wordt uitgegaan van de vuistregel dat het opslagvolume van CNG ongeveer 2,5 keer zo groot is als het opslagvolume van LNG.
Door het grote volumebeslag van CNG aan boord van de kotter, valt CNG af als opslagmethode aan boord. Alleen LNG biedt voor de ombouw van een bestaande kotter mogelijkheden met betrekking tot gasopslag.

6.1 Gasopslag bovendeks

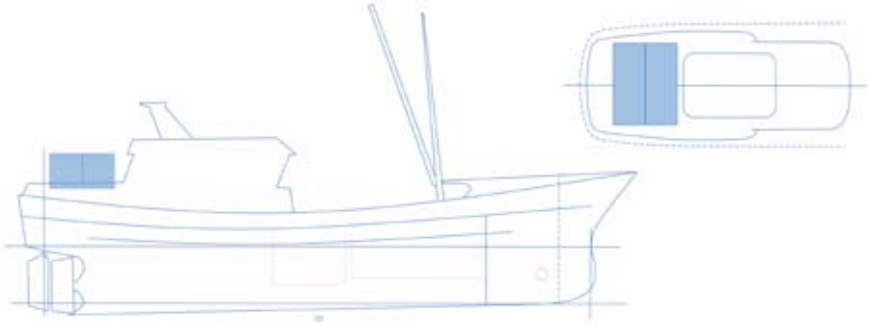
De BLG-richtlijn paragraaf 2.8.4. schrijft voor dat zowel LNG als CNG onder voorwaarden bovendeks opgeslagen mag worden. Met het oog op de veiligheid van de opslag van LNG en CNG verdient opslag bovendeks eigenlijk de voorkeur. De kotter is echter zo efficiënt ingedeeld dat er op het werkdek geen ruimte overblijft om daar LNG-tanks te plaatsen. Voor de veiligheid van de bemanning tijdens het vissen is het ook niet raadzaam om tanks op het werkdek te plaatsen.

De enige locatie die overblijft om tanks bovendeks te plaatsen, is het achterdek. Ook deze locatie is niet optimaal. De beschikbare ruimte op het achterdek is namelijk beperkt. Voor een bestaande kotter levert een gasopslagsysteem op het achterdek vooral problemen op met de stabiliteit. In Afbeelding 10 wordt de configuratie van twee 20 voet LNG-cryocontainers op het achterdek weergegeven.

De aanvangsstabiliteit bij vertrek – met 98% voorraden aan boord – is op de vergelijkingskotter AG1 normaliter 0,90 meter (vrije vloeistofoppervlakken niet meegerekend). Indien er op het achterdek twee 20 voet containers geplaatst worden, neemt de aanvangsstabiliteit af tot 0,55 meter.

Als de invloed van vrije vloeistofoppervlakken wordt meegenomen, daalt de aanvangsstabiliteit verder tot circa 0,45 meter. De trimtank en

de voorpiek kunnen gebruikt worden om het schip meer gelijklastig te trimmen, maar zullen een verdere afname van de aanvangsstabiliteit teweegbrengen.



Afbeelding 10: LNG-opslag bovendeks.

De plaatsing van twee cryogene 20 voet containers op het achterdek ten behoeve van LNG-opslag, zal grote problemen geven met betrekking tot stabiliteit en trim, en blijkt in de praktijk niet haalbaar.

6.2 Gasopslag onderdeks

Het gewicht van een gasopslagsysteem inclusief gas bedraagt bijna 35 ton. Het verdient de voorkeur om het gasopslagsysteem zo dicht mogelijk bij het zwaartepunt van de kotter te brengen. Hierdoor worden grote verstoringen van trim en stabiliteit zoveel mogelijk beperkt.

De BLG-richtlijn paragraaf 2.8.5.1 schrijft voor dat LNG en CNG onder voorwaarden onderdeks mogen 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.

Op de vergelijkingskotter AG-1 kan de LNG-opslag plaatsvinden in het nettenruim of in het visruim, of in een combinatie van beide. Achtereenvolgens zullen de drie verschillende opties besproken worden.

6.3 LNG-opslag in het nettenruim

LNG-opslag in het nettenruim kent een aantal duidelijke voordelen. De locatie grenst direct aan de machinekamer, waardoor het cryogene leidingwerk aan boord zoveel mogelijk beperkt wordt.

Daarnaast liggen het gewichtszwaartepunt en het drukkingspunt van de kotter ter hoogte van het nettenruim. Het plaatsen van de 20 voet LNG-cryocontainers zal in dat geval minimale invloed hebben op de trim en stabiliteit van het schip. Doordat bovendien het dek in het nettenruim 0,50 meter lager ligt dan in het visruim, kunnen de cryo-

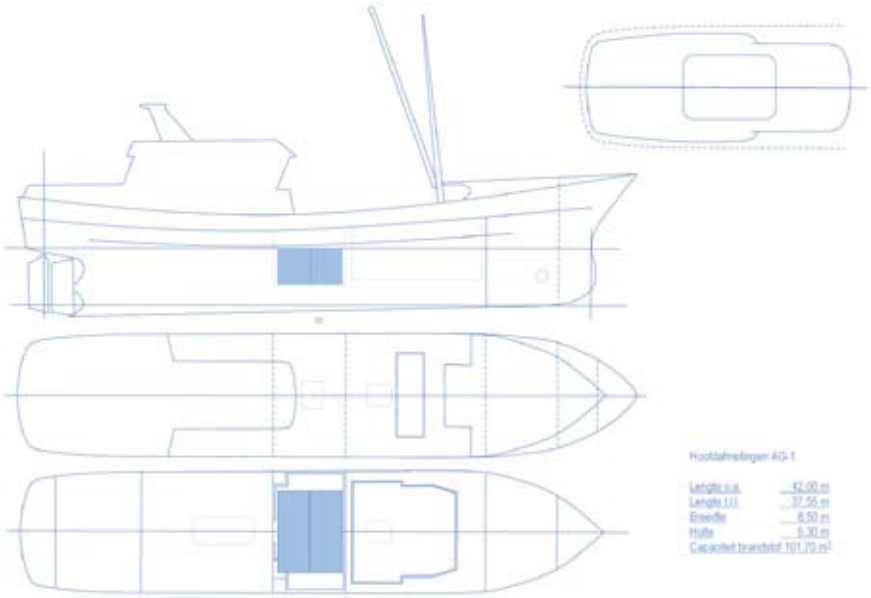
containers lager in het schip geplaatst worden, hetgeen de stabiliteit ten goed komt.

Een groot voordeel van de opslag van LNG in het nettenruim ligt in het feit dat de werkruimte (het visruim) en de gasopslagruimte volledig gescheiden zijn. Doordat de nettenruimte afgesloten is en verder niet gebruikt wordt voor andere werkzaamheden, staan de cryogene containers nauwelijks bloot aan invloeden van buitenaf die de installatie kunnen beschadigen.

Het nettenruim van de vergelijkingskotter AG-1 heeft een lengte van 5 meter, een breedte van 8,5 meter en een hoogte van circa 3,5 meter.

De 20 voet cryocontainer heeft een breedte van 8 voet (circa 2,40 meter). Hierdoor is het mogelijk om precies twee 20 voet cryocontainers overdwars in het nettenruim te plaatsen, zonder het voorschot van de machinekamer en het achterschot van het visruim te hoeven verplaatsen. Het luik naar het nettenruim dient verplaatst te worden naar stuurboord en naar bakboord om het nettenruim toegankelijk te houden. Ook dienen de smeerolietanks in het nettenruim verplaatst te worden, zodat er voldoende ruimte vrijkomt om de twee 20 voet cryocontainers te plaatsen.

In Afbeelding 11 wordt de configuratie van twee 20 voet LNG-cryocontainers in het nettenruim weergegeven.



Afbeelding 11: LNG-opslag in het nettenruim.

De aanvangsstabiliteit van de kotter bij vertrek is normaliter 0,90 meter. Indien er in het nettenruim twee 20 voet containers geplaatst worden, neemt de aanvangsstabiliteit af tot 0,84 meter. Als de invloed van vrije vloeistofoppervlakken wordt meegenomen, daalt de aanvangsstabiliteit tot circa 0,78 meter. Dit is acceptabel en leidt niet tot stabiliteits- en/of trimproblemen.

6.4 LNG-opslag in het visruim

Hoewel het visruim groter is dan het nettenruim, kent LNG-opslag in het visruim weinig voordelen. Het visruim is vooral een opslagruim en een werkruimte voor de vissers. Dat betekent dat het ruim regelmatig blootstaat aan de invloed van weer en wind. Dit komt de LNG-opslaginstallatie niet ten goede.

Daarnaast zou de plaatsing van twee 20 voet LNG-cryocontainers in het visruim dusdanig veel plaats innemen dat er te weinig ruimte overblijft voor de opslag van vis. Bovendien dient de LNG-opslagruimte uit veiligheidsoverwegingen voldoende geventileerd te worden. Op de heenreis van het schip naar de visgronden is dat geen probleem, maar op de terugreis met een gevuld visruim dat gekoeld moet worden, zullen de ventilatievoorschriften conflicteren met het koelen van het ruim.

Opslag van LNG middels twee 20 voet cryocontainers die alleen in het visruim zijn opgesteld, wordt niet haalbaar en ook niet wenselijk geacht.

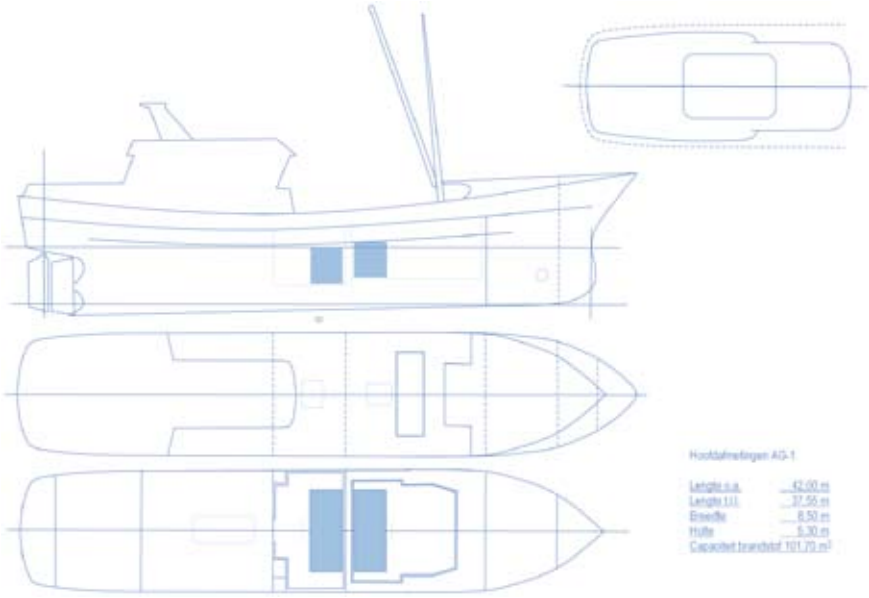
6.5 LNG-opslag in het nettenruim en het visruim

Als blijkt dat het nettenruim te klein is voor het plaatsen van twee 20 voet LNG–cryocontainers, kan de optie overwogen worden om één van de twee containers in het visruim te plaatsen. Deze optie heeft als voordeel dat de nettenruimte beter toegankelijk blijft en de smeerolietanks niet verplaatst hoeven te worden.

Het nadeel van deze optie is dat de LNG-opslag over twee ruimten gespreid wordt en beide ruimten aan ventilatie- en veiligheidseisen dienen te voldoen. Dit kan een probleem opleveren voor het visruim, dat op de terugreis gekoeld dient te worden, maar wordt ondervangen door op de heenreis eerst de LNG uit het visruim te benutten.

