

**EINDVERSLAG DIALOG R&D PROJECT
DESIGN OF LNG NETWORKS**

De rol van logistiek in
een duurzame en efficiënte
LNG distributieketen

Gepubliceerd
Maart 2017

Voorwoord

Het belang van logistiek voor een efficiënte en duurzame distributie van LNG

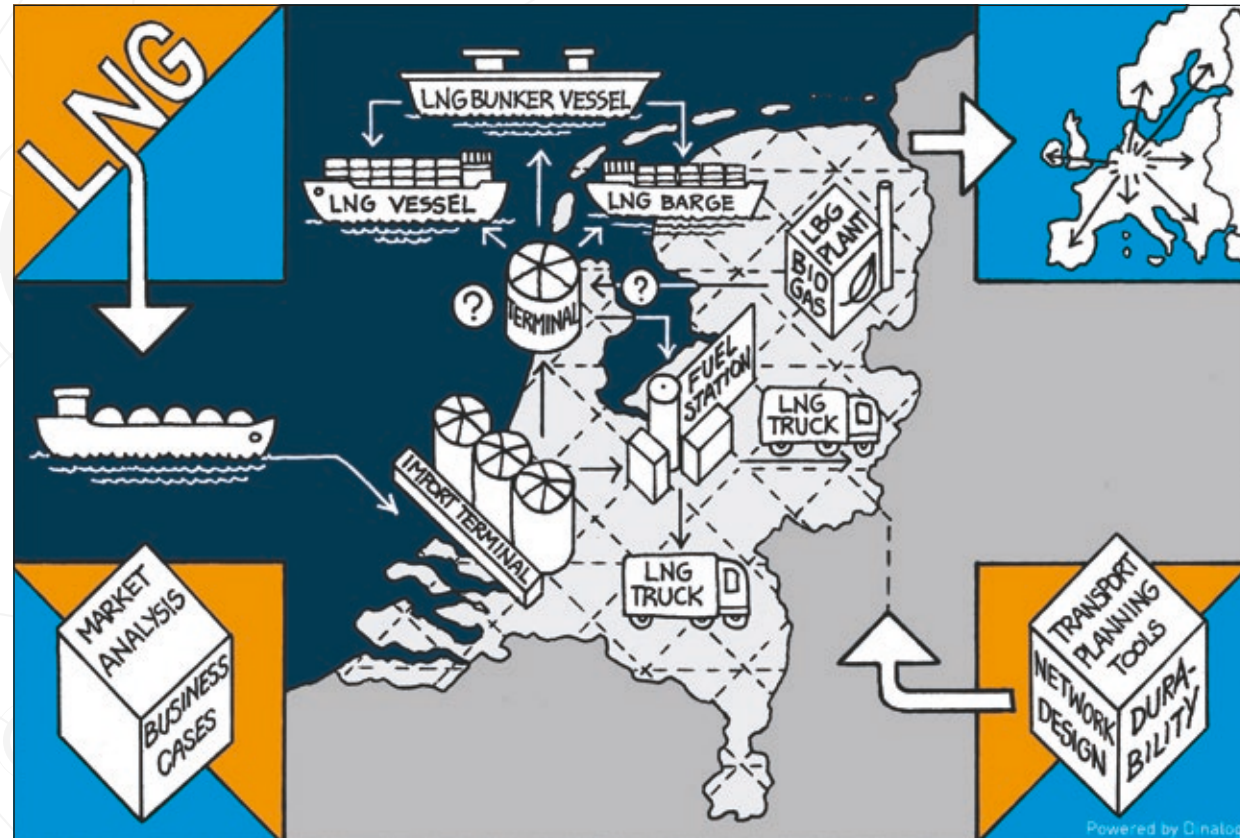
Aandacht voor logistieke keuzes is van groot belang om goederen efficiënt bij de klant te krijgen. Voor milieuvriendelijkere transportbrandstoffen zoals (bio) Liquefied Natural Gas (LNG) is dat niet anders. Een belangrijke vraag daarbij is welke rol logistiek kan spelen in het realiseren van een duurzame en efficiënte small-scale LNG distributieketen. In dit verslag schetsen we de resultaten van bijna vier jaar onderzoek binnen het Dinalog R&D project "Design of LNG Networks" waarin deze vraag centraal stond.

LNG staat steeds meer in de belangstelling van de transportsector en wordt gezien als een kosteneffectieve en schonere brandstof voor de toekomst. Om een brede acceptatie van milieuvriendelijkere brandstoffen zoals (bio) LNG mogelijk te maken, is de uitrol van een nieuw distributienetwerk nodig. Daarbij gaan vraag en aanbod hand in hand. Om de logistieke uitdagingen die bij de introductie van een nieuwe brandstof spelen het hoofd te bieden, hebben we in dit project de handen ineengeslagen met aanbieders en potentiële afnemers van LNG. We hebben gewerkt aan het ontwikkelen van een blauwdruk van de small-scale LNG distributieketen en aan tools die kunnen helpen bij het nemen van investerings- en infrastructurele beslissingen en het maken van economische- en marktanalyses. Deze tools kunnen worden gebruikt om een antwoord te vinden op vragen als waar kan de eindgebruiker LNG tanken, en hoe wordt de bevoorrading van LNG georganiseerd.

Dit projectverslag laat zien dat aandacht voor logistieke vraagstukken een belangrijke rol speelt bij de introductie van nieuwe transportbrandstoffen. Ook geeft het verslag voorbeelden hoe de opgedane wetenschappelijke kennis is gebruikt door aanbieders en afnemers van LNG in Nederland. Inmiddels zijn verschillende vervolprojecten gestart waarin we bijvoorbeeld inzichten over de Nederlandse LNG distributieketen vertalen naar situaties in andere landen binnen de EU. Heeft u interesse om hier gezamenlijk in op te trekken dan maken we graag nader kennis.

Het project "Design of LNG Networks" is, met subsidie van Dinalog, uitgevoerd in een samenwerkingsverband van de Rijksuniversiteit Groningen en de TU Eindhoven met bedrijven en instellingen als Gasunie, Groningen Seaports, Stichting Energy Valley, Feederlines, HUSA Logistics, ENGIE, Oliehandel Klaas de Boer, Ecos Energy B.V., Target Holding, Young Advisory Group, Rijkswaterstaat (Ministerie van Verkeer en Waterstaat), NOVE en Stichting Ubbo Emmius Fonds. Het project werd gesteund door het Nationaal LNG Platform. Wat deze samenwerking heeft opgeleverd, kunt u in dit rapport lezen.

Prof. dr. Iris F.A. Vis
Dr. ir. Paul Buijs



Gesubsidieerd door





INLEIDING

Logistieke inzichten helpen patstelling doorbreken

Dat Liquefied Natural Gas (LNG) een cruciale rol speelt in het bereiken van de wereldwijde klimaatdoelstellingen, betwijfelt niemand meer. Voor zowel scheepvaart als wegtransport is LNG een schoner alternatief voor het zwaar vervuilende diesel. Maar hoe zet je de transportsector over op deze veelbelovende brandstof als zowel vraag als aanbod nog beperkt is? Het Dinalog R&D-project 'Design of LNG Networks' heeft laten zien dat logistieke inzichten helpen een dergelijke patstelling te doorbreken.

Op Nederlands én Europees niveau wordt volop ingezet op LNG. De Sociaal-Economische Raad noemt in het kader van het energieakkoord LNG als de brandstof van de toekomst voor short sea en binnenvaart. Datzelfde geldt voor langere afstanden en zwaardere vrachten in het wegtransport¹. De EU streeft ernaar dat LNG eind 2025 beschikbaar is in alle grote zeehavens en langs alle belangrijke transportcorridors voor zwaar vrachtverkeer². Dat vraagt om flinke investeringen in infrastructuur, denk aan LNG-bunkerterminals in de havens en LNG-tankstations langs de weg. Maar wie gaat daarin investeren zolang rederijen en transportbedrijven nog niet vragen om LNG? En waarom zouden rederijen en transportbedrijven investeren in vervoersmiddelen met LNG-motoren als ze onderweg niet kunnen tanken?

