



Small scale LNG binnenvaart in
Provinciaal Actieprogramma
Luchtkwaliteit

Emissiereductie potentieel LNG retrofit
voor binnenvaart

Notitie

Delft, februari 2015

Opgesteld door:

M.B.J. (Matthijs) Otten
L.C. (Eelco) den Boer





1 Inleiding

In het project 'small scale LNG binnenvaart' binnen het provinciaal actieprogramma luchtkwaliteit is het de bedoeling twee schepen om te bouwen met het dual fuel LNG aandrijflijn.

Het ene schip is gedefinieerd als een 'high-end'-oplossing, waarbij een geheel nieuw systeem wordt aangeschaft inclusief een nieuwe motor. Het andere schip is gedefinieerd als een 'low-end'-oplossing, waarbij de oude motor wordt behouden en op de meest eenvoudige wijze de retrofit zal worden toegepast. De pilots dienen ervoor om meer inzicht te krijgen in de totale gebruikerskosten van twee uiterste varianten van LNG retrofit voor de binnenvaart, en daarnaast om meer inzicht te krijgen in de emissies van LNG dual fuel-motoren op schepen.

In deze notitie wordt een inschatting gemaakt van de emissiereductie door toepassing van retrofit dual fuel-systemen op bestaande schepen. Wat de werkelijk mogelijke reductie is zal uiteindelijk uit de pilots moeten blijken. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de reducties die bereikt kunnen worden door toepassing van LNG op grote schaal, waaraan deze pilot een bijdrage kunnen leveren.

2 Achtergrond LNG dual fuel

LNG is vloeibaar gemaakt aardgas, en heeft ten opzicht van gecompriemd aardgas (CNG) een relatief hoge energiedichtheid. LNG kan worden ingezet in gasmotoren, die enkel aardgas als brandstof gebruiken (otto-type motoren), of in dual fuel-motoren die een mengsel van diesel en gas als brandstof gebruiken. Dual fuel-motoren kunnen, indien gewenst, ook alleen op diesel draaien, maar niet alleen op LNG. De diesel is namelijk vereist voor de ontsteking van het brandstofmengsel. Het aandeel diesel in de dual fuel-mode kan variëren van 2 tot 80% van de totale brandstofconsumptie (gemeten op energie basis), afhankelijk van het motortype. Voor binnenvaartschepen wordt op dit moment aan concepten gewerkt met een LNG-aandeel van 70-98%.

De pilotprojecten richten zich op dual fuel-concepten voor bestaande schepen. Voordelen van dual fuel ten opzichte van monofuel voor de binnenvaart zijn:

- het schip is niet afhankelijk van LNG en kan ook op diesel varen, indien LNG niet beschikbaar is;
- de motor kan op diesel overschakelen om te voldoen aan een directe hoge vermogensvraag;¹
- ook bestaande dieselmotoren kunnen worden omgebouwd voor dual fuel toepassing.

Nadeel van dual fuel-motoren is dat toch nog diesel vereist is, waarmee de gebruikskosten en ook de emissies van CO₂, NO_x en PM₁₀ hoger zijn dan bij single fuel.

¹ Bij single fuel kan dit via LNG-elektrisch hybride technologie, waarbij de elektromotor extra koppel kan verzorgen. Deze technologie vraagt hogere investeringskosten.



3 Eigenschappen LNG dual fuel

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen twee belangrijke typen dual fuel-motoren (MARTINEK, 2011)

- Low pressure gas (LP) dual fuel: In dit systeem wordt LNG met lage druk (4-5 bar) met de luchtinlaat in de verbrandingskamer gebracht, waarna diesel als pilot fuel wordt geïnjecteerd en het mengsel wordt verbrand. De belangrijkste eigenschappen van Low pressure dual fuel zijn de volgende:

- lage NO_x-emissies;
- uitdaging om methaanslip² onder controle te houden;
- klimaatemissies afhankelijk van methaanslip;
- gevoelig voor de gaskwaliteit (methaannummer).