Om de LNG-container in het visruim te beschermen tegen de invloeden van weer en wind verdient het de voorkeur om in het visruim een afgescheiden compartiment te maken waarin de cryocontainer is opgesteld. De meest voor de hand liggende locatie om de 20 voet LNG-cryocontainer te plaatsen, is tegen het achterschot van het visruim.

De opstelling tegen het achterschot van het visruim is het eenvoudigst qua installatie. Het luik naar het visruim kan wellicht verder naar voren geplaatst worden. Dit concept wordt als alternatief genomen voor de volledige LNG-opslag in het nettenruim (zie Afbeelding 12).



Afbeelding 12: Gespreide LNG-opslag in nettenruim en visruim.

De aanvangsstabiliteit van de kotter bij vertrek is normaliter 0,90 meter. Indien er zowel in het nettenruim als in het visruim een 20 voet container geplaatst wordt, neemt de aanvangsstabiliteit af tot 0,83 meter. Als de invloed van vrije vloeistofoppervlakken wordt meegenomen, daalt de aanvangsstabiliteit tot circa 0,77 meter. Dit is acceptabel en leidt niet tot stabiliteit- en/of trimproblemen.

6.6 Eisen aan aardgasopslag aan boord volgens de BLG-richtlijn

Nu blijkt dat LNG aan boord van de vergelijkingskotter AG-1 qua beschikbare ruimte en stabiliteit onderdeks kan worden opgeslagen, is het zinvol om de regelgeving nader te bestuderen.

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. Dit pleit voor opslag en distributie in alleen het nettenruim.

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

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
- Ten minste 760 mm afstand tot de huidbeplating

De breedte van de vergelijkingskotter AG-1 is 8,5 meter. Dat betekent dat de LNG-tank een minimale afstand van 1,70 meter tot de scheepzijde moet hebben en een minimale afstand van 760 mm tot de bodem.

De hoogte van de dubbele bodem in het nettenruim bedraagt 1,30 meter en vormt dus geen probleem voor de minimale afstand van 760 mm tot de bodem.

De 20 voet LNG-cryocontainer heeft een lengte van circa 6,10 meter. Als de container overdwars op hart schip geplaatst wordt, bedraagt de afstand tot scheepszijde 1,20 meter. De minimaal vereiste afstand is 1,70 meter.

Uit de technische specificatie van de 20 voet LNG-cryocontainer blijkt echter dat het binnenste drukvat een lengte van 4,56 meter heeft. Dat betekent dat de afstand van het binnenste drukvat tot de scheepszijde 1,97 meter bedraagt. Dit is ruim voldoende met het oog op de minimale eis van 1,70 meter tot de scheepszijde.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat een opstelling van 20 voet LNG-cryocontainers overdwars op hart schip aan boord van de AG-1 haalbaar is met het oog op de eisen zoals gesteld in de BLG-code.

7. Gasmotoren aan boord van kotters

Nu blijkt dat de gasopslag aan boord te realiseren valt, wordt de haalbaarheid van het gebruik van dual fuel-motoren onderzocht. Inmiddels zijn er enkele fabrikanten die gasmotoren leveren of kunnen leveren. Voor de maritieme sector zijn Caterpillar, Mitsubishi, Rolls Royce en Wärtsilä de bekendste fabrikanten die ervaring hebben met gasmotoren.

7.1 Caterpillar

Caterpillar heeft ervaring met kleinere gasmotoren in de maritieme sector sinds 1985. Met dual fuel-motoren heeft men ervaring sinds 2005. Caterpillar levert de volgende motorenlijnen in de maritieme sector:

- Caterpillar C-serie, met een vermogensrange van 187– 342 kW, en als dual fuel-motor beschikbaar voor trucks (C12 en C15 ontwikkeling i.s.m. Clean Air Power USA);
- Caterpillar 3400-serie, met een vermogensrange van 187–1044 kW, ook als gasmotor beschikbaar (3406B ombouw van Klatawa (1985) en Kulleet (1988) op CNG);
- Caterpillar 3500-serie, met een vermogensrange van 526–2525 kW, ook als dual fuel-generatorset beschikbaar (3512B Wamco (2005) Nigeria op NG);
- Caterpillar 3600-serie, met een vermogensrange van 1730–5650 kW, maar nog niet als gasmotor beschikbaar;
- Caterpillar C280-serie, met een vermogensrange van 1730–5420 kW, maar nog niet als gasmotor beschikbaar.

Voor de boomkorvisserij met vermogens tot 2000 kW stelt Caterpillar dat zij motoren uit de 3500- en 3600-serie kan ombouwen op basis van de ervaring met de dual fuel-generatorsets in de 3500-serie. Voor een ombouw van de vergelijkingskotter AG-1 is er in de machinekamer echter geen ruimte voor een extra generator en elektromotor voor de voorstuwing. Dit betekent dat de dual fuel-motor direct zijn vermogen levert aan de schroefas, en niet via een elektrische voortstuwing. Nagenoeg alle boomkorkotters hebben overigens een diesel directe voortstuwing.

7.2 Mitsubishi

Mitsubisihi Heavy Industries heeft ervaring met gasmotoren voor maritieme toepassingen. De Pioneer Knutsen, gebouwd door Scheepswerf Bijlsma, is uitgerust met Mitsubishi-gasmotoren. Mitsubishi heeft de volgende motorenlijnen voor de maritieme sector:

- Mitsubishi GSR-serie, met een vermogensrange van 320–1015 kW en leverbaar als gasmotor voor maritieme toepassingen (bijv. Pioneer Knutsen (2004) op LNG);
- Mitsubishi Mach 30G-serie, met een vermogensrange van 2400–5750 kW en leverbaar als gasmotor voor maritieme toepassingen.

Voor de boomkorvisserij met vermogens tot zo'n 2000 kW heeft Mitsubishi zowel de GSR-serie als de Mach 30G-serie gasmotoren beschikbaar. Mitsubishi levert tot op heden geen dual fuel-motoren.

7.3 Rolls Royce/Bergen Diesel

De Rolls Royce-dochter Bergen Diesel uit Noorwegen heeft veel ervaring met gasmotoren voor maritieme toepassingen. Rolls Royce heeft de volgende motorenlijnen voor de maritieme sector:

- Bergen C25:33L-serie, met een vermogensrange van 1440 tot 3000 kW, en vanaf 2010 als gasmotor beschikbaar voor maritieme toepassingen (vermogen 1250 tot 2200 kW).
- Bergen KV-G4-serie, met een vermogensrange van 2200 tot 3600 kW, en als gasmotor beschikbaar voor maritieme toepassingen (bijv. KVGB-12G4 Coral Methane (2009) op LNG)
- Bergen B35:40-serie, met een vermogensrange van 5000 tot 7000 kW, en als gasmotor beschikbaar voor maritieme toepassingen

Voor de boomkorvisserij met vermogens tot zo'n 2000 kW heeft Rolls Royce momenteel de Bergen KV-G4-serie gasmotoren beschikbaar. Rolls Royce levert tot op heden geen dual fuel-motoren.

7.4 Wärtsilä

Wärtsilä heeft ervaring met gas- en dual fuel-motoren voor maritieme toepassingen, maar niet voor alle motortypen. Wärtsilä heeft de volgende motorenlijnen voor de maritieme sector:

- Wärtsilä 20-serie, met een vermogensrange van 800 tot 1800 kW, maar niet als gasmotor beschikbaar;
- Wärtsilä 26-serie, met een vermogensrange van 2040 tot 5440 kW, maar niet als gasmotor beschikbaar;
- Wärtsilä 32-serie, met een vermogensrange van 3000 tot 9000 kW, en als gasmotor en dual fuel-motor voor maritieme toepassingen (bijv. 6 cylinder 32 Dual fuel (2020 kW) en de 12 cylinder 32 Gas diesel (4500 kW), PSV Viking Energy (2003) en Viking Queen (2008));
- Wärtsilä 34-serie, met een vermogensrange van 2600 tot 7000 kW, en als dual fuel-motor beschikbaar voor maritieme toepassingen (bijv. anchor handling tugs in aanbouw voor Aker);
- Wärtsilä 50-serie, met een vermogensrange van 5700 tot 17100 kW, ook als dual fuel-motor beschikbaar voor maritieme toepassingen. (bijv. LNG carrier Provalys(2005).

Voor de boomkorvisserij met vermogens tot zo'n 2000 kW komt alleen de Wärtsilä 34-serie in aanmerking.

7.5 Ombouw naar dual fuel-motoren in de boomkorvisserij

Gasmotoren voor de maritieme sector worden door diverse fabrikanten geleverd. Het aantal fabrikanten dat naast gasmotoren ook dual fuel-motoren levert, is aanzienlijk kleiner.

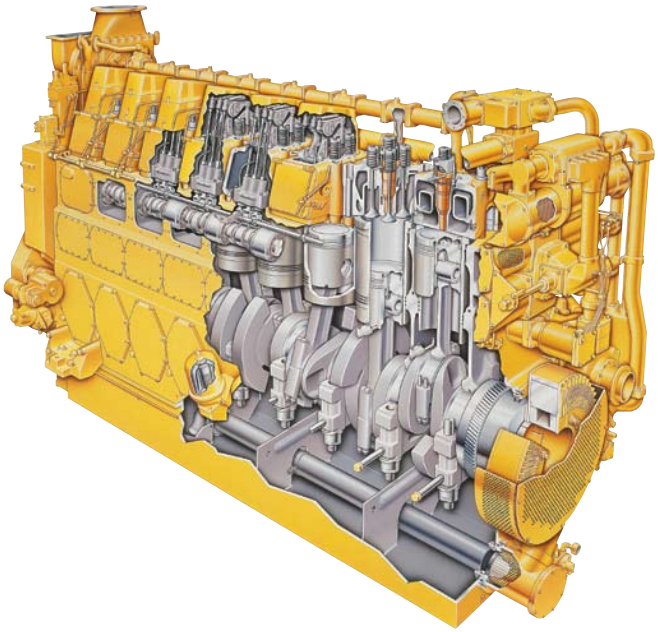
Dual fuel-motoren voor maritieme toepassingen worden momenteel alleen door Caterpillar en Wärtsilä geleverd. De dual fuel-motoren worden eigenlijk altijd gekoppeld aan generatorsets om vermogen te leveren aan het boordnet. Tot op heden zijn er geen voorbeelden bekend van schepen die varen op dual fuel-gasmotoren die direct gekoppeld worden aan de schroef in een zogenoemde dual fuel direct opstelling.

Dual fuel-motoren voor vermogens tot zo'n 2000 kW zijn beperkt beschikbaar. Wärtsilä levert alleen nieuwe dual fuel-motoren vanaf 2600 kW en doet geen ombouw van motoren aan boord. De Wärtsilä 34-motor wordt door de Nederlandse visserij overigens niet gebruikt.

Alleen Caterpillar heeft ervaring met de ombouw naar dual fuel-motoren in de 3400- en 3500-serie, en is in staat om een 3600-motor

aan boord om te bouwen tot een dual fuel diesel direct motor. De Caterpillar 3600-serie wordt in de Nederlandse visserij veelvuldig gebruikt.

De ombouw van een Caterpillar 3606 wordt als basis gebruikt voor de ombouw van de kotter AG-1.



Afbeelding 13: Caterpillar 3606-motor.