Geen aandachtspunt

"Het is het bekende kip-en-ei verhaal. Wat doe je als je LNG wilt uitrollen terwijl er nog geen vraag en aanbod is?", verklaart Paul Buijs, Assistant Professor duurzame logistiek aan de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). Hij krijgt bijval van Iris Vis, hoogleraar industrial engineering aan dezelfde universiteit. "Op het moment dat LNG een thema begon te worden, was logistiek echt geen aandachtspunt. Logistiek werd niet gezien als een factor die de adoptie van LNG kan versnellen. Vreemd, want waar moet de eindgebruiker dan zijn LNG vandaan halen? En hoe moet je de LNG op die plekken krijgen? Dat zijn logistieke vraagstukken."

¹ SER, 'Een duurzame brandstofvisie met LEF; de belangrijkste uitkomsten uit het SER-visietraject naar een duurzame brandstoffenmix in Nederland', juni 2014.

² Europese Commissie, 'Clean Power for Transport', aangenomen op 29 september 2014.

Inhoudsopgave

Deel 1:	Inleiding	5
Deel 2A:	Beslissingsondersteuning LNG-infrastructuur	9
Deel 2B:	Bevoorradsingsplanning LNG-tank- en bunkerstations	13
Deel 2C:	Inzichten uit LNG business cases	17
Deel 3:	Internationale context	21
Deel 4:	Resultaten	24
Partners		27



Het onderzoeksproject 'Design of LNG Networks' heeft met subsidie van Dinalog daarin ontegenzeggelijk verandering gebracht. De logistieke boodschap die niet direct wilde landen, wordt nu op verzoek overal verkondigd. "Niemand zal meer zeggen dat logistiek niet ertoe doet in dit soort vraagstukken. Sterker nog, dit onderzoek heeft in de markt veel nieuwe vragen opgeroepen die we in vervolgstudies gaan oppakken. Bovendien is de ontwikkelde kennis veel breder toepasbaar, denk alleen al aan de invoering van andere alternatieve brandstoffen", vertelt Vis.

Ad-hoc investeringen

Een veel voorkomend verschijnsel bij verspreiding van nieuwe technologieën is dat investeringen ad-hoc plaatsvinden. Is er een transportbedrijf dat een proef met LNG wil starten? Dan zetten we bij dat bedrijf een tankstation neer. "Het kan niet de bedoeling zijn om tankstations zonder samenhang de grond uit te stampen. Dat is niet bepaald duurzaam en efficiënt. Wel nodig is een infrastructuur die schaalbaar is en ook bij snelle groei nog steeds efficiënt en duurzaam is. Doe je dat niet, dan gooi je in feite de duurzaamheidsvoordelen van LNG overboord."

Wat logistiek kan bijdragen aan de LNG-discussie, is duidelijk geworden in het deelonderzoek naar het ontwerp van een LNG-distributienetwerk voor het wegtransport. Wat logistiek dienstverleners niet willen, is kilometers omrijden om LNG te tanken. Daarom is een eenvoudig model gebouwd om uit te rekenen hoeveel tankstations er in Nederland minimaal nodig zijn om niet te hoeven omrijden. Het antwoord: tussen de 23 en 25 tankstations. "Dit onderzoek heeft tot veel discussie geleid. Velen vroegen zich af of het aantal wel klopt. 25 tankstations voor heel Nederland lijkt weinig", vertelt Buijs.

Drie onderzoekspijlers

Het onderzoek is gestart met het opstellen van een blauwdruk van de hele LNG-keten. Hoe ziet de keten in elkaar? Wie zijn de belanghebbenden, welke rol vervullen zij en wat zijn hun uitdagingen? "Daarvoor hebben we eerst alle partners in het project ondervraagd. De resultaten hebben we vervolgens getoetst in bredere sessies met belanghebbenden." De blauwdruk heeft mede aan de basis gestaan voor de formulering van onderzoeksvragen die zijn ondergebracht in drie pijlers. Deze drie pijlers, die verderop in dit document uitgebreider aan bod komen, zijn:

1. Beslissingsondersteuning infrastructuur. Om de overstap op LNG te faciliteren zal moeten worden geïnvesteerd in infrastructuur. Waar moeten de LNG-bunkerterminals en LNG-tankstations worden neergezet? En is het misschien een optie om LNG mobiel op te slaan in vrachtauto's of schepen? Dit deelonderzoek heeft geresulteerd in nieuwe inzichten die leiden tot betere beslissingen.
2. Planningstools. Hoe kunnen de bunkerterminals en tankstations het beste worden bevoorraadt? Hoe kunnen de leveranciers van LNG hun routes daarop afstemmen? En wat is de impact op de transportplanning als rederijen en logistiek dienstverleners niet overal kunnen tanken? De belangrijkste uitdaging in dergelijke planningsvraagstukken is dat LNG een bederfelijk product is, waardoor kwaliteit dus een belangrijke rol speelt.
3. Bedrijfskundige inzichten. Bedrijven die een nieuw schip of vrachtauto willen aanschaffen, komen vroeg of laat voor de keuze: wel of niet investeren in een exemplaar met LNG-motor? In dit deelonderzoek is een model ontwikkeld dat antwoord geeft op deze en andere vragen. Wat bijvoorbeeld als het schip zowel op diesel als op LNG kan varen. Op welk moment verdient welke brandstof dan de voorkeur en wat is het effect van prijschommelingen daarop?

Zoals gezegd stopt het onderzoek naar LNG-distributienetwerken niet nu dit onderzoeksproject is afgelopen. Op verschillende fronten zijn vervolgonderzoeken opgestart, die soms ook verder reiken dan alleen LNG. Er komt bijvoorbeeld een onderzoek naar de mogelijkheden om het opzetten van een LNG-infrastructuur te koppelen met die van andere alternatieve brandstoffen zoals waterstof en elektriciteit. Verderop in dit document staan meer voorbeelden van spin-offs.

Koploper in LNG

Vis en Buijs kijken positief terug op het project. "Nederland is koploper in LNG, zeker als het gaat om het gebruik voor wegtransport en de investeringen in infrastructuur", stelt Buijs. "Partijen uit heel Europa komen naar Nederland om te kijken hoe wij hier zaken regelen. Ook de kennis die in dit project is ontwikkeld, vindt gretig aftrek."

BESLISSINGSONDERSTEUNING LNG-INFRASTRUCTUUR

Rekenmodel stimuleert discussie over locatie LNG-bunkerstations

Rederijen en transportbedrijven schakelen alleen over op LNG als ze de brandstof gemakkelijk kunnen verkrijgen. De exacte plek van LNG-bunkerstations en -tankstations heeft dus een grote impact op de kans van slagen. Een onderzoek naar goede locaties voor bunkerstations op de Noordzee vormde de start van het driejarige onderzoeksprogramma 'Design of LNG Networks'.

LNG wordt al jarenlang via grote zeeschepen aangevoerd in West-Europese havens. In Rotterdam gebeurt dat sinds 2011 via de GATE-terminal. Door aardgas bij een temperatuur van $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ vloeibaar te maken, wordt het volume zeshonderd keer zo klein en is de brandstof eenvoudig te transporteren. Eenmaal in de havens wordt de vloeistof weer omgezet in gas, dat via het gasleidingennet het land in stroomt.

Deze methode is onbruikbaar voor de inzet van LNG als brandstof voor scheepvaart en zwaar wegtransport. Varen of rijden op LNG is immers alleen haalbaar als de brandstof in vloeibare, compacte vorm kan worden gebunkerd of getankt. Dat betekent dat de LNG-infrastructuur die nu eindigt in de havens, moet worden doorgetrokken naar het binnenland. Door LNG te transporteren naar bunkerstations en tankstations kunnen schepen en vrachtauto's de brandstof afnemen. De vraag is waar die bunkerstations en tankstations het beste kunnen komen te staan. Vervolgens is de vraag hoe de brandstof het beste daarheen kan worden getransporteerd.

