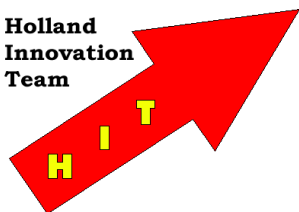


Holland
Innovation
Team



Productie en inzetbaarheid van Bio-LNG in de Nederlandse transportsector

Carbon-negatief vrachtvervoer op lokale brandstof vóór 2013



Auteur: Peter van der Gaag
Onderzoek: Nella Sapulette
Vormgeving: Erik Stenhuis

Voorwoord

Dit rapport is geschreven door Holland Innovation Team in opdracht van SenterNovem. De opdracht luidde: het uitvoeren van een studie naar mogelijkheden en praktijk van productie, inzet en infrastructuur van bio-LNG dat kan worden toegepast als transportbrandstof.

Voor deze studie is gebruik gemaakt van een breed scala aan openbare bronnen (met name internet), maar ook persoonlijke communicatie met deskundigen uit de internationale praktijk en informatie uit offertes.

De naam bio-LNG is aan het begin van de studie gekozen. Internationaal zijn ook andere namen in zwang, zoals LBG (liquefied biogas) en LBM (liquefied bio-methane). De laatste is eigenlijk het meest correct, maar we hebben de naam bio-LNG gehandhaafd, ook omdat steeds meer gesproken wordt over bio-SNG.

Bio-LNG blijkt een nieuwe sector die snel in ontwikkeling is. Dat geldt zowel voor de productie van biogas, de opwerking naar bio-methaan, de kleinschalige liquefactie van (bio)methaan, als de toepassing van (bio)LNG in voertuigen. Voor zover ons bekend is dit rapport het eerste waarin deze ontwikkelingen in hun samenhang worden beschreven.

De snel wisselende energieprijzen en valutakoersen zorgen voor onzekerheden in de berekeningen, omdat de diverse bronnen data van verschillende momenten gebruiken en dit niet altijd expliciet maken. Ook de processchaal is een belangrijke variabele. Er is zoveel mogelijk geprobeerd voor afwijkingen te corrigeren. Uiteindelijk dient echter elk mogelijk bio-LNG project opnieuw te worden doorgerekend met de lokale en actuele data.

Onze conclusie is dat bio-LNG een goed alternatief is voor de bekende biobrandstoffen. Het is de schoonste en naar energie-inhoud gemeten goedkoopste bio-brandstof. Er is een aanzienlijk productiepotentieel zonder dat de voedselketen daarbij behoeft te worden verstoord.

Het onderzoek werd begeleid door dr. Remco Hoogma, SenterNovem. De opdrachtgever deelt niet noodzakelijkerwijs de conclusies en standpunten van Holland Innovation Team (HIT).

Peter van der Gaag
Nella Sapulette
Erik Stenhuis

Inhoudsopgave

INLEIDING	5	
Probleemstelling	5	
Huidige situatie	5	
Voorwaarden	6	
De oplossing: bio-LNG?	6	
Opbouw van de voorliggende bio-LNG rapportage	7	
MILIEUVERGELIJKING FOSSIELE EN HERNIEUWBARE TRANSPORTBRANDSTOFFEN.....	8	
Fossiele brandstoffen	8	
Biobrandstoffen	10	
Vergelijking tussen renewables en fossiel	11	
PRODUCTIE (-KOSTEN EN -POTENTIEEL) VAN BIO-METHAAN.....	13	
Inleiding 13		
Groen gas: de Nederlandse verwarring	13	
Investeringskosten van biogasinstallaties	14	
Productiekosten van biogas	15	
Opbrengsten aan biogas (per ha)	16	
Kosten (operationeel en energie) van opwaardering naar bio-methaan	18	
Potentieel en mogelijke productieverhoging	21	
Conclusies	23	
BIOGAS, GROEN GAS, BIO-METHAAN, BIO-CNG, (BIO-)LNG.....	25	
Inleiding 25		
CNG (Compressed Natural Gas)	25	
Biogas- groen gas – bio-methaan	25	
Compressed bio-methaan = bio-CNG	27	
LNG (Liquified Natural Gas)	28	
Bio-LNG30		
Evaluatie en conclusies	30	
PRODUCTIE(KOSTEN) VAN LNG EN BIO-LNG.....	32	
Inleiding 32		
Het proces	32	
SSL (Small Scale LNG plant) en technologie	34	
Locaties van SSL-fabrieken	34	
Kosten van small scale liquefaction	35	
Opwaardering van bio-methaan naar bio-LNG	37	
Conclusies	41	
GEBRUIK VAN CNG EN LNG IN DE TRANSPORTSECTOR.....	42	
CNG 42		
LNG voor vrachtauto's	43	
LNG voor haventrucks in de VS	45	
Gebruik van LNG in de scheepvaartsector	46	
Andere toepassingen van LNG in scheepvaart	48	
LNG in de luchtvaart	49	
CNG-, LNG- EN GECOMBINEERDE LCNG-TANKSTATIONS.....	51	
Inleiding 51		
CNG virtuele pijpleidingen	51	

LNG-stations	52
Gecombineerde LCNG-stations	54
Combinatie van een liquefaction plant en LNG tankstations	55
Menging van bio-LNG bij LNG, afzet in scheepvaartsector	55
Evaluatie, conclusies en aanbevelingen	56
BUSINESS CASE VOOR BIO-L(C)NG IN NEDERLAND.....	57
Inleiding	57
Casus: Rotterdam	58
Wat zou een liter bio-LNG mogen kosten aan de pomp	59
Brandstofprijzen met accijnzen	60
Marges voor de keten (in vergelijking met kale prijzen)	60
Subsidies, SDE, biotickets	61
Evaluatie, conclusies en aanbeveling	62
CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	64
Conclusies	64
Aanbevelingen	67

INLEIDING

Probleemstelling

Nederland is een grote rivierdelta, waar de komende jaren een enorme toename te verwachten is van de mobiliteit. Voor onze grote containerhavens zijn de groei-prognoses fenomenaal, met alle gevolgen van dien.¹ De meeste containers worden hier direct uitgeladen en worden vervolgens zo snel mogelijk naar een plaats van bestemming in Europa getransporteerd. Een gedeelte echter moet eerst naar een van de vele distributiecentra worden getransporteerd, waar de goederen van dozen of andere vormen van verpakking worden voorzien.

Opgeteld zorgt deze toename van vrachtwagenbewegingen ervoor - naast het toenemende personenvervoer - dat de kwaliteit van de lucht in Nederland slecht is en transport een steeds groter aandeel heeft in de broeikasgasemissies. Scheepvaart is daarbij in Nederland verder ook een niet onaanzienlijke vervuiler.

De verwachting is dat met de uitbreiding van de Nederlandse havens en de vele miljoenen extra containers, de luchtkwaliteit in Nederland zonder drastische maatregelen niet aan de Europese normen (bijvoorbeeld voor fijn stof) zal voldoen. Een stijgende olieprijs legt bovendien druk op de marges in het vervoer. Dit alles vereist een koploperrol voor Nederland in het vinden van nieuwe oplossingen zoals een schone- en goedkope transportbrandstof.

Huidige situatie

In Nederland worden talloze plannen gemaakt die op vaak lange termijn iets aan de luchtvervuiling kunnen doen, gepaard gaande met hoge kosten en navenant hoge belasting voor de burgers en bedrijfsleven. Vaak zijn de projecten onzeker en de kosten onbekend. Bij onzekere kosten en ontbreken van tijdsplanningen is het stellen van concrete doelen op korte termijn onmogelijk. Nederland zoekt daarbij zoals de rest van de wereld naar schone- en niet-fossiele brandstoffen.

Biobrandstoffen leken de oplossing omdat deze hernieuwbaar zijn en omdat tenminste bio-methanol en bio-ethanol minder emissies tonen dan fossiele brandstoffen. Biobrandstoffen van de 'eerste generatie' concurreren echter met voedsel, terwijl producties van bio-ethanol en biodiesel van de 'tweede generatie' moeilijke chemische processen zijn met veel uitstoot van CO₂. De energie-efficiency van de tweede generatie biodiesel en bio-ethanol laat verder sterk te wensen over. Verder zijn deze tweede generatie biobrandstoffen in de komende 15 jaren nog onbetaalbaar. Dit geldt ook voor de nieuwe fossiele brandstoffen zoals GTL (Gas to Liquids), waar de energie-efficiency van het productieproces eveneens slecht genoemd mag worden.

De schoonste- en goedkoopste fossiele transportbrandstof is aardgas, waarvan wij in Nederland nog steeds een grote hoeveelheid hebben. Aardgas is echter fossiel en als gasvormige transportbrandstof minder geschikt dan vloeibare transportbrandstoffen als benzine en diesel. De vloeibare variant (LNG) is weliswaar schoner dan aardgas maar heeft als nadeel dat het vaak over lange afstanden getransporteerd moet worden, hetgeen de energie-efficiëntie (van de hele keten) vermindert.

¹ *Een prijs voor elke reis*, gezamenlijk advies van de Raad voor Verkeer en Waterstaat, de VROM-raad en de Algemene Energieraad, januari 2008, www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/Een%20prijs%20voor%20elke%20reis_tcm195-212125.pdf

Voorwaarden

HIT heeft voor de selectie van een hernieuwbare brandstof een kader opgesteld met een aantal criteria, die naar onze mening algemeen geaccepteerd kunnen worden.

1. De brandstof zal niet uit fossiele brandstof mogen worden geproduceerd maar hernieuwbaar moeten zijn.
2. De brandstof zal niet met behulp van fossiele brandstoffen mogen worden geproduceerd.
3. De brandstof zal schoner moeten zijn dan de fossiele transportbrandstoffen van nu zoals benzine, diesel, LPG of (in de toekomst) GTL.
4. In het productieproces van de brandstof zal - in overeenstemming met de Nederlandse doelstellingen - alle CO₂ moeten worden afgevangen, opgeslagen of hergebruikt (carbon negatief).
5. De geproduceerde brandstof zal – naar energie-inhoud en na verrekening van eventuele meerkosten voor voertuigen en distributie – maximaal even duur mogen zijn als de huidige vloeibare fossiele transportbrandstoffen.
6. De inzet in de transportsector zal binnen vijf jaar gerealiseerd kunnen worden.
7. Er zullen in deze tijd productie-eenheden moeten zijn geïnstalleerd.
8. Er zal een infrastructuur met tankstations zijn aangelegd voor de geselecteerde brandstof.
9. Er zullen voldoende gebruikers van de schone brandstof in de vervoersector moeten zijn.
10. Er zullen voldoende vervoersmodaliteiten van de geselecteerde brandstof gebruik kunnen maken.
11. De geproduceerde brandstof zal niet met de voedselmarkt mogen concurreren.
12. De geproduceerde brandstof zal de biodiversiteit niet aantasten.

De oplossing: bio-LNG?

Het is mogelijk om de luchtkwaliteit in Nederland binnen een termijn van 5 jaren sterk te verbeteren door in Nederland een werkelijk schone transportbrandstof te produceren en te gebruiken, die aan alle genoemde voorwaarden voldoet: vloeibaar bio-methaan.

Vloeibaar bio-methaan of wel bio-LNG is de schoonste- en goedkoopste biobrandstof en kan in Europa en ook in Nederland ruimschoots voldoende worden geproduceerd voor het halen van de doelstelling van 10% toepassing van biobrandstoffen in het wegtransport in 2020.²

Eenzijds is het productie proces van bio-LNG minder vervuilend dan productie van bio-ethanol en biodiesel en hoeft het op geen enkele manier met voedselproductie te concurreren, anderzijds stoot bio-LNG minder emissies uit dan deze twee brandstoffen. Vloeibaar bio-methaan is een hernieuwbare vloeibare biobrandstof die zelfs voldoet aan een van de belangrijkste (economische) voorwaarden, namelijk dat het goedkoper kan worden geproduceerd dan de fossiele brandstoffen diesel en benzine.

² Voorstel Europese richtlijn hernieuwbare energie, januari 2008

Opbouw van de voorliggende bio-LNG rapportage

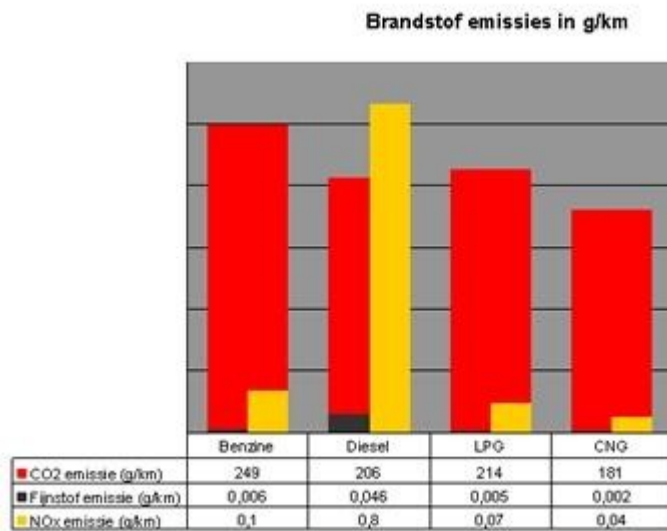
In het voorliggende rapport worden voordelen, productiewijzen, infrastructuur, toepassingsmogelijkheden, invoeringsbelemmeringen en mogelijke kansen voor Nederland beschreven. De opbouw is als volgt:

- hoofdstuk 2 vergelijkt milieuaspecten van de meest voorkomende fossiele- en hernieuwbare transportbrandstoffen;
- hoofdstuk 3 gaat in op het productieproces, kosten en potentieel van bio-methaan;
- hoofdstuk 4 gaat over de verschillende verschijningsvormen van bio-methaan: opgewerkt tot laag- of hoog-calorisch groen gas; distributie via het aardgasnet of afzonderlijk; gecompriemd of vloeibaar;
- hoofdstuk 5 behandelt het maken van LNG en bio-LNG, met het kostenplaatje;
- in hoofdstuk 6 worden toepassingen van CNG en LNG in de transportsector beschreven;
- tankstations voor CNG, LNG en combinaties komen aan bod in hoofdstuk 7;
- hoofdstuk 8 presenteert een business case voor productie en distributie van bio-LNG voor toepassing in de transportsector;
- conclusies en aanbevelingen staan in hoofdstuk 9.

MILIEUVERGELIJKING FOSSIELE EN HERNIEUWBARE TRANSPORTBRANDSTOFFEN

Fossiele brandstoffen

Er zijn verschillende transportbrandstoffen die door het verkeer kunnen worden gebruikt. In Nederland gaat het in meerderheid om fossiele brandstoffen als diesel, benzine, LPG en (in mindere mate) aardgas in gecomprimeerde vorm (CNG). Ook GTL zal in de nabije toekomst in beperkte mate beschikbaar komen. Bekend is dat de huidige fossiele transportbrandstoffen vervuilen, de voorraad hiervan eindig is en dat deze met de toekomstige olieschaarste steeds duurder worden. Hier volgt de uitstoot van de meest bekende fossiele brandstoffen van CO₂, NO_x en fijn stof.



Bron: www.fuelswitch.nl

Aardgas (met een hoog percentage methaan) is onder de vier fossiele, in Nederland meest gangbare, transportbrandstoffen zonder meer de schoonste brandstof. Omdat in methaan verhoudingsgewijs minder C-atomen zitten dan in benzine en diesel, is de CO₂-uitstoot bij verbranding lager en ook is er een reductie van de uitstoot van fijn stof in vergelijking met de verbranding van diesel en benzine. In tegenstelling tot Nederland wordt in het buitenland ook de vloeibare vorm van opgeschoond aardgas, LNG (Liquid Natural Gas) gebruikt als transportbrandstof. LNG is wereldwijd in opkomst vanwege:

1. grote vondsten van gas dan wel olie vergezeld door gas in landen waar geen gasinfrastructuur bestaat;
2. grote gasvondsten in de diepzee;
3. lokale affakkelgas plaatsen zonder infrastructuur van aardgaspijpleidingen.

LNG is schoner dan CNG omdat het uit tenminste 98% methaan bestaat, een hoger percentage dan de bekende soorten aardgas. LNG zou vanaf 2008 voor het eerst beschikbaar komen aan de Nederlandse pomp.³ Tegenstanders van LNG zien als nadeel dat er energie verloren gaat bij het vloeibaar maken en energie verloren gaat bij transport naar Nederland.

³ http://www.logistiek.nl/nieuws/id5551-Vos_Logistics_verkiest_gas_boven_diesel.html, 26 oktober 2007

Nieuwe synthetische vloeistoffen zoals GTL (Gas To Liquids) lijken aan een opmars bezig. GTL is een schone synthetische diesel. Wanneer echter het productieproces nauwkeurig wordt beschouwd, blijkt dit nog energie-intensiever dan het vloeibaar maken van LNG. Dit petrochemische proces stoot ook meer rookgassen uit. Berekeningen wijzen op 3 keer zoveel CO₂-uitstoot als bij het vloeibaar maken van aardgas tot LNG en tot meer dan 30% energieverlies in de keten⁴. De mening van een expert spreekt boekdelen over GTL:

Sir, The overall price for ostensibly cleaner fuels in one part of the world may be a significant environmental burden elsewhere, and possible energy options for the future should be subject to full lifecycle analysis. There are a number of myths relating to gas-to-liquid (GTL) fuels (report, May 12) and when thousands of tonnes a year of GTL-diesel reach our shores shortly, these imports will counter directly the UK's stated obligations to address global warming. The recent GTL developments are based on the availability of very low-priced natural gas (usually associated with oil production) that has no other commercially attractive outlet. This gas is usually burnt off, yielding carbon dioxide. The carbon footprint could be reduced significantly by reinjecting the gas into the hydrocarbon reservoir underground, but this costs money. The motivation for GTL production in the Middle East has nothing to do with an imminent decline in oil resources but has everything to do with maintaining the dominance of hydrocarbons in energy provision. The manufacture of GTL is extremely energy-intensive. In, say, a tonne of natural gas, almost 40 per cent is used for heating and electricity to convert the remaining 60 per cent to a liquid fuel.

Although use of GTL fuels is almost sulphur-free, the sulphur originally in the natural gas feed is disposed of in the producing country, along with traces of heavy elements in the catalyst used for sulphur removal. The real advances are in the efficient conversion of wood and other natural waste to syngas (hydrogen and carbon monoxide) for manufacture of biodiesel through the Fischer-Tropsch reaction already developed for GTL. This really would be "green" energy, capable of competing with other biofuel routes, such as ethanol from sugar and starch, and alternative biodiesel from vegetable oils, as well as newer developments from cellulose.

RICHARD PIKE, Chief Executive Royal Society of Chemistry (*The Times*, *Green Fuel Myths*, 16 Mei 2007).

Er rijden honderden miljoenen auto's rond op diesel en benzine. Er zijn inmiddels miljoenen auto's ter wereld die op vormen van aardgas rijden (CNG en LNG). Van de fossiele brandstoffen worden aardgas met een hoog methaangehalte en LNG algemeen erkend als de schoonste fossiele transportbrandstoffen. Hoewel deze fossiele brandstoffen niet voldoen aan de doelstelling die vooraf aan deze studie zijn gesteld (bladzijde 6), kunnen zij als schoonste fossiele brandstoffen goed dienen als referentiekader voor het selecteren van (nog) schonere biobrandstoffen.

LPG

Er ontstaat gauw verwarring tussen aardgas en autogas, en tussen vloeibaar aardgas en vloeibaar petroleumgas. Liquefied Petroleum Gas (LPG), in Nederland bekend als autogas, is een mengsel van gassen dat als restproduct bij olieraffinage ontstaat. Meestal gaat het om propaan en butaan. LPG heeft een s.g. van ongeveer 0,52 en wordt gebruikt in plaats van benzine. Omdat het minder vervuult dan diesel of benzine zit er op autogas een lage accijns, net als op aardgas (EB). De energiedichtheid van LPG t.o.v. diesel is ongeveer 0,65 terwijl die van LNG t.o.v. diesel 0,6 is. LPG is zwaarder dan lucht, in tegenstelling tot LNG dat bij lekkage onmiddellijk vervliegt. LPG vormt daarentegen bij lekkage een brandbare 'deken' over de grond, omdat het zwaarder is dan lucht. Daarom wordt LNG als **veilig** beschouwd dan LPG.

Er zijn wereldwijd ruim 10 miljoen LPG-auto's (data 2004)⁵ en dit aantal groeit gestaag. In Nederland is een uitgebreid netwerk van LPG-tankstations (ca. 1900) en groeit het aantal auto's weer na een jarenlange teruggang. 3% van het wagenpark rijdt op LPG.⁶ Dit betreft overwegend personenauto's. Rond de eeuwwisseling zijn er verscheidene projecten geweest om LPG te introduceren in het zware vervoer (stadsdistributie vrachtwagens, OV-bussen) maar deze hebben weinig succes gekend.

⁴ Voor uitgebreide informatie hierover leze men: http://students.chem.tue.nl/ifp23/interim_report/lng_gtl.html

⁵ Volgens <http://www.worldlpgas.com/gain/what-is-autogas-/global-autogas-statistics>

⁶ <http://www.bovag.nl/smartsite.shtml?id=62243>: LPG-installatie populair door stijgende brandstofprijzen (17 juli 2008)

Biobrandstoffen

Biobrandstoffen worden gepropageerd omdat fossiele brandstoffen eindig zijn en vervuילend, maar vooral omdat in het groeiproces van de biomassa gebruikt voor biobrandstoffen, door de gewassen CO₂ wordt opgenomen, zodat per saldo in de keten een CO₂-reductie optreedt. Er zijn verschillende biobrandstoffen; de voornaamste zijn bio-ethanol, biodiesel en biogas. Bio-ethanol ontstaat door omzetting van suiker of zetmeel (fermentatie). Biodiesel ontstaat door het vrijmaken van plantaardige olie uit oliehoudende gewassen zoals koolzaad of palmolie en vervolgens verestering. Biogas ontstaat door fermentatie van alle soorten biomassa en bijvoorbeeld dus ook uit voedselresten, landbouwgewassen, zuiveringsslib en stortplaatsen.

Er is commotie over biobrandstoffen, omdat productie van bepaalde biobrandstoffen zoveel fossiele brandstoffen (of eigen biomassa) kosten in de hele productieketen, dat er aan het rendement wordt getwijfeld. Over het algemeen wordt veel verwacht van biobrandstoffen van de tweede generatie, die van gewassen worden geproduceerd die niet met voedsel concurreren. Helaas is deze route nog verre van volmaakt en de kosten zijn voorlopig veel hoger dan de eerste generatie (2 tot 5 keer zo hoog). Het openbreken van lignocellulose teneinde er bio-ethanol van te maken is zo energie-intensief (met zoveel emissies gepaard), dat het rendement van deze route ernstig omlaag gaat. Verschillende experts wijzen de tweede generatie biodiesel en bio-ethanol dan ook af. Verwacht wordt dat de tweede generatie bio-ethanol niet voor 2020 op grote schaal operationeel zal zijn.⁷

Een andere tweede generatie biobrandstof is SNG (Synthetic Natural Gas). In het productieproces wordt biomassa in een thermo-chemisch proces (droog: voornamelijk hout) op hoge temperatuur (850 graden) vergast. In Oostenrijk en Zwitserland is veel ervaring met dit proces. Volgens een omvangrijk rapport uit 2007 door het Öko-instituut wordt een eerste fabriek zeker niet voor 2015 verwacht en wordt voor 2020 geen substantiële bijdrage verwacht van deze techniek.⁸ Opvallend is dat in genoemd rapport de bijdrage die in Nederland door deze techniek zou kunnen worden ingevuld als de laagste van alle EU-landen wordt ingeschat. Daar onze doelstelling is dat binnen enige jaren resultaten moeten zijn bereikt, wordt in het voorliggende rapport verder niet ingegaan op SNG en tweede generatie bio-ethanol en biodiesel, ook omdat de kosten bij introductie veel hoger zullen zijn dan benzine of diesel en ze daardoor niet aan onze voorwaarden zullen voldoen.

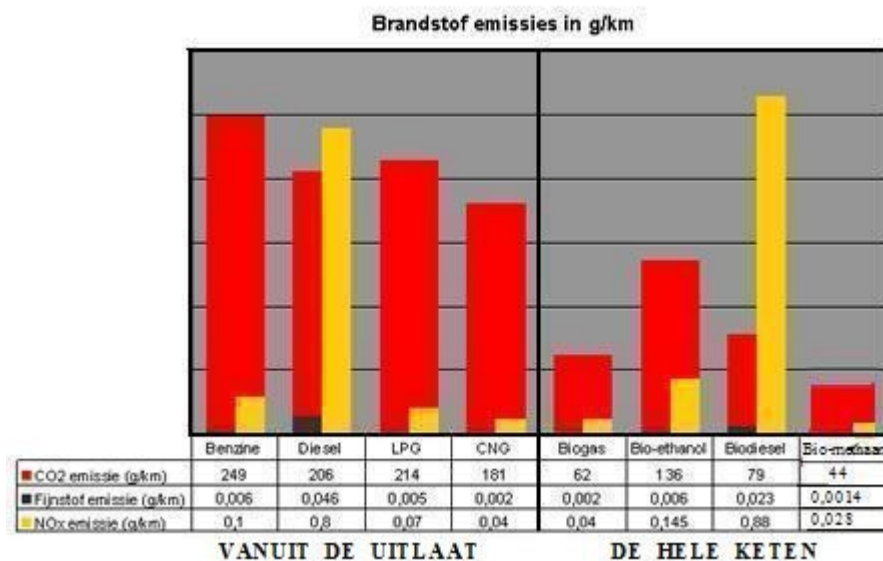
Vooraf in 2008 werd veel negatieve nadruk gelegd op de concurrentie tussen voedsel en biobrandstof. Holland Innovation Team is van mening dat het in tijden van voedselschaarste niet is aan te bevelen om voedingsgewassen te gebruiken voor productie van biobrandstoffen. Anderzijds is duidelijk dat bepaalde concepten van biobrandstoffen van de eerste generatie duidelijk beter dan de tweede generatie en zelfs carbon negatief kunnen zijn.⁹

De volgende figuur bevat een regelmatig gebruikt overzicht van de uitstoot (per km) van CO₂, NO_x en fijn stof uit de uitlaat voor de verschillende biobrandstoffen (ter vergelijking tevens de meest gangbare fossiele brandstoffen).