7.6 Principe van de Caterpillar dual fuel-motor (D3512B)

De kracht van de oplossing van Caterpillar zit in de eenvoud. De basis van de oplossing wordt gevormd door een standaard dieselgeneratorset, waarbij geen modificaties zijn uitgevoerd aan de motor. De dieselmotor wordt voordat deze wordt aangesloten op een gasbrandstofsysteem, aan de buitenzijde uitgebreid met diverse onderdelen – zoals een gasstraat, sensoren en een besturingskast met diverse controllers.

De dual fuel-generatorset is aangesloten op een gas- en dieseltank. De aangebouwde gasstraat filtert het toegevoerde gas, brengt het naar de juiste druk en is voorzien van een elektronisch geregelde veiligheidsklep. De 'controller' meet verscheidene parameters, op grond waarvan het de kleppen en de mengers aanstuurt teneinde de juiste hoeveelheid gas toe te dienen.

In de dual fuel-generatorset wordt de verbranding van het gaslucht-mengsel gestart door de injectie van een kleine hoeveelheid diesel. Deze pilot-injectie zorgt voor de ontsteking; de motor kan immers niet uitsluitend op aardgas draaien. Bij de huidige dual fuel-toepassingen wordt de totale hoeveelheid opgewekte energie voor 65% opgewekt door gas en voor 35% door diesel.

Momenteel werkt Pon Power[2] achter de schermen nog hard aan het realiseren van een gunstigere verhouding. Tijdens een interview met Pon Power werd duidelijk dat de verhouding gebaseerd is op het gebruik van aardgas uit Slochteren. De verwachting is dat bij het gebruik van LNG de verhouding gas/diesel zal stijgen tot 30/70. Echter, de gas/dieselverhouding zal altijd sterk afhankelijk zijn van onder meer de gaskwaliteit, het gedraaide vermogen en de koelwatertemperaturen.

[2] *Pon Power is de importeur van het motormerk Caterpillar.*

7.7 Eisen aan dual fuel-motoren volgens de BLG-richtlijn

Voor dual fuel-motoren worden aanvullende eisen gesteld in hoofdstuk 6 van de BLG-richtlijn. Deze eisen zijn hieronder puntsgewijs samengevat:

- De richtlijn schrijft voor dat de luchtinlaat en de uitlaatgassenleiding uitgerust moeten zijn met explosieveiligheden 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 middels 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 alsmede 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.

Geen van de eisen aan dual fuel-motoren zoals beschreven in de BLG-code vormt een belemmering voor de haalbaarheid van de ombouw van de vergelijkingskotter AG-1.

8. Gassysteem aan boord van kotters

Nu blijkt dat zowel de gasopslag aan boord als de ombouw van een bestaande dieselmotor aan boord in principe mogelijk is, wordt de haalbaarheid van het gastoevoersysteem onderzocht.

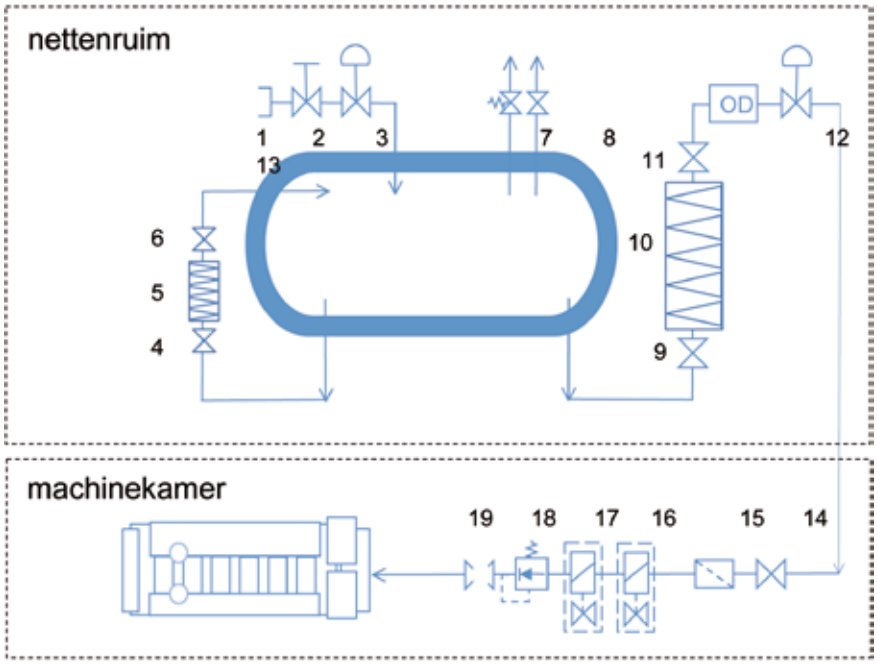
De vier hoofdonderdelen van het gastoevoersysteem worden gevormd door het LNG-opslagsysteem, de verdamperinstallatie, de gasstraat en de aanpassingen aan de motor. Er is bij verschillende leveranciers informatie opgevraagd met betrekking tot deze hoofdelementen.

Voor het LNG-opslagsysteem worden twee 20 voet containers gebruikt, met elk hun eigen vulaansluiting en beveiligingen. Beide containers zijn aangesloten op de warmwaterverdamper, zodat de LNG in gasvormige toestand aangeboden kan worden aan de motor. Afbeelding 14 geeft de schematische opstelling van het gastoevoersysteem weer. Om het schema zo overzichtelijk mogelijk te houden, zijn details zoals druk- en niveaumeters niet opgenomen.

In Afbeelding 14 zijn het nettenruim (met opslagsysteem en verdamper) en de machinekamer (met gasstraat en dual fuel-motor) gescheiden weergegeven.

- Het vulsysteem voor de cryocontainer wordt weergegeven door de elementen 1 t/m 3.
- Het opslagsysteem met zijn veiligheden wordt weergegeven door de elementen 4 t/m 8.
- De verdamperinstallatie naar de gasstraat wordt weergegeven door 9 t/m 13.
- De gasstraat voor de gastoevoer naar de motor wordt weergegeven door 14 t/m 19.

Achtereenvolgens zullen deze vier systeemonderdelen besproken worden in relatie tot de BLG-code.



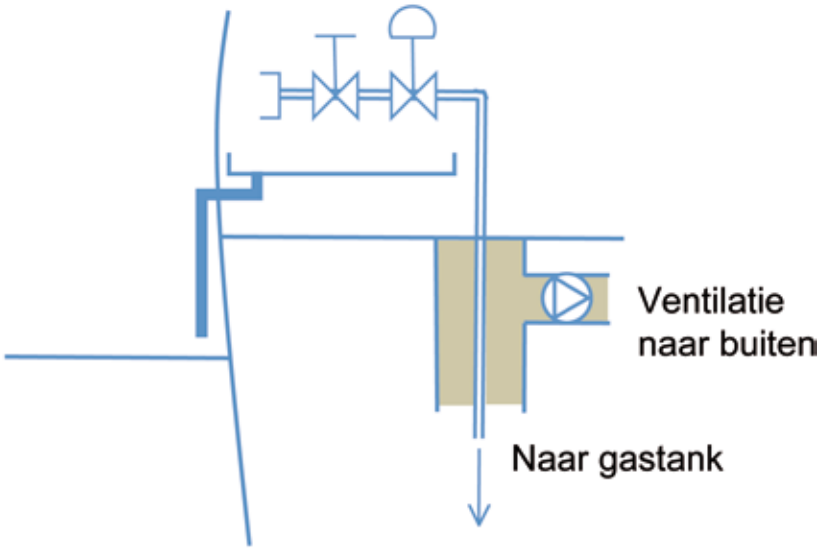
Afbeelding 14: Schematische weergave gastoevoersysteem kotter AG-1.

8.1 Vulsysteem

Het vulsysteem bestaat uit een vulaansluiting (1), een handbedienbare afsluiter (2) en een op afstand bedienbare noodstopafsluiter (3). Aan boord van de AG-1 ligt het voor de hand om het vulsysteem zo dicht mogelijk bij de cryocontainers te plaatsen, waardoor de hoeveelheid leidingwerk beperkt blijft. Het vulsysteem wordt vlak voor de lierenruimte op het hoofddek geplaatst.

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, handbedienbare 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 gasdetectoren en voldoende ventilatiemogelijkheden. Conform de BLG-code paragraaf 2.5.16 dienen gasleidingen bovendien een minimale afstand van 760 mm te hebben vanaf de zijde van het schip (zie ook Afbeelding 15).

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.



Afbeelding 15: Schematische voorstelling LNG- vulsysteem.

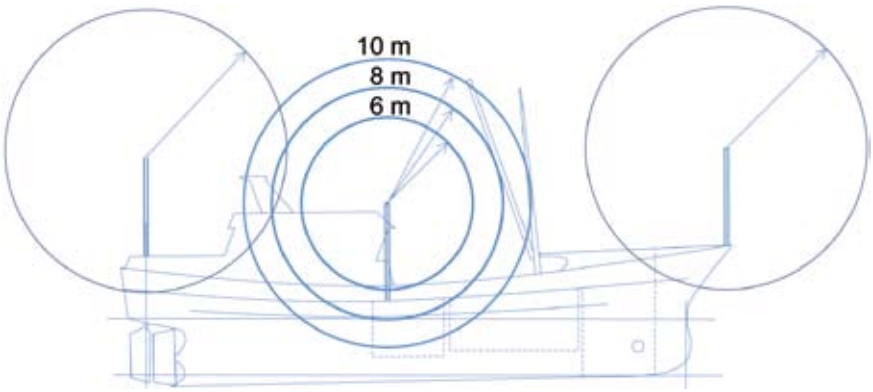
Het realiseren van een vulsysteem in overeenstemming met de BLG-code aan boord van de vergelijkingskotter AG-1 wordt haalbaar geacht.

8.2 Opslagsysteem

Het opslagsysteem bestaat uit de cryogene containers met de bijbehorende veiligheden en signaleringen. 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.

De cryocontainer is uitgerust met een eigen verdampersysteem (4,5,6) om de LNG te kunnen verdampen, zodat de container gasvrij gemaakt kan worden. Daarnaast is er een overdrukbeveiliging (7) conform de IGC-code hoofdstuk 8 en is een losaansluiting (8) op de cryocontainer gemonteerd voor het gasvrij maken van de container.

De uitlaat van de overdrukbeveiligingen dient normaliter ten minste 6 meter boven het werkdek en de gangboorden uit te komen, en ten minste 10 meter verwijderd te zijn van de luchtinlaat, luchtuitlaat, opening naar accommodatie, werk- en controleruimtes alsmede uitlaten van machines of verbrandingsinstallaties (zie Afbeelding 16).



Afbeelding 16: Positionering van de uitlaat van overdrukbeveiligingen.

Uit de bovenstaande afbeelding blijkt dat het niet eenvoudig is om een juiste plek te vinden voor de uitlaat van de overdrukbeveiligingen. De meest voor de hand liggende positie van de uitlaat van de overdrukbeveiliging is nabij de midscheeps vanaf het nettenruim circa 7 meter naar boven. Het blijkt echter niet mogelijk om aan de tweede eis van een afstand van 10 meter te voldoen, tenzij de uitlaatleiding circa 14 meter hoog wordt. Een hoogte van 14 meter vormt echter een ernstige belemmering voor de behandeling van de netten tijdens het vissen.

De enige positie voor de uitlaat van de overdrukbeveiliging die in aanmerking komt volgens de BLG-eisen is het uiterste punt voor op het schip. Dit is echter praktisch niet uitvoerbaar vanwege de vele doorvoeringen door het schip en is ongewenst vanwege de kwetsbaarheid van de uitlaat op die positie.

Ook het uiterste punt achter op het schip is niet uitvoerbaar vanwege de nabijheid van de uitlaten van de motoren en ongewenst vanwege de kwetsbaarheid op die positie.