Bij low pressure motorensystemen is nog onderscheid te maken tussen dedicated dual fuel-systemen die minder dan 5% diesel nodig hebben (Wärtsilä, 2013) en systemen die uitkomen op een dieselverbruik van 20-30%. Aangepaste dieselmotoren vallen onder de laatste categorie. Het binnenvaartschip de Argonon is hiervan een voorbeeld:

- High pressure gas (HP) dual fuel: In dit systeem wordt na het onder druk brengen van inlaatlucht de LNG en diesel onder hoge druk (300-350 bar) aan de verbrandingskamer toegevoegd. De belangrijkste eigenschappen van Low pressure dual fuel zijn de volgende:
 - NO_x-emissies worden minder teruggebracht;
 - geen methaanslip;
 - klimaatemissies lager dan bij diesel;
 - niet gevoelig voor aardgaskwaliteit;
 - mogelijkheid om bestaande motoren om te bouwen (eenvoudige ombouw).

De high pressure gassystemen worden voornamelijk in de VS toegepast bij trucks.

Het LP dual fuel-systeem heeft als voordeel dat de NO_x-emissies, relatief tot diesel, laag zijn. Nadeel van het systeem is dat het moeilijker is de methaanslip te controleren. Het HP dual fuel-systeem heeft ten opzichte van diesel een beperkt lagere NO_x-emissie. Daar staat tegenover dat met methaanslip geen problemen zijn. (Noot: methaanslip veroorzaakt een hogere bijdrage aan klimaatemissies.)

In Tabel 1 is een schatting gegeven van de emissiereducties ten opzichte van de huidige motortechniek van binnenvaartschepen (CCR II). Voor LP dual fuel is onderscheid gemaakt tussen LP dual fuel met gemiddeld 5% dieselverbruik en systemen die werken met een gemiddelde mengverhouding van 20% diesel en 80% LNG. Voor de 2 LP dual fuel-technieken, die in de pilots worden toegepast, zijn in Tabel 1 ook de waarden gegeven die zijn toegepast in de berekeningen in Hoofdstuk 4 (Beste inschatting).

² Methaanslip wordt veroorzaakt door onvolledige verbranding van methaan.



Tabel 1 Emissiereductiepercentages dual fuel-modes t.o.v. huidige nieuwe motoren (CCR II)

	CO ₂ -eq.	NO _x	PM*	Bron
HP dual fuel	10-30%	30-45%	20-70%	Range o.b.v. (Westport, 2012), (TNO, 2013), (TNO & CE Delft, 2014), (MARTINEK, 2011), (Blythe, 2000)
LP dual fuel ~20:80 (Diesel: LNG)	0-10% (5%)**	40-60% (50%)**	20-95% (50%)**	Range o.b.v. (PON, 2012)/ 2014, (TNO & CE Delft, 2014), (MARTINEK, 2011), (Blythe, 2000)
LP dual fuel ~5:95 (Diesel LNG)	0-10% (5%)**	70-80% (75%)**	20-99% (75%)**	range o.b.v. (Wärtsilä, 2013), (TNO, 2013), (TNO & CE Delft, 2014), (MARTINEK, 2011), (Blythe, 2000)

* Vanuit de genoemde bronnen is het onduidelijk of er qua PM-emissies onderscheid is tussen HP dual fuel en LP dual fuel. Voor een LP dual fuel (20:80) binnenvaartschip is in **Ongeldige bron opgegeven**. 50% reductie gerapporteerd. Aangenomen is dat de PM-emissies van LP Dual fuel (5:95) dichterbij die van Lean burn gas engines liggen (80-100% reductie).

** Waarden tussen haakjes zijn gebruikt in de berekeningen: Beste inschatting CE Delft o.b.v. bronnen.

4 Emissiereductie pilotschepen

In het project 'small scale LNG' zullen twee schepen worden omgebouwd met een LP dual fuel-concept:

1. High-end pilotschip: Bij dit schip wordt de oude CCR 0-motor vervangen door een nieuwe dual fuel-motor. Het betreft een dedicated LP dual fuel systeem van Wärtsilä.
2. Low-end pilotschip: Bij dit schip wordt de bestaande CCR II-motor (relatief nieuw) behouden en wordt met de oude motor een retrofit naar dual fuel LNG toegepast.