⁷ Rapport: Gaps in the research of 2nd Generation Transportation Biofuels, July 2008 (<http://www.ieabioenergy.com/LibItem.aspx?id=5955>)

⁸ http://assets.panda.org/downloads/oeko_instituut_2007_is_the_cdm_fulfilling_its_environmental_and_sustainable_development.pdf

⁹ New Energy Plus, June 2008



Bron: www.fuelswitch.nl¹⁰

Over de broeikasgasreductie die verschillende soorten van biobrandstoffen opleveren, bestaat veel commotie en circuleren veel uiteenlopende getallen. Ook omdat lokale omstandigheden, logistiek en productieprocessen nauwkeuriger worden bekeken dan die van fossiele brandstoffen, kunnen cijfers sterk uiteenlopen. Over een aantal zaken komt er echter steeds meer consensus.¹¹ Van de biobrandstoffen wordt inmiddels biogas met een hoog percentage methaan (bio-methaan) als schoonste beschouwd. Bio-methaan geeft veel minder emissies dan biodiesel en bio-ethanol. Als het gaat om broeikasgasemissies in de hele keten geeft met name bio-methaan uit natte mest een zeer grote reductie (>100%) doordat methaanemissies naar de lucht worden vermeden wanneer de natte mest wordt vergist.

Vergelijking tussen renewables en fossiel

Als voorbeeld van een vergelijking van de diverse brandstoffen waarbij niet alleen de hele keten maar ook lokale uitstoot wordt beschouwd, moge het onderstaande overzicht van de Californische organisatie CALSTART gelden.¹² Dit overzicht vergelijkt de hele route vanaf het produceren van de ruwe grondstof tot en met het verbranden in de transportsector. Over het algemeen wordt geaccepteerd dat van de fossiele brandstoffen, aardgas met een hoog methaangehalte (CNG; Compressed Natural Gas in de figuur) het best scoort. Het zal voor de lezer niet meer opvallend zijn dat GTL in dit overzicht – gezien energieverbruik en emissies – laag scoort. Op het gebied van biobrandstoffen scoort bio-ethanol weer veel beter dan biodiesel. Opvalt dat van de brandstoffen, biogas (inclusief land fill gas) naast brandstoffen als

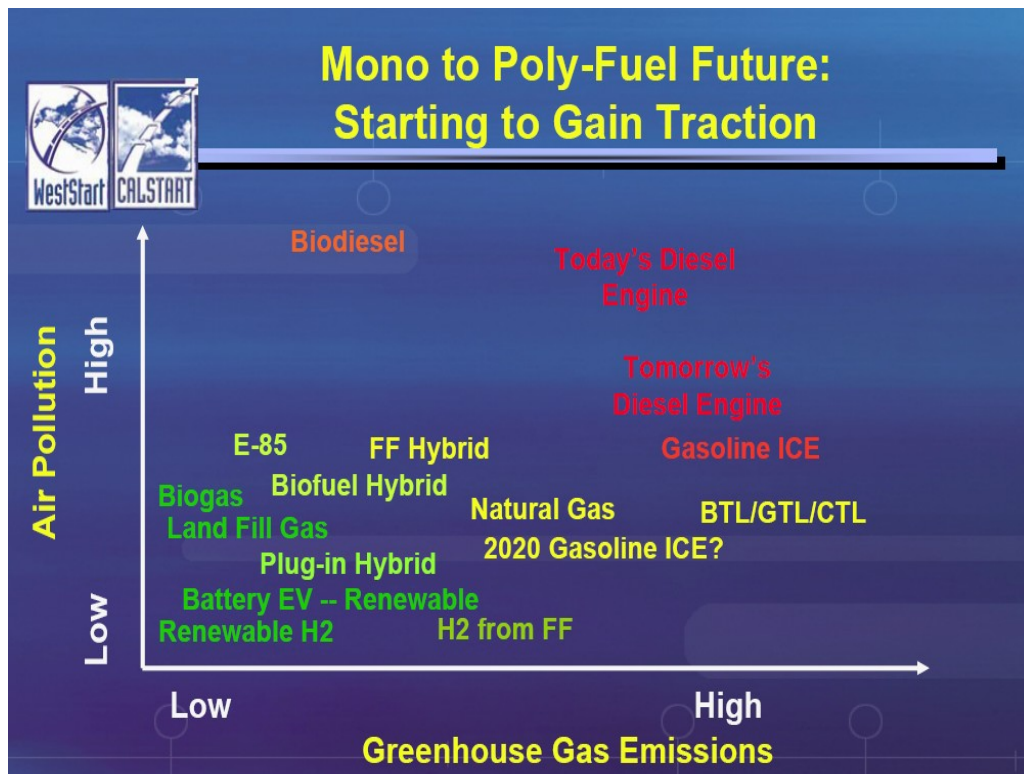
¹⁰ In paars aanvulling door Holland Innovation Team. Het Nederlandse biogas heeft een calorische waarde die gelijk is aan Slochteren aardgas, biomethaan heeft een calorische waarde die tenminste 30% hoger ligt. De uitstoot per km geeft dus een reductie van 30% per km (resp. 42, 0,0014 en 0,028).

¹¹ Zie bijvoorbeeld metastudie "VIEWLS: Clear Views on Clean Fuels, Data, Potentials, Scenarios, Markets and Trade of Biofuels", een project in het vijfde Kaderprogramma van de EU, <http://www.biomatnet.org/secure/FP5/F1685.htm>. Een andere vooraanstaande studie die deze conclusie ondersteunt is de Well-to-Wheel studie van JRC/CONCAWE/EUCAR, <http://ies.jrc.ec.europa.eu/wtw.html> (2006 update)

¹² <http://www.calstart.org/programs/chdvc/2007CHDV/WestStart-CALSTART.pdf>. "CALSTART is a non-profit organization that works with the public and private sectors to develop advanced transportation technologies and foster companies that will help clean the air, lessen our dependence on foreign oil, reduce global warming, and create jobs. Although headquartered in California, CALSTART addresses national and international issues related to clean transportation."

OPM: Weststart heet sinds februari 2008 CALSTART

waterstof en 'elektrische energie' het hoogst scoort. Bio-LNG zou zich tussen landfill gas en waterstof terugvinden.



Bron: CALSTART

Dit overzicht laat goed zien dat het productieproces van BTL/CTL/GTL vuil is, maar de brandstof schoon, terwijl de keten van biodiesel positiever is in het proces maar de lokale vervuiling bij biodiesel groter is dan de schoonste fossiele diesel.

Hoewel BTL (Biomass To Liquids) een biobrandstof is, is het de vraag of er voldoende economy of scale is te bereiken met de vereiste natte, lichte, en daardoor grote hoeveelheden biomassa. Het productieproces blijft verder even energie-intensief en vervuilend als dat van GTL.

Daar ons doel is de luchtkwaliteit ondanks de groei van de transportsector sterk te verbeteren, zullen we ons concentreren op die brandstoffen welke voldoen aan de voorwaarden gesteld in de inleiding: niet fossiel, niet concurrerend met voedsel, schoon in de hele keten en goedkoop. Biogas (= biogas met een hoog percentage bio-methaan) lijkt op het eerste gezicht aan alle voorwaarden te voldoen en kwalificeert zich met recht als schoonste biobrandstof.

In dit overzicht ontbreekt SNG¹³ dat in sommige gevallen een goed alternatief wordt genoemd. In onze analyse kunnen wij zeggen dat het resultaat van SNG een schone brandstof is, maar de productieketen vervuilend. Bio-SNG zal dan ook vanwege kosten en relatief kleine CO₂ emissie reductie naar verwachting van HIT en anderen niet kunnen concurreren met bio-LNG.

¹³ http://tpe.web.psi.ch/images/PosterA0_BErlin.pdf

PRODUCTIE (-KOSTEN EN -POTENTIEEL) VAN BIO-METHAAN

Inleiding

Gedurende anaërobe vergisting (vergisting bij gebrek aan zuurstof), ontstaat na verschillende stappen biogas, dat voor 55-65% uit bio-methaan en voor 35-45% uit CO₂ bestaat. Dit is een volstrekt natuurlijk proces dat reeds miljarden jaren plaatsvindt. Op deze wijze wordt moerasgas gevormd, en is uiteindelijk ook ons aardgas gevormd. Eigenlijk is anaërobe fermentatie een natuurlijk rottingsproces. Er zijn honderden bacteriesoorten bekend die biogas produceren (tegen slechts enkele bacteriën die bio-ethanol maken). Biogas kan worden gevormd uit mest, rioolslib, nat organisch materiaal, etensresten, resten van landbouwgewassen en uit stortplaatsen. Aardgas is oud biogas, terwijl moerasgas waarop in Noord-Holland al honderden jaren wordt gekookt ook een oudere vorm van biogas is.

Verskillende parameters zijn bij anaërobe vergisting van belang, zoals zuurgraad, vochtigheid en temperatuur. In de industrie onderscheiden we een droog proces – tot 20% droge stof – en een natte variant met 5% droge stof. Het probleem van een economisch rendabele anaërobe vergisting is – naast de lage aardgasprijs – altijd geweest dat de verblijftijd in de fermentatietanks te lang was, zodat er een groot aantal grote fermentatietanks nodig was en derhalve grote investeringen nodig waren om tot een acceptabel rendement te komen. Erg belangrijk in industriële processen is het om de verblijftijd te bekorten, zodat er meer biogas kan worden geproduceerd per tijdseenheid.

De kunst is het proces zodanig te versnellen dat binnen korte tijd een hoge opbrengst is te krijgen, tegen lage kosten. Een uitstekend overzicht van de verschillende aspecten van anaërobe vergisting wordt gegeven in 'Biogas from Energy Crops and Agrowastes'.¹⁴

Groen gas: de Nederlandse verwarring

De in Nederland gehanteerde definitie van groen gas (voor opgewaardeerd biogas) wijkt af van de definitie die in het buitenland wordt gebruikt. Om dit te illustreren zetten we hier de verschillen op een rijtje.

Nederlands Slochteren aardgas heeft een calorische waarde van 31,7 MJoule per kubieke meter en een gewicht van 0,833 kg per Nm³.

Methaan/bio-methaan heeft een calorische waarde van 36 MJoule per kubieke meter, gewicht 0,655-0,68 per Nm³.

1 kilo Nederlands Slochteren aardgas heeft derhalve een energie-inhoud van 38 MJoule, terwijl 1 kilo methaan/bio-methaan een energie-inhoud heeft van 52,9-54,7 MJoule. Dat is een verschil van 43% aan energie-inhoud in het voordeel van biogas dat opgewaardeerd is tot 100% bio-methaan (enigszins verschillende cijfers wijzen op variërende temperaturen).

Daar Nederlands Groen Gas dezelfde calorische waarde zou moeten hebben als Slochteren kwaliteit, zou dit betekenen dat Groen Gas in Nederland een bio-

¹⁴ Biogas from Energy Crops and Agrowastes (Prof. Jukka Rintala, University, Jyväskylä-Finland, RE3 Renewable Energy, August 2005) en Ken KRICH, Don AUGENSTEIN, JP BATMALE, John BENEMANN, Brad RUTLEDGE, Dara SALOUR, *Biomethane from Dairy Waste*, July 2005

methaan gehalte zou moeten hebben van $\pm 88\%$. In andere Europese landen ligt dat op 98-100%.

Het is daarom sterk af te raden om de term Groen Gas te gebruiken voor een soort van gas dat in de rest van de wereld zou staan voor slechts gedeeltelijk opgewaardeerd biogas. Hierbij moet verder in ogenschouw worden genomen dat opwaarderen tot bio-methaan zelfs goedkoper is dan opwaardering tot 88% bio-methaan, dat de emissiereductie hoger zal zijn bij bio-methaan en dat de actieradius bij gebruik als transportbrandstof (bij 98% bio-methaan) plusminus 38% groter zal zijn (zie volgende paragrafen).

Investeringskosten van biogasinstallaties

Of bio-methaan productie zal renderen valt of staat met de kosten die gepaard gaan met feedstock (biomassa), installatie, energieverbruik, conversiegraad en de opbrengst. Daarnaast is natuurlijk van belang of biogas/bio-methaan kan concurreren met fossiel aardgas.

Een gezaghebbend rapport in Nederland is het rapport van ECN en KEMA dat door het ministerie van Economische Zaken is gebruikt voor het vaststellen van de basisbedragen voor de Stimuleringsregeling Duurzame Energie.¹⁵ Het rapport beschrijft een aantal categorieën biogasproductie-installaties. Jammer genoeg worden slechts heel kleine installaties beschreven zodat vergelijking met gebouwde installaties in de rest van Europa onmogelijk is. Holland Innovation Team heeft voor Bio-ethanol Rotterdam B.V. (BER) in augustus 2007 een intern rapport geschreven met de stand van zaken van anaërobe vergisting van overige biomassastromen, waarbij vooral bestaande buitenlandse grootschalige vergistinginstallaties zijn beschreven van tenminste een factor 10 tot 50 groter dan de productie-unit van 200 Nm³/h biogas, die door ECN/KEMA worden gebruikt (Valorga, Schmack, OWS etc.). Ook worden in het ECN/KEMA-rapport opbrengsten lager ingeschat dan de opbrengsten waar genoemde Franse, Belgische en Duitse bouwers van anaërobe vergistinginstallaties garanties voor geven. Uit de inventarisatie van techniek, opwaardering en energieverbruik blijkt dat kleine installaties veel minder rendabel zijn dan grote installaties. Een gegeven dat door alle in dit rapport geciteerde instituten wordt onderschreven.

Uit het rapport van ECN/Kema komen investeringscijfers voor vergistinginstallaties naar voren. Als voorbeeld nemen wij de investeringscijfers voor overige biomassa. Deze bedragen voor 225 kubieke meter biogas per uur (1,8 miljoen Nm³ biogas/jaar met opwaarderingkosten), zo'n 13.000 euro per kubieke meter biogas.

Voor een aantal bestaande installaties zijn door HIT de investeringskosten op een rijtje gezet.

- De kosten van een installatie in Pliening per uur bedroegen 9,8 miljoen euro voor 920 Nm³ biogas (uit maïs) per uur. Dat is ongeveer 9000 euro per kubieke meter biogas. Carbo Tech Engineering GmbH voorziet in de opwaarderingstechnologie.

¹⁵ ECN/KEMA Technisch-economische parameters van groen gas productie 2008-2009. Eindadvies basisbedragen voor de SDE regeling (januari 2008), ECN-E-08-004. Er is inmiddels door ECN/Kema een nieuw rapport uitgebracht op 12 december 2008. Dit geeft geen fundamentele andere inschattingen op het gebied van Groen Gas productie t.o.v. het hiergenoemde. X. van TILBURG, H.M. LONDO, M. MOZAFFARIAN (ECN), E.A. PFEIFFER (Kema)

- De investering voor een biogasinstallatie in Schwandorf die 2000 kubieke meter biogas gaat leveren per uur, bedroeg 15,4 miljoen euro. Dit is 7700 euro per kubieke meter biogas per uur, hetgeen minder dan 60% van de investering is dan voor een 270 kubieke meter per uur installatie.
- HIT heeft kennis van een aantal vertrouwelijke concepten waarmee kosten van de biogasinstallatie en opwaardering-investering worden teruggedrongen. De installatie van BER voor 70 miljoen kubieke meter biogas zal minder dan 45 miljoen euro bedragen (6400 euro per kubieke meter biogas).

De conclusie moet luiden dat investeringskosten per Nm³ biogas met ruim de helft teruglopen wanneer de capaciteit toeneemt van 300 Nm³ naar 9000 Nm³ (investeringskosten resp. 13.000 euro per kubieke meter naar minder dan 6500 euro per kubieke meter). Door te focussen op kleine installaties wordt niet alleen een verkeerd beeld geschetst van de mogelijkheden van biogas (en benodigde subsidies) in Nederland, maar ook van het algemene idee afgeweken dat men vooral met grotere installaties 'overige biomassa' zou kunnen/moeten vergisten.¹⁶

Productiekosten van biogas

De productiekosten van biogas hangen af van de input, de investering, de proceskosten en de opbrengst. Wanneer er een poorttarief¹⁷ geldt voor het te fermenteren afval, dan worden kosten van investeren en energiekosten (gedeeltelijk) gecompenseerd. Bij energiegewassen gaat het erom hoeveel de feedstock kost per ton.

Verscheidene firma's garanderen een minimale hoeveelheid biogas bij het anaëroob vergisten van diverse stromen. Als voorbeeld zien we de garantie die het Belgische OWS geeft:

	DM (%)	VS (% on DM)	BIOGAS (Nm ³ /Ton)
MAIZE SILAGE	30-33	90-95	190-210
SUNFLOWER SILAGE	20	85-90	90
WHEAT GPS	30-40	85-95	150-190
GRASS SILAGE	15-30	85-95	90-120
SOLID MANURE	20-35	40-50	30-50
TOTAL	29	85	145

DM=droge stof; VS=conversie

Bron: <http://www.rrbconference.org/bestanden/downloads/61.pdf>

We nemen een voorbeeld van snijmaïs/energiemaïs. Per 20 juli 2008 kostte een ton snijmaïs 55 euro. Per hectare is de opbrengst 40-45 ton, dus zou de maximale opbrengst (droge stof 30-35%) rond de 9000 kub biogas kunnen liggen. Wanneer we alleen de 'feedstock' kosten bekijken, werd er derhalve biogas geproduceerd voor 0,26-0,27 eurocent per kubieke meter (zonder investering). Het is derhalve erg belangrijk te bezien hoe hoog de energiekosten en investering zijn. In onze business cases zullen we laten zien dat de productiekosten met opwaardering (in een grote installatie) in dit geval onder de 40 eurocent zouden liggen. Bij een lagere feedstock prijs zullen productiekosten natuurlijk altijd lager liggen.

¹⁶ De opdracht aan HIT was niet om een review te geven van het KEMA/ECN rapport. Echter schaalgrootte, investeringskosten en opbrengst wijken zo veel af van de bestaande praktijk dat geadviseerd wordt om cijfers uit dit rapport te herzien.

¹⁷ Poorttarief wordt voor afvalverwerking gevraagd, m.a.w. de input heeft een negatieve waarde voor de ontdeener

Per december is de prijs van snijmaïs drastisch gezakt van 55 euro naar maximaal 35 euro per ton. Dit zou betekenen dat biogas nu voor 18 eurocent zou kunnen worden geproduceerd (zonder investering) en bio-methaan nu voor minder dan 31 eurocent zou kunnen worden geproduceerd.

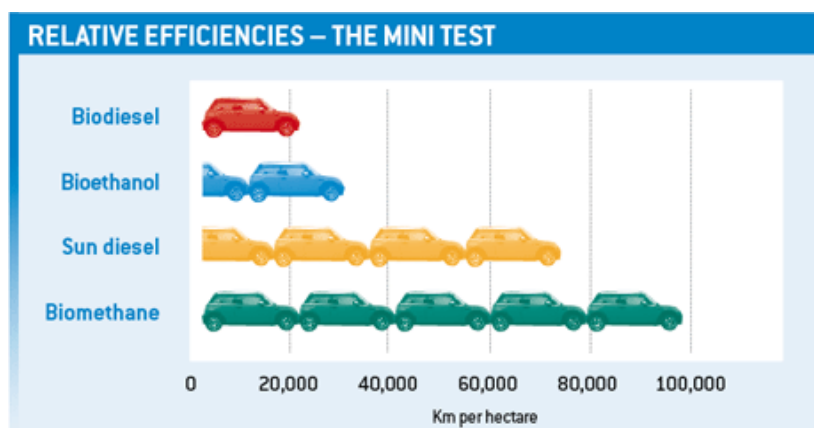
Wanneer we de verschillende categorieën beschouwen moet het duidelijk zijn dat het biogas van stortplaatsen het goedkoopst moet zijn omdat het biogas (Landfill gas) spontaan opwelt. Ook biogas van zuiveringsslib behoeft minder investering. Overigens is het gas van beide categorieën van mindere kwaliteit en een minder constante stroom zodat opwaardering qua investering en operationele kosten hoger is dan in het geval van een constante stroom biogas van constante kwaliteit. Dit in tegenstelling tot wat staat vermeld in het ECN/KEMA-rapport.

Opbrengsten aan biogas (per ha)

Inmiddels is er een aantal firma's dat een hoge opbrengst aan biogas claimt in hun productieproces. Bekende gerespecteerde maatschappijen, die ervaring hebben met grotere biogas installaties zijn o.a.:

- Valorga (Frankrijk)
- Organic Waste Systems (België)
- Envitec (Duitsland)
- Schmack (Duitsland)
- Cambi (Noorwegen)
- Biothane V.S. (sinds juli 2008 Veolia, Frankrijk).
- Strabag (Duitsland)
- Svenske Biogas (Zweden)

Met voortschrijdend inzicht en nieuwere technieken wordt duidelijk dat bio-methaan de biobrandstof met de hoogste opbrengst per hectare kan zijn. Hoewel vergelijkingen vaak niet objectief zijn, is de biobrandstoffengemeenschap het eens over onderstaand plaatje, waarin de hoeveelheid kilometers worden afgebeeld van 4 biobrandstoffen van een ha energiegewas.



Bron: <http://www.biopact.com/2007/12/biomethane-presented-as-most-efficient.html>

Met speciaal gekweekte energiegewassen worden de verschillen nog veel groter. Volgens Thomas Amon zou energiemaïs per hectare 9000 kubieke meter CH₄ (324 GigaJoule) kunnen opbrengen, tot drie keer zoveel als bio-ethanol uit suikerriet.¹⁸

ABSTRACT (Thomas Amon et al.)

A world wide increasing demand can be observed to use energy crops for biogas production. The research project aimed at optimising anaerobic digestion of maize and clover grass. With energy crops, a maximum methane yield per hectare should be achieved. Influence of variety and harvesting time on the methane yield was investigated. Maximum methane yield from late ripening maize varieties ranged between 7100 and 9000 Nm³ CH₄ ha⁻¹. Early and medium ripening varieties yielded 5300 – 8500 Nm³ CH₄ ha⁻¹ when grown in favourable regions. On medium to good locations, clover grass yielded 3000 – 4500 Nm³ CH₄ ha⁻¹. Maize and clover grass are optimally harvested, when the product from specific methane yield and VS yield per hectare reaches a maximum. From the digestion experiments, the new Methane Energy Value System was developed. It estimates the methane yield from the nutrient composition of maize and clover grass silage.

De garantie van OWS komt niet overeen met de prognose van Amon et al. (9000 kubieke meter bio-methaan per ha) genoemd in het onderzoek van de universiteit van Wenen. Immers snijmaïs heeft 45 ton opbrengst per hectare met een droge stof gehalte dat tot 35% gaat¹⁹. Wanneer we deze gegevens relateren aan de garantie van OWS, zou dit 45 * (190 tot 210) = 9000 kubieke meter biogas zijn, veel minder dan de opbrengst bij Amon et al (9000 Nm³ bio-methaan).

Een eenvoudig rekensommetje leert dat de 200.000 ha energie maïs in Nederland (2007) bij een goede oogst reeds voor maximaal 1,6-1,8 miljard kubieke meter bio-methaan zouden kunnen zorgen in de ogen van de Oostenrijkse wetenschappers.

De laatste jaren wordt duidelijk dat van ‘afvalstromen’ van biodiesel productie (glycerine) en bio-ethanol productie (zogenaamd thin stillage) een hoge opbrengst aan biogas is te verwachten (zie onderstaande tabel). Onderzoek in Ierland wijst op de veel grotere opbrengst (per ha) van gecombineerde bio-ethanol en bio-methaan productie uit tarwe en stro (Murphy, 2007, 2008, Pers. Com.)²⁰ dan bio-ethanol alleen. Ook het concept van BER is hierop gebaseerd (zie 8.2).

Valorga heeft een aantal fabrieken gebouwd die op voedselresten draaien. In Calais wordt sinds 2006, 30.000 ton voedsel afval vergist, opbrengst 120 Nm³ bio-methaan per ton. In Sjanghai is in 2007 een vergistinginstallatie gereedgekomen met 6*4500 m³ fermentatietanks. Ze produceren 100 m³ biogas per ton uit in totaal 270.000 ton etensresten, opbrengst 27 miljoen Nm³ biogas per jaar. Andere anaërobe installaties, werkend op voedselresten staan in Spanje, Portugal en Duitsland.