Hoewel de cryogene tankcontainers aan de voorwaarden van de BLG- en IGC-code voldoen, is de positionering van de uitlaat van de overdrukbeveiligingen conform de BLG niet haalbaar op de AG-1.

Het schip is daarvoor simpelweg te klein. Een afstand van 6 meter tot het werkdek en de gangboorden en een afstand van 8 meter tot de luchtinlaat, luchtuitlaat, opening naar accommodatie, werk- en controleruimtes alsmede uitlaten van machines of verbrandingsinstallaties lijkt wel mogelijk. Een en ander dient in de praktijk in detail te worden uitgewerkt in samenspraak met IVW.

8.3 Verdamperinstallatie

Om de LNG van -162 graden Celsius gasvormig te maken, dient warmte toegevoerd te worden. Deze warmte kan betrokken worden van het koelwater van de dieselmotoren of van de omgevingslucht.

Een verdamper die warmte onttrekt aan de omgevingslucht in het visruim lijkt in eerste instantie interessant (zie Afbeelding 17). Daar staat tegenover dat de gehele gasinstallatie in dat geval over drie compartimenten moet worden verdeeld in plaats van over twee. Dit vraagt extra ventilatie en veiligheidsmaatregelen in het visruim en is niet kosteneffectief. Zeker niet wanneer in ogenschouw wordt genomen dat de benodigde koelcapaciteit voor het op temperatuur brengen en houden van het visruim slechts beperkt is.

Een verdamperinstallatie die gebruik maakt van koelwater van de dieselmotor voor het verdampen van LNG is het meest praktisch. De installatie is relatief klein van formaat en kan in het nettenruim geplaatst worden naast de cryocontainers. Hierdoor blijft de gehele gasinstallatie beperkt tot twee compartimenten. Op basis van bereke-

ningen van de verdamperleverancier is een warmwaterverdamper met een capaciteit van circa 300 Nm3/hr voldoende.

Afbeelding 17: Luchtgekoelde verdamper.

Met een koelwaterdebiet van 40 m³3/hr en een temperatuurverschil van 2 graden Celsius kan deze warmtecapaciteit door het koelwater geleverd worden.

Een verticale verdamper heeft de voorkeur boven een horizontale verdamper vanwege het beperkte ruimtebeslag. Een dergelijke verdamper heeft een diameter van circa 40 cm en een hoogte van circa 200 cm. Een voorbeeld van een verticale warmwaterverdamper is weergegeven in Afbeelding 18.

Afbeelding 18: Warmwaterverdamper. Met dank aan Cryonorm B.V.

De verdamperinstallatie kan als skid worden geleverd. Het gewicht van de complete verdamperinstallatie bedraagt zo'n 250 kg. Behalve de warmwaterverdamper (10) met bijbehorende afsluiters (9 en 11) worden een odorizer (12) en zogenoemde Master Gas Fuel Valve (13) opgenomen in de verdamperinstallatie. De BLG-code vereist namelijk 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 warmwaterverdamperinstallatie aan boord van de vergelijkingskotter wordt dan ook haalbaar geacht.

8.4 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 druk van 150 mbar 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 geleverd door de motorenfabrikant en bestaat uit de volgende componenten:

- Kogelklep (14) om de gastoevoer handmatig te kunnen sluiten ten behoeve van installatie, onderhoud, etc.
- Gasfilter (15) die het toegevoerde gas filtert op verontreinigingen zoals ijzervijlsel en roestdeeltjes waardoor de motor kan beschadigen
- Een dubbele magneetklep (16 en 17) die de gastoevoer naar de motor automatisch kan in- en uitschakelen. Als de spanning over de magneetkleppen wegvalt, worden de kleppen direct gesloten.
- Een nuldrukregelaar (18) reduceert de druk van het aangevoerde aardgas tot de omgevingsdruk. Hierdoor kan meer gas toegevoerd worden aan de motor wanneer de motor meer vermogen moet leveren.
- Een elektronische stappenmotorklep (19) die de mate van smoren van de gasstroom regelt.

Na de stappenmotorklep wordt een bochtelement van 90 graden gemonteerd om ervoor te zorgen dat het spruitstuk een juiste oriëntatie krijgt ten opzichte van het luchtkanaal en de mengers. Het Y-vormige spruitstuk verdeelt de gasstroom naar de twee luchtinlaatkanalen. Op het spruitstuk worden twee slangen gemonteerd die het gas naar de mengers leiden. De venturi-mengers zuigen, afhankelijk van de hoeveelheid aanstromende verbrandingslucht, een bepaalde hoeveelheid gas aan.

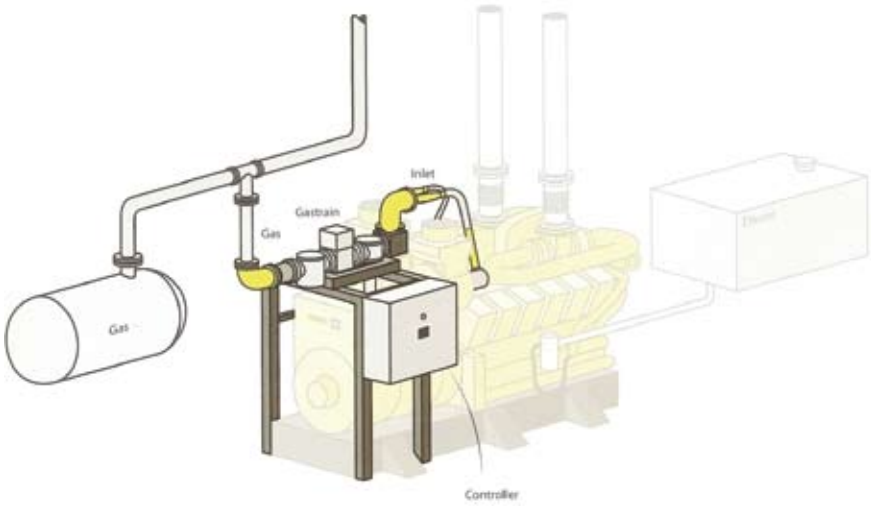
De gasstraat is schematisch weergegeven in Afbeelding 19 (kogelklep niet afgebeeld).

De controller heeft de volgende hoofdfuncties:

- Het in- en uitschakelen van het dual fuel-bedrijf volgens voorgeschreven condities, zoals het opstarten van de motor, het overschakelen naar dual fuel en het direct uitschakelen van de gastoevoer.
- Het regelen van de toegevoerd hoeveelheid gas middels de stappenmotorklep wanneer het dual fuel-bedrijf ingeschakeld is.
- Het maken van berekeningen met gemeten waarden en het presen-

teren van de berekeningsuitkomsten en systeemparameters aan de gebruiker.

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. Het installeren van een gasstraat aan boord van de vergelijkingskotter AG-1 wordt haalbaar geacht.



Afbeelding 19: Schematische voorstelling van de gasstraat.

9. Veiligheidseisen aan boord van kotters

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 ten minste twee verschillende ruimten opgesteld moeten worden. Voor de verbouwing van een bestaande kotter is dat praktisch onmogelijk. Daaruit vloeit voort dat de kotter een inherent gasveilig systeem dient te hebben.

De BLG-code schrijft voor in paragraaf 2.6.2. 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 inert gasleiding kunnen signaleren.

Bij een geventileerd kanaal dienen de gasleidingen geïnstalleerd te worden in een mechanisch overdruk geventileerd kanaal met ten minste 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. Een en ander dient in de praktijk in detail te worden uitgewerkt in samenspraak met IVW.

9.1 Ventilatie

De eisen aan de veiligheid van het gassysteem zijn hoog. Dit geldt met name 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 redundancy van de ventilatiecapaciteit.

Hoewel de details met betrekking tot het ventilatiesysteem niet verder uitgewerkt zijn, worden de eisen zoals gesteld in de BLG-code haalbaar geacht voor de vergelijkingskotter AG-1.

9.2 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 subcommittee on Fire Protection.

Schotten in tankruimtes en bijbehorende ventilatieschachten en bunkering stations 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 ten minste 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 het bunkerstation.

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.

Hoewel de details met betrekking tot het brandveiligheidsysteem niet verder uitgewerkt zijn, worden de eisen zoals gesteld in de BLG-code haalbaar geacht voor de vergelijkingskotter AG-1.

9.3 Elektrische systemen

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 gevarenzones ingesteld:

- Gevarenzone 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.
- Gevarenzone 1: waaronder,
  - De tankruimte,
  - Gebieden aan open of halfgesloten dek binnen 3 meter van venti-

latie-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,
- Gevarenzonde 2: waaronder,
  - Gebieden binnen 1,5 meter van ruimtes die als zone 1 gespecificeerd zijn.

Hoewel de details met betrekking tot het elektrische systeem niet verder uitgewerkt zijn, worden de eisen zoals gesteld in de BLG-code haalbaar geacht voor de vergelijkingskotter AG-1.

9.4 Control, monitoring en veiligheidssystemen

Hoofdstuk 5 van de BLG-code beschrijft de eisen voor contol, monitoring en veiligheidssystemen, waaronder:
- Locatie van druk-, temperatuur- en niveaumeters,
- Beveiligingen voor en monitoring van het overvullen van gastanks,
- Locatie van alarmen voor hoge en lage druk,
- Monitoring van de gasmotoren,
- Locatie van gasdetectoren in tankruimte, ventilatieleidingen, et cetera,
- Alarmen voor gasdetectie op de brug en de machinekamer,
- Op afstand bedienbare afsluiters op de gastank,
- Afsluiters in het gassysteem,
- Signaleringen van veilige situaties.

Hoewel de details met betrekking tot de control, monitoring en veiligheidssystemen niet verder uitgewerkt zijn, worden de eisen zoals gesteld in de BLG-code haalbaar geacht voor de vergelijkingskotter AG-1.

10. Betrouwbare levering van aardgas

10.1 LNG-distributie direct van de terminal

Als brandstof aan boord van kotters biedt LNG veel betere perspectieven dan CNG. De distributie van LNG staat in Nederland echter in de kinderschoenen. De meest voor de hand liggende manier van distribueren lijkt per truck direct van de LNG-terminal naar de afnemer. Deze wijze van distributie zal eerst onderzocht worden.

10.1.1 Maasvlakte

Momenteel wordt er op de Maasvlakte gebouwd aan een eerste LNG-terminal voor Nederland. De Gate terminal is een initiatief van de Gasunie en Vopak. De functies van de LNG-terminal zijn: aanvoer, een buffer tussen aanvoer en continue aanlevering van aardgas, verdamping, afvoer. Op de terminal wordt LNG gasvormig gemaakt en op druk gebracht voor levering aan het Nederlandse gastransportnet, met als doel gelijkmatige uitzending van aardgas. De totale projectkosten voor de LNG-terminal bedragen rond de 800 miljoen euro. Naar verwachting zal de terminal in de tweede helft van 2011 volledig operationeel zijn.

Met de vier grote Europese energiebedrijven – Dong Energy, Econgas OMV International, Essent Trading International (Essent) en E.ON

Ruhrgas – zijn doorvoercontracten voor de lange termijn afgesloten voor een gezamenlijke doorzet van 12 miljard m³ aardgas per jaar. Dit is de initiële capaciteit van de terminal en voldoende om alle 7 miljoen huishoudens in Nederland jaarlijks te voorzien van aardgas. Dong Energy, Econgas OMV International, Essent en E.ON Ruhrgas hebben tevens elk een minderheidsbelang van 5 procent in de Gate terminal verworven, waarbij het onafhankelijke karakter van de terminal volledig gewaarborgd blijft. Er zijn op de Gate terminal (nog) geen faciliteiten voorzien om LNG per truck of feederschepen te kunnen laden. De betrouwbare levering van LNG voor de visserij wordt dus niet gegarandeerd met de ingebruikname van de Gate terminal. Afbeelding 20 geeft een artist's impression van de Gate terminal weer.