In Tabel 2 zijn de emissiefactoren voor de twee LNG dual fuel-concepten gegeven op basis van de gemiddeld aangenomen reductiepercentages ten opzichte van CCR II-motoren (zie Tabel 1).

Tabel 2 Emissiefactoren LP dual fuel LNG op basis van CCR II-emissiefactoren (g/kWh)

Overzicht emissiekentallen (g/ kWh)	CO ₂ -eq (WTP)**	NO _x	PM ₁₀
CCR II (gemiddeld)*	763	6,0	0,20
LNG LP dual fuel (5:95)	725	1,5	0,05
LNG LP dual fuel (20:80)	725	3,0	0,10

* Waarde op basis van Taakgroep 2012. (TNO; RWS, 2012)

** Well-To-Propellor emissies: Voor WTP ten opzichte van Tank-To-Propellor is een opslagfactor van 1,24 toegepast op basis van JRC 2013. (JRC; CONCAWE; LBST, 2013).

Het high-end pilotschip heeft een motor uit 2000 (CCR 0) en een jaarlijks brandstofverbruik van 1.000 m³. Op basis hiervan zijn met behulp van de emissiefactoren (zie Tabel 3) de jaarlijkse emissies in de oude en nieuwe situatie berekend en daaruit volgend de jaarlijkse emissiereductie. Uit de berekening volgt dat jaarlijks 30 ton NO_x en 1 ton PM₁₀-emissies worden vermeden. Daarnaast wordt jaarlijks 436 ton CO₂-equivalenten broeikasgasemissies vermeden.



Tabel 3 Berekening jaarlijkse emissiereductie high-end pilotschip

	CO ₂ -eq. (WTP)	NO _x	PM ₁₀
Emissiefactoren oude motor(g/kWh)*	840	9,4	0,30
Emissiefactoren nieuwe dual fuel-motor(g/kWh)**	725	1,5	0,05
Emissies (ton jaar) oude motor	3.197	36	1,14
Emissies (ton jaar) nieuwe motor	2.761	5,7	0,19
Emissiereductie (ton/jaar)	436	30	1,0

* Emissies op basis van Taakgroep 2012. (TNO; RWS, 2012)

** Tabel 2.

Het low-end pilotschip heeft een CCR II-motor en een jaarlijks brandstofverbruik van 525 m³. Bij dit schip wordt door toepassing van dual fuel LNG jaarlijkse 84 ton CO₂, 7 ton NO_x en 0,2 ton PM₁₀ vermeden.

Tabel 4 Berekening jaarlijkse emissiereductie low-end pilotschip

	CO ₂ -eq. (WTP)	NO _x	PM ₁₀
Emissiefactoren oude motor(g/kWh)*	763	6,0	0,20
Emissiefactoren nieuwe dual fuel-motor(g/kWh)**	725	3	0,10
Emissies (ton jaar) oude situatie	1.678	13	0,44
Emissies (ton jaar) retrofit	1.595	7	0,22
Emissiereductie (ton/jaar)	84	7	0,2

* Emissies op basis van Taakgroep 2012. (TNO; RWS, 2012)

** Tabel 2.

5 Potentieel voor binnenvaart

De pilot 'small scale LNG' heeft tot doel voor de binnenvaartmarkt meer inzicht te geven in de overgang naar dual fuel LNG, qua kosten, gebruik en emissies. De pilots kunnen daarbij bijdragen aan grootschalige toepassing van dual fuel LNG in de binnenvaart. In dit hoofdstuk wordt ingeschat wat het potentieel aan emissiereductie is bij toepassing van dual fuel LNG op schepen waarvoor dit economisch aantrekkelijk is.

In een recente studie voor de Europese Commissie **Ongeldige bron opgegeven.**) is berekend dat retrofit LNG met name interessant is voor grotere motorschepen in de categorie 110 en 135 meter schepen. De grotere schepen gebruiken relatief veel brandstof per jaar, waardoor het mogelijk is de investeringskosten terug te verdienen. In Tabel 5 is opgenomen hoeveel schepen er in Europa zijn die binnen de twee bovengenoemde categorieën vallen en wat naar schatting het totaal jaarlijks verbruik aan de motor is van deze schepen.