¹⁸ BIOGAS PRODUCTION FROM MAIZE AND CLOVER GRASS ESTIMATED WITH THE METHANE ENERGY VALUE SYSTEM, Thomas Amon, Vitaliy Kryvoruchko, Barbara Amon, Werner Zollitsch, Erich Pötsch, R. Braun (Ludlow, 18.04.2008) "Short Report Status Austria"

¹⁹ Handboek Snijmaïs (december 2007)

²⁰ D. Murphy a,*, Niamh M. Power b, (2007), How can we improve the energy balance of ethanol, production from wheat? ScienceDirect, Fuel 87 (2008) 1799-1806, http://www.ucc.ie/serg/pub/JFUE_3779.pdf
Wheat to ethanol gives net energy production 25 GJ/ha/a, Wheat and straw to bio-ethanol and bio-methaan gives net energy production 72 GJ/ha/a

	Nm ³ /TON	% CH ₄
RAW GLYCERIN	580	68
PURE GLYCERIN	680	68
DDGS	120	62

Bron: <http://www.rrbconference.org/bestanden/downloads/61.pdf>

Cambi claimt op een kleine ruimte met relatieve geringe investeringen tot een hoog rendement te kunnen komen (70% COD (Chemical Oxygen Demand) conversie) bij biogas productie uit de bio-ethanol stillage (in droge vorm DDGS genoemd). Dat komt doordat zij de verblijftijd in de fermentatietanks drastisch kunnen bekorten. Ook het Indiase Praj heeft aan HIT gemeld tot een gelijke opbrengst te kunnen komen (Pers. Com. Praj-HIT).

Kosten (operationeel en energie) van opwaardering naar bio-methaan

Biogas kan worden geüpgrade tot bio-methaan. Hier zijn verschillende systemen voor.²¹ De kosten van het opwaarderen zijn vooral schaalgevoelig. Bij kleine hoeveelheden is het relatief duur om biogas op te waarderen²².

In 2007 sprak een Belgische studie (Tetra-project bio-methaan)²³ van kosten voor opwaardering en input in het net voor hoeveelheden van 50 kubieke meter biogas per uur van 73 tot 85 eurocent per kubieke meter bio-methaan. Zweedse ervaringen spraken van 3-4 eurocent per kWh per kubieke meter methaan hetgeen betekende dat opwaardering per kubieke meter bio-methaan 30-40 eurocent zou kosten²⁴. Het ging hier om 100 Nm³ biogas per uur. Bij 200-300 Nm³ per uur komt de prijs van het opwaarderen neer op 1-1,5 eurocent per kWh hetgeen nog steeds 1015 eurocent is per kubieke meter bio-methaan. De Belgische studie spreekt van 16 eurocent per m³ voor 500 Nm³ biogas per uur (inclusief investeringen en aansluitingskosten op het net). Inmiddels komt er meer ervaring naarmate er meer en grotere biogasinstallaties in gebruik komen en gaan de kosten van opwaardering drastisch omlaag.

²¹ Zie brochure van Energietransitie "Opwaarderen tot aardgaskwaliteit – Van biogas naar groen gas", www.senternovem.nl/energietransitieng/werkgroepen/groen_gas/index.asp
Ir. Mathieu DUMONT (m.dumont@senternovem.nl), secretaris werkgroep Groen Gas (www.energietransitie.nl), SenterNovem, *Van biogas naar groen gas*

²² Biogas upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection, December 2006 IEA BioEnergy Anneli PETERSSON, Swedish Gas Centre, Scheelegatan 3, SE212 28 Malmö, Sweden, *Biogas as Transport Fuel – Upgrading Technique and Application*, www.sgc.se anneli.petersson@sgc.se Margareta PERSSON and Owe JÖNSSON, Swedish Gas Center (SGC), Arthur WELLINGER, Nova Energie GmbH, *Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection*, December 2006

²³ www.biomethaan.be

²⁴ biogas: energiewaarde = 6 kWh, bio-methaan: energiewaarde = 10 kWh

Bestaande en geplande opwaarderinginstallaties van biogas naar bio-methaan:

800.000 tot 2.400.000 Nm ³ /jaar (90-270 Nm ³ /u)	Zweden, Frankrijk	
2,4 miljoen Nm ³ /jr (275 Nm ³ /u)	Ronnenberg, Duitsland	operationeel 13 maart 2008
4 miljoen Nm ³ /jr (450 Nm ³ /u)	Pliening, Duitsland	operationeel december 2006
4 miljoen Nm ³ /jr (450 Nm ³ /u)	Lille, Frankrijk	operationeel augustus 2008
10 miljoen Nm ³ /jr (1150 Nm ³ /u)	Schwandorf, Duitsland ²⁵	operationeel juli 2008
17 miljoen Nm ³ /jr (1950 Nm ³ /u) Huckabay Ridge, VS (operationeel september 2008)	Huckabay Ridge, Verenigde Staten	operationeel september 2008
30 miljoen Nm ³ /jr (3500 Nm ³ /u) Madrid Spanje (grootste operationele fabriek in Europa op dit moment)	Madrid, Spanje	grootste operationele fabriek in Europa op dit moment
45 miljoen Nm ³ /jr (5250 Nm ³ /u) Gustrow Duitsland (operationeel 2009 (uitgesteld))	Gustrow, Duitsland	operationeel 2009 (uitgesteld)
50 miljoen Nm ³ /jr (5750 Nm ³ /u)	Rotterdam, Nederland	Gepland

Bedrijfstijd is tenminste 8000 uur per jaar



Foto: Huckabay Ridge

Bij 2000 Nm³ biogas per uur spreken recente studies van opwerkingskosten van halve eurocent per kWh, wat een reductie betekent tot 5 eurocent per kubieke meter bio-methaan (ongeveer 10kWh). Ontwikkelingen in verschillende landen laten zien dat het nog goedkoper kan en dat de kosten voor investering en energiegebruik (operationele kosten) samen tot onder de 5 eurocent per kubieke meter bio-methaan kunnen worden teruggebracht. Dit heeft ook te maken met het feit dat er een aantal nieuwe technieken op de markt is gekomen, waaronder de techniek van Acion

²⁵ Markus MEYR, Schmack Biogas AG, www.schmack-biogas.com, *Feeding biogas into the natural gas grid – using the Pliening biomethane plant as an example*, Schwandorf, 20 July 2006, http://www.fundygreenpark.com/Links/Schmack%20-%20Paper_Schmack_Biogas_%20Feeding_Biogas_into_gas_grid.pdf

Technology (geïnstalleerd in de V.S. en onlangs in Engeland, zie blz. 41) en de membraantechniek van de universiteit van Wenen (geïnstalleerd in Oostenrijk).

Een andere manier om de kosten van de opwaardering uit te drukken is de hoeveelheid energie die nodig is, uitgedrukt in procent van het gas, om de opwaarderingsoperatie te volbrengen. Cijfers voor installaties tot 1000 kubieke meter per uur variëren van 6% tot 10% van de aanwezige energie in het bio-methaan. Fachtagung Kassel (2003) spreekt van 3-6% van de energie van het gas. In 'Heat is on for regulatory change on bio-methane in UK' (februari 2008) spreekt men over maximale opwaarderingenergie van 5-7,5% van het aanwezige gas. Bij een waarde van een kubieke meter bio-methaan zou dit neerkomen op $1/16 \cdot 35$ eurocent (prijsniveau aardgas juli 2008) maakt 2,18 eurocent opwaarderingkosten per kubieke meter CH₄.

Opwaardering is volgens recente offertes rendabel te maken (de waarde van bio-methaan wordt hoger dan die van biogas) bij een stroom van 650 Nm³ biogas per uur (2008 Peter Boisen ENGVA volgens Pers.Com. met Prometheus).

Een Engelse studie spreekt inmiddels van "insignificant costs of upgrading to bio-methane" (maart 2008)²⁶. Het gaat hier natuurlijk alleen over opwaardering van biogas tot bio-methaan.

Holland Innovation Team waarschuwt voor het zonder overleg overnemen en interpreteren van cijfers. Energiekosten zijn gerelateerd aan (verschijning)data/olieprijs en dus dollar/euro koers. Wanneer opbrengst van het bio-methaan hoger wordt, worden de energiekosten van het opwaarderen van biogas tot bio-methaan ook hoger (gasprijs per GigaJoule hoger dan ook energiekosten/operationele kosten hoger). Het is dus zaak om bij alle referenties, gebruikte energieprijzen in de context te plaatsen (welke data) en op hun juiste waarde te schatten.

Feedstock prijzen van maïs lieten zien dat biogas bij 55 euro per ton, 27 eurocent kost, en bij 35 euro per ton 18 eurocent, wel zonder investering. In onze business cases kunnen we laten zien dat de productiekosten met opwaardering (in een grote installatie) in het geval van 55 euro per ton onder de 40 eurocent per kubieke meter bio-methaan zouden liggen. Bij een lagere feedstock prijs zullen productiekosten natuurlijk altijd lager liggen. Dit zou betekenen dat bio-methaan nu voor minder dan 30 eurocent zou kunnen worden geproduceerd bij de huidige prijs van 35 euro per ton snijmaïs.

Het belang van energieprijzen, en feedstock prijzen wordt nogmaals onderschreven bij vergelijking van de brochures van Svenske biogas ten aanzien van productiekosten van bio-methaan.

Svenske biogas met grote ervaring heeft het over productiekosten van bio-methaan (2005) van:		Peter Unden (Svenske biogas) sprak in een recente lezing (2008) over bio-methaan van:	
Zuiveringsslib	30 eurocent per Nm ³	Zuiveringsslib	34 eurocent per Nm ³
Slachtafval	39 eurocent per Nm ³	Slachtafval	45 eurocent per Nm ³
Energiegewas	43 eurocent per Nm ³	Energiegewas	49 eurocent per Nm ³

²⁶ Increasing interest for bio-methane in the United Kingdom, www.biogasmax.eu/262

Het energiegewas in kwestie betrof tarwe waarvan de opbrengst weliswaar hoog is, maar de kosten vanaf 2005 tot midden 2008 dramatisch zijn gestegen.

De 49 eurocent die worden genoemd als productie prijs voor bio-methaan zal na analyse van HIT op dit moment wat betreft tarwe tussen de 30 en 40 eurocent per kubieke meter liggen, gezien de daling van de tarwe prijs met 50% tot december 2008.

Holland Innovation Team verwacht dat er bij opwaarderings technieken vooral in combinatie met verschillende liquefaction technologieën nog veel is te winnen, vooral bij installaties die meer dan 4000 m³ biogas per uur produceren (zie hoofdstuk 7).

Gezien de offerten die voor grote installaties en hoeveelheden worden gegeven is duidelijk geworden dat opwaardering tot bio-methaan (98%-100%) niet meer hoeft te kosten dan 10 eurocent per kubieke meter bio-methaan (investering en proceskosten). Dit geldt vooral voor grote installaties en voor processtromen die constant zijn.

Wanneer we in het investeringsplaatje van ECN/KEMA (2008) reële investeringscijfers en upgradinginstallaties nemen, dan komen de break even productiekosten voor installaties en energiekosten 50% lager uit dan de 72-84 eurocent/m³ upgraded biogas die ECN/KEMA noemen voor vergisting van overige biomassa, namelijk 36-40 eurocent/m³ bio-methaan. Wel is hieraan de voorwaarde verbonden dat geen hogere feedstock kosten worden genomen. Gezien het feit dat energiegewassen de laatste maanden sterk in prijs zijn gedaald en forwards ook daling laten zien, is alleszins te onderbouwen dat bij grotere installaties de maximale kosten voor productie van bio-methaan uit energiegewassen zelfs ver onder de 40 eurocent per m³ zullen liggen. Gebaseerd op eigen berekeningen schat Holland Innovation Team de productie van een kubieke meter bio-methaan in grotere installaties in dit rapport dan ook op maximaal 40 eurocent per Nm³.

Voor stortgas en co-vergisting, c.q. vergisting van voedselresten zal de productieprijs onder de genoemde prijs van ECN/KEMA voor een kubieke meter groen gas liggen wanneer we praten over grotere installaties²⁷. Bij kleine installaties is de opwaardering waarschijnlijk duurder en zal het basisbedrag juist hoger liggen, omdat hoeveelheid en kwaliteit zullen variëren.

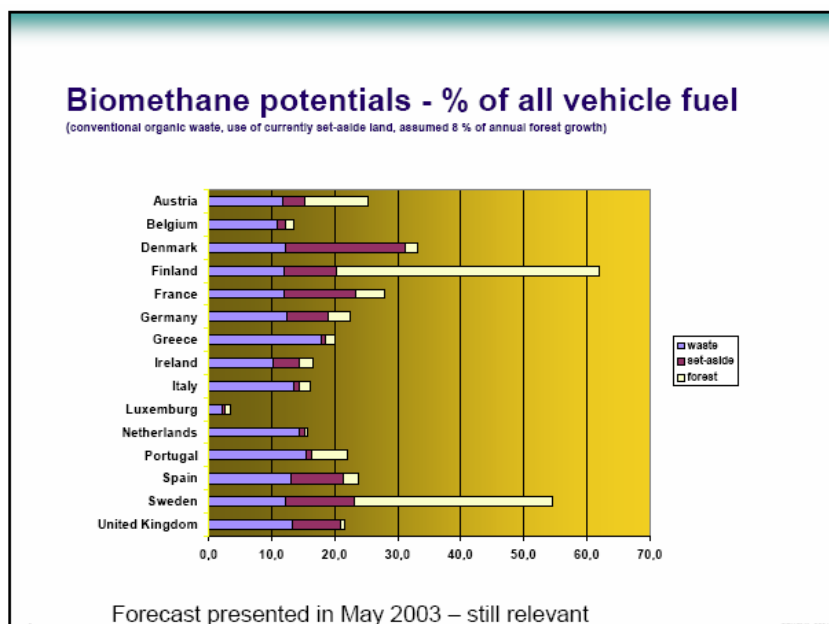
Potentieel en mogelijke productieverhoging

Reeds in 2003 werd aangetoond dat de EU ruim aan de gewenste inzet van 10% biobrandstoffen zou kunnen voldoen met bio-methaan uit organisch afval en uit energiegewas op braakliggend land, dus zonder concurrentie met voedselproductie.²⁸ Met bio-methaan zou volgens een studie van het Öko-instituut al in 2020 alle importen van Russisch gas naar Europa ruimschoots kunnen worden vervangen.²⁹

²⁷ Overigens heeft de minister van EZ het basisbedrag voor de productie van groen gas met gebruik van biogas uit co-vergisting van dierlijke mest, of biogas uit vergisting van groente-, fruit- en tuinafval (GFT) vastgesteld op 44 cent per Nm³; de verwachte subsidie is 14 eurocent per Nm³. Het advies van ECN/KEMA (84 ct/m³) werd niet overgenomen "omdat de meest kosteneffectieve opties op basis van de ECN-berekeningen rond het bedrag van 44 ct liggen" Brief van Minister van der Hoeven aan de Tweede Kamer, 31 januari 2008

²⁸ <http://www.businessregion.se/download/18.24aa314e10f47fcad4c80004792/Peter+Boisen.pdf> (grafiek ENGVA 2003)

²⁹ http://assets.panda.org/downloads/oeko_institut__2007____is_the_cdm_fulfilling_its_environmental_and_sustainable_developme.pdf



Bron: <http://ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf>

Het productiepotentieel voor groen gas is volgens energietransitie-Platform Nieuw Gas in Nederland rond 8-12% aardgasvraag vervanging in 2020, waarvan 1-3% door vergisting en de rest door vergassing.³⁰ In Nederland worden jaarlijks zo'n 40 miljard m³ aardgas gebruikt, 10% daarvan is ca. 4 miljard m³ gas. Dit komt energetisch overeen met zo'n 4 miljard liter diesel. Dat is weer een kwart van het transportbrandstoffenverbruik in Nederland.

Lijkt de potentieelinschatting van Platform Nieuw Gas wat betreft SNG aan de hoge kant (zie Öko-instituut, voetnoten 8 en 24), voor wat betreft biogas uit vergisting is de prognose veel te laag. Onlangs (10 juli 2008) werd bekend dat de gemiddelde Nederlander jaarlijks 55 kg aan voedsel weggooit, dat komt neer op meer dan 900.000 ton aan etensresten per jaar alleen in de huishoudens.³¹ Bij een productie van 200 Nm³ per ton, maakt dat 1,8 miljard kubieke meter bio-methaan (4,5% van 40 miljard)³². Op het potentieel van biogas uit snijmaïs/energiemaïs (nog eens 1,6-1,8 miljard m³) werd in de voorgaande paragrafen al gewezen. In Nederland is er verder nog zo'n 3 miljoen ton aan landbouwafval. In de EU komt 700 miljoen ton land- en tuinbouwafval op jaarbasis vrij. Deze cijfers worden gegeven door het Europese biogasproject EU-AGROBIOGAS³³ dat in 2007 is gestart.

³⁰ Platform Nieuw Gas, Vol gas vooruit! De rol van groen gas in de Nederlandse energiehuishouding (2007).

³¹ http://www.volkskrant.nl/binnenland/article1043576.ece/Voedselcrisis_Niet_in_de_Nederlandse_vuilnisbak

³² Voor een gemeente met 30.000 inwoners zou dit 1650 ton aan vergistingmateriaal aan voedselresten op kunnen leveren, een geschatte opbrengt van ten minste 330.000 kubieke meter bio-methaan op jaarbasis.

In Schotland (5,1 miljoen inwoners) wordt het potentiaal voor vergisting ingeschat op vele miljoenen tonnen per jaar. In het artikel van John Baldwin, MD CNG Services, 'Heat Is On For Regulatory Change on Biomethane in UK', 06 February 2008, "Each town in the UK could have its own anaerobic digester, converting its waste into renewable methane to heat its town hall and to run its buses and refuse trucks. Lille does it in France – it can, and should, happen in the UK too", wordt aanbevolen te onderzoeken of iedere gemeenschap kan bezien of hij zijn eigen brandstof zou kunnen maken van biogas.

<http://www.ngvglobal.com/en/editorial-comment/heat-is-on-for-regulatory-change-on-biomethane-in-uk-01698.html>

³³ <http://renewenergy.wordpress.com/2008/02/26/eu-research-project-increases-biogas-yield-by-up-to-40-improves-utilisation-efficiency>

Platform Nieuw Gas refereert in haar rapport ook aan andere buitenlandse potentieelinschattingen:

- 30% vervanging van aardgas in het Duitse aardgasnet door opgewaardeerd biogas is mogelijk volgens het Wuppertal Institut (2006);³⁴
- een aardgasvervangingspotentieel van bio-methaan voor heel Europa (inclusief Rusland, Oekraïne en Wit-Rusland) van 550 miljard m³ is mogelijk, in principe genoeg om de gehele aardgasvraag te vervangen (NB financiële haalbaarheid en concurrentie met biomassa niet beschouwd).³⁵

Inmiddels wordt duidelijk dat het potentieel voor bio-methaan nog groter is dan in 2003 (figuur vorige pagina) werd verwacht. In het reeds genoemde Europese onderzoek EU-AGROBIOGAS dat als doel heeft de opbrengst van anaërobe vergisting te verbeteren, laten de eerste resultaten een verbetering zien van 40% aan opbrengst per ha.³⁶ Ook de investeringen kunnen nog ver worden teruggebracht volgens de eerste resultaten van dit baanbrekende onderzoek. Deze resultaten zijn nog niet meegenomen in de evaluatie van verschillende hier geciteerde bronnen, echter ze ondersteunen wel de uitkomsten van de hier genoemde (maximale) kostenprognoses van 40 eurocent per Nm³ bio-methaan.

Conclusies

In principe liggen er grote mogelijkheden voor biogasproductie omdat het simpelweg het imiteren en versnellen van de natuurlijke rottingsprocessen is. Dit rottingsproces hoeft op geen enkele manier te interfereren met de voedselketen en kan simpel plaatsvinden door het handhaven van een constante temperatuur in het vergistingproces. De kosten per GigaJoule zijn veel lager dan die van andere biobrandstoffen als bio-ethanol en biodiesel (zie 8.2).

Bio-methaan kan een groot gedeelte van de transportbrandstoffen leveren in de EU. Bio-methaan zou het dubbele kunnen halen van de 10% door de EU gewenst (2020).

De kostprijs van biogasinstallaties neemt af naarmate de installaties groter worden. Wordt bij installaties van 200-300 Nm³ gesproken van een investering van 13.000 euro per kubieke meter biogas/h, bij installaties van 10 keer zo groot gaat de prijs snel omlaag en bij installaties tot 40 keer groter komt men niet hoger uit dan 6500 euro per kubieke meter biogas/h.

Opwaardering van biogas tot bio-methaan zal hoogstens 5 eurocent per kubieke meter bio-methaan kosten bij grotere installaties van meer dan 2000 kubieke meter biogas per uur. Nieuwe processen zullen deze prijs nog doen dalen. Bij de huidige prijzen is een flow van 650 kubieke meter biogas per uur al rendabel op te waarderen (> 5 miljoen Nm³ biogas per jaar).

Samensmelting van het proces van opwaardering en het vloeibaar maken van bio-methaan zal de kosten van de twee processen afzonderlijk verder doen dalen (zie hoofdstuk 5).

³⁴ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie et al. (2006), Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomassa.

³⁵ Daniela Thrän et al. (Institute for Energy and Environment, Leipzig (2007), Möglichkeiten einer Europäischen Biogaseinspeisungsstrategie.

³⁶ EU research project increase biogas yield by up to 40%, improves utilisation efficiency, www.biopact.com

Evaluatie van investeringen in het buitenland, prijsschattingen van bio-methaan producenten en eigen ervaring maken aannemelijk dat bio-methaan in grotere installaties geproduceerd kan worden voor de helft van de door ECN/KEMA genoemde prijs van 72-84 eurocent per kubieke meter, nl. voor minder dan 40 eurocent.

De maximum kostprijs die Holland Innovation Team noemt van 40 eurocent per kubieke meter bio-methaan, wordt ondersteund door de resultaten van recent Europees onderzoek. Hierin wordt gezegd dat biogas productie van anaërobe vergisting kan worden vermeerderd met 40% terwijl de investeringkosten met 20% kunnen worden teruggedrongen.

Nederland blijft achter op onderzoeksgebied met betrekking tot biogas en bio-methaan. Het is aan te bevelen om deze kennisachterstand in te lopen.

BIOGAS, GROEN GAS, BIO-METHAAN, BIO-CNG, (BIO-)LNG

Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is uiteengezet hoe bio-methaan kan worden geproduceerd. Dit hoofdstuk gaat over de verschillende verschijningsvormen van bio-methaan: opgewerkt tot laag- of calorisch groen gas of bio-methaan; distributie via het aardgasnet of per as (gecomprimeerd of vloeibaar).

CNG (Compressed Natural Gas)

De overheid propageert rijden op aardgas omdat het schoner is dan diesel en benzine. CNG is aardgas dat tot 200 bar (soms 250 bar) is gecomprimeerd. CNG wordt afgerekend in kilogrammen aan de pomp. Nadeel is dat niet erg veel kan worden meegenomen per tankbeurt (typische actieradius 250-350 km). Echter voor personenauto's is CNG een goed alternatief, hoewel de brandstof natuurlijk nog steeds fossiel en dus eindig is. Het Nederlandse CNG heeft een veel lagere energie-inhoud dan CNG in het buitenland. Dat heeft met het lage methaangehalte te maken in het Nederlandse aardgas. Omdat in het Nederlandse aardgas ook veel stikstof zit, dat zwaarder is dan methaan, is de dichtheid van 1 kubieke meter Nederlands aardgas (Slochteren gas) 0,838 kg per kubieke meter, terwijl de dichtheid van 100% methaan slechts 0,68 kg per kubieke meter is. Cijfers van het ECN laten zien dat 1 kg Nederlands CNG een calorische waarde heeft van iets meer dan 38 MJoule. Er zijn CNG-soorten in het buitenland die een hogere calorische waarde hebben, tot meer dan 50 MJoule per kg (bij een hoog percentage methaan).

Nederlands aardgas is er veel en we moeten er als Nederland blij om zijn, maar in vergelijking met aardgas uit andere landen is de kwaliteit niet erg goed. Het Slochteren gas (Groningen gas) bestaat slechts voor 81% uit methaan. Een overzicht van de verschillende (aard)gas kwaliteiten (calorische waarden) luidt als volgt:

- Noorwegen (bv Ecofisk)	39 - 42 MJ/Nm ³
- Algerije	42 MJ/Nm ³
- Indonesië	40 MJ/Nm ³
- Engeland (bv. Placid)	39 - 39,7 MJ/Nm ³
- Canada, VS, Uzbekistan, Rusland, Saoedië Arabië	38 MJ/Nm ³

Hierbij steekt het Groningen gas schril af met een lage calorische waarde die varieert tussen 31,65 en 35,17 MJ/Nm³. Gemiddeld wordt voor Groninger gas 31,7 MJ per Nm³ genomen.