Niet omvaren

Energy Valley klopte in 2013 met die vraag aan bij de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). Deze stichting probeert samen met bedrijven, kennisinstellingen en overheden een impuls te geven aan het gebruik van duurzame energie in Noord-Nederland. LNG is één van die vormen van transitie-energie die Energy Valley wil stimuleren. "Wij wilden graag weten wat de meest logische locaties zijn voor de benodigde infrastructuur. Hoe kunnen we de besluitvorming daarover verbeteren? Welke informatie is daarvoor nodig?", verklaart Patrick Cnubben, die binnen Energy Valley verantwoordelijk is voor het cluster bio-energie en gas.

Een zorgvuldige besluitvorming is met name nodig vanwege de enorme investeringen die daarmee zijn gemoeid. Voor het bouwen van een permanent bunkerstation zijn miljoenen euro's nodig. "Dat geld moeten we natuurlijk verantwoord investeren. Met de locatiekeuze proberen we het de markt zo comfortabel mogelijk te maken om over te stappen op LNG. Comfortabel wil zeggen dat de brandstof op logische plekken beschikbaar is. Een schip gaat bijvoorbeeld niet omvaren om ergens LNG te bunkeren, dat kost simpelweg te veel geld", legt Cnubben uit.



Niet toereikend

Reinier Schneider, destijds student Technische Bedrijfskunde aan de RUG, maakte het vraagstuk van Energy Valley tot zijn afstudeeropdracht. Daarvoor breidde hij de scope van zijn onderzoek uit tot heel Noord-Europa en analyseerde hij de scheepvaartbewegingen in het Noord- en Oostzeegebied. Schneider ontdekte al snel dat de bestaande wiskundige modellen niet toereikend waren voor zijn onderzoek. "Die zijn ontwikkeld voor toepassingen op het land, niet op zee. Het belangrijkste verschil is dat vrachtauto's op land allemaal langs vaste wegen rijden en onderweg kunnen tanken. Schepen daarentegen kunnen alleen bunkeren in de vertrek- of aankomsthaven. Het is te duur om ergens te tanken waar ze niet hoeven te laden of lossen."

Schneider heeft een aangepast model ontwikkeld en daarmee verschillende scenario's doorgerekend. Wat is de beste locatie als we één bunkerstation neerzetten? En wat als we er twee, drie, vier, vijf of nog meer neerzetten? "Vervolgens heb ik geanalyseerd welke havens in al die scenario's regelmatig naar voren kwamen als handige locaties. Natuurlijk was Rotterdam één van die havens, logisch gezien alle scheepvaartbewegingen daar. Maar er sprongen ook minder voor de hand liggende havens uit, bijvoorbeeld aan de Britse oostkust", vertelt Schneider, die met het cijfer negen afstudeerde.

Stof voor discussie

Het onderzoek heeft veel stof voor discussie over goede locaties van LNG-bunkerstations opgeleverd en daarmee zijn waarde bewezen. Als daadwerkelijke leidraad bij de locatiekeuze zal het model niet worden gebruikt, verwacht Schneider. "Daarvoor spelen te veel andere politieke en economische belangen een rol", denkt de alumnus, die inmiddels onder de naam Bleeve zijn eigen start-up heeft opgericht.

Met het opstarten van de discussie heeft ook Energy Valley haar doel bereikt. "Het onderzoek heeft inzicht gegeven in de drijfveren die een rol spelen bij de locatiekeuze. Het heeft geleid tot betere gesprekken met de verschillende belanghebbenden op basis van objectieve informatie. Dat draagt onmiskenbaar bij aan de meningsvorming en uiteindelijk aan betere besluitvorming", stelt Cnubben.

Het bepalen van goede locaties van bunkerstations is echter slechts één deel van het vraagstuk, beseft Cnubben. "De hele keten moeten worden ontwikkeld. Een andere vraagstuk is of een bunkerstation per se een vaste installatie moet zijn. Misschien is een mobiel bunkerstation een optie, bijvoorbeeld in de vorm van tankcontainers of tankauto's."

Energy Valley is dan ook blij dat het onderzoek naar de logistieke aspecten van LNG-netwerken op verschillende terreinen doorgaat. "We kunnen de bestaande vraagstukken nog verder uitdiepen, maar misschien ook de geografische scope verbreden. Hoe zit het met de LNG-infrastructuur langs de Atlantische kust of in het Middellandse Zeegebied? Hoe beter en breder we de brandstof in de markt kunnen zetten, hoe voordeliger we de daarvoor benodigde infrastructuur kunnen realiseren."

Spin-off:

Vaste of mobiele bunkerstations?

De exacte locatie van bunkerstations is zowel voor de gebruikers als de exploitanten relevant. De locatie is immers bepalend voor het gemak waarmee schippers aan brandstof kunnen komen, maar ook voor de kosten die exploitanten moeten maken om de stations te bevoorraden. Evrim Ursavas, universitair docent aan de Rijksuniversiteit Groningen, probeert beide aspecten te combineren in haar onderzoek naar de LNG-infrastructuur in de binnenwateren van Noordwest-Europa.

"Ik probeer antwoord te geven op de vraag wat efficiënte en effectieve locaties zijn voor bunkerstations langs de Rijn en aanpalende vaarwegen. Een andere vraag is of die stations vast of mobiel moeten zijn."

Ursavas verricht momenteel een belangrijk deel van haar onderzoek in Atlanta, waar ze nauw samenwerkt met professor Martin Savelsbergh van het Georgia Institute of Technology. "De overstap van traditionele brandstoffen naar duurzamere alternatieven zoals LNG is niet alleen

in Europa een thema. Dat leeft ook hier in de Verenigde Staten", verklaart Ursavas.

Over de uitkomsten van het onderzoek, dat in 2017 wordt afgerond, kan Ursavas nog weinig zeggen. "Ik kan alleen zeggen dat mobiele bunkerstations in de vorm van vrachtauto's vooral in de opstartfase interessant zijn, als de vraag nog klein en onzeker is. Een mobiel station is minder snel en heeft hogere operationele kosten, maar is daarentegen wel een stuk flexibeler dan een vast station. Dat impliceert immers een keuze waaraan je voor lange tijd vast zit."



Implementatie:

Bunkerstation in Eemshaven

Drie partijen onderzoeken de mogelijkheid van een LNG-bunkerstation in de Eemshaven: Groningen Seaports, ENGIE en Gasunie. De haalbaarheid hangt af van de antwoorden op verschillende vragen. Komen daar schepen die LNG willen bunkeren? Zo ja, hoe concurrerend - lees: zo efficiënt en goedkoop mogelijk - moet een bunkerstation zijn om die schepen te bewegen daadwerkelijk in de Eemshaven te bunkeren? Hoe krijgen we de LNG dan in de Eemshaven? Met tankauto's? En hoeveel LNG hebben we dan nodig? "Stel dat een groot zeeschip in de Eemshaven LNG wil bunkeren en we daarvoor tien volle tankauto's nodig hebben. Is het dan handig om te kiezen voor een bunkermethode waarbij de brandstof direct van de tankauto's in het schip wordt gepompt? Dat gaat dan wel lang duren en betekent een behoorlijke logistieke operatie", stelt Jan van Esch, werkzaam voor business development bij Gasunie.

Van Esch noemt nog andere factoren die een rol spelen bij de vestiging van een bunkerstation: het aanvragen van vergunningen,

de medewerking van havenautoriteiten, het sluiten van bunkercontracten met rederijen. "En dan de technische mogelijkheden. We kunnen zoals gezegd kiezen voor een slang die we aan een tankauto koppelen, maar ook voor een vaste installatie. Dat kan alleen een pomp zijn, eventueel in combinatie met tankcontainers, maar ook een vaste opslagtank. Omdat LNG bij -162 °C moet worden opgeslagen, vraagt dat om een goed geïsoleerde opslagtank en installaties die hoge investeringen vergen."