Afbeelding 20: Gate terminal.

Ook LionGas heeft plannen voor het ontwikkelen van een LNG-terminal op de Maasvlakte. LionGas heeft inmiddels een bouw- en milieuvergunning, en verwacht in de loop van 2012 de LionGas Terminal in gebruik te nemen. De onafhankelijke LionGas LNG-importterminal in Europoort, Rotterdam, aan de Kop van de Beer en het Stenenterrein, krijgt een startcapaciteit van 9 miljard m³ aardgas per jaar. Deze zal gefaseerd kunnen worden uitgebreid naar 18 miljard m³ aardgas per jaar. De bouw van de terminal is nog niet gestart, omdat er nog niet voldoende afnemers zijn.

10.1.2 Eemshaven

Essent, Gasunie en Vopak onderzoeken samen de haalbaarheid van de ontwikkeling van een LNG-terminal in de Groningse Eemshaven. Gasunie en Vopak hebben beide een belang van 25 procent in het project, Essent 50 procent. Uit interviews met de Gasunie blijkt dat men eerst de resultaten van de Gate terminal op de Maasvlakte wil evalueren voordat de bouw van de terminal in de Eemshaven start. Rond 2014 moet de terminal op de Eemshaven operationeel zijn.

10.1.3
Zeebrugge

In Nederland zijn er momenteel geen LNG-terminals voorhanden vanwaaruit de distributie van LNG plaats kan vinden. De LNG-terminal in Zeebrugge is de enige terminal die op vrij korte afstand van Nederland al wel operationeel is. Deze terminal is eigendom van Fluxys (93%) en Tractebel (7%).

De capaciteit is 4,5 miljard m^3 per jaar. Met Distrigas en Suez LNG trading zijn langetermijncontracten getekend. LNG wordt vanaf de terminal in Zeebrugge niet alleen op het aardgasnet gezet, maar ook via trucks gedistribueerd naar diverse gebruikers.

Het blijkt echter niet eenvoudig om in dit bestaande distributienetwerk door te dringen. Naar verwachting is er een ketenregisseur nodig die ervoor zorg draagt dat er voldoende LNG afgenomen zal worden, zodat de continuïteit van de levering gewaarborgd blijft.

10.2
LNG-distributie via kleinere stations

In Oss is een LNG-tankstation voor het wegvervoer in aanbouw. Het is de bedoeling dat vanuit de LNG-terminal in Zeebrugge, LNG aangevoerd gaat worden naar Oss. Het LNG-tankstation is bedoeld om vrachtwagens van LNG voor eigen gebruik te voorzien, en niet om LNG vanaf Oss te distribueren over Nederland. Diverse grote projectdeelnemers zoals Den Hartogh en Vos Logistics hebben als gevolg van de kredietcrises de plannen voor LNG in het wegtransport op de lange baan geschoven. Daarmee is ook de bouw van het LNG-station in Oss stil komen te staan. Den Hartogh heeft echter aangegeven nog steeds geïnteresseerd te zijn in pilotprojecten waarbij LNG vervoerd wordt. Zij hebben kennis en ervaring met LNG-projecten in andere Europese landen en zijn bereid deze ook in Nederland in te zetten.

Ballast Nedam heeft plannen om zijn netwerk van CNG-tankstations verder uit te breiden met gecombineerde LNG/CNG-stations. Auto's en vrachtwagens kunnen dan naar wens LNG of CNG tanken. Het LNG/CNG-station kan dan bevoorraad worden met LNG. De LNG kan vervolgens direct geleverd worden aan het vrachtverkeer. Door de LNG te verdampen, kan eenvoudig CNG gemaakt worden. De CNG die uit LNG gemaakt wordt, heeft bovendien een veel hogere energiedichtheid dan de CNG die van het Nederlandse aardgasnetwerk komt. Hierdoor wordt de actieradius van voertuigen met bijna 30% verhoogd.

Op de Maasvlakte beschikt de Gasunie over een LNG peakshaving installatie. Deze installatie wordt momenteel gebruikt om in de wintermaanden de pieken in het gasnet op te vangen. Deze peaks-

having installatie heeft voldoende capaciteit om bij een aantal kleinschalige projecten LNG te kunnen leveren. Uit een interview met de Gasunie blijkt echter dat de grote energieleveranciers niet direct op kleinere pilotprojecten zitten te wachten.

10.3 Conclusies met betrekking tot betrouwbare levering van LNG

De distributie van LNG via terminals, peakshaver en LNG-tankstations blijkt niet eenvoudig te realiseren. De distributie via schepen biedt wellicht mogelijkheden, maar is in Nederland ook nog niet ontwikkeld. Wellicht kunnen Noorse schepen LNG leveren aan Nederland, zoals zij dit nu ook al doen in het Verenigd Koninkrijk en Zweden. Deze mogelijkheden zijn in het kader van deze studie niet in detail onderzocht.

Uit de interviews blijkt dat de veiligheidsaspecten voor het laden en lossen van LNG in Nederland verder ontwikkeld moeten worden. Lokale overheden en ondersteunende diensten dienen hier een proactieve houding aan te nemen. Het is raadzaam om de ontwikkelingen in andere Europese landen, zoals Noorwegen, Spanje en België, daarbij als uitgangspunt te nemen.

Als de terminaloperators en energieleveranciers niet bereid zijn te investeren in kleinschalige LNG-distributie, is het van groot belang dat er een zogenoemde ketenregisseur opstaat. Een ketenregisseur dient in staat en bereid te zijn om te investeren in kleinschalige LNG-opslagcapaciteit en faciliteiten om LNG via tankwagens te laden. Hier is een taak weggelegd voor de Nederlandse overheid, die geconfronteerd wordt met Europese emissierichtlijnen en zich genoodzaakt ziet om te investeren in milieuvriendelijke alternatieven.

De transporteurs zijn bereid om hieraan mee te werken. Het lijken vooral de terminal operators en de energieleveranciers die hier het nut (nog) niet van inzien. Vanwege de kleinschaligheid van de huidige pilotprojecten is dat wel verklaarbaar. Toch is de transportsector de op een na grootste energieverbruiker in Nederland, en heeft daarmee een enorm potentieel.

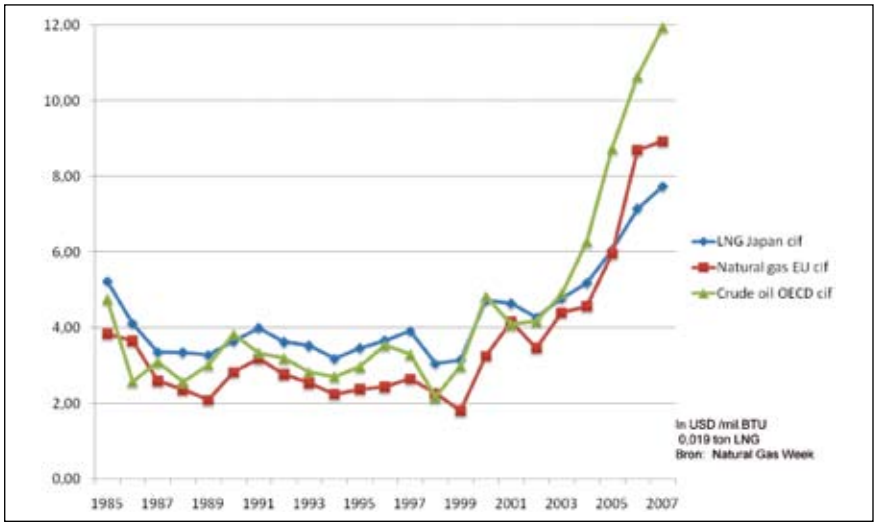
Hoewel de levering van LNG in Nederland op dit moment niet direct haalbaar is, lijken er op termijn voldoende mogelijkheden om LNG af te nemen. Een actief stimulerende en bemiddelende rol van de overheid wordt daarin sterk aanbevolen.

11. Brandstofkosten

In deze studie is de haalbaarheid gedefinieerd als de mogelijkheid om de investering van de ombouw van de boomkorkotter binnen drie jaar tijd terug te verdienen door lagere brandstofkosten. Gezien de volatiliteit van de huidige brandstofprijzen is het zeer lastig om goede prognoses te geven.

11.1 Historische prijzen LNG

Er is gekozen om op basis van historische prijzen een inschatting te maken voor de toekomstige prijzen van LNG en gasolie. In eerste instantie is gekeken naar de historische prijzen van LNG, natural gas en zware olie aan de hand van de cijfers zoals die gepresenteerd zijn door het blad *Natural Gas Week* (zie Afbeelding 21).

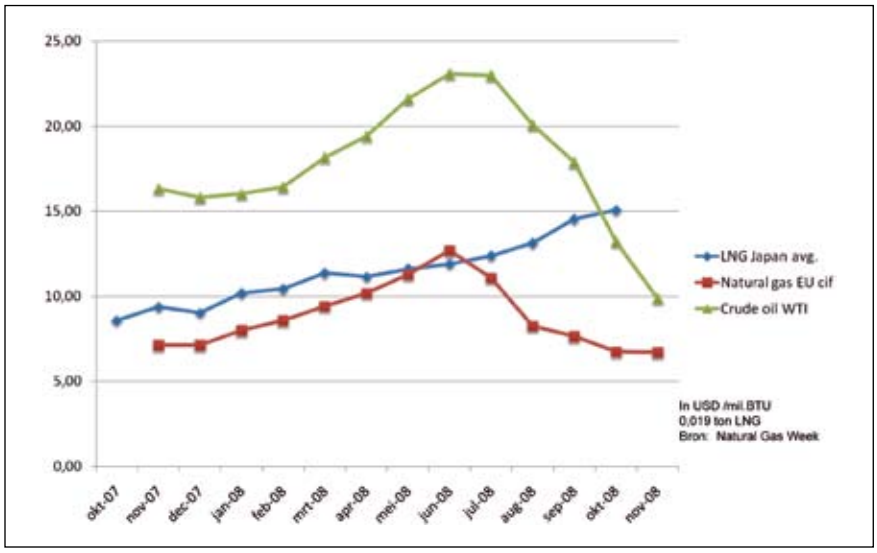


Afbeelding 21: Historische prijsontwikkeling van LNG, Natural gas en Crude oil.

Er is gebruik gemaakt van Japanse LNG-prijzen, omdat Japan een lange LNG-historie kent. Hoewel de prijsverschillen tussen LNG, Natural Gas en Crude oil sterk variëren, is er over een periode van 23 jaar wel een trend te bespeuren. Daartoe is de LNG-index voor elk jaar op 100 gesteld, en is met behulp van lineaire regressielijnen onderzocht wat de waarde van de crude oil index is. In 1985 is de crude oil-index 70 en de LNG-index 100, terwijl in 2007 de crude oil-index 125 is en de LNG-index 100.

Over de periode van 1985 tot en met 2007 is de prijs van LNG van 30% duurder dan crude oil, gedaald naar 20% goedkoper dan crude oil. Factoren die hieraan bijdragen zijn de toenemende schaarste van olie, terwijl er nog relatief veel gas gevonden wordt, en het efficiënter worden van het liquifactieproces, waardoor LNG vloeibaar wordt.