Biogas- groen gas – bio-methaan

Biogas bestaat voor 55%-65% uit CH₄ en voor 35%-45% uit CO₂ (calorische waarde biogas 19,7-24,0 MJ/Nm³). CO₂ brandt niet, dus hoewel het biogas hernieuwbaar is, komt er bij direct gebruik toch veel meer CO₂ vrij dan bij verbranding van aardgas, dat voor een veel hoger percentage uit CH₄ bestaat en slechts enkele procenten CO₂. Daarom wordt biogas vaak opgewaardeerd tot de kwaliteit van het nationale aardgasnet en krijgt dan de naam 'groen gas'.³⁷ Rijden op opgewaardeerd biogas is een vervolgstap op rijden op Groninger aardgas, immers met een

³⁷ HIT maakt bezwaar tegen de naam groen gas, omdat Nederlands groen gas veel minder schoon is dan bio-methaan en niet zou mogen worden geïnjecteerd in alle aan ons bekende internationale aardgasnetten (zie vervolg)

biobrandstof in plaats van fossiel aardgas wordt de emissiereductie werkelijk substantieel.

Een logische stap lijkt *in Nederland* om in plaats van op CNG, op gecomprimeerd bio-methaan te gaan rijden, zoals in het buitenland. Omdat het Nederlandse Slochteren aardgas uit veel minder methaan bestaat dan puur bio-methaan, kan puur bio-methaan niet zomaar in het leidingnet worden gepompt. Dit kan wel in het hoofdniet, waar het ingevoegde bio-methaan snel diffundeert in de gasstroom. In de lagere druknetten is dat niet het geval. Alleen wanneer het biogas – halfweg – wordt opgewaardeerd tot ‘Nederlands groen gas met dezelfde calorische waarde als Slochteren gas’, zou het mogelijk zijn om het opgewaardeerde biogas eerst in het aardgasnet te pompen, om vervolgens via certificaten het bewijs te leveren dat er in het getankte aardgas een percentage biogas zit. Dat vereist het upgraden van biogas met bijvoorbeeld 65% bio-methaan tot een kwaliteit van biogas met de calorische waarde van Nederlands aardgas (=88% bio-methaan).

Met andere woorden: er zal van de 35% CO₂ meer dan de helft moeten worden verwijderd. De samenstelling van opgewaardeerd biogas en aardgas uit het Nederlandse net zal chemisch natuurlijk nog steeds verschillen, het restant bij Nederlands CNG is n.l. naast methaan zoals gezegd voornamelijk stikstof. Bij het opgewaardeerd biogas zal het restant uit CO₂ bestaan. Onduidelijk is het effect van injecteren van CO₂ in het Nederlandse aardgasnet. In andere landen gelden strenge eisen ten aanzien van de maximale toegelaten hoeveelheid CO₂ in het net.

Platform Nieuw Gas schrijft hierover: “Groen gas wordt bij opwerking vanuit biogas tot aardgaskwaliteit (‘Low-cal/Slochterenkwaliteit’) in principe niet op Wobbe specificatie gebracht door eerst alle CO₂ te verwijderen en dan N₂ uit de lucht te winnen en die toe te voegen. In de opwerkingsinstallatie wordt het gasmengsel CH₄/CO₂ ‘ingedikt’ tot een CH₄-concentratie die overeenkomt met de calorische waarde en Wobbe-band conform de ‘Slochteren’/Low-cal-specificatie en vervolgens na meting/analyse hiervan op het Lage druk-gasnet afgeleverd.”³⁸

Het Platform geeft aan dat er nog verscheidene onderwerpen nader moeten worden uitgewerkt om groen gas in het aardgasnet te kunnen invoeden:³⁹

- Kwaliteitseisen aan het groen gas; deze bestaan wel voor het regionale distributienet maar niet voor het landelijke. Kwesties hierbij zijn:
 - monitoring en verrekensystematiek van gashoeveelheden en gaskwaliteit;
 - samenstelling van het groen gas: geen sporenelementen, bacteriën e.d.;
 - geen drukfluctuaties als gevolg van invoeden;
- Benodigde infrastructuur voor het injecteren in het aardgasnet: bij decentrale invoeding van gas in het net zullen capaciteitsbeperkingen optreden: zijn er in het net wel voldoende afnemers van gas na het injectiepunt? De dalvraag bepaalt hoeveel groen gas ingevoed kan worden. Een grootschalige vergister aan het uiteinde van het regionale net kan zijn groen gas niet kwijt op het net. Voorlopig kan volgens het Platform slechts een beperkt aantal projecten worden ontwikkeld, waarvoor vier opties worden onderscheiden, die locatiespecifiek kunnen zijn:
 - centrale grootschalige vergisting en centrale invoeding, dit vereist het opzetten van een vervoerslogistiek voor grondstoffen;
 - ontwikkeling van een speciaal lokaal biogasnet dat producenten en afnemers verbindt;
 - decentraal vergisten, transport per speciaal lokaal biogasnet naar centrale eindverwerking resp. centraal injecteren combineert de vorige twee opties;
 - decentraal vergisten en decentraal invoeden.
- Institutionele kansen/belemmeringen: ontwikkelen van systeem voor verhandelbaarheid van groen gas; acceptatie van mestvergisting als agrarische activiteit; uniforme voorwaarden voor invoeding in het gasnet, waaronder transparante prijzen voor injectie in/aansluiting op het aardgasnet.

³⁸ Platform Nieuw Gas (2007), pag. 35

³⁹ Platform Nieuw Gas (2007), pag. 22-26

HIT is een voorstander van het fysiek in plaats van virtueel rijden op bio-methaan in Nederland. Argumentatie wordt in de volgende paragraaf gegeven.

Compressed bio-methaan = bio-CNG

Opwaardering van biogas verhoogt het bio-methaan gehalte. De internationale standaards en voorstellen daartoe, spreken van standaards voor opgewaardeerd biogas voor voertuigen van tenminste 95-98% bio-methaan in het compressed gas. Deze visie wordt ondersteund door rapportages van de internationale instituten die naam hebben op het gebied van biogas en bio-methaan en door de internationale auto- en motorenfabrikanten.

Compressed bio-methaan aan de pomp heeft tenminste 38% meer energie per kilo dan CNG en dus groen gas van Nederlandse kwaliteit. Dit betekent dat het grote bezwaar van een beperkte actieradius deels zal worden opgeheven. CNG van bio-methaan (bio-CNG of CBM, compressed bio-methaan) zou uitwisselbaar zijn met bio-CNG in alle andere Europese landen.

Het probleem van het verkopen van bio-methaan aan de pomp in Nederland, ligt op dit moment in het feit dat er in Nederland nog geen infrastructuur is om bio-methaan per pijpleiding af te leveren bij de tanklocaties. Er is immers alleen een lokaal en regionaal net voor Slochteren aardgas en een beperkt H-gasnet vooral voor industrieel gebruik. Het aanleggen van afzonderlijke pijpleidingen voor transport van bio-methaan is onder gunstige omstandigheden haalbaar (korte afstanden zonder obstakels), maar zal in het algemeen te duur zijn. Andere landen kennen dit probleem niet. Daar zijn de aardgasnetten reeds voorzien van aardgas met 95% methaan en hoger (en daarnaast weinig stikstof). Invoeging in deze aardgasnetten is dan ook aan strenge voorwaarden onderhevig. In Zweden, USA, Canada, Duitsland, Frankrijk, Zwitserland en andere landen is dit gespecificeerd en in een wettelijk kader geplaatst (IEA Bioenergy, december 2006 ((Biogasmax (EU))⁴⁰, California law, Canadian law). Eisen zijn onder meer dat het CO₂ gehalte nooit hoger mag zijn dan enige procenten (bijv. Canada 1%, Frankrijk 2%, andere landen nooit hoger dan 5%).

HIT heeft de eisen van EU landen en V.S en Canada vergeleken en ongelimiteerde biogasinjectie kan daar slechts plaatsvinden met een minimum aan bio-methaan van 95-98%. Dit staat in opmerkelijk contrast met Nederland, waar partijen zich richten op injectie van semi-upgraded biogas (met 88% bio-methaan en de rest CO₂)

Er zijn meerdere argumenten om niet tot groen gas maar tot bio-methaan op te waarderen:

1. Economie: bij het geheel scheiden van CO₂ van bio-methaan uit het biogas wordt de operatie goedkoper per m³ upgraded gas, niet in de laatste plaats omdat het CO₂ een economische waarde heeft.
2. Technologie: het is gemakkelijker en derhalve goedkoper om alle CO₂ te verwijderen, bovendien kan er dan bio-LNG van gemaakt worden (Cirmac, Hamsworthy: Pers Com).
3. Uit milieuoogpunt zorgt gehele CO₂-verwijdering voor een schonere brandstof dan gedeeltelijke verwijdering (60-70%) en dus voor minder uitstoot per km. Invoeding van half-opgewerkt biogas in het Nederlandse aardgasnet betekent

⁴⁰ http://www.iea-biogas.net/Dokumente/upgrading_report_final.pdf

daarentegen dat de CO₂-uitstoot van gasverbruik in huizen en dergelijke in feite toeneemt. Er is alleen sprake van netto CO₂-reductie als de CO₂ uit biogas wordt afgevangen voordat het in het net wordt ingevoerd en dan wordt gerecycled of permanent opgeslagen.

4. (Grotere) gasleidingen zijn duur: bij grotere en dus rendabelere biogas installaties moet er direct in de buurt een hoofdleiding van het reguliere aardgasnet zijn. Andere transportopties zoals in de vorm van bio-LNG zijn dan te verkiezen (zie verder 4.5 en 4.6). Zo niet, moet er rekening gehouden worden met 3 miljoen pijpleidingkosten per 5 km (aangevraagde offertes Heijmans, Controlec etc.; Pers Com Linde en OKAP over CO₂ leidingen).
5. Het schonere compressed bio-methaan (CBM) geeft een veel grotere actieradius dan compressed groen gas. CBM van 98% bio-methaan geeft een plusminus 38% grotere actieradius.

In het vervolg van dit rapport wordt verondersteld dat compressed biogas, CNG-biogas en bio-CNG een bio-methaangehalte hebben van tenminste 95-98%. Groen gas met minder bio-methaan (laagcalorisch, vergelijkbaar met Slochteren-kwaliteit) wordt hier niet beschouwd als autobrandstof. Hiermee volgt HIT de internationale ontwikkelingen en trend op het gebied van het gebruik van biogas, bio-methaan en bio-LNG voor voertuigen. Laagcalorisch gas is niet onbruikbaar of schadelijk in voertuigen maar wel sterk suboptimaal en verkleint de acceptatie van bio-methaan als autobrandstof.⁴¹

In bepaalde landen (o.a. Dominicaanse Republiek, Argentinië, Mozambique, Zuid Afrika) wordt CNG gedistribueerd in modules per vrachtwagen. Weer andere landen vervoeren aardgas in de vorm van LNG per tankwagen (o.a. Zweden, Noorwegen, Brazilië, Engeland, Spanje), naar tankstations die er vervolgens CNG van maken (verdampen tot CNG: zie hoofdstuk 7). Een nadeel is dat er meer vrachtwagenbewegingen door zouden kunnen ontstaan.

Enkele recente voorbeelden van compressed bio-methane = bio-CNG direct:

- FirmGreen Energy zal 110.000 m³ bio-methaan per dag leveren voor bio-CNG in Ohio. De opening stond gepland voor 5 september (fleet & fuels July 7, 2008). Twee andere stortplaatsen zullen resp. 20.000 en 35.000 kubieke meter methaan per dag gaan leveren.
- In Parijs gaat Veolia een half miljoen m³ methaan leveren uit een stortplaats (PSA⁴² en membraantechnologie strijden om de order voor de opwaardering); er zullen 210 personenauto's op gaan rijden.⁴³
- In Dordrecht wordt onderzocht of (een deel van) de OV-busvloot kan gaan rijden op biogas/bio-methaan uit de slibverwerkingsinstallatie die naast de busremise ligt.

LNG (Liquified Natural Gas)

LNG is vloeibaar aardgas dat bij -163° C en lager vloeibaar blijft en een gewicht heeft van 420 gram per liter. LNG bestaat voor 98% of meer uit methaan. Van

⁴¹ Pers Com met Belgische gebruikers wijst op slechtere prestaties van Nederlands aardgas t.o.v. aardgas met een hoog methaangehalte.

⁴² (PSA) is a technology used to separate some gas species from a mixture of gases under pressure according to the species' molecular characteristics and affinity for an adsorbent material.

⁴³ minfo@veolia.com website: <http://www.veolia.com/en/default.aspx>

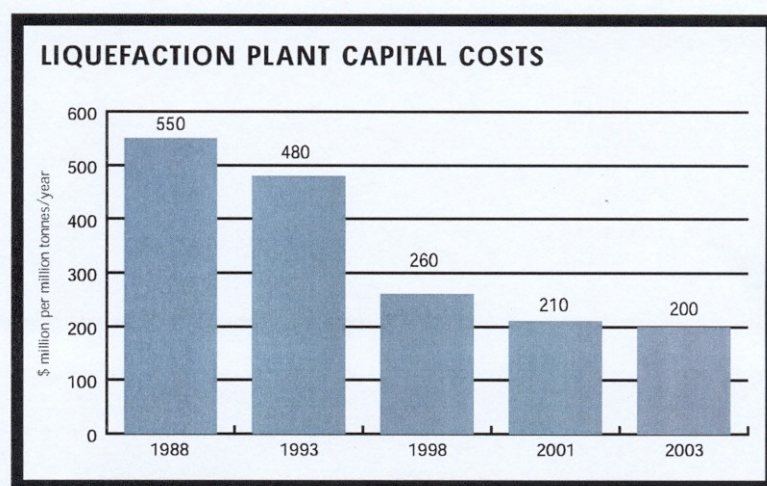
1 kubieke meter aardgas kan 1,6 liter LNG worden gemaakt. De energiedichtheid van LNG is hoger dan die van Slochteren aardgas: 1 kilo methaan heeft een energie-inhoud van meer dan 50 MegaJoules, terwijl 1 kilo Nederlands aardgas 38 MegaJoules per kilo herbergt. In 1 kilogram LNG zit 2,38 liter LNG. De calorische waarde van een liter LNG stelt HIT in dit rapport op 22,2 MegaJoule⁴⁴ per liter (iets hoger dan een liter bio-ethanol).

Het feit dat LNG in opkomst is, ligt hem daarin dat op verafgelegen plaatsen veel aardgas vrijkwam, dat in veel gevallen werd afgefakkeld. Het vloeibaar maken betekent een mogelijkheid om het vervolgens naar landen te brengen met een aardgasinfrastructuur, waar het weer gasvormig kan worden gemaakt.

In Nederland zijn Vopak/Gasunie begonnen een importterminal te bouwen in Rotterdam. Hiervoor is 28 juni 2008 de eerste paal geslagen op de Maasvlakte. Deze terminal krijgt een vergassingscapaciteit van 8-12 bcm (miljard kubieke meter) per jaar. Naast Vopak/Gasunie zijn partners met een minderheidsbelang Dong Energy, Essent, E.ON Ruhrgas en Eongas. Liongas, onderdeel van Petroplus, wil een terminal met een startcapaciteit van 9 bcm per jaar bouwen in Rotterdam op de kop van Europoort. Essent en ConocoPhillips hebben een haalbaarheidsstudie verricht naar een terminal met capaciteit van 5-12 bcm in de Eemshaven.⁴⁵ Er is al jaren een opslag voor LNG op de Maasvlakte maar die is bedoeld als noodopslag (peaksheaving).

De reden dat men in Nederland zo laat is begonnen met LNG ligt hem daarin dat LNG 'te goed' is voor het Nederlandse net zodat downgrading facilities nodig zijn (stikstoffabrieken) om het LNG geschikt te maken voor Nederland of de LNG direct moet worden ingezet.

Zowel de kapitaalkosten als de energiekosten bij het vloeibaar maken zijn sterk teruggebracht. Vanaf 1988 tot 2003 zijn de kapitaalkosten van LNG-installaties zo'n 60% verminderd, zoals onderstaande grafiek laat zien.



Bron: www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf

Er is ook een grote slag gemaakt bij het terugbrengen van de energiekosten bij het vloeibaar maken. In 1988 kostte het vloeibaar maken van aardgas tot 25% van de energie-inhoud van het gas. De verliezen bij LNG maken waren in 2003 gezakt tot

⁴⁴ De energie inhoud van 1 liter LNG varieert in de literatuur van 21 tot 24 MegaJoule. Vanwege het hoge percentage bio-methaan in bio-LNG wordt uitgegaan van 22,2 MegaJoule.

⁴⁵ Wikipedia: LNG, <http://nl.wikipedia.org/wiki/LNG>

11%⁴⁶ van het gas dat wordt omgezet in LNG. Inmiddels zijn er installaties die maar 6%-7%⁴⁷ van de energie-inhoud van het gas kosten (voor kostenschattingen van small scale liquefaction plants zie volgend hoofdstuk).

Deze ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat steeds meer landen en (Amerikaanse) staten kijken naar LNG als brandstof voor de transportsector.

De wereldwijd sterk groeiende vraag naar LNG leidt inmiddels tot hogere prijzen. Doordat de gasprijs na-ijlt wordt ook LNG duurder. Verder blijkt dat LNG, omdat het schoner is dan aardgas met een laag methaan gehalte, steeds vaker direct wordt ingezet als energiedrager en autobrandstof. Holland Innovation Team ziet een groot voordeel van directe inzet en ziet ook bereidheid om hiervoor te betalen. Landen die een infrastructuur hebben van LNG (98-100% methaan) krijgen in de toekomst een groot voordeel boven landen die niet zo'n net hebben zoals Nederland.

Bio-LNG

Juist omdat steeds meer landen kleinere gasvoorkomens omzetten in LNG voor de transportsector, heeft het zin om in het geval van biogas ook te kijken of de route naar bio-LNG haalbaar en zinvol is. Het is zeer wel mogelijk om van biogas, via bio-methaan, bio-LNG te maken. In biogas zitten n.l. minder andere gassen dan in aardgas. De enige verontreinigingen zijn kooldioxide, H₂S en waterdamp, die gemakkelijk en goedkoop kunnen worden afgescheiden. Vervolgens wordt van het resulterende bio-methaan, bio-LNG gemaakt. Van een kubieke meter bio-methaan kan 1,6 liter bio-LNG worden gemaakt. Er gaat 2,38 liter bio-LNG in een kilogram bio-methaan met een calorische waarde van meer dan 50 MJ. Bio-LNG is hiermee de vloeibare biobrandstof met een hogere energiedichtheid dan benzine of diesel per kg. Bio-LNG kan direct als motorbrandstof worden ingezet of ter plekke van een tankstation worden omgezet in bio-CNG. Het volgende hoofdstuk behandelt het maken van (bio-)LNG. De distributie en inzet ervan in de transportsector komen aan bod in de daaropvolgende hoofdstukken.

Evaluatie en conclusies

Bio-LNG combineert de voordelen van LNG en bio-methaan. Met een calorische waarde van 22.2 MJ per liter, heeft bio-LNG van de bekende transportbrandstoffen de hoogste energiedichtheid per massa eenheid. De energiedichtheid per volume-eenheid is gelijk aan die van bio-ethanol en 60% van de energie inhoud van een liter diesel (35,7 MJ per liter). De energie-inhoud van bio-LNG is ook hoger dan die van gecompriemd aardgas (CNG).

Voordelen ten opzichte van andere biobrandstoffen zijn verder:

1. bio-LNG heeft lagere uitstoot van fijn stof dan biodiesel en bio-ethanol;
2. bio-LNG geeft lagere CO₂-uitstoot (well-to-wheel) dan biodiesel en bio-ethanol;
3. bio-LNG reduceert de NO_x-uitstoot tot bijna nul.

⁴⁶ Enerdynamics, Understanding the Global LNG Business, June 2005, <http://64.224.198.26/clientassets/LNGsection3.pdf>

⁴⁷ Persoonlijke communicatie met Hamworthy

Ten opzichte van Nederlands CNG (Compressed Natural Gas) zijn er eveneens voordelen:

1. bio-LNG heeft een hogere calorische waarde per kg dan een kilo CNG (bij 98% bio-methaan 38% meer);
2. bio-LNG geeft daardoor een grotere actieradius per tank dan aardgas (CNG);
3. bio-LNG is geen fossiele brandstof zoals aardgas (CNG) en dus duurzamer.

Bio-CNG (Compressed Bio-Methane = CBM) heeft dezelfde voordelen als bio-LNG qua emissies, maar heeft het nadeel van een groter volume. De vergelijking tussen bio-LNG en bio-CNG in de transportsector valt daarom duidelijk in het voordeel uit van LNG, waar het gaat om langere afstand trucks. De actieradius van een vrachtauto die rijdt op bio-LNG is groter dan eentje die rijdt op bio-CNG. Er kunnen als het ware meer calorieën worden meegenomen. Hoewel de actieradius van een vrachtauto of personenauto die op bio-CNG zou rijden 38% groter is dan van een vrachtauto die op het huidige CNG (van Nederlands aardgas) rijdt, blijft bio-LNG te prefereren boven bio-CNG in het geval van vrachtwagens die honderden liters brandstof tanken⁴⁸. Hierop gaat hoofdstuk 6 verder in.

Zonder de ogen te sluiten voor de voordelen van het gebruik maken van het bestaande uitgebreide aardgasnetwerk, is het gezien het voorafgaande niet aan te bevelen om biogas tot 'slechts' Nederlandse aardgaskwaliteit te upgraden. Immers aangezien er goedkope processen (zie hoofdstuk 3.5) zijn waarbij het mogelijk is om alle CO₂ te verwijderen lijkt het 'dom' om dat niet direct te doen. Er resulteert dan bio-methaan. Hiermee kunnen zowel bio-CNG als bio-LNG van hogere kwaliteit gemaakt worden dan het aardgas (CNG) van 31,7 MJ per kubieke meter (38 MJ per kg), zoals dat nu aan de Nederlandse tankstations wordt verkocht.

⁴⁸ Een optie is om in de regio zowel bio-LNG als bio-CNG aan te bieden, Van bio-LNG kan gemakkelijk bio-CNG kan worden gemaakt tijdens het verdampingproces. In de operationele kosten van een tankstation maakt dit weinig uit

PRODUCTIE(KOSTEN) VAN LNG EN BIO-LNG

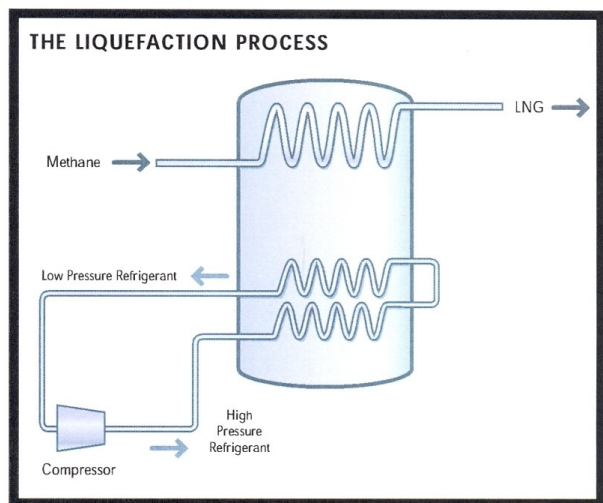
Inleiding

Er bestaan grote liquefaction plants in o.a. Nigeria, Algerije, Zuid-Amerika en Australië. Deze fabrieken worden steeds grootschaliger en de investeringen lopen in de miljarden euro's. De ontvangers van de LNG (LNG terminals) maken er weer gasvormig aardgas van om het vervolgens te downgraden tot de aardgaskwaliteit van het lokale net. Er bestaan plannen om nu ook in Nederland een aantal LNG-terminals te bouwen. De eerste paal voor de terminal op de Maasvlakte is in juni 2008 geslagen.

Juist omdat de LNG zuiverder is dan aardgas, hetgeen gewenst is door bepaalde klanten, zijn er ook LNG-transporten per trein of per truck. Uit Zeebrugge vinden trucktransporten van LNG door heel Europa plaats. In de V.S. zijn er tienduizenden truck transporten (truck loads) van LNG per jaar. Gezien de prijsontwikkeling van de ruwe olie zet de trend om steeds meer en kleinere liquefaction plants (SSL - Small Scale Liquefaction) neer te zetten sterk door.

Het proces

Het eigenlijke koelsysteem (liquefaction) kan gesimplificeerd als in onderstaande figuur worden weergegeven.