Voor de eventuele bunkering van LNG in de Eemshaven hebben de genoemde drie partijen een stappenplan opgezet. Daarbij heeft het wetenschappelijk onderzoek naar LNG-netwerken belangrijke input opgeleverd. Zowel Groningen Seaports als Gasunie hebben geparticipeerd in dat onderzoek. "De onderzoeksresultaten helpen om uiteindelijk een zo goed mogelijke propositie neer te leggen. Een belangrijk deel van het vraagstuk heeft immers betrekking op de inrichting van de hele logistieke keten."

BEVOORRADINGSPLANNING LNG-TANK- EN BUNKERSTATIONS

Onderzoek brengt efficiënte en effectieve bevoorrading planning steeds dichterbij

Wie eenmaal over een netwerk van tank- en bunkerstations beschikt, staat voor de volgende uitdaging: hoe zorgen we ervoor dat elke dag opnieuw alle stations voldoende brandstof hebben om aan de vraag te voldoen? Het maken van een goede bevoorrading planning is in het geval van LNG extra complex. De kwaliteit van deze brandstof neemt na verloop van tijd namelijk af.

Allereerst: het uitrekenen van een perfecte bevoorrading planning is in de praktijk niet haalbaar. Misschien is dat nog te doen met een netwerk van zes, zeven of acht tank- of bunkerstations, maar met elk extra station neemt de benodigde rekentijd exponentieel toe. "Wie een netwerk van twintig stations wil doorrekenen, is al gauw enkele uren bezig. Geen planner natuurlijk die daarop kan wachten", vertelt Yousef Ghiami, universitair docent aan de Vrije Universiteit in Amsterdam en ten tijde van het onderzoek post-doc onderzoeker aan de Technische Universiteit Eindhoven.

De bevoorrading planning van LNG-tank- en bunkerstations is een bijzonder complexe variant op het bekende 'vehicle routing problem': wat is een optimale combinatie van routes voor een vloot van voertuigen om een gegeven aantal locaties aan te doen? Transportbedrijven die bijvoorbeeld gespecialiseerd zijn in winkeldistributie maken hiervoor gebruik van standaard routeplanningssystemen die dat haarfijn uitrekenen.

Voorraadniveaus

Wat de bevoorrading planning van tank- en bunkerstations een stuk ingewikkelder maakt, is de extra dimensie die dit probleem kent: de voorraadniveaus in de tank- en bunkerstations. Als het voorraadniveau te laag is om aan de vraag naar brandstof te voldoen, is het duidelijk dat de tank vandaag nog moet worden bijgevuld. Maar wat als de tank nog halfvol is? Bijvullen is dan vandaag misschien nog niet nodig, maar wel handig als daarmee morgen of overmorgen een extra rit voor beleving van het tankstation kan worden uitgespaard.

In het concrete geval van LNG spelen nog veel meer aspecten een rol, legt Ghiami uit. Anders dan andere brandstoffen is LNG bijvoorbeeld een bederfelijk product. Naarmate de brandstof langer in een tank blijft zitten, neemt het in kwantiteit af. Daarnaast is de vraag hoeveel LNG moet worden ingekocht en via zeeschepen

worden aangevoerd naar de LNG-terminals in Rotterdam en Zeebrugge. Hoeveel opslagcapaciteit is in deze havens nodig om nu en in de toekomst alle tank- en bunkerstations te bevoorraden? En wat is de handigste modaliteit voor het transport van de brandstof naar de stations: wegtransport of binnenvaart? "Wat oplossen van dit probleem extra lastig maakt, is het gebrek aan data die we als input kunnen gebruiken. LNG wordt immers nog maar weinig gebruikt in scheepvaart en wegtransport."

Risicospreiding

Omdat het berekenen van een optimum dus praktisch ondoenlijk is, is Ghiami gestart met het ontwikkelen van alternatief model. Dit wiskundig model geeft op basis van slimme heuristieken geen optimale oplossing, maar wel een oplossing die het optimum dicht nadert. "In feite maakt het model voortdurend trade-off's tussen alle kostencomponenten. Denk daarbij aan vaste kosten, bijvoorbeeld voor de tijd die nodig is om een station te bevoorraden, maar ook aan voorraadkosten en transportkosten."

Het model houdt rekening met allerlei restricties, zoals de beperkte capaciteit van de opslagtanks in Rotterdam en Zeebrugge, van de opslagtanks bij de tank- en bunkerstations en van de tankauto's of binnenvaartschepen die de bevoorrading verzorgen. En dan speelt natuurlijk ook de bederfelijkheid een rol: de brandstof mag niet te lang in de tank blijven zitten. "Wat dit model verder nog bijzonder maakt, is dat het geschikt is om te rekenen met meerdere leveranciers of bronnen. Uit het oogpunt van risicospreiding kan het een belangrijke overweging zijn om meerdere LNG-terminals te gebruiken. Wie vasthoudt aan één LNG-terminal, loopt het gevaar zonder brandstof te zitten als daar een incident plaatsvindt. Voor de planning maakt het natuurlijk groot verschil of de brandstof uit Rotterdam, Zeebrugge of wellicht uit allebei terminals komt."

Valideren

Het model houdt dus rekening met heel veel aspecten, maar niet met alles. "Waarmee we nog geen rekening hebben gehouden, is dat vrachtauto's met LNG misschien niet overal mogen rijden. Dat is wellicht nog iets voor de toekomst."

In principe is het model gereed, stelt Ghiami. "Wij zijn nu bezig om het te valideren. Geeft het daadwerkelijk een goede oplossing als de bevoorradsingsplanning voor een gegeven situatie doorrekenen? Als het model werkt, kunnen bedrijven straks binnen enkele minuten een bevoorradsingsplanning maken voor elk netwerk. Ook als dat tweehonderd tank- of bunkerstations telt."

Rolande LNG is tien jaar geleden opgericht met als doel om een netwerk van LNG-tankstations op te zetten. Op dit moment staat het getal op zes tankstations in Nederland. "Wij willen binnen afzienbare tijd doorgroeien naar een netwerk van 25 tot 30 tankstations, ook in de ons omringende landen. Daarnaast investeren we in de productie van bio-LNG", vertelt operationeel directeur Herbert Boender. Toen het netwerk nog maar vier tankstations telde, merkte Rolande LNG al dat de bevoorradsingsplanning steeds ingewikkelder werd. Planners moeten rekening houden met minimale en maximale

Spin-off:

De variabele kwaliteit van LNG

Er zijn twee aspecten die LNG onderscheiden van alle andere brandstoffen: zowel de kwantiteit als kwaliteit neemt na verloop van tijd af. Over de mate waarin dat gebeurt en de factoren die daarop van invloed zijn, is echter nog weinig bekend. Reden genoeg dus voor Rijksuniversiteit Groningen (RUG) en DNV GL om samen een onderzoek op te starten.