Vlak voor de kredietcrises bereikte de kostprijs van crude oil en daaraan gerelateerde olieproducten een hoogtepunt. Inmiddels zijn de olieprijzen enorm gedaald. Een overzicht van de prijsfluctuaties van LNG, natural gas en crude oil gebaseerd op cijfers van *Natural Gas Week* is weergegeven in Afbeelding 22.



Afbeelding 22: Recente prijsontwikkelingen van LNG, Natural gas en Crude oil.

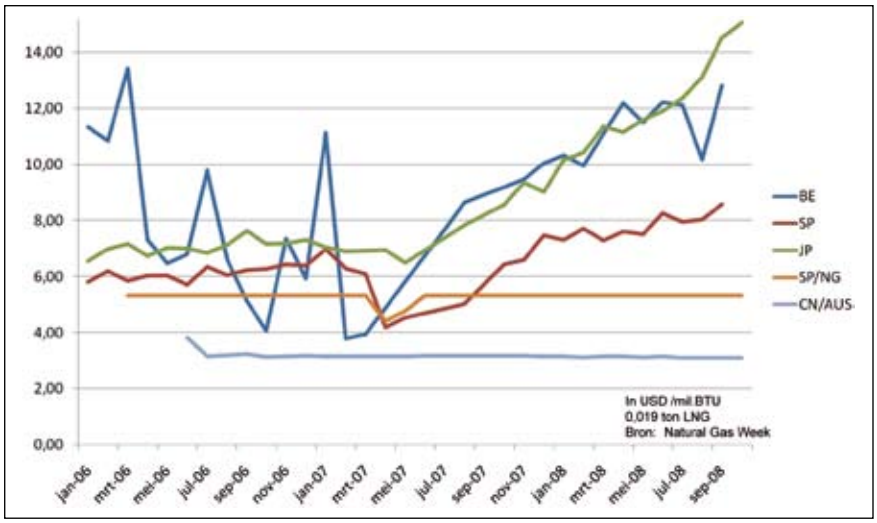
II.2 Variatie LNG-prijzen

Bij nadere bestudering van de cijfers van *Natural Gas Week* blijkt dat de LNG-prijzen wereldwijd enorm variëren. Dit heeft ongetwijfeld te maken met marktmechanismen zoals vraag en aanbod, en het type contracten dat is afgesloten. Het maakt een predictie van een accurate LNG-prijs in ieder geval zeer complex. Een overzicht van de variatie van de LNG-prijzen in de periode 2006-2008 wordt weergegeven in Afbeelding 23.

Hierin worden de gemiddelde LNG-prijzen van België, Spanje en Japan getoond. Deze gemiddelde prijzen komen tot stand door de contracten die de landen hebben met verschillende leveranciers te middelen. In dezelfde figuur zijn ook de minimumprijzen van LNG

weergegeven. Dit betreft met name de levering van LNG aan Spanje vanuit Nigeria en de levering van LNG aan China vanuit Australië.

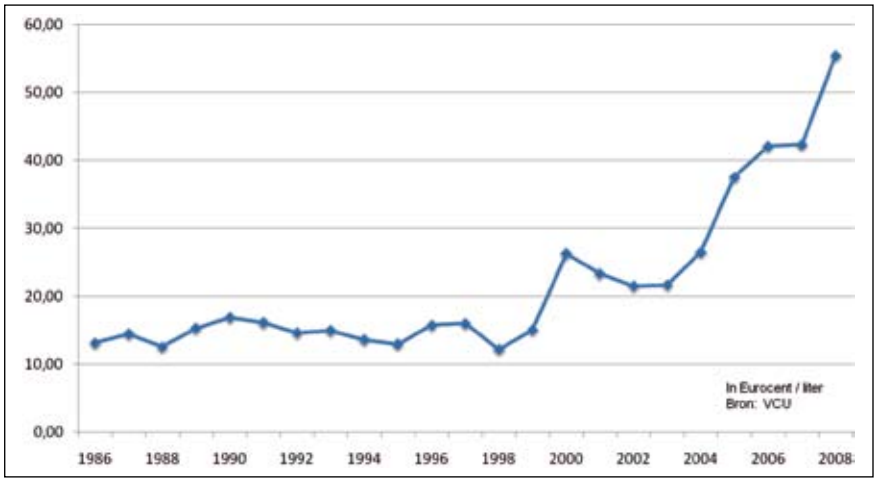
Rotterdam heeft een van de laagste bunkerprijzen ter wereld voor zware olie en gasolie. Shell heeft een intensieve samenwerking en ook langlopende contracten met Nigeria. Als de prijs van LNG in Nederland in de buurt komt van het prijsniveau van de levering van LNG aan Spanje vanuit Nigeria, zal de haalbaarheid van LNG als brandstof aanzienlijk vergroot worden.



Afbeelding 23: Variatie in LNG-prijzen in de periode 2006-2008.

11.3 Historische prijzen gasolie

Niet alleen de prijzen van LNG variëren sterk, ook de prijzen van gasolie. Dit is onder meer afhankelijk van de kwaliteit van de gasolie en de geleverde hoeveelheden. De gemiddelde gasolieprijzen per jaar voor de Nederlandse visserij in eurocent per liter zijn weergegeven in Afbeelding 24.



Afbeelding 24: Historische prijzen gasolie.

II.4 Vergelijking LNG- en gasolieprijzen

Nu de historische prijzen van LNG en gasolie bepaald zijn, kan een overzicht gegeven worden van het verschil in brandstofprijzen. Voor de berekening van de haalbaarheid worden de cijferreeksen van de afgelopen vijf jaren vergeleken:

- LNG-prijzen van Japan,
- LNG-prijzen van Nigeria aan Spanje,
- Gasolieprijzen in de Nederlandse visserij.

De LNG-prijzen van Japan zijn in detail beschikbaar en uit Afbeelding 23 blijkt dat de laatste jaren de gemiddelde LNG-prijzen in België dezelfde trend vertonen als de LNG-prijzen in Japan.

De LNG-prijzen van Nigeria aan Spanje zijn de laatste jaren relatief laag en zeer stabiel, en worden als minimumprijs voor LNG genomen. Deze keuze wordt mede ingegeven door het feit dat Rotterdam bekend staat vanwege de laagste brandstofprijzen ter wereld en door de nauwe samenwerking tussen Nigeria en Shell op het gebied van de productie van LNG.

De LNG-prijzen van *Natural Gas Week* zijn gegeven in US dollars per miljoen BTU en dienen omgerekend te worden naar eurocent per liter. Hiertoe is de gemiddelde euro-dollar-koers gebruikt zoals die wordt weergegeven in het *World Fact Book* van de Amerikaanse overheid.

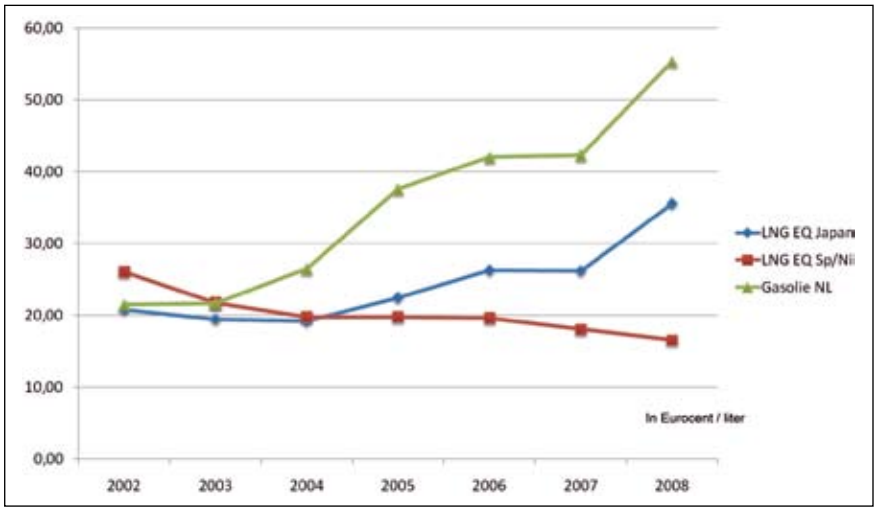
Bovendien is de energetische waarde van een liter LNG aanzienlijk lager dan een liter gasolie (zie ook Tabel 1). Om een gelijke hoeveelheid energie te leveren, dient het aantal liters LNG 37,83/21,04 = 1,80 maal groter te zijn dan het aantal liters gasolie. Dit betekent dat de gasolieprijs vergeleken wordt met de equivalente waarde van LNG, genaamd LNG EQ.

Tot slot zijn de door *Natural Gas Week* gepubliceerde cijfers gebaseerd op levering aan de LNG-terminal. Dit betekent dat er nog kosten bijkomen voor de behandeling op de terminal en het vervoer met tanktrucks naar de schepen.

Uit diverse interviews blijkt dat men voor de terminalkosten ongeveer 10% van de LNG-prijs mag rekenen, en ook voor de vervoerskosten zo'n 5% van de LNG-prijs. Dat betekent dat er een marge van 15% op de LNG-prijzen genomen wordt voor terminalkosten en transport. De uiteindelijke resultaten zijn weergegeven in Afbeelding 25.

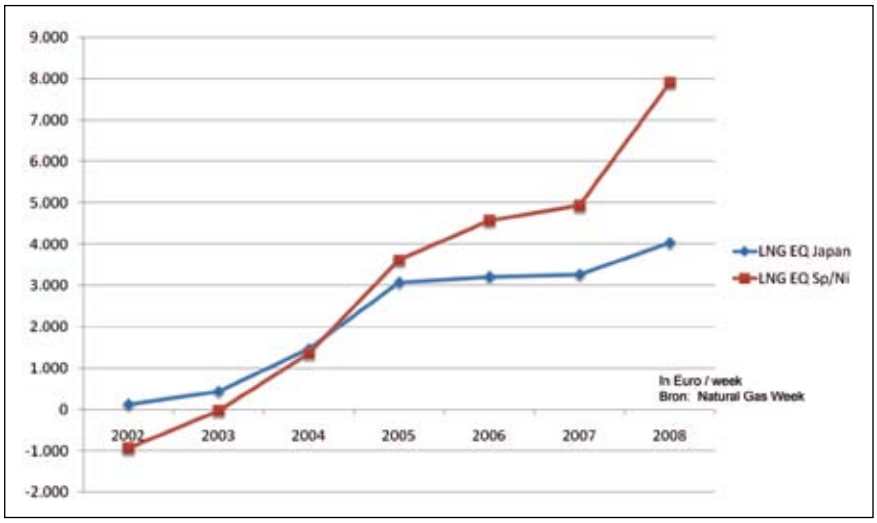
Uit de grafiek komt naar voren dat de verschilprijs tussen LNG EQ uit Japan en gasolie voor de visserij, in de periode van 2005 tot en met 2008 bijna 17 eurocent per liter gasolie bedraagt, met een maximale spreiding van 3 eurocent.

De verschilprijs tussen LNG EQ uit Nigeria voor levering aan Spanje en de gasolieprijs voor de visserij fluctueert sterker. Door de vastgestelde prijs van LNG in dollars komt de invloed van de veranderde dollarkoers in deze afbeelding goed tot uiting. In de periode van 2005 tot en met 2008 bedraagt de verschilprijs bijna 26 eurocent per liter gasolie, met een maximale spreiding van 13 eurocent.



Afbeelding 25: Brandstofprijzen in eurocent per liter.