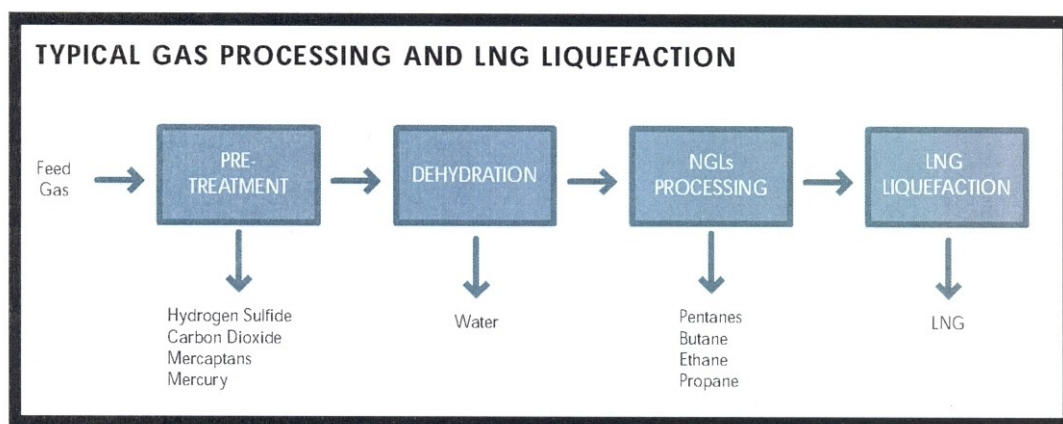
Bron: <http://www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf>

In het proces van het vloeibaar maken van aardgas (liquefaction genoemd) worden de meeste verontreinigingen afgescheiden omdat bijvoorbeeld CO₂ en waterdamp bij een hogere temperatuur eerder vloeibaar worden (of bevroren) en dus moeten worden afgescheiden voor het LNG liquefaction proces. Liquefaction van aardgas kan alleen gebeuren wanneer het aardgas wordt ontdaan van componenten die problemen opleveren wanneer het methaan een zeer lage temperatuur krijgt (bevriezing). Er zijn verschillende koelvloeistoffen mogelijk. Stikstof is een robuuste refrigerant. Andere systemen van koelcircuits met verschillende vloeistoffen en druksystemen (turbo expanders) zijn opgenomen in de bijlagen.

Volgens Remeijer en Hoadley (2006) zijn er vier bekende processen van SSL, die zij vergelijken:

1. een zogenaamde single stage mixed refrigerant SMR;
2. een twee fasen expander nitrogen (stikstof) refrigerant proces;
3. **twee** open loop expander processen.

Het stikstof refrigerant proces en de open loop proces lijken het beste geschikt voor kleinschalige toepassingen. Holland Innovation Team heeft een uitgebreide vergelijkende studie gedaan naar technieken, economy of scale en kosten van deze fabrieken. In een wetenschappelijk artikel van Hydrocarbons World 2007 staat een uitgebreid overzicht van SSL-technologieën met hun merites en energie efficiëntie.⁴⁹ Er wordt ook een idee gegeven van de verschillende capaciteiten in gallons per day of tonnen per dag. In het proces zijn de respectievelijke stappen afgebeeld in onderstaande figuur.



Bron: <http://www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf>

Zoals vermeld in paragraaf 5.4 zijn de kapitaallasten van LNG liquefaction plants sterk verminderd. De proceskosten zijn eveneens sterk verminderd en in plaats van zeer grote LNG-fabrieken ontstaat er een markt voor middenschalige- en kleinschalige installaties (1 ton – 100 ton per dag). Met gegevens van Idaho National Lab kunnen we de volgende kostenopbouw voor LNG geven (in april 2004):⁵⁰

	Index	\$ct/gallon (2004)
Kosten	100	41
Kosten liquefaction	11	4,7
Kosten transport	10	4,1
Kosten tussenhandel/tankstations	10	0,4
Totaal	131	53

53 dollarcent per gallon betekende bij de toenmalige prijzen 75 eurocent per 3,78 liter, dus zo'n 20 eurocent per liter. Een gallon diesel kostte ter vergelijking in Amerika in die tijd reeds het dubbele.

⁴⁹ <http://www.touchbriefings.com/pdf/2447/moreira.pdf>

⁵⁰ http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/ngvtf/pdfs/liquefaction_ngvtf_sac.pdf (gepresenteerde cijfers gelden voor ongeveer 10.000 ton per jaar)

SSL (Small Scale LNG plant) en technologie

Zoals gezegd, ontstaat er bij snel stijgende energieprijzen de behoefte om ook lokaal LNG te maken en gelijk in te zetten in de transportsector. In het begin waren de kosten van deze kleinschalige fabrieken zeer hoog per gallon LNG, in vergelijking met de grote LNG- productie-installaties bij grote (meest off shore of remote) gasvelden. Inmiddels zijn er tientallen kleinschalige SSL (Small Scale Liquefaction) fabrieken en zijn de kosten sterk gedaald. Er staan vele nieuwe medium en small scale liquefaction plants op stapel in de hele wereld om LNG geschikt te maken voor de transportsector. Bouwers van kleinschalige liquefaction fabrieken zijn o.a.⁵¹:

- Black and Veatch
- Brookhaven National Laboratory
- Chart Energy and Chemicals
- Chicago Bridge and Iron CO
- Clean Energy Fastmax Gas Technology Institute
- Global Cryo Systems
- Hamworthy
- Kryopak
- Linde LE (BOC)
- Mustang Engineering
- Prometheus
- Praxair
- Sintef
- ZEUS

Locaties van SSL-fabrieken

Er is een groot aantal LNG liquefaction plants gereed of in aanbouw die aardgas omzetten van naar LNG⁵² (omrekenfactor: 1 m³ aardgas levert 1,6 liter LNG; een ton LNG is 2380 liter LNG).

- Er staan ongeveer 240 peakshaving LNG-fabrieken in de wereld. Opslag van aardgas in de vorm van LNG, dat ingezet kan worden bij extreme vraag bijvoorbeeld zeer strenge winters heet een peakshaving installatie.
- In Duitsland staat in Gablingen een LNG installatie van 6000 ton LNG per jaar (Linde).
- In Rusland staan 3 zeer kleinschalige installaties in respectievelijk Schwerdlowsk, Moskou en Sint-Petersburg met een gezamenlijke capaciteit van minder dan 10.000 ton LNG op jaarbasis.
- Chillum (Washington Gas) gebouwd door Prico met een input van ca. 47 miljoen Nm³ aardgas op jaarbasis.
- Wheizou Island: LNG plant, input 150.000 Nm³ per dag (Salof/Kryopak/Mustang).
- In Shanxi (Honkong Towngas) wordt gebouwd door Kryopak met een input van 56 miljoen Nm³ aardgas per jaar.

⁵¹ Er komen meer firma's op de markt zoals Cryofuel, ook Spaanse en Russische bouwers

⁵² Overzicht is samengesteld door HIT

- In Brazilië⁵³ is voor 50 miljoen dollar (augustus 2006) een liquefaction plant (Paulinia) gebouwd. Er wordt per dag 350 ton LNG gemaakt (300 miljoen liter per jaar). De faciliteit heeft laadstations om vrachtwagens te vullen die LNG vervoeren naar LNG-stations en is inmiddels in gebruik genomen voor transportbrandstof, Brazilië⁵⁴ ziet LNG als schone brandstof voor vooral vrachtwagens.
- In Peru is februari 2008 een contract getekend voor liquefactie 250 miljoen Nm³ /jaar aardgas (meer dan 400 miljoen liter LNG) ter vervanging van diesel (Global Cryo Systems, Energy News, 1 Febr 2008).
- In Bolivia: vergevorderde plannen voor een 70.000 ton/j fabriek in Santa Cruz .

Het gaat te ver om alle SSL-installaties die gepland zijn op te noemen. Als voorbeeld is de orderportefeuille van Global Cryo Systems afgebeeld.

Year	Location	Client	Type
Pending	Bulgaria	CRYOGAS	4x 250 MTD
Pending	Ukraine	Confidential	90 MTD
Pending	Tasmania	LNG Refuelers	32 MTD
Pending	Poland	Ferox Energy Syst.	90 MTD
Pending	Ukraine	Tech-Alliance	32 MTD
Pending	Turkey	ENERCO	150 MTD
Pending	Turkey	KOC	100 MTD
Pending	Serbia	Kryo Serbia	32 MTD
2007-08	Poland	PL-Energia	100 MTD

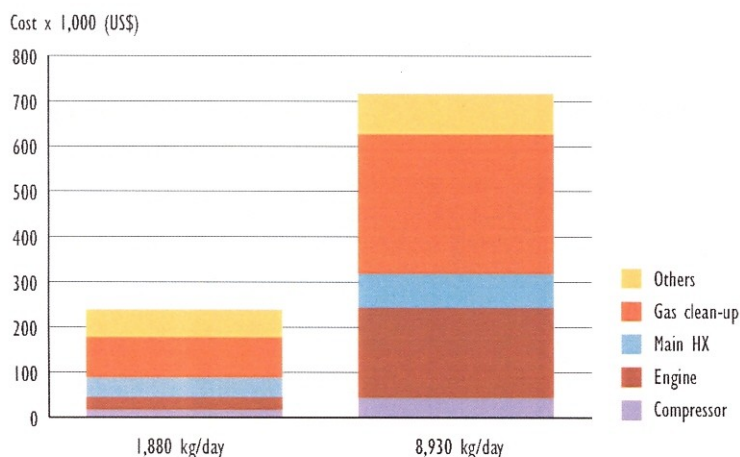
Bron: http://www.crown-support.com/images/cnp_company_presentation.pdf (MTD=metric ton/day)

Kosten van small scale liquefaction

Voor SSL installaties wordt hier een overzicht gegeven van de verschillende kostenposten. Zoals is te zien zijn de kosten van de reiniging van aardgas naar methaan het hoogst (clean up 50% van de hele installatie).

⁵³ The Oil Daily, *Brazil unveils first LNG plant. (White Martins Gases Industriais Ltda. And Petroleo Brasileiro S.A. inaugurates liquefied natural gas plant)*, 22 augustus 2006, http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-5724190/Brazil-unveils-first-LNG-plant.html

⁵⁴ Energy Current, *Peru steps up LNG investments*, Houston, 27 december 2007, <http://www.energycurrent.com/index.php?id=3&storyid=7760>



Bron: www.touchbriefings.com/pdf/2447/moreira.pdf en Richard PRICE, Editor, EnergyME.com, richard@energyme.com, *Mini-LNG plant cost-effective energy solutions*, 1 februari 2008, <http://www.energyme.com/energy/2008/200801000022.htm>

Kosten van een 9 ton/dag installatie ofwel 7,8 miljoen liter LNG per jaar zullen 700.000 euro bedragen (conversie factor dollar – euro op 1:1) (Hydrocarbons World, 2007). Liberty Fuels heeft een liquefier ontwikkeld in de orde van 250-1000 gallons per dag. Kosten voor 1000 gallon per dag (ongeveer 1,4 miljoen liter per jaar) bedroegen 420.000 dollar. GTI biedt een installatie voor bio-LNG aan van 1000 gallons per dag inclusief opwaardering tegen kosten van \$500,000 tot \$1 miljoen (Wegryzn, 2004).

Wanneer we de cijfers van HIT en het Idaho Nat. Lab. als bandbreedte nemen zijn de liquefaction kosten (energiekosten) van aardgas tot LNG 6%-11% van de kosten van een kubieke meter aardgas. Dit komt neer op maximaal 5 eurocent per kubieke meter aardgas, bij een aardgasprijs van 45 cent).

Investeringskosten lijken minder dan deze 5 eurocent te zijn, zodat liquefaction minder dan 10 eurocent zal kosten. Er is onlangs een grote LNG-fabriek gebouwd in Californië, speciaal voor de transportsector. De fabriek gebouwd in Boron gaat 220 miljoen liters per jaar opleveren en kostte circa 50 miljoen euro. Wanneer we afschrijving rekenen en maximale proceskosten van 10%, zullen de kosten van vloeibaar maken beneden de 10 dollarcent per liter liggen (zo'n 7 eurocent per liter LNG, bij een gasprijs van 45 cent).

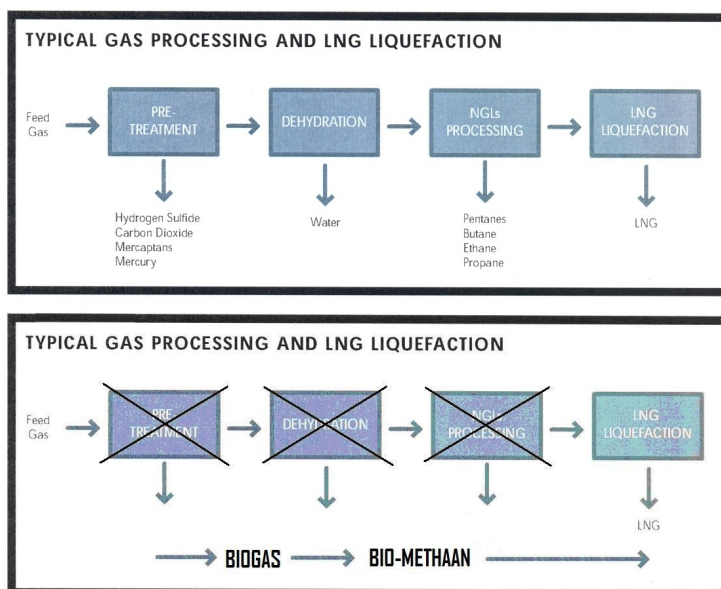
California LNG Plant in Boron startup Nov 11, 2008 ⁵⁵

The new Clean Energy California LNG Plant in Boron, California began startup operations on November 11, 2008. It delivered its first tanker load of LNG fuel to the Carson CA Port Truck LNG fueling station on November 12, 2008. The plant will continue to supply the Carson station during the startup process. Regular operations at the new LNG plant are scheduled to begin in mid-December 2008. The California LNG Plant was built to produce up to 160,000 gallons of LNG per day, and was designed to be upgraded to produce up to 240,000 gallons of LNG per day. The plant has a 1.5-million-gallon LNG storage tank for reserves to meet unexpected LNG demand from Clean Energy's customers and to accommodate plant maintenance procedures. The plant is expected to be the major supplier for Clean Energy's commitment to the Ports of Los Angeles and Long Beach for their Clean Truck Program, which envisions the addition of up to 8,000 LNG trucks to serve goods movement needs at ports.

⁵⁵ <http://www.lngplants.com/CarsTrucksBusses.htm>

Opwaardering van bio-methaan naar bio-LNG

Het is moeilijk om een precieze schatting te geven van de kosten van opwaardering van bio-methaan tot bio-LNG. Er wordt inmiddels al ervaring opgedaan met het opwaarderen van biogas naar LNG. Prometheus heeft in de VS een LNG liquefaction plant gebouwd, die van landfill gas (stortgas) LNG maakt.⁵⁶ Er zijn meerdere installaties in aanbouw in de V.S. en ook in Zweden heeft men plannen om bio-LNG te maken⁵⁷. Bio-methaan heeft een andere samenstelling dan aardgas. Hoe zuiverder het bio-methaan is, des te minder reinigingsstappen zijn er nodig. Wanneer er geen water en minder dan 50 ppm CO₂ in zit, kunnen reinigingsstappen zelfs geheel worden weggelaten. Ook behoeven er geen zware fracties zoals ethaan, butaan en propaan te worden afgescheiden. Dit maakt het proces goedkoper. Volgens het al genoemde overzicht van Hydrocarbons zou dit het hele proces tot de helft goedkoper kunnen maken, afhankelijk van de techniek.



Figuren: boven voorbereiden vloeibaar maken aardgas, onder vloeibaar maken bio-methaan
Bron: www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf (bewerking HIT)

Het moge duidelijk zijn dat het in ieder geval goedkoper moet zijn om bio-methaan om te zetten in bio-LNG dan aardgas om te zetten in LNG.

Het is erg moeilijk om prijsindicaties/offertes te krijgen voor liquefaction van bio-methaan omdat specificaties per project verschillen. HIT heeft offertes gevraagd voor het vloeibaar maken van bio-methaan tot bio-LNG. De offertes, die zijn verkregen voor een 70 miljoen liter LNG-installatie, variëren van 7-20 miljoen euro. Dit is hoogwaardig geschoond bio-methaan (minimaal 98%). 7 miljoen euro voor 70 miljoen liter komt overigens overeen met de 700.000 euro voor een installatie van 7 miljoen liter LNG zoals vermeld in Hydrocarbons World 2007.

⁵⁶ www.prometheus-energy.com

⁵⁷ <http://ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf>

De verschillen in de hoogte van de aanbieding liggen aan de diverse technieken die worden aangeboden. Investeringskosten verschillen maar ook de proceskosten. Verder zijn firma's gewend uit te gaan van aardgas en niet van bio-methaan van andere zuiverheid. De conclusie is dat het moeilijk is om een precieze schatting te geven van de kosten van opwaardering van bio-methaan tot bio-LNG in een nieuwe markt. HIT is dan ook met verschillende aanbieders bezig een optimum te zoeken⁵⁸.

Het is aan te bevelen om te bezien of het slim combineren van biogas upgraden en vloeibaar maken van LNG voordelen kan opleveren. Vooral cryogene processen zouden een goedkope scheiding tussen methaan en kooldioxide kunnen bewerkstelligen omdat methaan en kooldioxide bij verschillende temperaturen vloeibaar worden.⁵⁹ Verkoop van zuiver CO₂ zou de kosten kunnen drukken van de productie van bio-LNG.

Technology for cryogenic upgrading of biogas

Cryostar/Prometheus technology available for flows in excess of 500 Nm³/hour

Capacity 1000 Nm ³ /hour raw biogas	Only LNG sales [\$/GGE LNG]	Also CO ₂ sales [\$/GGE LNG]
Investment costs	0.45	0.45
Operational costs	0.56	0.56
Maintenance costs	0.28	0.28
CO₂ income	-	- 0.67
Total net cost	1.29	0.62

As a comparison European costs of conventional upgrading is around \$ 0.84/GGE for plants with an annual production of 1-1.5 million GGE

Bron: ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf

Zo kost het cryogene proces om CO₂ van bio-methaan af te scheiden volgens bovenstaande rekenvoorbeeld van Zeus/Prometheus 14,3 eurocent per liter bio-LNG (bij >7.500 Nm³/h). Bij aftrek van verkoop van het vloeibare CO₂ loopt dit terug tot 7 eurocent per liter bio-LNG. HIT vindt dit aan de lage kant omdat CO₂ in Europa niet zoveel opbrengt. Ook zal de prijs van CO₂ dalen bij groter aanbod. Een prijs van 14 eurocent per liter bio-LNG komt overeen met 22 eurocent per kubieke meter bio-methaan. 7 eurocent per liter bio-LNG komt overeen met een prijs van 11 eurocent voor het vloeibaar maken van een kubieke meter bio-methaan. Voor installaties van 7400-9000 kubieke meter per uur biogas zullen de kosten voor het direct upgraden van het biogas tot bio-LNG variëren in een bandbreedte van 11-22 eurocent per kubieke meter biogas. Het gaat hier om stortgas van variërende kwaliteit.

⁵⁸ HIT heeft een offerte ontvangen waarin de energieconsumptie voor het vloeibaar maken van bio-methaan lager is dan 0,6 KWh per kubieke meter.

⁵⁹ www.prometheus.com of www.acrion.com

Omdat de goedkoopste opwaardering plus liquefaction waarschijnlijk plaats vindt bij de meest constante stroom met meest constante kwaliteit, zullen de laagste kosten plaatsvinden bij energy crops en de hoogste bij rioolgas en stortgas. We hanteren voor een gemiddelde productieprijs van bio-methaan 40 eurocent per m³. Vloeibaar maken van een constante stroom zou niet meer dan 10 eurocent mogen kosten, ook wanneer we verschillende processen met verschillende variabelen bezien. Daarom is het vloeibaar maken van 1 Nm³ bio-methaan en dus de productie van 1,6 liter bio-LNG begroot op ten hoogste 40 plus 10 = 50 eurocent. Dit betekent dat 1 liter bio-LNG geproduceerd kan worden voor 31,25 eurocent.

Nieuwe technieken

De techniek die we hebben kunnen selecteren als mogelijk goed inzetbaar voor Nederland, is de techniek van het INL of INEEL (INEEL Technology, Idaho National Energy and Environmental Laboratory). De 40.000 liter/dag LNG plant met gasvoorbereiding van Pacific staat op 2000 vierkante meter. Zij zijn in staat om een kleinschalige liquefaction plant af te leveren die 20.000 liter LNG maakt per dag. Idaho claimt de goedkoopste producer van LNG te zijn.

Small Scale Liquefaction plant

As the use of liquefied natural gas advances toward widespread commercial application, the prospect of producing LNG locally at small-scale plants drawing from existing natural gas lines becomes increasingly attractive. The LNG research team at the INL is currently engaged in an effort to develop and demonstrate a small-scale methane liquefaction plant (production of 5,000 to 10,000 gallons per day). The cost of the fuel could be reduced significantly, and the availability improved, by production at local, small-scale, low-cost liquefaction plants. The project described here will use a new technology, invented by researchers at the INL (patent pending). The design of the liquefaction plant will use off-the-shelf components where possible, energy inputs and moving parts will be minimized. The unit built with Pacific Gas and Electric (PG&E) produces around 10,000 gallons of LNG a day and it located on a half-acre lot less than a mile from old town Sacramento. The INL is currently working with the Southwest Transportation Association (STA) and Harris Ranch in the San Joaquin Valley. The INL group has designed a small-scale LNG liquefier capable of producing around 30,000 gallons of LNG a day. The INL/PG&E liquefier and the San Joaquin Valley liquefier are examples of the INL group's innovative and creative designs for a liquefaction plant.⁶⁰



Bovenstaande techniek die door het INEEL gebruikt wordt, lijkt vooral geschikt voor de situatie waar LNG wordt gemaakt vanuit onder druk staande pijpleidingen (er wordt gebruik gemaakt van energie vrijkomend bij het opheffen van het drukverschil).

⁶⁰ Ineel Technology 2004

Idaho National Laboratory, *Natural Gas Technologies, Small-Scale Methane Liquefaction Plant*, 8 september 2005, <http://www.inl.gov/ng/projects/liquefactionplant.shtml>

Ruimtebeslag

Het ruimtebeslag van de in aanbouw zijnde Kryopak installatie voor 43 miljoen kubieke meter aardgas per jaar met een aardgaszuiveringsfabriek en laadstations bedraagt slechts 4000 vierkante meter. De fabriek van de 40.000 liter per dag van Pacific heeft een ruimtebeslag van minder dan 2000 vierkante meter. Het ruimtebeslag van de SSL (kleinschalige LNG plants) is inmiddels zodanig afgenomen dat er op dit moment zelfs mobiele plants worden ontworpen en gebouwd, die in een container passen. Hamworthy uit Noorwegen kan dergelijke mini liquefaction plants bouwen. Deze mini LNG liquefaction technology is gebaseerd op de technologie van Sintef.

The utilisation of LNG as fuel is getting increasingly popular and Hamworthy is one of the first companies in Europe to supply small scale liquefaction plants. GASNOR in Norway has chosen Hamworthy technology for its Snurrevarden site and also the expansion project at Kollsnes Phase II. The technology utilised has similarities with that used for LNG reliquefaction, with a capacity of 30-500 t/day. Hamworthy also offer mini plants with a capacity of 1-50 t/day.⁶¹

Voorbeelden van daadwerkelijk bio-LNG productie via bio-methaan zijn:

- Vanuit de Bowerman-stortplaats in Californië wordt vanaf januari 2007 4000 liter bio-LNG per dag geproduceerd. Dit wordt in 2008 5 keer zoveel. Uiteindelijk zal de productie in 2009 150.000 liter bio-LNG per dag bedragen.⁶²
- Op de Albury stortplaats (UK) is in 2008 een bio-methaan winning gestart uit stortgas. Van het bio-methaan gas wordt LNG gemaakt (5000 ton per jaar). Op de bijna twaalf miljoen liter LNG zullen 150 vuilniswagens van Sita UK gaan rijden.⁶³
- In Texas heeft een pilot gelopen waar met behulp van het wash proces van Acion Technologies (CO₂ wash proces) bio-methaan is opgewaardeerd tot LNG. De test heeft uitgewezen dat er in Texas 17 stortplaatsen zijn die dit concept kunnen hanteren, i.e. geschikt zijn om LNG te produceren voor automotive.⁶⁴
- Meerdere pilots staan beschreven in het rapport, Franklin County Sanitary Landfill – Landfill Gas (LFG) To Liquefied Natural Gas (LNG) – project, over potentie van stortgas opwaardering naar bio-LNG.⁶⁵
- De eerste bio-LCNG pomp in Zweden zal in april 2009 worden geopend.⁶⁶

⁶¹ Hamworthy: offerte aan Holland Innovation Team

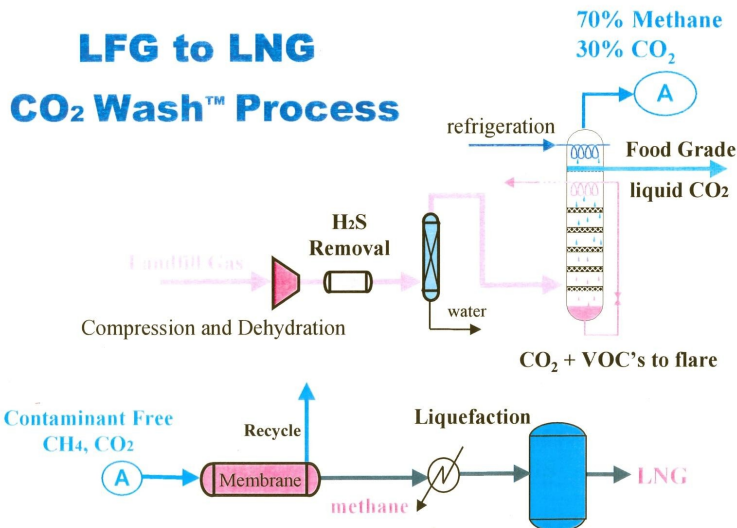
⁶² http://www.greencarcongress.com/2007/01/prometheus_prod.html <http://www.swanacregen.org/Decs/Symposium%202008/Session%208/Marshall%20Carpenter%20Converting%20LFG%20Into%20Liquefied%20Natural%20Ga.pdf>

⁶³ www.renewableenergyworld.com/rea/news, 24 juni 2008.