Het probleem is dat LNG uit verschillende componenten bestaat, die bij een temperatuur van -162 °C in vloeibare toestand worden gehouden. Dat lukt slechts ten dele. Voortdurend verdampen er componenten, alleen de een wat sneller dan de ander. Met name het gehalte van het belangrijkste bestandsdeel methaan neemt in de loop van de tijd af, waardoor de samenstelling van het achterblijvende LNG verandert. LNG-aangedreven motoren zijn gevoelig voor de aangeboden kwaliteit. "Maar dat is niet het grootste probleem. Het motor management systeem kan zich daarop instellen en schade aan de motor voorkomen. Belangrijker is dat de motorprestaties afnemen als de LNG aan kwaliteit verliest. De brandstof bevat dan simpelweg minder calorische waarde. Daardoor daalt mogelijk de afstand die een vrachtauto of schip kan afleggen. Het van belang dat op alle plekken in de LNG-leveringsketen een correct beeld van de LNG-kwaliteit bestaat", vertelt Johan Knijp van DNV GL, dat bedrijven en overheden adviseert over veilig en efficiënt gebruik van LNG.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door José Lopez, promovendus aan de RUG. Hij brengt in kaart welke logistieke beslissingen

invloed hebben op de verdamping van methaan. Tijdens transport bijvoorbeeld is de verdamping door alle trillingen groter dan tijdens opslag. Ook het overpompen van de ene opslagtank naar de andere heeft een nadelige invloed. En naarmate het voorraadvolume in de tank daalt, stijgt de snelheid van verdampen eveneens. "Het maakt echter ook verschil om welke type opslagtank het gaat. Het ene type is beter in staat om verdamping tegen te gaan dan het andere, maar ook een stuk duurder. Wat is dan den beste investering?", aldus Lopez.

Lopez gaat in zijn promotieonderzoek aan modellen bouwen die het gedrag van LNG tijdens transport en opslag zo goed mogelijk beschrijven. Op basis van die modellen moet het mogelijk worden om te voorspellen hoe de kwaliteit zich door de keten heen zal ontwikkelen. Dat vormt dan weer input voor de bevoorradsingsplanning. "Het is mogelijk om het verdampte methaan af te vangen en weer vloeibaar te maken, maar de vraag is of dat zinvol is. Het is ook mogelijk om de kwaliteit te verbeteren door nieuwe LNG bij te mengen", aldus Lopez.

Knijp verwacht dat het onderzoek van Lopez veel openstaande vragen helpt te beantwoorden. "Met name in de opstartfase als de vraag naar LNG nog niet zo groot is, kan het kwaliteitsprobleem opspelen. De vraag is of je dan nog dezelfde prijs voor een kilogram LNG kunt vragen als de verbrandingswaarde lager is. Samen met door DNV GL uitgevoerde testen en metingen beoogt dit project daarover inzicht te bieden."

voorraadniveaus, maar bijvoorbeeld ook met de rij- en rusttijdenwet voor de chauffeurs van de tankauto's en de vastgelegde lostijden bij tankstations. "In sommige vergunningen is bijvoorbeeld opgenomen dat we alleen 's nachts mogen bevoorraden", licht Boender toe. "Op die manier komen we met gemak tot tien of twaalf variabelen per station. Dat betekent dat met elk extra station het aantal opties enorm toeneemt."

Rob Nijland, student Technische Bedrijfskunde aan de Rijksuniversiteit Groningen heeft als afstudeeropdracht op basis van slimme algoritmes

een model voor de bevoorradsingsplanning opgezet. "Dat moest een schaalbaar model worden. We zijn begonnen met vier tankstations die vanuit twee LNG-terminals werden bevoorrad, maar het model moet ook werken met vijftien tankstations en drie terminals." Boender is blij met het resultaat. "Nijland heeft met zijn model een mooie basis gelegd, waarop we nu verder kunnen bouwen. Uiteindelijk willen we een hele praktische tool die ons helpt om kosten te besparen. Op dit moment levert de tool beperkt voordeel op, maar dat komt omdat we al een vrij goed rondje langs alle tankstations maakten. Met elk extra tankstation neemt het voordeel echter snel toe."

Implementatie: Bevoorradsings- planning van Rolande LNG

INZICHTEN UIT LNG BUSINESS CASES

Investeren in LNG-transport: betere beslissingen met betere informatie

Een goede infrastructuur met voldoende LNG-tank- bunkerstations betekent niet automatisch dat investering in een LNG-truck of -schip ook altijd lonend is. Veel hangt af van de brandstofkosten, en die zijn weer afhankelijk van een groot aantal factoren waaronder de af te leggen routes. Slimme rekenmodellen stellen bedrijven in staat om beter geïnformeerde beslissingen te nemen, die, in theorie althans, opvallend vaak doorslaan naar LNG.

In de scheepvaart is de drempel om op LNG over te stappen hoog. De aanschafkosten van een schip met LNG-motor zijn ongeveer een kwart hoger dan van een conventioneel schip. De vraag is of rederijen die extra investering kunnen terugverdienen. "Dat lukt alleen de besparing op brandstofkosten tijdens de exploitatiefase groter is dan de extra aanschafkosten. Dat betekent dat rederijen lang vooruit moeten kijken", vertelt Jan Eise Fokkema, promovendus aan de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). Hij heeft voor zijn afstuderen een model ontwikkeld dat uitrekent wanneer een overstap op LNG interessant is.

Fokkema legt uit dat rederijen de keuze hebben uit drie brandstoffen. De meest gangbare brandstof is heavy fuel oil (HFO), die niet alleen goedkoop maar ook zwaar vervuilend is. Minder belastend voor het milieu, maar tevens een stuk duurder, is marine gas oil (MGO), een bewerkte variant waarvan het zwavelgehalte is verlaagd. LNG tenslotte is de minst vervuilende variant. "De prijs van LNG wordt verwacht in ieder geval lager te zijn dan die van MGO en soms boven de prijs van HFO. De algemene verwachting is echter dat de prijs van LNG in de toekomst minder hard stijgt dan die van de andere twee brandstoffen. Dat betekent dat LNG op termijn mogelijk structureel goedkoper zal zijn."

Schakelen tussen brandstoffen

Er zijn een paar factoren die de rekensom van Fokkema nog ietwat complexer maken. De eerste factor is dat de schepen op meerdere brandstoffen kunnen varen. Ze kunnen onderweg overschakelen tussen HFO en MGO of omgekeerd. Als het schip ook op LNG kan varen, komt daar nog een derde optie bij.

Wat dit schakelen tussen brandstofsoorten bijzonder interessant maakt, zijn de 'emission controlled areas' (ECA's) die op 1 januari 2015 zijn ingesteld. Dat zijn zones waarin de grenzen zijn gesteld aan de uitstoot van zwavel. Dat betekent concreet dat schepen in deze zones niet op het vervuilende HFO mogen varen, maar wel

op LNG en MGO. Ook in de Noord- en Oostzee zijn dergelijke zones aangewezen. "De verblijftijd van de schepen in deze zones heeft dus een impact op de investeringsbeslissingen. Hoe vaker een schip door een ECA vaart, hoe aantrekkelijker het is om op LNG over te stappen", verklaart Fokkema.

Kansberekeningen

Maar zelfs als een schip altijd dezelfde route aflegt en dezelfde ECA's passeert, verschilt de verblijftijd keer op keer. Afhankelijk van weer en wind doet een schip de ene keer misschien 150 uur over het doorkruisen van een ECA, de volgende keer 200 uur. "Daarom hebben we heel veel bestaande data over scheepsbewegingen geanalyseerd. Op basis van die data hebben we de verblijftijd in ECA's vertaald naar kansverdelingen. Wat is de kans dat een schip er 150 uur, 160 uur of 200 uur over doet? Met die gegevens zijn we vervolgens gaan rekenen", legt Fokkema uit.

De onderliggende keuzes mogen duidelijk zijn. Een conventioneel schip vaart binnen de zones op MGO en buiten de zones op HFO. Met een LNG-schip kan het - afhankelijk van de prijs - soms ook interessant zijn om buiten de zones op LNG te varen. "Vergeet daarnaast niet de beperkte capaciteit van de brandstoftanks. Als de HFO-tank leeg is, moet het schip ook buiten de zones overschakelen op MGO of LNG. Bovendien bestaat er een verschil in de calorische waarde per kilogram brandstof. Met andere woorden: een kilogram LNG zorgt voor betere prestaties dan een kilogram HFO."