Tabel 5 Potentieel aantal schepen voor dual fuel LNG en bijbehorend verbruik aan de motor

	110 m, 2.750 t, 1.178 kW	135 m, 5.600 t, 2.097 kW	Totaal
Aantal schepen	1.824	223	2.047
Totaal vermogen potentieel retrofit (MW)	2.149	468	2.616
Draaiuren ³	4.500	4.500	4.500
Verbruik aan de motor (GWh/jaar)	3.840	836	4.676

Om het potentieel van dual fuel te berekenen is verondersteld dat al deze schepen overgaan op dual fuel LNG. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde levensduur van 30 jaar voor motoren en een revisie na 15 jaar. Binnen een periode van 15 jaar worden motoren dan ofwel vervangen of er vindt revisie plaats. Aangenomen wordt dat motoren die een revisie ondergaan worden uitgerust met retrofit dual fuel LNG-systeem. Dit geldt voor motoren die tussen 2000 en 2015 zijn aangeschaft (voornamelijk CCR I en CCR II). Motoren die worden vervangen (ouder dan 2000) kiezen voor een nieuwe dedicated LNG-motor. Voor motoren die worden vervangen voor 2021 (we nemen aan 50% hiervan) is dit in plaats van een CCR II-dieselmotor. Voor de periode na 2021 gaan we er van uit dat dual fuel gasmotoren geen lagere emissies hebben dan andere motoren die aan de door de Europese commissie voorgestelde norm moeten voldoen vanaf 2021 (EC, 2014). De aannames zijn uitgewerkt in Tabel 6.

Tabel 6 Aannames emissiereductie door toepassen dual fuel LNG

	Revisie motor	Nieuwe motor
Aandeel binnen 15 jaar	50%	50%
LNG-scenario	Retrofit LNG	Dedicated LNG-motor
Verdeling totaal verbruik aan motor	2.338 MWh	1.169 MWh voor 2021, 1.169 zonder reductie
Emissiefactoren referentie-situatie	Gemiddelde CCR I en CCR II	CCR II voor 50% van motoren, fase 5 voor overige 50% (geen reductie met LNG)
CO ₂ -emissiefactor (g/kWh)*	763	763
NO _x -emissiefactor (g/kWh)*	7,6	6
PM ₁₀ -emissiefactor (g/kWh)*	0,25	0,2

* o.b.v. taakgroep 2012. (TNO; RWS, 2012)

Op basis van deze aannames zijn in Tabel 7 de berekeningen voor de totale emissiereductie weergegeven.

Wanneer alle schepen na 15 jaar zijn overgegaan op dual fuel LNG zullen de NO_x-emissies met 16 kton per jaar en de PM₁₀-emissies met 0,5 kton per jaar zijn afgenomen ten opzichte van een scenario waarin dual fuel LNG niet wordt toegepast. De jaarlijkse klimaatemissies worden gereduceerd met 178 kton CO₂-eq. In de jaren daarvoor zullen de jaarlijkse emissiereducties naar deze waarden toegroeien, met de toename van LNG dual fuel-systemen naar 100% van de doelgroep.

³ 4.500 uur per jaar is een lage schatting. Veel van de schepen op de Rijnvaart varen volcontinu à 6.000/jaar.