⁶⁴ Zietsman et al, Journal of the air & Waste management association, mei 2008

⁶⁵ <http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/landfillreportfinal.pdf> (January/February 2005)

⁶⁶ Bron: <http://www.ngvglobal.com/en/market-developments/liquid-biogas-production-paves-road-to-swedish-energy-independence-02191.html>



Conclusies

Liquefaction plants worden steeds kleiner. De kosten hiervan zijn sterk gedaald en naar schatting van HIT komen de kosten van liquefaction van bio-methaan naar bio-LNG voor grote installaties (investering en operatie) neer op maximaal 10 eurocent per Nm³ bio-methaan.

Wanneer energiekosten van opwaardering biogas tot bio-methaan maximaal 3-6% zouden zijn (paragraaf 3.5) en vloeibaar maken van aardgas/bio-methaan tot LNG maximaal 6%, dan zou integratie de energiekosten van biogas tot bio-LNG sterk moeten kunnen verminderen.

HIT is van mening dat er hier inderdaad nog veel integratieslagen kunnen volgen zowel wat betreft investering als operationele kosten. Vooral processen die een goedkope scheiding tussen bio-methaan en kooldioxide kunnen bewerkstelligen zijn kansrijk. Verkoop van zuiver CO₂ zou de kosten van de productie van bio-LNG sterk kunnen verlagen.

Bio-LNG in de Nederlandse situatie zou voor minder dan 32 eurocent per liter moeten kunnen worden geproduceerd (31,25 eurocent) (in het geval van energiegewassen); in het geval van een hoog poorttarief (negatieve waarde in het geval van afval) zouden productiekosten van biogas afnemen. Het is vooralsnog niet duidelijk hoeveel opwaardering en liquefaction meer zouden kosten in het geval van een stroom van minder constante kwaliteit (met name stortgas/co-vergisting).

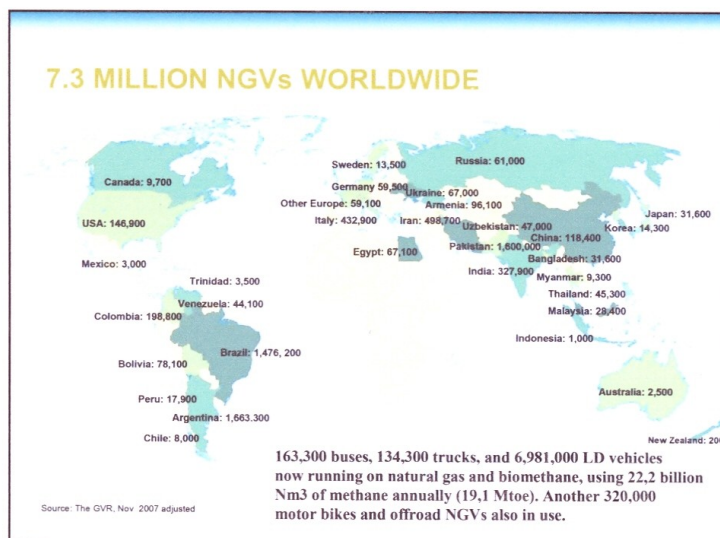
GEBRUIK VAN CNG EN LNG IN DE TRANSPORTSECTOR

CNG

Aardgas wordt al een groot aantal jaren als voertuigbrandstof gebruikt in enkele Europese landen, Canada, Nieuw Zeeland, Australië, Zuid-Amerika en de Verenigde Staten. Tal van andere landen zien goede redenen om het rijden op aardgas te stimuleren. Het gaat hierbij om compressed natural gas: aardgas wordt samengedrukt tot 200 of 250 bar, zodat er meer in een tank kan worden meegenomen. Per kilo kan zo tot meer dan 50 MJ worden meegenomen.

Sinds kort voert ook Nederland een actief stimuleringsbeleid. Nederlands Groningen aardgas is minder energierijk en heeft een calorische waarde van 38 MJ per kilo. Daardoor is de actieradius met een volle tank kleiner dan in andere landen (typisch 250-350 km).

De laatste cijfers van de International Association for Natural Gas Vehicles (IANGV) spreken van 7,3 miljoen voertuigen die nu op aardgas rijden. Onderstaande grafiek geeft aantallen voertuigen per land in 2007. Argentinië, Iran, Pakistan en Brazilië zijn koploper op het gebied van het rijden op CNG. In Europa is Italië een van de voortrekkers. Sinds 1920 gebruiken de Italianen aardgas als tractiebrandstof. In Italië rijden momenteel zo'n 430 duizend voertuigen op aardgas. Het laatste jaar wordt de rij landen waar op aardgas wordt gereden steeds langer. In 2007 is men in Mozambique gaan rijden op aardgas, in 2008 volgt de Dominicaanse Republiek.



Bron: ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf

CNG kan worden afgenomen van aardgasleidingen, dat wil zeggen dat aardgas op het vulpunt wordt samengeperst tot de vereiste druk. CNG kan echter eveneens goed worden bevoorraadt met zogenaamde virtuele pijpleidingen. Dat zijn vrachtauto's die met modules van CNG tankstations beleveren. Deze manier van bevoorraden van CNG is bekend in Zuid-Amerika, Azië en Afrika.



Tot slot is vermeldenswaard dat CNG niet alleen samengaat met benzine (bi-fuel) maar ook met ethanol (trifuel). Brazilië heeft tri-fuel cars, die kunnen rijden op bio-ethanol, benzine en CNG.⁶⁷

LNG voor vrachtauto's

De actieradius van CNG voor zware voertuigen is te klein, daarom wordt er naar alternatieven gezocht. Men kijkt hierbij naar de LNG trade. De website www.fuelswitch.nl vat de kenmerken van LNG als transportbrandstof als volgt samen.⁶⁸

LNG is het aardgas voor de lange afstanden!

- LNG (Liquefied Natural Gas) is vloeibaar aardgas met een temperatuur van -163 graden Celcius.
- Doordat LNG vloeibaar is, kan een tank 2,5 tot 3 keer meer aardgas bevatten dan bij CNG.
- LNG is door de hoge energiedichtheid en de extra stap van het koelen het meest geschikt voor vrachtwagens en bussen die grote afstanden afleggen.
- LNG komt onder andere uit Algerije of Rusland en wordt per schip of truck naar Nederland vervoerd.

Waarom LNG?

- U heeft dezelfde voordelen als bij rijden op CNG, alleen is de actieradius vele malen groter
- Rijden op LNG brengt de uitstoot van fijn stof terug tot 0 g/kW.
- Rijden op LNG brengt de uitstoot van stikstofoxiden terug tot 1,5 g/kW.
- Rijden op LNG reduceert de CO₂-uitstoot op de hele keten tot circa 25% (t.o.v. diesel).
- De exacte emissiegegevens van de LNG variëren doordat het transport van LNG naar het tankstation niet via een leidingennet, maar via vervoer over water of de weg plaatsvindt.

Rijden op LNG

- LNG is op dit moment nog niet op grote schaal commercieel verkrijgbaar op de Nederlandse markt.
- LNG is op dit moment vooral aantrekkelijk voor trucks die langere afstanden rijden, omdat daar de techniek op dit moment voor wordt toegepast.
- De actieradius van een vrachtwagen met een 640 liter tank met LNG is gemiddeld 1150 km.
- Het is nog niet mogelijk LNG te tanken in Nederland.

LNG in de toekomst

- Vooral Scania en Mercedes zijn actief in de ontwikkeling van LNG-vrachtwagens. Met de eerste goedgekeurde voertuigen wordt in 2008 op de Nederlandse markt proef gereden.
- NoNox is een initiatief dat speciale vrachtwagen LNG motoren ontwikkelt.
- Op dit moment wordt er in Engeland ervaring opgedaan met vrachtwagens op LNG.
- De verwachting is dat er rond 2010 LNG trucks leverbaar zijn op de Nederlandse markt.

Wat voor de transporteur belangrijk is in samenhang met de veel lagere kosten, is het feit dat de prestaties van de vrachtauto's niet verminderen. Er is ook sprake van geluidsreductie.

Voor een onafhankelijke vergelijking tussen CNG en LNG kijken we naar Chive Ltd uit Engeland.⁶⁹ Deze firma levert zowel LNG als CNG en zegt over 'het verschil tussen CNG en LNG' het volgende:

⁶⁷ <http://en.cngv.gov.cn/en/product/product.asp?id=638>

⁶⁸ 'LNG', <http://www.fuelswitch.nl/index.php?mod=pages&item=19>.

Zie ook H. Verbeek, LNG in het zware wegtransport, Arnhem 14 november 2007, te downloaden op http://www.senternovem.nl/energietransitiedm/presentations_connecting_clean_mobility_arnhem_1415_november_2007.asp

⁶⁹ In persoonlijke communicatie werd duidelijk dat Chive Ltd een sterk tegenstander zou zijn van het op de markt brengen van Nederlands groen gas alleen. De redenen zijn dat Chive een groot bezwaar heeft tegen beperkte actieradius van CNG en CNG daardoor afwijst voor bepaalde trucks.

Liquefied (LNG) and Compressed (CNG) Natural Gas ⁷⁰

As suppliers of both fuels we are often asked for impartial advice on which fuel is the better, LNG or CNG. Our reply is a measured one. We believe it important to understand the physical properties of each fuel. When this is understood you can understand the pro's and cons of each fuel.

Energy Density

LNG has more than 2.4 times the energy density of CNG at 200 bar, i.e. 435 kg/m³ compared to 175 Kg/m³. This means that for a given capacity fuel tank, LNG powered vehicles can travel up to 2.4 times the distance of its CNG counterpart. Or, that for a given vehicle range, LNG powered vehicles need up to 2.4 times less fuel tank capacity than its CNG counterpart. This means that LNG vehicle fuel tanks can be packaged on 6x2 tractor units, whereas CNG cylinders cannot.

LNG offers better value for your money

LNG powered vehicles weigh less than CNG powered vehicles, and therefore can carry up ¼ of a tonne more cargo/ payload. LNG powered vehicles cost less to manufacture than CNG powered vehicles. A kg of LNG has more energy than a kg of CNG. LNG refuelling stations need no electricity whereas CNG typically requires 5p/kg of electricity cost to compress the gas. The capital cost of LNG refuelling stations, are a fraction of their CNG counterparts. The maintenance cost of LNG refuelling stations, are a fraction of CNG refuelling stations.

Een kenmerk van LNG is het dat er een dubbel geïsoleerde tank nodig is, om er voor te zorgen dat de vloeistof zo lang mogelijk koud blijft. Dit soort tanks is kostbaar. Over meerkosten wordt gezegd (Quote van Amerikaanse LNG experts) dat een LNG bus tussen de 20.000 en 30.000 dollar duurder is. Deze kosten zitten in het aanbrengen van de speciale tanks en de kleine schaal waarop deze techniek tot nu toe wordt aangeboden. Chive Ltd spreekt inmiddels over extra kosten van slechts 5% hoger voor een nieuwe vrachtauto combinatie op LNG.

Een LNG-tank onder een vrachtauto



In Amerika is Westport marktleider. Westport (zie verder) geeft aan dat (Amerikaanse) LNG-trucks voor gebruik in havens in de orde van \$ 140-150.000 (zonder belastingen en subsidies) gaan kosten als ze in series van 5.000-10.000 geproduceerd worden, afhankelijk van precieze aantallen, leveringsvoorwaarden en dergelijke.⁷¹ Westport werkt samen met verschillende truckfabrikanten, zoals Kenworth (PACCAR, derhalve zuster van DAF), Mack (Volvo) en Peterbilt (Daimler). Dit betreft zowel conversies

van bestaande trucks als binnenkort ook af-fabriek versies. Kenworth begint in 2009 met productie van LNG-vrachtwagens met Cummins-motor.⁷² Ook in Australië worden op dit moment LNG trucks besteld.⁷³ In Europa zijn er trucks van Mercedes en Scania, en ook Volvo heeft een prototype van een LNG-vrachtwagen gedemonstreerd. Volvo heeft ook geïnvesteerd in kennis over bio-LNG-productie.⁷⁴ Westport gebruikt High Pressure Direct Injection techniek om dieselmotoren te laten lopen op 95% LNG en 5% diesel. De efficiency is volgens ervaringen van transportbedrijven gelijk aan operatie op diesel.⁷⁵ Onderzoek van TIAX naar de CO₂-prestatie van vrachtwagens uitgerust met het Westportsysteem die rijden op LNG in

⁷⁰ <http://www.chive-ltd.co.uk/chivefuels/ngvfuels.htm>

⁷¹ <http://lngtrucks.westport.com>; Letter from Westport Innovations Inc. to Boards of Commissioners of Ports of Los Angeles and Long Beach, February 15, 2008, www.cunninghamreport.com/080303westportletter.pdf

⁷² <http://www.greencarcongress.com/2008/01/kenworth-to-beg.html>

⁷³ http://en.cngv.gov.cn/en/news/news_detail.asp?id=1138&class=66

⁷⁴ 'Volvo als eerste met vloeibaar biogas?', 11-6-2008, <http://www.twanetwerk.nl/default.ashx?DocumentID=10736>

⁷⁵ "It appears that LNG trucks travel about the same or greater distance on natural gas as the company's diesel-powered trucks on a comparable amount of diesel fuel, he said." New Kenworth T800 LNG Trucks Help Drayage Fleet with Clean Air, www.kenworth.com/newspics/T800%20LNG%20TTSI.pdf

Californië, wijst uit dat er over de keten 21% CO₂ bespaard wordt ten opzichte van een vergelijkbare vrachtwagen op diesel.⁷⁶ Ook Volvo gebruikt een dual-fuel aanpak, die geschikt is voor (bio)diesel met bio-LNG (resp. 10% en 90%).⁷⁷

Een rekenvoorbeeld: voor een vervoerder is relevant dat hij gelijke brandstofkosten heeft als de prijs van 1 liter diesel overeenkomt met die van 1,6 liter bio-LNG. Dit is bij de aanname dat de motor zoals vermeld op LNG net zo efficiënt is als op diesel. Als bio-LNG 5 eurocent per liter dieselequivalent goedkoper is dan diesel, is een hogere aanschafprijs van 10.000 euro na 200.000 km terugverdiend.

Op het gebied van ombouw is RolandeLNG de expert in Nederland. RolandeLNG heeft veel inspanningen gestoken in de introductie van LNG als brandstof voor vrachtwagens in Nederland. De techniek voor het tanken van LNG hebben zij uit de Verenigde Staten gehaald. Rolande heeft transporteurs gezocht bij hun LNG project én gevonden. Dat zijn Vos Logistics, Vos Born en Den Hartogh Tankers. Die gaan alle drie met een groot aantal vrachtauto's op LNG rijden, voor een beter inzicht in de ombouwkosten, bevrage men RolandeLNG.⁷⁸

Het Nederlandse bedrijf Nonox ontwikkelt een vrachtwagenmotor die geschikt is voor LNG.⁷⁹ Deze wordt waarschijnlijk het eerst gedemonstreerd in een stadsbus.

Tot slot is het frappant dat in een land als Brazilië steeds meer gekeken wordt naar LNG als brandstof voor grote vrachtwagens. Nadat in 2006 een grote LNG-installatie is gereed gekomen zien we steeds meer LNG vrachtauto's verschijnen. Brazilië mag dan ook worden beschouwd als het land van de alternatieve brandstoffen.

LNG voor haventrucks in de VS

Vooraf in Amerikaanse havens worden nu uitgebreide programma's opgezet om zware dieseltrucks te vervangen door LNG trucks. Weliswaar zijn dit LNG trucks die op fossiele LNG rijden, maar ook in de V.S. kijken mensen naar de volgende stap en denken dat de stap naar bio-LNG vrijwel onmiddellijk is. Berichten van januari 2008 over de havens in Californië (Los Angeles, Palm Beach) spreken boekdelen.



The Kenworth T800, equipped with a Cummins ISX and Westport's HPDI fuel system, offers an industry-leading solution with world-class low emissions while delivering outstanding horsepower, torque, and efficiency comparable to a diesel engine," Bob Christensen, Kenworth's general manager and PACCAR vice president tells BLB. Interestingly enough the news of Kenworth's LNG factory installation coincides neatly with the Ports of Los Angeles and Long Beach announcement to approve a new \$1.6 billion Clean Truck 'Superfund' which will assist in replacing many of the 16,800 Class 8 trucks serving the ports with LNG-powered vehicles. Moreover, both ports have also introduced a new progressive ban that will remove all pre-2007 trucks by 2012. Westport's LNG fuel system is the only alternative fuel technology currently qualified for financial support under the ports' Clean Truck program.

Southern Counties Express, Inc. (SCE) has placed an initial order for 50 Kenworth LNG (liquefied natural gas) T800 Class 8 trucks (earlier post), representing a value of approximately US\$4 million for Westport's LNG heavy-duty engines and fuel systems. The 50 new LNG trucks will complement SCE's existing fleet of approximately 150 trucks. The trucks are being purchased with financial support

from the San Pedro Bay Ports' Clean Trucks Program, an initiative led by the Port of Los Angeles, the Port of Long Beach and the South Coast Air Quality Management District (SCAQMD). The LNG trucks were assembled at Inland Kenworth in California and are ready for deployment. The trucks are expected to commence container movement service at the Ports of Los Angeles

⁷⁶ <http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/greet.pdf>

⁷⁷ <http://www.volvoc.com/group/globa/en-gb/newsmedia/pressreleases/2007/NewsItemPage.htm?ItemId=27919&sl=en-gb27919&sl=en-gb>

⁷⁸ www.rolandelng.nl

⁷⁹ <http://www.nonox-bv.com/products.php>

and Long Beach (the San Pedro Bay Ports) over the next few weeks⁸⁰

En meer recent:

Ports get Daimler natural-gas trucks⁸¹

Dec 9, 2008 11:37 AM, By Wendy Leavitt, director of editorial development



LOS ANGELES -- Local civic and business leaders, executives from **Daimler Trucks North America** and members of the press gathered under tents here at the Ports of Long Beach and Los Angeles complex Monday to mark the delivery of 132 new natural gas (NG)-fueled tractors to drivers who contract with California Cartage Company, as well as 100 new NG trucks for the Ports' Clean Truck Program. The event also marked the official debut of Daimler's Set Back 113 NG truck. The new trucks ringed a huge parking lot to mark the successful culmination of a project launched in November of 2006 that required the close cooperation and collaboration of the Environmental Protection Agency (EPA), the California Air Resources Board (CARB), the Southern California Air Quality Management District (SCAQMD) and California Cartage, a private company committed to building a clean drayage fleet. Nearly \$12 million in grant funding for California Cartage's project, provided by the SCAQMD using funding from a U.S. EPA grant and from California's Proposition 1B program, helped to make the vision a reality. There are three things strike me as important to remember on this day," said Mark Lampert, sr. vp of sales for Daimler Trucks North America and the master of ceremonies for the day's activities: "First, we are located at the site of one of the most amazing operations in the world and in a state that is leading the change in commerce as well as the environment. Second, we are here to recognize acts of extraordinary leadership and celebrate how one idea, when supported by collaboration and hard work, can lead to profound progress. And last but not least, we are here to formally introduce innovation that, like landing on the moon, will forever meld world commerce with stewardship of the environment."

Gebruik van LNG in de scheepvaartsector

Ook in schepen zijn er toepassingen met LNG. Schepen worden steeds meer verantwoordelijk gehouden voor sterk vervuilende emissies met name omdat bunkerolie veel zwaveldioxide uitstoot. In Noorwegen, België, de V.S. en andere landen lopen projecten om schepen op LNG te laten varen. Het door de Europese Gemeenschap gesponsorde project Magalog stelde eind 2006:

"We believe that in 5-10 years time, the majority of ships contracted for short sea trades will use LNG as a fuel."

⁸⁰ Southern Counties Express Orders 50 LNG Port Trucks: 03/17/2008 – Green Car Congress, <http://www.greencarcongress.com/2008/03/southern-counti.html>

⁸¹ http://fleetowner.com/green/california_ports_daimler_lng_trucks_1209/

MAGALOG heralds LNG powered shipping⁸²

The project MAGALOG is a contribution to addressing port emission problems in Europe, with a special focus on the Baltic Sea, through the establishment of an alternative fuel (LNG or Liquefied Natural Gas) supply chain. The project will contain both a market study and a technical feasibility study.

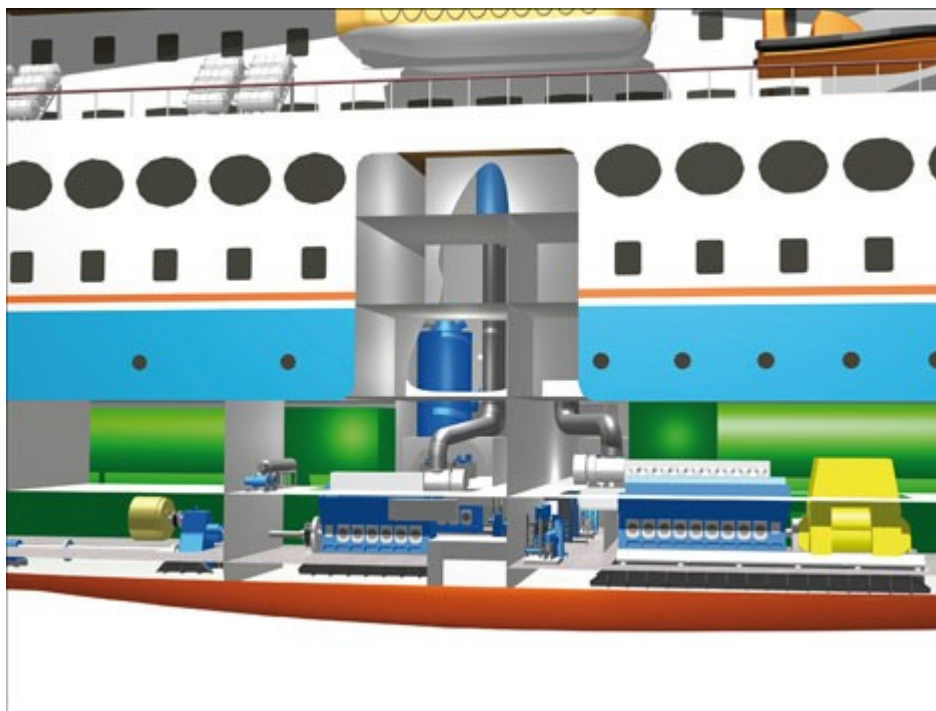
Three Norwegian, two German and one Polish partner are elaborating the studies. The partners represent the gas industry, scientific organizations, gas interest organizations, non-governmental organizations, port authorities and city energy suppliers.

Port cities, national and EU bodies, the shipping industry and other key actors are to be included as indirect participants. One important output of MAGALOG is to prepare for pioneer actions demonstrating the role of LNG in marine fuel and city challenges in the Baltic area. These results should be represented in the context of transferability to other areas in the EU.

In Norway, Liquefied Natural Gas (LNG) fuels already six ferries, two supply vessels and one LNG-carrier. Future taxes and regulations seem to accelerate the change from fuel oil to liquefied natural gas. Ship owners, shipyards and engine makers have recognized LNG as a cleaner and possibly more economical fuel. MAGALOG has been launched on this background.

This project is part financed by the European Commission under the "Intelligent Energy Europe" programme. The Norwegian partner GASNOR AS has the lead (coordinator) and the German partner Baltic Energy Forum is the assistant coordinator responsible for publicity and information.

Hieronder zien we op welke manier LNG wordt ingebouwd in schepen.



LNG is stored in cylindrical, double-walled insulated stainless steel tanks. While LNG is lighter than MDO, its storage facilities increase the total weight to 1.5 times heavier than MDO.

Bron: <http://www.worldcruise-network.com/features/feature687/feature687-1.html>

Marintek (Norwegian Marine Technology Research Institute) is bezig een lijn voor LNG-bunkers op te zetten over Noorwegen. Wärtsilä ontwikkelt scheepsmotoren voor allerlei scheepstypen. Inmiddels varen er zo'n vijftien schepen in Noorwegen op LNG, vooral ferries.⁸³

⁸² <http://www.eu-magalog.eu/home>, MAGALOG – LNG as clean fuel for ships.

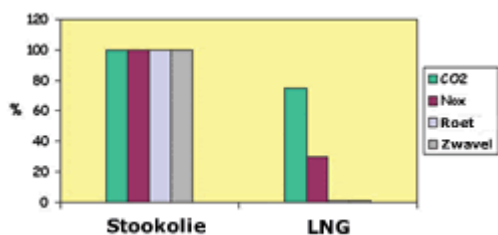
⁸³ 77 APS Review Gas Market Trends, *Small-Scale LNG Business Is Viable; The Norwegian Experience*, 7 June 2004, http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-421780/Small-Scale-LNG-Business-Is.html

Het Rotterdamse bedrijf Anthony Veder heeft een LNG tanker besteld die ook zelf gebruik maakt van LNG als brandstof.