Halvering van brandstofkosten

Fokkema heeft een groot aantal routes gesimuleerd bij vijf realistische prijsscenario's van HFO, MGO en LNG. Alle prijsscenario's lieten in ieder geval één duidelijke uitkomst zien: de brandstofkosten van een LNG-schip zijn altijd lager dan bij een traditioneel schip. Eén prijsscenario leverde zelfs een halvering van de brandstofkosten op. Gelet op de totale exploitatiekosten - dus inclusief kosten voor aanschaf, bemanning, verzekering, etc. - sloeg de weegschaal bij drie van de vijf prijsscenario's uit in het voordeel van LNG-schepen. "Daarbij past de opmerking dat de kostenvoordelen ongelijk over de exploitatiefase zijn verdeeld. De eerste jaren zal een LNG-schip relatief duur blijven, vooral in de laatste jaren wordt de hogere aanschafprijs terugverdiend", legt Fokkema uit. Hij adviseert rederijen niet alleen met de huidige brandstofprijzen te rekenen, maar ook rekening te houden met de toekomstige prijsontwikkelingen. Als ze dat advies in de wind slaan, lijkt een LNG-schip al gauw - vaak onterecht dus - geen goede investering.

Een verdere analyse leert nog iets anders: als Fokkema gaat rekenen met versterkte of verzwakte varianten van de prijsscenario's, blijkt telkens dat de exploitatiekosten van LNG-schepen minder hard stijgen dan die van traditionele schepen. Dezelfde conclusie kan worden getrokken als schepen door weer of wind sneller of langzamer varen en dus meer of minder lang in ECA's verblijven. "LNG-schepen zijn dus minder gevoelig voor fluctuaties in brandstofprijzen en in vaartijden. Dat betekent dat de exploitatiekosten beter voorspelbaar zijn, een belangrijk punt voor veel scheepseigenaren."

Beter geïnformeerd

Fokkema is tevreden over de uitkomsten van zijn onderzoek. Zijn model is vernieuwend in de wijze waarop variabele routeprofielen en verschillende prijsscenario's zijn meegenomen. Dat geeft de discussie over LNG meer diepgang. Het stelt rederijen in staat om beter geïnformeerde investeringsbeslissingen te nemen. "Op basis van de scheepsbewegingen van een rederij kunnen we per route uitrekenen wat de beste keuze is: een schip met of zonder LNG-motor laten bouwen."

Fokkema maakt echter één voorbehoud: de voorspellingen die zijn model opleveren, kloppen alleen als de schippers in de praktijk de juiste brandstofbeslissingen nemen en op het juiste moment overschakelen. "Maar ook daarover kan dit model in principe advies geven."



Spin-off:

Wel of niet investeren in LNG-trucks

Adoptie van nieuwe technologieën en brandstoffen zoals LNG in het wegtransport is allesbehalve vanzelfsprekend. Rolande LNG heeft geprobeerd die conservatieve houding te doorbreken met LNG4Haul, een project dat mede is gefinancierd door de Europese Unie. Tijdens het project heeft de exploitant van LNG-tankstations met behulp van boordcomputers een grote hoeveelheid data van 67 LNG-trucks verzameld. Die data zijn geanalyseerd door Rijksuniversiteit Groningen (RUG). "Dat heeft veel nieuwe inzichten opgeleverd, die transporteurs kunnen gebruiken om betere beslissingen over investeringen in LNG-trucks te nemen", stelt Jolon van der Schuit, ceo van Rolande LNG. De verzamelde data betreffen de cijfers over de prestaties en het rijgedrag van de trucks en hun chauffeurs, denk aan het brandstofverbruik, de afgelegde afstand en de gemiddelde rijsnelheid. Daarnaast zijn gegevens verzameld over de uitgevoerde ritten, zoals het aantal stops en de beladingsgraad. "Hoe een truck exact wordt ingezet, bepaalt voor een groot deel hoe interessant het is om over te stappen op LNG. Het maakt een groot verschil of een truck vooral op de snelweg rijdt of veel in stedelijk gebied komt om bijvoorbeeld winkels te bevoorraden", verklaart Van der Schuit. Uit de data blijkt dat LNG-trucks tien tot vijftien procent minder brandstof verbruiken dan dieseltrucks. "Daarbij moet ik opmerken we alleen naar handgeschakelde LNG-trucks hebben gekeken omdat voertuigen met een

automatische versnellingsbak toen nog niet beschikbaar waren. Dat betekent dat de onderzochte LNG-trucks lang niet altijd met het optimale toerental reden. Eén van de adviezen was dan ook om chauffeurs te leren op het juiste moment te schakelen, zodat het voordeel van LNG niet teniet wordt gedaan. Maar ondertussen hebben vrachtautofabrikanten ook een LNG-truck met een automaat op de markt gebracht." Op basis van de data is een model gebouwd dat transporteurs inzicht geeft in de 'total cost of ownership' van LNG-trucks voor hun specifieke situatie. "Rolande LNG is onderdeel van de Schouten Groep, waarvan ook de grootste IVECO-dealer van Nederland onderdeel is. Wij hebben tankstations en verkopen trucks en hebben daarmee de middelen in handen om de kip-en-ei situatie te doorbreken", stelt Van der Schuit. "Of het gelukt is om transportbedrijven te overtuigen in LNG te investeren? Mondjesmaat. Er rijden nu naar schatting 400 LNG-trucks rond in Nederland op een totale vloot van circa 100.000 trucks. De grote doorbraak moet dus nog komen. Veel transportbedrijven zijn behoorlijk merken-trouw, terwijl nog maar twee merken LNG-trucks leveren: Iveco en Scania. Wij merken dat het vaak eenvoudiger is om de opdrachtgevers van transportbedrijven te overtuigen. Bedrijven als Ahold en Unilever willen graag hun transportactiviteiten verduurzamen. Als die om LNG-trucks vragen, gaat de transitie veel sneller."

INTERNATIONALE CONTEXT

Nederlands onderzoek naar LNG leidt tot internationale spin-off

De inzet van LNG als brandstof voor de scheepvaart en het zware wegtransport is niet alleen een Nederlands thema. In heel Europa ontstaan, mede met behulp van kennis en ervaring uit Nederland, initiatieven op dit gebied. Een voorbeeld daarvan is het project van de Duitse deelstaten Noordrijn-Westfalen en Nedersaksen, dat toewerkt naar een netwerk met zes LNG-tankstations in het grensgebied met Nederland.

Nederland loopt in Europa voorop met de transitie naar LNG als brandstof in de maritieme- en transportsector. Misschien niet eens zozeer in het gebruik van deze brandstof, maar dan wel in de wijze waarop deze transitie door bedrijven, overheden en kennisinstellingen gezamenlijk is opgepakt. Dat is ook elders niet onopgemerkt gebeven. Uit heel Europa komen bedrijven en instanties naar Nederland om lering te trekken uit de kennis en ervaring die hier is opgedaan.

Het meest concrete voorbeeld daarvan is LNG Pilots, een grensoverschrijdend project waarin de Duitse deelstaten Noordrijn-Westfalen en Nedersaksen samen optrekken met Nederland. Doel is om in de Duitse grensregio - in aansluiting op het Nederlandse netwerk - eveneens een infrastructuur van LNG-tank- en bunkerstations op te zetten. Het gaat om een zogenoemd INTERREG A-project dat in totaal 6,7 miljoen euro kost, waarvan de Europese Unie 4,15 miljoen subsidieert. Het initiatief voor dit project komt om eerste instantie uit Noordrijn-Westfalen, vertelt projectcoördinator Ingrid Klinge van Energy Valley. "Duitsland had toen helemaal niets op het gebied van LNG. Noordrijn-Westfalen heeft daarom Nederland gevraagd om dat te helpen opzetten. Nedersaksen heeft zich later daarbij aangesloten."

20 partijen uit Nederland

De Duitse regering heeft in 2015 besloten meer vaart achter de transitie naar alternatieve brandstoffen te zetten. Dat heeft onder meer geleid tot de oprichting van een taskforce die vanuit Berlijn opereert. Volgens Klinge is het echter cruciaal dat ook op deelstaat- en op lokaal niveau initiatieven ontstaan. "Dat is het niveau waarop straks bijvoorbeeld vergunningen voor LNG-tankstations worden afgegeven. Ook op dat niveau is dus kennis en ervaring nodig."