Tabel 7 Berekening jaarlijkse emissiereductie na 15 jaar door toepassen dual fuel LNG op grote schaal

	CO ₂ -eq.	NO _x		PM ₁₀	
	Retrofit/ Dedicated	Retrofit	Dedicated dual fuel LNG	Retrofit	Dedicated dual fuel LNG
Emissiefactoren referentiesituatie (g/kWh)	763	7,6	6,0	0,25	0,20
Emissiereductie door dual fuel (g/kWh)	38	4,6	4,50	0,15	0,15
Jaarlijks totaal verbruik aan motor (GWh/jaar)	4.676	2.338	1.169	2.338,00	1.169,0
Emissiereductie NO _x (kton per jaar)	178	11	5	0,4	0,2
Emissiereductie totaal dedicated en retrofit samen (kton/jaar)	178	16		0,5	
Relatieve reductie	5%	65%		64%	

* O.b.v. Taakgroep 2014 (Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, 2014)

Lokaal effect luchtkwaliteit in Rotterdamse gebied

Het aandeel van de NO_x- en PM₁₀-emissies van de 110 en 135 meter schepen is naar schatting (op basis van het model BIVAS) voor zowel NO_x als PM₁₀ 24% van de totale emissies NO_x- en PM-emissies.

Wanneer al deze schepen overgaan op dual fuel LNG zullen de totale NO_x-emissies van binnenvaart met 16% dalen de totale PM₁₀-emissies met 15%.

6 Conclusie

In deze notitie is een inschatting gemaakt van de CO₂, NO_x- en PM₁₀-reductie die bereikt kan worden door het toepassen van dual fuel LNG bij twee pilot binnenvaartschepen in de binnenvaart en voor de binnenvaart in het algemeen (zie Tabel 8). De reductie waarden zijn gebaseerd op verschillende aannames (best guesses) en moeten worden gezien als een indicatie voor de mogelijke reductie met dual fuel LNG. De totale emissiereductie voor de binnenvaart is gebaseerd op een inschatting van het aantal schepen waarvoor het economisch rendabel is om over te stappen van diesel naar dual fuel. De pilots zelf zullen meer inzicht gaan geven in de werkelijke emissiereducties die bereikt kunnen worden door dual fuel-motoren. De emissiereductie voor de totale binnenvaart zal daarnaast sterk afhangen van het aantal schepen dat daadwerkelijk overstapt op dual fuel LNG en de termijn waarbinnen dit gebeurt. Na 2021 wordt verwacht dat door nieuwe Europese emissie-eisen dual fuel-motoren niet veel voordeel meer zullen opleveren ten opzichte van andere motoren die aan deze eisen voldoen.

Tabel 8 Berekende emissiereducties

	CO ₂ -eq. (WTP)	NO _x	PM ₁₀
Emissiereductie high-end pilot schip (ton/jaar)	436	30	1,0
Emissiereductie low-end pilot schip (ton/jaar)	84	7	0,2
Emissiereductie Europese binnenvaart vloot na 15 jaar (kton/jaar)	178	16	0,5
Relatieve emissie reductie in regio Rotterdam door toepassen LNG op grote schaal in binnenvaart	-	16%	15%



7 Bronnen

Blythe, N.X., 2000. *Present and future emission prospects for diesel and natural gas fueled marine engines*. Houston, BF Goodrich, Fairbanks Morse Engine Divisions.

EC, 2014. *Proposal for a regulation of the European Parliament and the Council on requirements relating to emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery*, Brussels: European Commission (EC).

JRC; CONCAWE; LBST, 2013. *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European Context; Well-to-Tank (WTT) Report. Appendix 2, version 4*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

MARTINEK, 2011. *Further development of technology for operation on LNG*. Oslo, MARTINEK.

PON, 2012. *LNG Dual Fuel Inland Shipping : The Argonon in operation*. sl, PON Cat.

Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, 2014. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, Tables*, The Hague: Emissieregistratie.nl.

TNO & CE Delft, 2014. *Brandstoffen voor het wegverkeer : Kenmerken en perspectief*, Delft: CE Delft.

TNO; RWS, 2012. *EMS-protocol, Emissies door Binnenvaart: Verbrandingsmotoren, versie 4*, sl: Taakgroep Verkeer en Vervoer.

TNO, 2013. *Advies voor verduurzaming van de waterbusvloot*, sl: TNO.

Wärtsilä, 2013. *Forum Europäische Binnenschifffahrt Herausforderungen und Perspektiven, green inland shipping*. Duisburg, Wärtsilä.

Westport, 2012. *Natural gas in high horsepower engine applications*. Vancouver, Westport Innovations Inc.