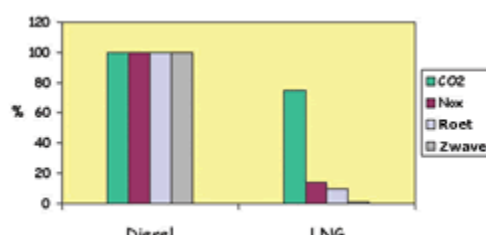


Bron: http://www.dnv.com/binaries/Tanker%20update%201-2007_tcm4-293584.pdf

Schepen kunnen gebruik maken van dual-fuel motoren om zowel op LNG als op scheepsdiesel te kunnen varen.⁸⁴ De eerder genoemde NONOX-motor is ook geschikt als LNG-motor voor de binnenvaart. Schipco ontwikkelt op dit moment – ondersteund door het ministerie van Verkeer en Waterstaat – een nieuw composiet binnenvaartschip dat zal gaan varen op LNG.⁸⁵ Onderstaande schema's tonen duidelijk dat er een grote slag is te behalen in de strijd tegen de luchtvervuiling wanneer er van zware diesel over wordt gegaan op LNG.



Schema 1: De emissies van een verwarmingsketel op stookolie (links) en op LNG (rechts).
Bron: www.energieprojecten.nl/pr_lngfjorden.html



Schema 2: De emissies van een transportschip op diesel (links) en op LNG (rechts).

Mariene diesel (Gasoil) is vuiler en goedkoper per ton dan gewone diesel. De laatste maanden fluctueert de prijs van mariene diesel sterk. Per 1 september 2008 was de prijs voor 1 ton mariene diesel 960 dollar/ton (bron Holland Marine Equipment). Deze prijs is sindsdien sterk gedaald.

Andere toepassingen van LNG in scheepvaart

LNG en dus bio-LNG leent zich nog voor andere toepassingen. Gedacht kan worden aan koeling die kan gebeuren met LNG dat 'afdampt'. Maar ook kan LNG uitstekend worden gebruikt om de vele aggregaten aan te drijven die veelvuldig worden gebruikt, vooral in havens. Een goed voorbeeld hiervan is het gebruik van LNG om walstroom te leveren. Grote schepen die langere tijd in havens verblijven, kunnen er voor kiezen om op walstroom te worden aangesloten. Een mooi voorbeeld van dit zogenaamde 'cold ironing' dateert van augustus 2007 uit de Verenigde Staten.

⁸⁴ Bijv. 'New dual-fuel engines promise 'smooth' fuel switch', <http://www.sustainableshipping.com/news/2008/08/72788?gsid=58438f3ae90c751b998314379bab5028&asi=1>

⁸⁵ 'Schipco wil binnenschip laten varen op LNG' - Maritiem Scheepsbouw Nieuws, <http://scheepsbouw.navigo.nl/artikel/17427/schipco-wil-binnenschip-laten-varen-op-lng>

PG&E, CleanAir Marine Power (CAMP) and Wittmar Engineering recently demonstrated cold ironing the first ship—APL's 863-foot container ship the *APL China*—with a mobile, LNG-fueled shore-side electrical generator. The *APL China* was powered at berth at the Port of Oakland by CAMP's Dual Frequency Multi Voltage (DFMV) generator. PG&E provided the LNG (liquefied natural gas) and LNG equipment and technical expertise. CleanAir Marine Power is a newly formed subsidiary resulting from the merger of CleanAir Logix (CAL) and Wittmar Engineering & Construction, Inc. Wittmar developed the modular DFMV generator in 2001. Cold ironing is a process in which ships shut off their diesel-powered engines and use shore-based power for their electrical needs, preventing and/or significantly reducing harmful emissions during each port visit. At-berth ship emissions make up approximately 28% of all port emissions, according to Brad Whitcomb, vice president of customer products and services for PG&E. The DFMV generator utilizes a turbocharged natural gas or LPG engine to generate either 50Hz or 60Hz and 380 volts to 480 volts so that it can be utilized with any ship that may call on a port complex. The generator is mobile; positioning on the dock is not fixed, thereby accommodating ships of any length or configuration. Mobile LNG cold ironing offers quick connection to a significantly cleaner fuel source than marine diesel and precludes the need for installation of permanent infrastructure. During the July 18, 2007 demonstration at the Port of Oakland, the *APL China* was cold ironed for eight hours. Natural gas provides significant emissions benefits and emits zero diesel particulate matter.⁸⁶

Emissions Comparison, LNG Cold Ironing of <i>APL China</i>			
Pollutant	On-board diesel power (0.5% sulfur marine diesel)	LNG cold-ironing	% reduction
NO _x	1,059 lbs	56 lbs	94.71 %
CO	79 lbs	34 lbs	56.96 %
PM ₁₀	15 lbs	.02 lbs	99.93 %
SO _x	72 lbs	0 lbs	100.00 %
CO ₂	42,651 lbs	24,430 lbs	42.72 %

De percentages broeikasgassen die minder worden uitgestoten in vergelijking met mariene diesel spreken voor zich. Cold ironing met (bio)-LNG zou binnen enige jaren verplicht kunnen zijn als walstroom in de haven van Oakland, Californië.

Based on the success of the demonstration, the Port of Oakland is considering a plan that would use Wittmar LNG generators to cold iron every ship entering its port by 2010, 10 years in advance of CARB's proposed regulations. In 2006, the Port of Oakland received 1,940 ship calls with an average stay of 18 hours. An additional LNG cold ironing test is planned to take place at the Port of Richmond later this year. The demonstration at the Port of Oakland—the fourth busiest container port in the United States—was part of the ongoing development of technologies to meet emissions reduction targets set by the California Air Resources Board (CARB).

Ook in Nederland met name Rotterdam speelt het idee om “walstroom” aan schepen middels elektriciteit vanaf de wal te leveren. Wanneer deze elektriciteit uit oudere fossiele krachtcentrales wordt geleverd is het de vraag of op deze manier een substantiële reductie van CO₂ wordt bereikt.

LNG in de luchtvaart

Tot slot is vermeldenswaard dat LNG ook gebruikt kan worden als brandstof voor vliegtuigen. De Russische vliegtuigbouwer Tupolev heeft hiermee ervaring opgedaan in meerdere projecten.⁸⁷

⁸⁶ www.greencarcongress.com/2007/08/demonstration-o.html

⁸⁷ Cryogenic aircraft, <http://www.tupolev.ru/english/Show.asp?SectionID=82>; tevens <http://www.scribd.com/doc/514466/CRYOGENIC-AIRCRAFT>

Works have been launched on manufacturing a new regional cargo/passenger TU-136 a/c powered by two TB7-117SF engines which has optimal layout in view of LNG properties. This aircraft is intended for passenger and cargo transportation. It can be operated from airfields of any class including unpaved ones. It will be operated on routes that connect regional centers of Russia and for cargo/passenger transportation for servicing centers of mineral industry and also to function as flying laboratory for inspection of gas lines in Northern areas and in Siberia. After being certified the aircraft can be used by foreign airlines in the countries with developed infra-structures of natural gas consumers.

This aircraft having takeoff weight of 20 t will carry 53 passengers and up to 5 t of cargo for 2200 km at the speed of 550 km/h and at the altitude of about 72 km. Fuel efficiency (about 20 g/pass, km) corresponds to that of the best aircraft in the world of this class while use of LNG will allow to cut down direct operational expenses by near 30%.

CNG-, LNG- EN GECOMBINEERDE LCNG-TANKSTATIONS

Inleiding

Er bestaan duizenden CNG-stations in de wereld en er bestaan eveneens tientallen LNG-stations.⁸⁸ Er is een groot verschil in aanleg, operationele kosten en veiligheidseisen. Zo wordt CNG onder hoge druk ingebracht, 200 tot 250 bar, hetgeen hoge compressie kosten met zich mee brengt, terwijl LNG-stations behoefte hebben aan een groter opslagvolume.

LNG-stations worden veelal bevoorraad door LNG-trucks. Men noemt dit virtuele pijpleidingen. CNG-stations kunnen zowel vanuit dergelijke virtuele pijpleidingen worden bevoorraad als vanuit een gasleiding. We zien echter grote veranderingen bij de optimalisering van een infra voor CNG en LNG: een gecombineerde LCNG-structuur.

In verschillende landen wordt al een begin gemaakt met tanken op bio-methaan en bio-LNG. Ook in Nederland worden op dit moment aardgasstations gebouwd. CNG-stations zijn niet zo duur qua investering (300.000 euro voor een gemiddeld openbaar station) maar zij zijn wel duur m.b.t. de operationele kosten, zeker in vergelijking met LNG en LCNG-stations (zie verder). Aardgasstations worden (ook) in Nederland als opstap gezien naar biogasstations. Nederland wijkt zoals gezegd af van andere landen. Andere (ook EU) landen willen minimumstandaards voor het gehalte aan bio-methaan in de transportbrandstof. Wanneer Nederland hierbij aan zou sluiten, zou dat betekenen dat er een speciaal gasnet zou moeten komen, dit is zeer onwaarschijnlijk. De nu voorgestelde keuze lijkt ertoe te leiden dat er een soort ruilsysteem zou ontstaan waarbij fysiek laagcalorisch aardgas kan worden getankt, onder de naam groen gas, omdat elders opgewaardeerd biogas in het laagcalorische net is gepompt.

In dit rapport stellen wij daarom de vraag of Nederland moet doorgaan op de weg van het bouwen van groen gas/aardgas-stations en of het niet intelligenter en goedkoper is om net als Engeland, de V.S, China en Brazilië en steeds meer andere landen over te gaan op LCNG-stations.

CNG virtuele pijpleidingen

Er bestaan in een aantal landen virtuele CNG-pijpleidingen. In Argentinië, Mozambique, Dominicaanse Republiek bijvoorbeeld bestaan gespecialiseerde bedrijven die modules met 1500 kubieke meter aardgas door het land vervoeren. Het bedrijf Galileo in Argentinië is world leader.⁸⁹ Ook Zuid-Afrika, India en Pakistan hebben grote interesse. Dit systeem werkt uitstekend en veilig. Hier is een vrachtwagen afgebeeld met 4 modules CNG (ieder 1500 kg zwaar) die onmiddellijk op een lokaal tankstation kunnen worden gebruikt. Het systeem van CNG virtuele pijpleidingen betekent dat het geen enkel probleem moet zijn om puur bio-methaan af te leveren bij en te tanken aan bio-CNG-stations.

⁸⁸ Bron: ENGVA

⁸⁹ http://aardgas.gasinfo.be/pdf/nl/figaz_oct-nov_05_NL.pdf



http://aardgas.gasinfo.be/pdf/nl/figaz_oct-nov_05_NL.pdf



CNG vervoer naar tankstations van de Dominicaanse Republiek

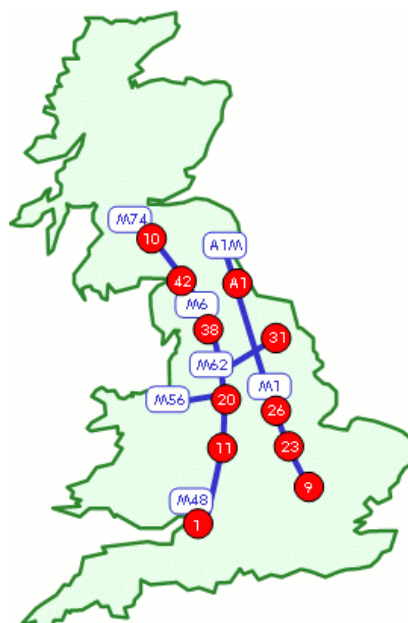
Bij deze vorm van distributie moet duidelijk worden, hoeveel extra kosten er gepaard gaan met de virtuele pijpleidingen (zie volgende paragraaf). In voorkomende gevallen zal het goedkoper zijn om toch gebruik te maken van gasleidingen. De gastransporten per truck die HIT heeft geïdentificeerd betreffen vaak bergachtige streken (waarbij n.b. het gas wordt betrokken uit hoofdgasleidingen en vervolgens per truck wordt vervoerd).

LNG-stations

Zoals gezegd bestaan er tientallen LNG-stations ter wereld. Tientallen jaren ervaring in het buitenland laten zien dat LNG-stations niet gevaarlijk zijn en zeker in het buitenland veiliger worden geacht dan LPG-stations (autogas).

In Europa is er veel ervaring met name in Spanje en Engeland. De laatste jaren is er ook in Scandinavië steeds meer belangstelling voor LNG, waarbij Zweden ook naar bio-LNG kijkt. In Engeland is langs de grote doorgaande routes een dekkend systeem van grote LNG-stations (zie afbeelding, Chive Ltd).

LNG-stations worden bevoorraadt per vrachtwagen. Per truckload kan 40.000 liter LNG worden vervoerd. Een tankwagen met LNG kan meer energie naar een tankstation brengen dan een tankwagen die benzine of diesel vervoert, dankzij de grotere energiedichtheid (per kilo) van LNG ten opzichte van benzine. LNG-transporten zijn goedkoper dan de CNG virtuele pijpleidingen, zoals onderstaande vergelijking laat zien.



Transportation costs – CNG vs LNG

Costs included:

CNG swap body, or LNG trailer investments

Running costs for tractor unit, including fuel, driver, loading and unloading

One way distance	CNG 1.8 ton swapbody [\$/GGE]	LNG 21 ton trailer [\$/GGE]
62.5 miles	0.78	0.11
125 miles	1.46	0.22
250 miles	2.91	0.34

Cost level expected to be significantly lower in USA due to the much lower fuel taxation, but the relations would be the same. Swap body transports are only economically viable over very short distances.

Bron: <http://ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf> [GGE=GasolineGallonEquivalent]

De kosten van een LNG-tankstation bedroegen in de V.S voor 2002 minder dan 600.000 dollar voor een klein station en 2-4 miljoen dollar voor een groot station met de onderstaande specificaties. Meer recente cijfers wijzen op 1 miljoen dollar voor een gemiddeld LNG-station ("small fleet").⁹⁰

LNG Station Costs

Description	LNG Storage Capacity	LNG Dispensers	Approximate Cost
Temporary / Start-up Fleet	5000-6000 gallons	One	\$ <250,000
Small Fleet	15,000 gallons	One or Two	\$600,000
Large Fleet / Transit	30-60,000 gallons	Two to Four	\$2M-4M

*Funding and/or tax credits are available in some areas to help offset these costs.

January 12, 2000
By Steve Baskett

Presented to TRB

Fleet Size

Volgens Nexgen (2002) en andere leveranciers

Zoals eerder is gemeld, is het moeilijk om uit te rekenen wat de totale kosten zijn van distributie, operatie (en winstmarge) van een LNG keten. Idaho Nat Lab kwam in 2004 met een bedrag dat voor de hele keten slechts 20% rekende van de waarde van het gas (was toen ongeveer 4 eurocent, bij een gasprijs die erg laag was (<20 eurocent aan de pomp). Het ziet er naar uit dat de marge in Europa en ook Nederland hoger zal liggen dan in de Verenigde staten. We hebben naar analogie met LPG een marge van 7-15 eurocent gekozen (zie hoofdstuk 8).

⁹⁰ www.consumerenergycenter.org/transportation/afvs/lng.html.

Gecombineerde LCNG-stations

In het buitenland is men er achter gekomen dat LNG-stations met een beetje vernuft en tegen minimale kosten kunnen worden omgebouwd tot stations die ook CNG kunnen verkopen, zodat men daar is overgestapt op LCNG-stations (gecombineerde stations voor LNG en CNG).

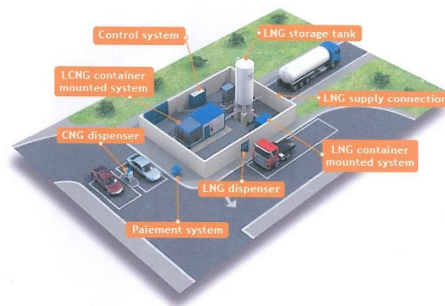


Op de foto zien wij zo'n LCNG-station in Tulare in Californië uit 2002; de totale kosten bedroegen toen 2 miljoen dollar.

In voorkomende gevallen zijn bestaande CNG-stations zelfs gedwongen tot ombouw (geluids-overlast door de compressie). In San Bernadine (zie foto) is een bestaand CNG-station omgebouwd naar een LCNG-station, na klachten van omwonenden.⁹¹

Een LCNG-station wordt tegenwoordig als goedkoper beschouwd dan een CNG-station alleen, ook wanneer de LNG per tanktruck wordt aangeleverd (Nexgen, 2002). In Zweden rekent men voor de bouw van 24 LCNG-stations inclusief LNG trucks omstreeks 8 miljoen euro, hetgeen 341.000 euro per stuk betekent (From a study made by Vattenfall Power Consultants - SGC report 167)

Het verdient daarom aanbeveling om altijd een LCNG-station te bouwen in plaats van alleen een LNG-station. Ook in Nederland bevinden zich firma's met een vooruitziende blik. Zo bouwt RolandeLNG in Oss een LCNG-station, in Dordrecht wordt het tweede station gebouwd. De gemeente Oss laat ook één of twee vuilnis-auto's ombouwen op LNG. Het voordeel van dit en andere LCNG-stations, is dat er LNG voor meest vrachtauto's en CNG voor personenauto's aanwezig is, omdat van LNG gemakkelijk CNG is te maken. Een groep LCNG-stations betekent dan ook even zoveel CNG als LNG-vulstations. Vooralsnog zal het LNG voor het station in Oss vanuit Zeebrugge of Bilbao van de LNG-terminal per truck/spoor moeten worden aangeleverd.



Bron: <http://www.cryostar.com/web/lng-lcng-lh2-fueling-stations.php>

Het ruimtebeslag van een LCNG-station is zeer beperkt. Nexgen Fuelling levert een LCNG-station met opslag van LNG en CNG op een ruimte van minder dan 200 vierkante meter.

Voordelen van een LCNG-station keten ten opzichte van een CNG-keten zijn door Chive als volgt in kaart gebracht:

⁹¹ http://www.ctnpublishing.com/pubs/CCC/CCC_02/CC_Day_1.pdf

Benefits of LNG refuelling infrastructure ⁹²

Fleet operators are at liberty with LNG stations, to dispense both LNG and CNG for a fraction of the cost of an equivalent throughput CNG station which are of course constrained to dispense only CNG. Fleet operators are at liberty to procure 6x2 tractor units powered by LNG but are constrained to only 4x2 tractors for those powered by CNG. LNG powered tractor units are liberated to roam almost anywhere in the UK due to the growing network of retail outlets, whereas CNG vehicles are still constrained to depot based operations. You build stations anywhere in the UK, whereas CNG stations are constrained to areas supplied by pipelines.

LCNG - Liquefied Compressed Natural Gas

CNG produced from LNG, offers hauliers both flexibility and value for money: Maintenance costs are perhaps only 20% that of dedicated CNG stations. The electrical cost of compression is perhaps 10% that of CNG stations. The fuel has a consistent quality and higher calorific value. Fast fill is the norm for every vehicle. More choice as LCNG station's have the ability to supply both CNG & LNG LCNG being delivered as LNG bypasses expensive gas pipeline carriage costs. LNG is well on the way to liberating the whole heavy duty fleet market, including small fleet operators, whereas CNG remains exclusive to only the biggest of fleets. LNG is portable, so is liberated from the pipes to build stations anywhere in the UK, whereas CNG stations are constrained to areas supplied by pipelines.

Onderstaande tabel geeft een kostenvergelijking voor LCNG- en CNG-tankstations.

Kosten vergelijking LCNG - CNG tankstation beide met capaciteit 400 Nm³/h.

	LCNG-tankstation [capaciteit 400 Nm ³ /h]	CNG-tankstation [capaciteit 400 Nm ³ /h]
Investeringskosten (in het station)	€ 341.000,00	€ 276.000,00 tot € 368.000,00
Energieverbruik (totaal van proces en station)	0,1 kWh/Nm ³	0,35 kWh/Nm ³
Operationele onderhoudskosten	0,01 €/Nm ³	0,02 €/Nm ³
Personeelskosten	0,04 €/Nm ³	0,04 €/Nm ³

Valutakoers (1 september 2006): € 1,00 = Zkr 10,85

Bron: <http://www.sgc.se/rapporter/resources/sgc167.pdf> (blz. 28 (42))

Rapport SGC 167, LCNG-studie-möjligheter med LNG I fordonsgasförsörjningen i Sverige,
Vattenfall Power Consultants AB

Combinatie van een liquefaction plant en LNG tankstations

Er ontstaan ook SSL small scale liquefaction plants, met daaraan gekoppeld een LCNG vulstation. Juist voor wat grotere SSL plant aan hoofdgasleidingen brengt dit voordelen. In dat geval wordt een gedeelte van het LNG onmiddellijk gebruikt terwijl een ander gedeelte per virtuele pijpleiding wordt gedistribueerd (zie blz. 57, Clean Energy).

Menging van bio-LNG bij LNG, afzet in scheepvaartsector

Er is nog een andere optie die in de komende jaren zal ontstaan. Dat zal zeker een optie zijn voor de drukste regio in Nederland met betrekking tot de mobiliteit. Op de Maasvlakte zien we niet voor niets de grootste dichtheid van NOx en fijn stof emissies uit diesel in Nederland. Daarom hebben burgemeesters en wethouders van Rotterdam in juli 2008 aangekondigd dat in 2013 alleen schone vrachtwagens de Maasvlakte zouden mogen betreden.

Gezien de plannen voor LNG terminals in Rotterdam is het zinnig om te bezien of bio-LNG direct kan worden bijgemengd met de gewone fossiele LNG uit deze terminals. Wanneer we uitgaan van 70 miljoen liter bio-LNG (van alleen de BER-

⁹² <http://www.chive-ltd.co.uk/chivefuels/ngvfuels.htm>

fabriek in Rotterdam) die gemengd wordt met 675 miljoen liter gewone LNG, zouden 1 miljard kilometers kunnen worden gereden op een brandstof met het geëiste percentage van 10% bijmenging van biobrandstoffen. Ofwel kunnen 10.000 vrachtwagens 100.000 kilometer rijden op deze LNG met 10% bio-LNG.

Als laatste optie zou bio-LNG kunnen worden ingezet in de scheepvaart. Niet alleen als brandstof voor de aandrijving maar ook als alternatief voor walstroom. Ook talloze aggregaten in de Nederlandse havens kunnen overschakelen op (bio)-LNG.

Alle voordelen zijn daar om vooral de Rijnmond tegen relatief geringe kosten, het toonbeeld te laten worden van een schone mobiliteit: een keten van LCNG-stations, waarbij LNG en CNG langzamerhand zullen worden vervangen door bio-LNG en bio-CNG.

Evaluatie, conclusies en aanbevelingen

Er zijn in de wereld verschillende ketens voor CNG en LNG in gebruik. Pijpleidingen en virtuele pijpleidingen zijn er voor CNG. LNG wordt meestal per virtuele pijpleiding vervoerd. Ook zien we dat CNG-stations worden omgebouwd tot LCNG-stations omdat een dergelijk station de beide brandstoffen kan leveren.

Het biedt voordelen om een LCNG-station te bouwen in plaats van een CNG-station alleen, omdat het immers eenvoudig is om van LNG, CNG te maken. Dat geldt ook voor het maken van bio-CNG vanuit bio-LNG. De meerkosten van een LCNG-station ten opzichte van een LNG-station zijn slechts een fractie van de kosten van alleen een CNG-station. De kosten van een CNG-station worden geschat op minimaal 276.000 tot 368.000 euro, een LCNG-station wordt in Zweden geschat op 341.000 euro per stuk [volgens de koers in september 2006]. Een LNG-station van dezelfde capaciteit zal iets minder kosten. Daarmee wordt de discussie naar onze mening gemakkelijk over hoe we in Nederland zullen moeten omgaan met inzet en distributie van bio-methaan/groen gas als transportbrandstof.

Immers de kosten van het vloeibaar maken van bio-methaan (10 kWh) bedragen 0,6 kWh (6%), terwijl de compressiekosten van groen gas (8,8 kWh) 0,35 kWh/Nm³ bedragen (=4%). De energiekosten van LNG naar CNG zijn verwaarloosbaar.

Daarom is het aan te bevelen om biogas op te waarderen tot bio-methaan, maak bio-LNG en distribueer dit over bio-LCNG (feitelijk beter LCBM, liquified compressed bio-methane) stations in het land. Op die wijze ontstaat een gecombineerde infrastructuur gemaakt voor bio-methaan met hogere energie-inhoud dan gas uit het aardgasnet. Ten opzichte van CNG kan dit bio-CNG vermarkt worden als een super-product, vergelijkbaar met euro 95 bij gewone benzine.

Of het rendabel is om bij een kleine biogas installatie van 5 miljoen kubieke meter biogas gelijk een bio-LNG installatie en LCNG-station neer te zetten zal een pilot moeten uit wijzen.