LNG Pilots is het vervolg op een veel kleiner project uit 2014 waarin voornamelijk de kansen voor LNG zijn onderzocht. "Dat heeft duidelijk laten zien dat zowel vanuit Duitsland als Nederland interesse bestaat om gezamenlijk een LNG-netwerk op te zetten. Bij dit project hebben zich inmiddels 36 partijen aangesloten, waaronder maar liefst 25 kleine en middelgrote bedrijven. Van die 36 partijen komen er 20 uit Nederland", licht Klinge toe.

In november 2016 was de officiële kick-off van het project, dat officieel loopt tot de zomer van 2019. "Het project heeft echter nu al een behoorlijk grote spin-off", aldus Klinge.

Parelketting

Het project bestaat in totaal uit vijf werkpakketten. In één werkpakket staat technologische innovatie centraal. Denk bijvoorbeeld aan het ontwerp van gebruiksvriendelijke tankstations en de ontwikkeling van robotvulsystemen en lichtgewicht LNG-tanks. Andere werkpakketten zijn gericht op bioLNG, op kennisoverdracht of op de financiële, economische en juridische randvoorwaarden.

Ook aan logistieke vraagstukken is een werkpakket gewijd. De aandacht gaat daarbij uit naar de optimale locatiekeuze voor LNG-tankstations. "In dat werkpakket speelt Rijksuniversiteit Groningen een belangrijke rol. Het uiteindelijke doel is om een parelketting van LNG-tankstations te realiseren", vertelt Klinge.

Die parelketting moet het Roergebied verbinden met de monding van de Eems. Voor een deel van de parels bestaan al concrete plannen. "In Duisburg wordt nagedacht over een bunkerstation voor binnenvaartschepen. Nu wordt onderzocht of dat station ook kan worden ingezet als tankstation voor vrachtauto's. Daarnaast bestaan er plannen voor een bioLNG-fabriek in de buurt van Hünxe aan de snelweg tussen Arnhem en Oberhausen, die eveneens als tankstation zou kunnen dienen. Dan zijn er nog plannen voor een derde tankstation in Dörpen, net over de grens bij Groningen", weet Klinge.

In totaal moeten er zes LNG-tankstations verrijzen. "De vraag is echter of die allemaal op de lijn tussen het Roergebied en de haven in Emden moeten komen. De RUG gaat dat onderzoeken, samen met het Gas- und Wärme-Institut in Essen."

Wakker geschud

De discussie over LNG heeft in Nedersaksen en Noordrijn-Westfalen al tot flink veel beweging geleid, zegt Klinge. "Daaronder zijn veel kleinschalige initiatieven. Neem een Duitse worstfabriek die klimaatneutraal wil produceren en zijn vrachtauto's wil laten rijden op de zelf geproduceerde biogas. Er zijn ook andere LNG-projecten opgestart, onder meer gericht op de productie van bio-LNG en de technologie van LNG-schepen. Duitsland is flink wakker geschud wat de mogelijkheden van LNG betreft."



RESULTATEN

Wetenschappelijke artikelen

2015

- Ghiami, Y., Van Woensel, T., Christiansen, M., Laporte, G. (2015), A combined liquefied natural gas routing and deteriorating inventory management problem, accepted for conference proceedings submitted to the 6th International Conference on Computational Logistics (ICCL'15) "Coordination for Real-Time Logistics" September 23-25, 2015 in Delft, The Netherlands
- Huang, J. and Ursavas, E., Locating Liquefied Natural Gas Flow Refueling Facilities for Short Sea Network, working paper, University of Groningen
- Ursavas, E., Designing the liner shipping network considering variable bunker consumption rates and soft-delivery time windows using a column-based heuristic, working paper University of Groningen

2016

- Stevens, L., Vis, I.F.A. (2016), Port Supply Chain Integration: a Qualitative Analysis of the Biofuel Supply Chain, Maritime Policy & Management 43(3), 261-279
- Thunnissen, S., Van de Bunt, L. and Vis, I.F.A. (2016), Sustainable Fuels for the Transport and Maritime Sector_a blueprint of the LNG distribution network, in H. Zijm, M. Klump, U. Clausen and M. Ten Hompel (eds.), Logistics and Supply Chain Innovation: Bridging the gap between theory and practice, 85-103, Lecture Notes in Logistics, Springer
- Schneider, R. and Vis, I.F.A. (2016), Maritime location decisions for LNG bunkering facilities, to appear in Progress in Material Handling Research: 2016
- Post, R.M., Buijs, P., Lopez Alvarez, J.A., uit het Broek, A.J., Szrbik, N.B. and Vis, I.F.A. (2016), A solution approach for deriving alternative fuel station infrastructure requirements, Flexible Services and Manufacturing Journal, to appear
- Fokkema, J.E., Buijs, P. and Vis, I.F.A. (2016), An investment appraisal method to compare LNG fueled and conventional ships, working paper, University of Groningen

Rapporten

2013

- Energy Valley: Masterplan LNG

2014

- Groningen Seaports: Quick scan LNG; Mogelijkheden voor het faciliteren van een LNG hub terminal in de Eemshaven of Delfzijl

2015

- Young Advisory Group: Feasibility study LNG terminal Eemshaven – A quick scan
- Young Advisory Group: Feasibility study LNG terminal – part 2
- Rabobank Sectorverkenning LNG (een verwijzing naar de blauwdruk zoals opgeleverd in dit project)
- Dam, J.A.M., Dynamische modellering van een LNG transfer installatie, TU Eindhoven

2016

- Lopez Alvarez, J.A., Buijs, P. Scheduling policies for transfer jetty at Gate's break-bulk terminal, University of Groningen
- Dam, J.A.M. Detailmodellen voor LNG transfer in een LNG vulstation, TU Eindhoven
- Dam, J.A.M. Transport gelimiteerd fasenevenwicht voor LNG mengsels, TU Eindhoven

Selectie van presentaties

2013

- Vis, I.F.A.: "Ontwerp van LNG netwerken" @ LNG taskforce meeting
- Vis, I.F.A.: "Grootschalige toepassing van LNG komt steeds dichterbij" @ Algemene ledenvergadering NOVE

2014

- Presentaties in kader blauwdruk @ o.a. RWS seminar "LNG heeft de toekomst", VNAB meeting in Rotterdam, Rondetafel sessies, Taskforce LNG Noord Nederland, EVO en Dinalog Year Event
- Vis, I.F.A.: "Planning of transportation and replenishment operations in LNG networks" @ IIE Annual Conference and Exposition 2014

- Smit, T. : "LNG in de Groninger zeehavens" @ Nationaal-LNG-platform
- Vis, I.F.A.: "Design of LNG Networks" @ 3rd Annual Natural Gas Vehicles Europe Conference & Exhibition

2015

- Buijs, P.: "Design of LNG Networks" @ Nationaal LNG platform
- Ghiami, Y., Van Woensel, T., Christiansen, M., Laporte, G.: "An inventory routing problem for liquefied natural gas distribution system" @ POMS 26th Annual Conference, May 7-12, 2015 in Washington D.C., USA
- Smit, T. en Buijs, P.: "Small-scale LNG infrastructure development in the Ems Dollart Region" @ 4th Small Scale LNG Forum

2016

- Buijs, P.: "Logistieke uitdagingen in small scale LNG", @ LNG Energy Day, June 30
- Buijs, P.: "LNG: Logistics of (Natural) Gas". Presentation for delegation Litouwen, June 27
- Ghiami, Y.: "An adaptive large neighbourhood search heuristic for an inventory routing problem for liquefied natural gas distribution" @ EURO 2016, Poznan
- Presentaties tijdens COPE congres als afsluiting van het project
- Schneider, R. en Vis, I.F.A.: A maritime flow capturing facility location problem, poster presentation @ International Material Handling Colloquium