In Hoofdstuk 7 werd het wekelijkse brandstofverbruik van een boomkorkotter in overleg met de visserij gesteld op 30 m³ gasolie. Er is een configuratie gekozen met twee 20 voet cryogene ISO-containers en een totale LNG-opslagcapaciteit van 36,7 m³. Dit betekent dat 68% LNG EQ en 32% gasolie beschikbaar is. Uitgaande van brandstofprijzen voor LNG en gasolie kan een inschatting gemaakt worden van de gemiddelde wekelijkse besparing aan boord van de boomkorkotter AG-1 over de periode van 2002 tot en met 2008. De besparingen zijn weergegeven in Afbeelding 26.



Afbeelding 26: Wekelijkse brandstofkostenbesparingen voor dual fuel-kotter AG-1 met LNG.

Wanneer uitgegaan wordt van de Japanse LNG-prijs, die de laatste drie jaar redelijk vergelijkbaar is met de LNG-prijs in België, komen de brandstofkostenbesparingen tussen de 3.000 en 4.000 euro per week te liggen. Uitgaande van 45 weken op zee zijn de jaarlijkse besparingen voor de vergelijkingskotter AG-1 tussen de 135.000 en 180.000 euro.

Wanneer uitgegaan wordt van de Spaanse LNG-prijs voor leveringen uit Nigeria, daarbij in aanmerking nemende dat in Nederland ook de LNG-prijs een van de laagste ter wereld zal zijn, komen de brandstofbesparingen tussen de 3.500 en 8.000 euro per week te liggen.
Uitgaande van 45 weken op zee zijn de jaarlijkse besparingen voor de vergelijkingskotter AG-1 tussen de 157.500 en 360.000 euro per jaar.

12. Verbouwingskosten boomkorkotter AG-1

De kosten van de verbouwing van de boomkorkotter AG-1 betreffen de volgende hoofdonderdelen:
- Kosten voor aanpassing van de motor,
- Kosten voor de 20 voet cryogene ISO-containers,
- Kosten voor het gassysteem aan boord,
- Kosten voor aanpassing van de ventilatie,
- Kosten voor aanpassing van de elektrische installatie,
- Kosten voor aanpassing van het brandveiligheidsysteem,
- Kosten voor de verbouwing op de werf.

Voor de grote onderdelen zijn offertes en richtprijzen opgevraagd bij diverse leveranciers en bedrijven. Voor de kleinere aanpassingen aan bestaande systemen aan boord zijn stelposten opgenomen. De calculatie van de kosten is weergegeven in de onderstaande tabel (Tabel 2).

LNG-installatie aardgaskotter AG-1	**Bedrag in euro's**
LNG-opslag 2 x 20 voet cryocontainer	180.000
Verdamperskid + engineering	160.000
Gasstraat	30.000
Motoraanpassing	180.000
Ombouw werf	100.000
Stelpost elektrisch installatie	20.000
Stelpost brandveiligheid	10.000
Stelpost ventilatie	20.000
Totale systeemkosten	700.000

Tabel 2: Kosten voor dual fuel-ombouw van vergelijkingskotter AG-1.

De totale systeemkosten voor de ombouw van de aardgaskotter AG-1 zijn aanzienlijk. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het feit dat de gasinstallatie in een bestaand schip moet worden ingepast.

De kosten voor de twee 20 voet cryocontainers zijn relatief hoog. Een 40 voet cryocontainer heeft een iets grotere opslagcapaciteit dan twee 20 voet containers, maar kost 50.000 euro minder.

De motoraanpassing van een Caterpillar 3606 naar een elektronische inspuiting kost 180.000 euro. In het geval dat er al een elektronisch aangestuurde motor van de Caterpillar C280-serie aan boord staat, kunnen deze kosten bespaard worden en blijft alleen de gasstraat over.

Caterpillar onderzoekt overigens de mogelijkheid om een gasstraat te leveren zonder dat de motor beschikt over een elektronisch motormanagementsysteem. In het verleden heeft Caterpillar namelijk in Canada de Kulleet en de Klatawa omgebouwd, die beschikten over motoren van de Caterpillar 3400-serie en niet uitgerust zijn met een elektronisch motormanagementsysteem.

Als bovendien de gasinstallatie tijdens de bouw van het schip aan boord geplaatst wordt, zijn de extra kosten voor de ombouw ook niet nodig, en is een aantal stelposten voor de elektrische installatie, brandveiligheid en ventilatie eveneens beperkt. De totale systeemkosten bij nieuwbouw worden daarmee geschat op 350.000 euro.

Om de investeringskosten voor de vissers zo laag mogelijk te houden, kan overwogen worden om de twee 20 voet cryogene ISO-containers te leasen van de LNG-transporteur. Hoewel de investeringskosten dan voor de vissers verplaatst worden naar de operationele kosten, kan het de haalbaarheid van het totaalconcept een stap dichterbij brengen.

12.1 Terugverdientijd van het LNG-systeem op de AG-1

Voor de berekening van de terugverdientijd van het LNG-systeem is naast de investeringskosten voor het totale systeem, de verschilprijs tussen LNG en gasolie natuurlijk van groot belang. Op basis van de cijfers uit Hoofdstuk 11 worden twee verschilprijzen gebruikt voor de berekening van de terugverdientijd. De eerste verschilprijs, genaamd ‘LNG normaal’, is gebaseerd op de prijzen van Japan/België en bedraagt 15 eurocent per liter gasolie. De tweede verschilprijs, genaamd ‘LNG laag’, is gebaseerd op de prijzen van levering vanuit Nigeria aan Spanje en bedraagt 25 eurocent per liter gasolie.

In de kolommen van de onderstaande tabel (Tabel 3) zijn de paragrafen benoemd waarin de opties beschreven worden. De terugverdientijden (ROI) zijn gebaseerd op de twee bovengenoemde verschilprijzen in LNG en gasolie. Alle prijzen zijn in euro’s, alle terugverdientijden (ROI) in jaren.

	12.1.1	12.1.2	12.1.3	12.1.4
Totale investering	700.000	700.000	700.000	700.000
Motor-mngmnt niet vereist	0	0	-180.000	-180.000
VIP-subsidie	0	-176.000	-176.000	-176.000
Containerlease	0	0	0	-180.000
Investering eigenaar	700.000	524.000	344.000	164.000
ROI LNG normaal	5,1	3,8	2,5	1,2
ROI LNG laag	3,1	2,3	1,5	0,7

Tabel 3: Terugverdientijd LNG-systeem op de AG-1.

12.1.1 Investering in het totale systeem

Wanneer de totale systeemkosten door de eigenaar van het schip moeten worden gedragen, blijkt een verbouwing van een bestaande boomkorkotter naar LNG niet haalbaar. De terugverdientijd bij Japans/Belgische LNG-prijzen is dan ruim vijf jaar. Zelfs bij de lage Nigeriaanse LNG-prijzen is de terugverdientijd nog steeds meer dan drie jaar.

Alleen bij een prijspeil vergelijkbaar met 2008, waarbij de verschilprijs tussen gasolie en LNG bijna 40 eurocent per liter bedroeg (zie Afbeelding 25), is de terugverdientijd beperkt tot nog geen twee jaar.

12.1.2 Investering in het totale systeem met gebruik van VIP-subsidie

In 2008 heeft de minister van Landbouw en Visserij subsidie beschikbaar gesteld voor het aanpassen van bestaande vissersschepen. In totaal werd er per schip maximaal 176.000 euro subsidie beschikbaar gesteld, met een maximum van 40% van de gemaakte kosten. Gezien het innovatieve karakter van het LNG-ombouwproject lijkt het voor de hand liggend dat de minister ook voor dit project een subsidie ter beschikking stelt. De kosten voor de ombouw van het schip worden dan aanzienlijk verlaagd, en bedragen dan 524.000 euro.
In dat geval is alleen de ombouw van een kotter naar LNG haalbaar als uitgegaan wordt van lage LNG-prijzen. Bij normale LNG-prijzen is de terugverdientijd bijna vier jaar; bij lage LNG-prijzen daalt de terugverdientijd tot beneden de tweeënhalf jaar. Een overheidssubsidie maakt de haalbaarheid van de ombouw in bepaalde gevallen dus mogelijk.

12.1.3 Investering met gebruik van VIP-subsidie en met uitzondering van motormanagementsysteem

In het geval er door Caterpillar geen motormanagementsysteem aan boord hoeft te worden geïnstalleerd maar alleen een gasstraat, bedra-

gen de verbouwingskosten 520.000 euro. Als er bovendien een VIP-subsidie beschikbaar gesteld wordt voor de ombouw van de kotter, wordt de investering voor de eigenaar teruggebracht tot 344.000 euro. In dat geval wordt de ombouw van een kotter naar LNG haalbaar. De terugverdientijd bij normale Japans/Belgische LNG-prijzen bedraagt dan tweeënhalf jaar en bij Nigeriaanse LNG-prijzen slechts anderhalf jaar.

12.1.4 Investering met VIP-subsidie, zonder motormanagement en met containerlease

Als er geen motormanagementsysteem aan boord geplaatst hoeft te worden en de vergelijkingskotter AG-1 in aanmerking komt voor subsidie van het VIP, komt een eerste toepassing van LNG aan boord van een boomkorkotter in zicht.

Als bovendien de transporteur bereid blijkt om de cryogene containers te leasen, beperkten de uiteindelijke investeringskosten voor de eigenaar van de AG-1 zich tot 164.000 euro. De leasekosten worden natuurlijk wel doorberekend in een verhoging van de operationele kosten voor de visser, maar de initiële investering wordt hierdoor wel verder beperkt. Wegvervoerders in het tanktransport zijn bereid om dergelijke leaseconstructies in overweging te nemen.

13. Conclusies en aanbevelingen

In deze haalbaarheidsstudie zijn de mogelijkheden onderzocht om bestaande boomkorkotters om te bouwen voor het gebruik van aardgas als alternatieve brandstof. 'Haalbaar' betekent dat de investering op basis van lagere brandstofkosten binnen drie jaar moet kunnen worden terugverdiend. Marktprijzen van de vis zijn buiten beschouwing gebleven.

De haalbaarheid is opgesplitst in een aantal onderdelen:
- De technische haalbaarheid van een aardgassysteem voor de ombouw van een kotter.
- De haalbaarheid van een betrouwbare levering van aardgas naar de kotter.
- De economische haalbaarheid van de ombouw van een kotter op aardgas als alternatieve brandstof.

13.1 Technische haalbaarheid van aardgassystemen op kotters

De technische haalbaarheid van aardgassystemen voor de ombouw van bestaande boomkorkotters levert een flink aantal uitdagingen op.

CNG-opslagsystemen blijken niet haalbaar op bestaande kotters vanwege het grote ruimtebeslag.

LNG-opslagsystemen zijn onder bepaalde omstandigheden haalbaar aan boord van bestaande kotters. Het verdient de voorkeur om gebruik te maken van 20 voet cryogene ISO-containers, omdat zij qua ruimtebeslag passen aan boord, herbruikbaar zijn en in serie geproduceerd worden, waardoor de kosten relatief laag blijven.

Gas only-motoren blijken niet haalbaar op bestaande kotters. Gas only-motoren werken alleen in combinatie met generatorsets en stellen eisen aan de indeling van de machinekamer. Vanwege het gebrek aan ruimte aan boord, de vereiste technische configuratie en de gestelde veiligheidseisen aan boord is dit onmogelijk.

Dual fuel-motoren op gasolie en aardgas bieden mogelijkheden bij de ombouw van bestaande kotters. Vissers hebben dan de mogelijkheid om, bijvoorbeeld afhankelijk van de brandstofprijzen, te kiezen voor aardgas of gasolie. Bovendien kan in noodgevallen altijd overgeschakeld worden op gasolie.

Tot op heden hebben alleen de motorenfabrikanten Caterpillar en Wärtsilä ervaring met dual fuel-motoren voor gasolie en aardgas in de vermogensrange tot 2500 kW. In de praktijk worden deze dual fuel-motoren eigenlijk alleen ingezet in combinatie met een generatorset die vermogen levert aan het elektrische (boord)net.

Er is tot op heden geen enkele motorenfabrikant die praktijkervaring heeft met dual fuel-motoren voor gasolie en aardgas die direct gekoppeld zijn aan de schroefas. De optie lijkt wel haalbaar, omdat de dual fuel-motoren zo afgeregeld zijn dat zij ook alleen op gasolie kunnen draaien, en daarmee het gewenste vermogen kunnen leveren. In de praktijk is hier alleen in het wegvervoer ervaring mee opgedaan, en nog niet in de maritieme sector.

Caterpillar is de enige fabrikant die een gasstraat aan boord van een bestaande kotter op de reeds aanwezige motor kan bouwen. Hierdoor hoeft er geen nieuwe motor aangeschaft te worden en blijven de kosten zoveel mogelijk beperkt.

Caterpillar onderzoekt of bestaande motoren van de 3600-serie met een elektronisch motormanagementsysteem uitgerust moeten worden om te kunnen worden omgebouwd tot dual fuel-motor. In het verleden heeft Caterpillar namelijk motoren van de 3400-serie omgebouwd tot dual fuel-motor zonder gebruik te maken van elektronische motormanagementsystemen. Hoewel dit deelsysteem geen directe invloed heeft op de technische haalbaarheid, is het wel van belang met het oog op de kosten en daarmee de economische haalbaarheid.

Het vulsysteem voor de 20 voet cryogene ISO-containers aan boord is haalbaar. Het opslagsysteem op de vergelijkingskotters is eveneens haalbaar, onder voorwaarde dat optimaal gebruik gemaakt kan worden van de beschikbare ruimte in het nettenruim, en de smeerolietanks en eventuele brandstofdagtanks verplaatst kunnen worden.

Een uitlaatsysteem van overdrukbeveiligingen conform de eisen uit de BLG-code is momenteel niet haalbaar. In overleg met Inspectie

Verkeer en Waterstaat zal onderzocht moeten worden wat de mogelijkheden zijn voor alternatieven.

Het plaatsen van een warmwaterverdamper aan boord om LNG te verwarmen en de gasstraat aan boord om het aardgas naar de dual fuel-motor te leiden, is haalbaar.

De kotter dient volgens de BLG-code een inherent gasveilig systeem aan boord te hebben. De gasleidingen dienen dubbelwandig te worden uitgevoerd. Volgens de BLG-code dient dat tot op de injectoren te geschieden. Het gassysteem van Caterpillar spuit echter geen gas in via injectoren maar via de luchtinlaten. In overleg met Inspectie Verkeer en Waterstaat zal onderzocht moeten worden hoe op deze wijze aan de eisen van inherente veiligheid kan worden voldaan.

Overige eisen met betrekking tot brandveiligheid, ventilatie, elektrische systemen en control en monitoring lijken geen onoverkomelijke problemen te geven.

Daarmee is de technische haalbaarheid van de ombouw van een boomkorkotter naar dual fuel-motoren op LNG aangetoond.

13.2 Haalbaarheid van betrouwbare aardgaslevering

Hoewel er veel LNG-initiatieven in Nederland en omgeving opgestart lijken te worden, is de levering op korte termijn nog niet haalbaar. De huidige LNG-terminals zijn er niet op ingericht, de energieleveranciers tonen tot op heden weinig interesse en de overheidspartijen die het gebruik van LNG als alternatieve brandstof gezamenlijk zouden kunnen stimuleren, werken vooralsnog onvoldoende samen, waardoor projecten te kleinschalig blijven.

Kleinere LNG-stations zijn in Nederland nauwelijks aanwezig. LNG van de peakshaver op de Maasvlakte is eigendom van de energieleveranciers, die vanwege de kleinschaligheid van de eerste pilots weinig interesse lijken te hebben. Het eerste Nederlandse LNG-tankstation in aanbouw in Oss kent nauwelijks enige voortgang.

Ook Ballast Nedam wil investeren in gecombineerde LNG- en CNG-tankstations in aanvulling op zijn in ontwikkeling zijnde netwerk van CNG-tankstations, maar heeft moeite om de keten te organiseren.

Tanktransporteurs tonen interesse in het vervoer van LNG, maar zijn geen ketenregisseur, en daardoor sterk afhankelijk van de ontwikkelingen in de rest van de keten.

LNG-levering via schepen is ook nog niet haalbaar, omdat er geen opslagmogelijkheden voor LNG zijn en het natransport ook nog niet geregeld is.

Momenteel is een betrouwbare aardgaslevering in de vorm van LNG in Nederland niet haalbaar. Toch lijkt dit een kwestie van tijd te zijn. 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 de eerdergenoemde transportmodaliteiten.

14.3 Economische haalbaarheid van ombouw naar dual fuel voor kotters

De economische haalbaarheid is sterk afhankelijk van de gasolie- en LNG-prijzen. Op basis van de ontwikkelingen in de periode van 2005 tot en met 2008 is een ombouw naar dual fuel haalbaar als er uitgegaan wordt van het LNG-prijspeil van de levering aan Spanje door Nigeria. Er zijn redenen om aan te nemen dat de LNG-prijs in Nederland een dergelijk laag prijspeil zal kunnen halen.

Als het LNG-prijspeil in de orde van de LNG-prijzen in België komt, is een ombouw naar dual fuel alleen haalbaar wanneer er geen elektronisch motormanagementsysteem aan boord geïnstalleerd hoeft te worden op de Caterpillar 3600-serie en er door de overheid een vergelijkbare subsidie beschikbaar gesteld wordt voor de ombouw van de kotter naar aardgas. Bij een verschilprijs tussen gasolie en LNG EQ van 15 eurocent per liter gasolie, bedraagt de terugverdientijd tweeënhalf jaar.

Bijlage I: Lijst met geïnterviewde personen

Naam	Organisatie
Stefaan Adriaens	Gate
Rob Berendse	Vos Logistics
Cees van den Berg	Van den Berg BV
Henk Boorsma	Rederij Doeksen (telefonisch)
Erik Buthker	CNGNET
Frits van Dongen	Maaskant Shipyards
Menno Groeneveld	Gasunie
Jack den Hartogh	Den Hartogh Logistics
Remco Hoogma	SenterNovem
Arno de Jong	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Marco Kirsenstein	Vereniging Importeurs Verbrandingsmotoren
Gert Jan Kooij	Zeemeeuw BV
Leendert Korvink	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Mark Kouwenberg	Damen Shipyards
Peter Krabbendam	Linde (telefonisch)
Marnix Krikke	Vereniging Nederlandse Scheepsbouw Industrie
Evert van der Laar	SenterNovem
Tim Lahner	Cryocontainers Ltd.
Cor Kleijn	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Lucien Louman	Mertens Industrial Products
Selma Lustig	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Joost Mathot	Damen Shipyards
Martijn Meijer	GTI (telefonisch)
Robert Mellema	Gasunie
Rene de Munck	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Clemens van der Nat	Bluewater BV
Carel Prins	
Wim Schouten	NOVE (telefonisch)

Peter Tel	Cryonorm
Peter van Terwisga	Damen Shipyards
Patrick Thijssen	Linde (telefonisch)
Marcel Hendrik Vettehen	Koninklijke Marine
Meindert Vink	Inspectie Verkeer en Waterstaat
Andre de Vries	I-C-U
Harry de Vries	Pon Power
Nico de Vries	Koninklijke Marine
Fred Waasdorp	Cryonorm
Rene v.d. Werff	Den Hartogh Logistics

Summary

Feasibility study into gas-driven beam trawling
Hart, P. 't (Koers & Vaart BV);
InnovationNetwork Report No 09.2.217, Utrecht, The Netherlands,
August 2009.

The Dutch Maritime Network Foundation and InnovationNetwork jointly performed this feasibility study into gas-driven beam trawling. Gas has become cheaper than oil in recent years and is abundantly available. So could gas be an attractive alternative fuel for oil? The big question concerned the feasibility of converting fishing vessels from gas oil to natural gas. And by feasible we mean three things: is conversion technically possible, is (liquid) gas sufficiently available, and can the fisherman recoup the investment within a reasonable space of time?

Pieter 't Hart of Koers & Vaart BV conducted this research for us on the basis of an existing typical 42-metre-long beam trawler currently active in the Dutch North Sea Fisheries Sector. Can this ship, the Aardgas 1 (AG-1), be converted from gas oil to natural gas? And can this be done within the construction and safety requirements of the inspection & certification agency (the Inspectorate of Transport, Public Works and Water Management) which largely follows the guidelines of the International Maritime Organization (IMO)? IMO has developed a specific code, named 'bulk liquid and gases (IMO-BLG)', that gas-driven ships must satisfy.

How is gas stored on board?

Though cleaner than gas oil, natural gas has a much smaller per-litre energy content. If you fuel up with compressed natural gas (CNG), you need five times the volume to fish the same number of hours at

sea. With liquid natural gas (LNG), however, you need only twice the volume. Which is why we opted in this study for liquid gas stored at a temperature of minus 162 degrees in special twenty-foot cryogenic containers. A normal fishing week requires two full cryogenic containers. The best place for these two containers is below decks: transverse installation in the net storage area seems a feasible option.

Can the existing engine run on LNG?

There is still little experience with gas engines on relatively small ships, such as fishing vessels. It was found that current ship engines are not technically capable of burning 100% gas. But a mixture consisting of a maximum of 70% gas and 30% gas oil is perfectly possible. The existing engine can be converted into a dual-fuel engine. Engines manufactured by Caterpillar are currently the most suitable type for this purpose. The engine conversion involves placing a gas train and installing an electronic engine management system. Other requirements are a vaporizer for transforming the liquid LNG back into gas, a filling system and adequate safety measures. All these seem technically feasible.

Is natural gas sufficiently available?

At present, LNG cannot be obtained as an engine fuel in the Netherlands. The nearest supplier is based in Zeebrugge in Belgium.
However, a large natural gas terminal is being built on the Maasvlakte (Port of Rotterdam) and is due to be operational in late 2011. This so-called Gate Terminal is designed to reconvert LNG into gas and pump it into the pipeline network. Other plans for LNG terminals are still on the drawing board. The government could stimulate suppliers to deliver LNG as a fuel for combustion engines. Such measures are conceivable in the future. Clearly, the municipalities must also cooperate by granting permission for the delivery of LNG at the port.

How much cheaper is natural gas than gas oil?

Since 2003 LNG has been cheaper than oil. This is due to market conditions and the more efficient processing of gas into LNG. The average difference in the 2005-2008 period was between 17 and 26 eurocents per litre of gas oil. The annual saving on the AG-1's fuel bill can run up to an estimated € 135,000 to € 360,000, depending on the country that the LNG comes from.

What is the cost of converting the AG-1 and what is the earn-back time?

The costs of converting a ship and engine are substantial. Adapting the AG-1 model ship to all the specifications described above would cost an estimated €700,000 in total. However, hiring instead of buying the cryogenic containers would cut the costs by up to two hundred thousand euros. And it may also be possible to dispense with electronic engine management, which would save a further two hundred thousand or so.
An investment of € 700,000 cannot possibly be recouped quickly with cheap LNG. But a government subsidy of e.g. 40% of the investment costs would bring conversion within reach, particularly if the cryogenic containers are leased rather than purchased and if electronic engine management is not necessary. In this case, switching from gas oil to LNG is definitely an economically viable proposition. Giat,