Bachelor en Masterscripties

2014

- Kolkman, R.: Comparing Different LNG Bunkering Solutions Given Various Demand Scenarios, Master Technology and Operations Management, University of Groningen
- Post, R.M.: Joint Evaluation of LNG road infrastructure development and potential user adoption in The Netherlands: A fuel station density based simulation approach, Master Industrial Engineering and Management, University of Groningen

2015

- Fokkema, J.E.: Modelling voyage specific fuel type decisions under probabilistic fuel prices and ECA presence, Master Technology and Operations Management, University of Groningen
- Moldovan, M.: Economic and strategic evaluation of an investment in LNG propulsion technology and proposed changes on the business environment, Master Technology and Operations Management, University of Groningen
- Schutter, L.: A feasibility study and economic impact analysis of containerized LNG as fuel for inland container vessels, Master Industrial Engineering and Management, University of Groningen
- Huang, J.: Locating Liquefied Natural Gas Flow Refueling Facilities for Short Sea Network, Bachelor Econometrics and Operations Research, University of Groningen

2016

- van Duren, D.: Utilizing Liquefied Natural Gas as Marine Fuel in Liner shipping, Master Technology and Operations Management, University of Groningen
- Jongen, T.: Flexible Location-Allocation model extension for the strategic placement of LNG facilities, bachelor Econometrics and Operations Research, University of Groningen

In de pers

2013

- Logistiek.nl: Groningse hoogleraar Iris Vis onderzoekt kansen LNG
- Logistiek.nl: Groen licht voor diverse innovatieprojecten
- Eemsdeltakringen: Steun wetenschap overgang transportsector
- Pompshop: Steun wetenschap overgang transportsector
- Groningen Seaports Nieuws: De logistiek voor nieuwe brandstoffen
- Dinalog.nl: RuG en Dinalog helpen transportsector aan duurzame brandstof
- Logistiek (printed version): Snellere acceleratie naar (Bio-)LNG met wetenschappelijke ondersteuning
- Bijdrage P. Cnubben: Gate terminal groeit uit tot een LNG-hub



- Profnews Zakelijk Nieuws: Bio-Lng brengt uitdagingen met zich mee voor transportsector
- Video-interview in UniFocus met I.F.A. Vis: Sustainable transport
- I.F.A. Vis in Opinie: Overstap naar grootschalig gebruik van LNG gouden kans voor Nederland
- LogistiekNL: Snelle acceleratie naar BioLNG met wetenschappelijke ondersteuning
- Bijlage de Telegraaf, ISSUU - Innovatievermobiliteit nov2013: Benzine en diesel blijven overheersen
- Eemsdelta Kringen: GDF Suez; Eemshaven ideale plaats voor introductie LNG
- Logistiek.nl: Amsterdamse haven opent tanklocatie voor LNG
- Leeuwarder Courant: Overstap naar LNG is een gouden kans
- NOVE Visie: Veranderingen in brandstofmix komen steeds dichterbij

2014

- Pompshop: Gezocht, deelnemers aan energieonderzoek
- GroengasNL: Amsterdamse haven opent tanklocatie LNG
- Eemsdelta kringen: EU steunt LNG-initiatief
- Leeuwarder Courant: Eemshaven knooppunt voor LNG
- Logistiek.nl: Shell, volvo en Sita slaan handen ineen voor LNG
- Ommelander Courant: Eemshaven volgend jaar LNG scheepstankstation
- Eemsdelta kringen: Subsidie voor LNG schip
- Themanummer '95': mobiliteit en de toekomst: Truck van de toekomst_schoon, stil en zuinig
- Outline nummer 28: Interview met I.F.A. Vis; Logistiek energie en duurzaamheid

2015

- Maritiem Nieuws: Nederlandse en Duitse maritieme sector presenteren LNG projecten aan Koningspaar
- Engineersonline_Nederlandse en Duitse maritieme sector presenteren LNG-projecten aan Koningspaar
- RugNews_Onderzoek duurzame distributie van LNG toegelicht aan Koninklijk paar

- GroningerInternetCourant: Mijlpaal voor Groningse havens_eerste zeeschip volledig op LNG
- Dagblad van het Noorden: Gasunie en Gazprom werken samen aan LNG voor trucks en schepen
- Nieuwsblad Transport: Gasunie/Eemshaven in LNG onderzoek
- Persbericht ivm ondertekening Letter of Intent
- Eemsdelta Nieuws: Onderzoek naar LNG infrastructuur in Eemshaven
- NOVE visie: Twintig publieke LNG tankstations is mooie springplank

Bedrijfscommunicatie

2013

- Projectblad COPE brochure: Ontwerp van LNG-netwerken

2015

- LNG4LNG brochure Young Advisory Group
- Verslag bijeenkomst Regionale kansen én internationalisering voor LNG Nationaal LNG Platform

Onderwijsactiviteiten

2015

- Team project on LNG in course Foundations of Logistics Systems Engineering, Master Industrial Engineering and Management
- Student report Beesten en Hornstra, The Periodic Location-Routing Problem with facility expansion, Course OR Analysis of complex systems, master EORAS, University of Groningen
- Student report Heide and Kremers, A Genetic Algorithm for the LNG Network, Course OR Analysis of complex systems, master EORAS, University of Groningen

- Student report Wielema and Siepelina, Heuristic for the periodic Location Routing Problem with the possibility to upgrade depots, Course OR Analysis of complex systems, master EORAS, University of Groningen
- Student report Veenstra and Meijer, Periodic Location Routing Problem, Increasing Demand over Time, Course OR Analysis of complex systems, master EORAS, University of Groningen
- Student report Kroep and Lenting, A Metaheuristic for the Dynamic Multi-Period Location Routing Problem, Course OR Analysis of complex systems, master EORAS, University of Groningen

2016

- Vis, I.F.A., Lecture Course Port and Hinterland Logistics, Master of Global Management – supply Chain Management – Antwerp Management School
- Vis, I.F.A., Lecture PhD course Freight and Transport Management in Graduate program Operations Management and Logistics

Prijzen

2016

- Roel Post wint de derde prijs in the “Dutch Gas Industry Prize 2016 competition” met zijn master scriptie “Joint evaluation of LNG road infrastructure development and potential user adoption in the Netherlands”

Spin-off

2016

- Joint Industry Project Description RUG & DNV GL: Smart design of small-scale LNG value chains, taking boil-off gas and LNG quality aspects into account
- INTERREG VA project: LNG Pilots, Project for the development of innovative solutions for the transport sector

Partners



COLOFON

Dit verslag is een uitgave van de Rijksuniversiteit Groningen

SAMENSTELLING Projectteam Design of LNG Networks

TEKSTEN Marcel te Lindert

ONTWERP Mayola Dijkman

MEER INFORMATIE

[www.rug.nl/cope/projecten/eerdere-projecten/
ontwerp-van-lng-netwerken](http://www.rug.nl/cope/projecten/eerdere-projecten/ontwerp-van-lng-netwerken)

VRAGEN, OPMERKINGEN, SUGGESTIES?

Prof. dr. Iris F.A. Vis

Dr. ir. Paul Buijs

Rijksuniversiteit Groningen

Faculteit Economie en Bedrijfskunde

Postbus 800

9700 AV Groningen

Telefoon: 050 363 8556

E-mail: p.buijs@rug.nl

VERWIJZEN NAAR DIT RAPPORT?

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: De rol van logistiek in een duurzame en efficiënte LNG distributieketen, Eindverslag Dinalog R&D project Design of LNG Networks, Buijs en Vis (eds.), 2017, rapport Rijksuniversiteit Groningen.

Bij de samenstelling van dit overzicht is gestreefd naar de grootst mogelijke nauwkeurigheid in de opgenomen vermeldingen. De uitgever stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele (druk)fouten en onvolledigheden.

© 2017 Rijksuniversiteit Groningen