HIT schat de ruimte die nodig is voor een kleine liquefaction plant voor bio-LNG plus een LCNG-station op in ieder geval minder dan 1500 vierkante meter. Dat is natuurlijk zonder de biogasinstallatie. Voor de liquefaction plant voor bio-LNG is minder ruimte nodig dan voor een SSL voor aardgas omdat de gasvoorbehandeling eenvoudiger kan.

BUSINESS CASE VOOR BIO-L(C)NG IN NEDERLAND

Inleiding

Bio-LNG is vooral geschikt voor vrachtauto's als vervanging voor diesel. Dit vermindert de schadelijke emissies en ook wordt de geluidoverlast teruggebracht bij het rijden op bio-LNG. Daarom is het de moeite waard om zoveel mogelijk vrachtauto's over te schakelen op bio-LNG.

Het lijkt vooralsnog te duur om kleinere biogasinstallaties bio-LNG te laten maken. Hoewel arbitrair nemen we voorlopig als grens 650 Nm³ biogas/uur, hetgeen neerkomt op 5 miljoen kubieke meter biogas per jaar. Dit is de grens van het rendabel opwaarderen van biogas tot bio-methaan. Bij welke ordegrrootte het economisch rendabel wordt om biogasinstallaties, via een liquefaction plant ter plaatse te koppelen aan een (aantal) LCBM-station(s) zou verder moeten worden onderzocht. Rentabiliteit van een bio-LNG keten zal afhangen van de feedstock prijs, schaal, fossiele brandstofprijzen en zelfs van de mate waarin deze nieuwe keten zal worden ondersteund door de overheid (accijnzen, subsidies en biotickets).

Een bio-LNG infra kan worden opgezet vanuit grote installaties, waarvandaan LCBM-stations worden bevoorraad door virtuele pijpleidingen met bio-LNG trucks. Een vijftal grotere bio-LNG installaties van ieder 80 miljoen liter zouden hierbij bijvoorbeeld een 80 LCBM-stations kunnen bevoorraden, hetgeen 1,5 % dekking aan biobrandstoffen van de voor heel Nederland gewenste 10% in 2020 zou betekenen. Een vlugge rekensom wijst uit dat hiermee 10.000 vrachtauto's 75.000 km per jaar zouden kunnen rijden.

Deze stations kunnen niet alleen als bio-LNG-station dienst doen voor vrachtwagens maar ook als bio-CNG-stations voor personenauto's⁹³. De optie van een aparte pijpleiding van bio-methaan met daaraan verschillende liquefaction fabrieken (SSL) lijkt voor Nederland een te dure oplossing. Immers liquefaction plants worden goedkoper bij opschaling en pijpleidingen zijn duur (0,6 miljoen euro per km). In de V.S. heeft Clean Energy hiernaar gekeken en is men daarom begonnen met een grotere LNG faciliteit waarvandaan LNG trucks gaan rijden om de LNG naar LCNG-stations te distribueren⁹⁴.

Deze enorme LNG-fabriek voor het vrachtverkeer is op 24 november van 2008 officieel geopend.⁹⁵ De fabriek gaat per dag meer dan 600.000 liter LNG voor het vrachtverkeer leveren.

Boron, CA Plant

Opens Fall 2008

\$70 Million
Investment

160,000 gal/day

Expanding to
240,000 gal/day
at end of 2009

1.5 Million
Gallons Storage



⁹³ Bron: http://www.wziworldwide.com/images/CleanEnergy_Presentation062408.pdf

⁹⁴ Uit investering en productiehoeveelheid valt af te lezen dat toegevoegde kosten van vloeibaar maken en truckloads bij een terugverdientijd van 10 jaar slechts maximaal enkele centen per liter LNG zullen bedragen.

⁹⁵ <http://www.hydrocarbononline.com/article.mvc/Clean-Energy-Opens-First-Large-Scale>

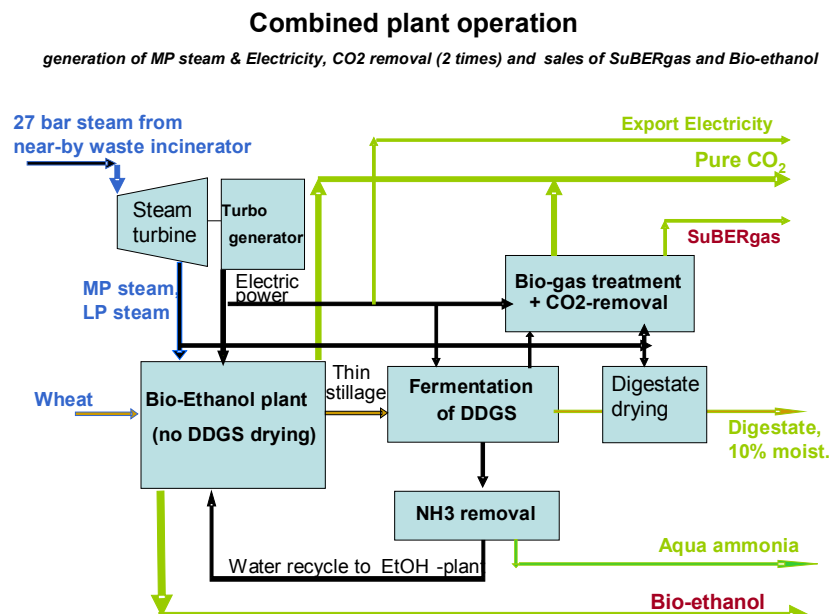
Casus: Rotterdam

In de voorgaande hoofdstukken zijn kostenberekeningen uitgevoerd voor onderdelen van de keten voor bio-LNG als transportbrandstof. Deze berekeningen blijken sterk af te hangen van schaalgrootte, met name waar het de productiekosten betreft. De logistiek van bio-LNG-truckloads en infrastructuur van tankstations is sterk bepalend voor de distributiekosten. Er zijn vele scenario's mogelijk; in dit rapport kiezen we voor een reële casus als voorbeeld voor een business case voor bio-L(C)NG in Nederland.

Mogelijke productie van bio-LNG in Rotterdam

In het productieproces van BER BV (www.ber-rotterdam.com) is een tweede fermentatiestap ingebouwd, nadat er bio-ethanol is geproduceerd van voedertarwe. Hierna worden de biomassaressanten vervolgens anaërobisch vergist. Het resultaat van deze efficiënte conversiestap (70% efficiency) is de productie van meer dan 70 miljoen kubieke meter biogas op jaarbasis. Middels een Nederlandse uitvinding van CIRMAC uit Apeldoorn zal het H₂S en CO₂ uit het biogas worden gehaald. Het zal niet worden opgewaardeerd tot Groen GAS met een energetische waarde van 35 MJoule per kubieke meter maar tot een kwaliteit 'SuBERgas' van meer dan 99% bio-methaan.

Dit SuBERgas met maximaal 50 ppm. CO₂ is zeer geschikt om er bio-LNG van te maken. De geschatte productie van het bio-LNG zou vanaf 2010 op jaarbasis meer dan 70 miljoen liter bedragen. Dat is genoeg om meer dan 42 miljoen liter diesel te vervangen, ong. 1% van het dieselverbruik in het vrachtovervoer in Nederland. Dit zal tot een substantiële vermindering kunnen leiden van de emissies in de Rijnmond.



Conform de hier berekende prijs voor biogasproductie en opwaardering, wordt er vanuit gegaan dat een kubieke meter bio-methaan geleverd kan worden voor 40 eurocent. Van 1 kubieke meter bio-methaan kan 1,6 liter bio-LNG worden gemaakt. Uit 50 miljoen kubieke meter bio-methaan (BER) zal dan 72-76 miljoen liter bio-LNG gemaakt kunnen worden (72 bij 10% energiekosten, 76 bij 5% energiekosten). Wanneer we aannemen dat een liquefaction plant 14 miljoen euro zou kosten aan investering, en er 5 LCBM-stations zouden worden aangehaakt (240 vrachtwagens per station), plus LNG-trucks voor transport (1750 transporten per jaar), dan zou een infrastructuur met laadstations als eerste schatting beneden de 25 miljoen euro kunnen blijven (met 20% contingency). Deze investering van 25 miljoen euro over 10 jaar met maximale energiekosten van 10% voor liquefaction zou betekenen dat bio-methaan vloeibaar gemaakt kan worden voor maximaal 10 eurocent per kub.

Hoewel hier moet worden aangetekend dat verschillende liquefaction technieken andere energieconsumptie behoeven en een andere investering, kan in ieder geval een maximale marge worden genomen voor het hele proces. Om van bio-methaan van 40 eurocent per kubieke meter 1,6 liter bio-LNG te maken zal 10 eurocent genoeg zijn in alle gevallen waar economy of scale wordt bereikt. Dit betekent dat 1 liter bio-LNG kan worden geproduceerd in Rotterdam voor **31,25 euro** per liter. Omgerekend in GigaJoule zal dit betekenen dat voor 1 GigaJoule 47,6 keer 31,25 is 14,80 euro per GigaJoule zal moeten worden betaald.

Ter vergelijking: diesel kost per GigaJoule tenminste 16,60 euro af raffinaderij, bij een dieselprijs van 1,30 euro per 15 September 2008. Dit alles is buiten de marge die de brandstoffenketen zal berekenen (zie vervolg). ECN geeft voor (eerste en tweede generatie) bio-ethanol en biodiesel brandstofprijzen exclusief heffingen en BTW die ver boven 20 euro per GigaJoule liggen.⁹⁶

Wat zou een liter bio-LNG mogen kosten aan de pomp

Het is belangrijk om te weten tegen welke prijs een liter bio-LNG verkocht zou kunnen worden aan de pomp, om deze schone brandstof concurrerend te laten zijn. De prijs van 1 liter bio-LNG (en dus de prijs van 1 kg bio-methaan (bio-CNG)) zal door de consument gerelateerd worden aan de calorische waarde en de prijs van de fossiele brandstoffen. We kunnen daarbij de productieprijs van 31,25 euro per liter bio-LNG uit een grotere installatie als uitgangspunt nemen. Kleine installaties kunnen vooralsnog niet concurrerend werken.

Wanneer we de prijs van bio-CNG/bio-methaan vanuit bio-LNG relateren aan de productieprijs van bio-LNG, krijgen we een productieprijs van 2,38 maal 31,25 euro betekent 74 eurocent, zonder accijns, marge en BTW. Omdat bio-CNG (compressed bio-methaan) 38% meer energie-inhoud heeft dan CNG, zou bio-CNG 38% meer mogen kosten dan CNG van Nederlands Slochteren aardgas.

Hier volgen brandstoffenprijzen aan de pomp.

Brandstofprijzen (op 12 november 2008):

	<i>Energie waarde</i>	<i>Prijs incl. accijns en BTW</i>
Diesel	35,7 MJ/liter	1,05 /liter
Biodiesel	32,5 MJ/liter	1,50 /liter
CNG	38,76 MJ/kilo	0,69 /kg
Bio-ethanol (E85) ⁹⁷	21 MJ/liter	1,33 /liter
Euro 95	30 MJ/liter	1,22 /liter
Biogas	38 MJ/kg	0,99 /kg
LPG	24 MJ/liter	0,45 /liter

Bron: www.fuelswitch.nl

⁹⁶ Uytterlinde, M.A., C.B. Hanschke, P. Kroon (2008): Effecten en kosten van duurzame innovaties in het wegverkeer. Een verkenning voor het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden', ECN-E—07-106.

⁹⁷ Een kale bio-ethanol prijs betekent verder niet zoveel; omdat bio-ethanol eerst nog naar de raffinaderij moet om geblend te worden, zullen de kosten in de keten (en marge) hoger zijn dan ongemengde brandstoffen.

Brandstofprijzen met accijnzen

Een kale prijs van bio-LNG vanuit de productie eenheid is zonder accijns. Het is de vraag hoeveel accijns hierop zal worden geheven. Wanneer we de accijnzen van de verschillende brandstoffen tonen, krijgen we:

- Aardgas 3 eurocent per kg
- LPG 6 eurocent per liter
- Diesel 42 eurocent per liter
- Benzine 68 eurocent per liter

(Per megajoule omgerekend resp.: aardgas – LPG – diesel – benzine = 0,07 – 0,27 – 1,14 – 2,00)

Daar bio-LNG en bio-methaan veel schoner zijn dan aardgas valt het in de lijn der verwachting om maximaal de accijnzen aan te houden voor aardgas (gerelateerd aan energie-inhoud). Dit betekent dat voor een kilo bio-methaan een belasting zou moeten gelden van 4 eurocent (3,93) en voor een liter bio-LNG een belasting van 1,6 eurocent.

Opgeteld bij een productieprijs van 31,25 euro zou dat betekenen dat inclusief accijnzen een liter bio-LNG 32,85 euro zou kosten, zonder marge voor de keten en zonder BTW.

Voor bio-CNG uit bio-LNG zou gelden dat bio-CNG 74 plus 4 maakt 78 eurocent per kg zou moeten kosten, ook weer zonder marge en zonder BTW.

Marges voor de keten (in vergelijking met kale prijzen)

Naast de productieprijs en accijnzen van een liter bio-LNG is het van belang om de marge voor de keten te bepalen. Onder de marge verstaan wij de handelingen (plus winst) in de logistiek van de producent tot aan de pomp

Zoals eerder is gezegd, is de marge in Nederland en Europa hoger dan in de Verenigde Staten (daar maximaal 20% van de waarde van het gas).

Om toch een marge voor deze nieuwe keten te kunnen bepalen, nemen we als voorbeeld het LPG omdat het qua energie-inhoud, volume en behandeling kan worden vergeleken. Accijns is 6 eurocent, hetgeen na evaluatie betekent dat de marge maximaal 15 ct per liter zal zijn voor transport, pomphouder en oliehandel. Dit is aan HIT bevestigd door verscheidene LPG ketens (Pers Com. Tamoil en Argos).

Veel pomphouders nemen genoeg met een veel kleinere marge (tot 7 eurocent), dit zien we vooral bij pompstations in het oosten en uiterste noorden van ons land. Ter vergelijking ligt de marge bij diesel iets lager. Een kale dieselprijs van 70 eurocent aan de pomp, impliceert volgens Shell dat de marge voor de keten vanaf de raffinaderij zo'n 10 eurocent is. Na communicatie met de oliehandelaren, stations en gebaseerd op de huidige prijzen in de keten voor diesel en LPG, schatten we dat de marge op een liter bio-LNG zich zal bewegen tussen **7 en 15 eurocent** per liter.

HIT verwacht dat de marge eerder in de buurt van de 7-10 eurocent zal liggen, hetgeen meer overkomt met calorische waarde, investeringen en energie-inhoud, zeker wanneer bio-LNG op grotere schaal zijn intrede zal doen. Dit betekent dat 1 liter bio-LNG zonder BTW aan de pomp tussen de 39,85 euro en 47,85 euro per liter zou moeten gaan kosten. Inclusief BTW betekent dat tussen de 47,5 en 57 eurocent aan de pomp per liter bio-LNG.

Voor CNG uit bio-LNG zou dit met eenzelfde marge voor de keten betekenen dat prijzen per kg zullen variëren tussen 1.01 en 1.10 euro per kilo (incl. BTW).

Rekenvoorbeeld

De prijs van bio-LNG t.o.v. de conventionele fossiele brandstoffen is van groot belang. Het is reeds lang duidelijk dat de Nederlandse consument niet bereid is extra te betalen voor brandstoffen die minder uitstoot geven. Daarom is de enige mogelijkheid om de toenemende vervuiling tegen te gaan, schone brandstoffen te genereren die goedkoper zijn dan de nu gebruikte als benzine en diesel. De autobezitter is daarbij voornamelijk geïnteresseerd in de prijs aan de pomp inclusief BTW en accijnzen.

Om een vergelijking in kosten te kunnen trekken voor het vrachtvervoer moeten we waarden van diesel en bio-LNG tegenover elkaar zetten. Voor 6 liter diesel⁹⁸ heeft men ongeveer 10 liter bio-LNG nodig om tot hetzelfde aantal kilometers te komen. Qua energie-inhoud zou de prijs dan in relatie met de diesel moeten worden bekeken.

Bij een realistische benadering zou bio-LNG inclusief accijnzen maar zonder BTW tussen de 40 en 48 eurocent per liter gaan kosten. De huidige prijs van diesel is 0,87 eurocent (ook zonder BTW). Er zit op de diesel een accijns van 42 eurocent. Bij de huidige van diesel van 1,03 euro zou het voordeel voor de transportsector het volgende zijn:

Bio-LNG 48 eurocent maakt 4,80 euro per tien liter, men rijdt 18 kilometer.
Diesel 87 eurocent maakt 5,22 euro voor 6 liter, men rijdt 18 kilometer.

Voordeel is 42 eurocent per 18 kilometer of 2,33 eurocent per kilometer. Meerkosten bij investeringen in LNG-vrachtwagens zijn hiermee binnen enkele jaren terug te verdienen (zie ook rekenvoorbeeld in paragraaf 6.2). Bij een accijnsheffing die hoger uitvalt dan genoemde 1,6 eurocent, zal het voordeel kleiner worden. Wij hebben uitgerekend dat bij de huidige dieselprijs van 1,03 (accijns 42 eurocent), het voordeel van het rijden op bio-LNG al snel zal zijn verdwenen, wanneer de accijns op bio-LNG wordt verhoogd. Duidelijk wordt dat de bal bij de overheid ligt. De overheid bepaalt – met een constant accijnsbeleid- de introductie van bio-LNG als schone brandstof.

Subsidies, SDE, biotickets

Bij het introduceren van een nieuwe keten zoals die van bio-LNG, wordt natuurlijk naar subsidies gekeken. In de V.S wordt subsidie gegeven op het ombouwen van vrachtauto's omdat een truck op LNG nu eenmaal meer kost. Er wordt ook subsidie

⁹⁸ Wanneer we bio-LNG tegenover biodiesel plaatsen, wordt de vergelijking nog gunstiger in het voordeel van bio-LNG. Omdat gewone diesel 35,7 MJoule aan energie heeft per liter en biodiesel slechts 32,5 zijn er minder dan 9 liter bio-LNG nodig om dezelfde hoeveelheid energie te hebben als 6 liter biodiesel. We rekenen dat 1,5 liter bio-LNG volstaat ter vervanging van 9 liter biodiesel. Omdat bio-LNG ook veel schoner is, zou 1,5 liter bio-LNG duurder mogen zijn dan biodiesel. Biodiesel is op dit moment minimaal 10 eurocent duurder per liter dan gewone diesel.

gegeven op LCNG-stations. Belastingvoordelen zijn gebruikelijk. In Nederland kan dit ook naar bijvoorbeeld analogie met de subsidie op aardgasstations.

De Subsidieregeling Duurzame Energie (SDE) zal subsidie gaan geven aan biogasproductie. Er zijn inmiddels berichten naar buiten gekomen dat ook voor biogas-equivalenten in de bio- transport-brandstoffen de SDE-subsidie zal gelden. Dit zou een ondersteuning betekenen van 7 eurocent per biogas-equivalent. Omgekeerd zou dit voor 100% bio-methaan ongeveer 11 eurocent per kubieke meter betekenen. Ofwel 6,5 eurocent per liter bio-LNG wanneer dit ook voor bio-LNG zou gelden.

Er is een bijmengverplichting voor biobrandstoffen. Iedere leverancier van benzine en diesel voor het wegtransport die niet in staat is biobrandstof bij te mengen, kan zogenaamde biotickets kopen. Er moet worden opgemerkt dat de waarde per bioticket sterk zou kunnen veranderen en onderhevig is aan de markt⁹⁹.

Biotickets doen op dit moment (per augustus 2008) voor benzine en diesel 12.50 euro per bijmengverplichting per kubieke meter transportbrandstof. Dit komt voor de benzine neer op 49 liter bio-ethanol (bijmengverplichting 3,25% voor 2008). Voor diesel zou dit betekenen dat er geen 49 liter bijgemengd zou moeten worden, maar 55 liter omdat de calorische waarde geen 32 maar 36 MegaJoule per liter is. Nu is bio-ethanol geen vervanger voor diesel maar bio-LNG wel. Bio-LNG heeft dezelfde calorische waarde als bio-ethanol, dit maakt rekensommen gemakkelijk. Een en ander betekent dat een liter bio-LNG zou kunnen rekenen op een maximale bijdrage (biotickets) van 12,50 euro: 55 liter = 22,7 eurocent per liter bio-LNG. Wanneer we uitgaan van een verkoopprijs aan de pomp van 47-57 eurocent per liter bio-LNG (dit rapport), zou dit een groot upward potential kunnen vertegenwoordigen voor de keten die bio-LNG gaat vermarkten.

Evaluatie, conclusies en aanbeveling

Kostprijs van het maken van bio-methaan en vervolgens bio-LNG zal onder de 50 eurocent per liter liggen voor grotere productie-eenheden. Dit betekent 31,25 euro per liter bio-ethanol.

Het is realistisch om als prijs aan de pomp tussen de 47 en 57 eurocent per liter bio-LNG te rekenen. Opgebouwd als:

- Productiekosten 31,25 eurocent
- Accijns 1,6 eurocent
- Marge 7-15 eurocent
- BTW 7,5-9 eurocent

Daar bio-LNG een dieselvervanger is, moeten we de prijs van bio-LNG vergelijken met die van diesel. Bij een huidige dieselprijs van 1,03 euro is het prijsvoordeel marginaal. Zoals in dit rapport reeds is gezegd moet hiervan ook de meerprijs van de vrachtcombinatie worden betaald. Hier is nog te weinig zicht op, het minimum verschil wordt geraamd op 5% van de nieuwwaarde.

De prijs van CNG uit bio-LNG wordt geschat op 1.01 tot 1.10 euro per 50 MegaJoule inclusief accijnzen en BTW aan de pomp.

⁹⁹ Inlichtingen over biotickets: STX Services B.V., Keizersgracht 311, 1016 EE Amsterdam

Concluderend zou het zeer wel mogelijk zijn om het grote Nederlandse luchtvervuiling-probleem van Nederland voor een groot deel op te lossen door over te schakelen op bio-LNG voor vrachtauto's. Daar is wel een voorwaarde aan verbonden dat de overheid geen ontmoedigingsbeleid voert met betrekking tot deze schone herroepelijke biobrandstof. Accijnzen zullen dus voor langere tijd niet hoger moeten zijn dan het minder schone aardgas.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

Bio-methaan is de schoonste huidige biobrandstof. Bio-methaan geeft minder emissies dan bio-ethanol en biodiesel vanuit de uitlaat. Bio-methaan is ook schoner dan het zogenaamde groene gas, oftewel biogas geüpgrade tot Nederlands aardgas-kwaliteit.

Bio-methaan wordt geproduceerd via upgradering van biogas. Biogas kan in bepaalde gevallen geproduceerd worden voor 30 eurocent of minder per kubieke meter. Biogasproductie concurreert niet met de voedselproductie. Wanneer biogas gemaakt wordt van energiegewassen heeft het de hoogste opbrengst per hectare in vergelijking met andere biobrandstoffen. Het productiepotentieel in Nederland is groot: van rioolslib, zuiveringsslib, etensresten, land en tuinbouw afval en van biobrandstoffen productierestanten kan biogas worden gemaakt.

Upgraden van biogas tot bio-methaan kan goedkoop via verschillende technieken. Dit wordt in de omringende landen in toenemende mate gedaan. Upgradering tot bio-methaan is te prefereren boven upgradering tot groen gas. Bio-methaan kan geproduceerd worden voor 40 eurocent of minder per kubieke meter (bij installaties van >5 miljoen kub biogas/jaar). Compressed bio-methaan heeft per kilo een 30%-38% hogere energie-inhoud dan Nederlands groen gas/CNG.

Bio-methaan kan direct geleverd worden aan tankstations middels virtuele pijpleidingen, zoals op vele plaatsen in de wereld gebruikelijk is (200-250 bar bio-CNG). Bio-methaan kan ook in leidingen worden afgeleverd, afhankelijk van afstand.

De benodigde energie voor het comprimeren van bio-methaan tot bio-CNG is groot, tot 4% van de energie-inhoud. Investeringskosten van de compressor zijn daarnaast hoog.

Bio-methaan kan eveneens vloeibaar worden gemaakt tot bio-LNG. Deze route is goedkoper en kost minder energie dan het opwaarderen van aardgas tot LNG.

Bio-LNG heeft dezelfde samenstelling als gewone LNG en is derhalve een vloeibare transportbrandstof. Ervaringen met LNG leren dat dit de schoonste brandstof is en goed te gebruiken door vrachtwagens, schepen en andere industriële toepassingen.

Bio-LNG kan geproduceerd worden in grote installaties voor minder dan 31,25 eurocent per liter¹⁰⁰ wanneer we ervan uitgaan dat een Nm³ bio-methaan 1,6 liter bio-LNG oplevert. Bio-LNG heeft dezelfde energie-inhoud als een liter bio-ethanol.

In de toekomst zal de opbrengst aan biogas door verbeteringen in anaërobe vergisting technieken kunnen worden vergroot en met verbeteringen van

¹⁰⁰ De cijfers 30 ct (biogas) – 40 ct (bio-methaan) – 31 ct (bio-LNG) gelden voor grotere installaties. Bij stortgas en covergisting zal biogas minder kosten vanwege het negatieve poorttarief, bij inzetten van bijvoorbeeld snijmaïs zal productie van biogas duurder zijn vanwege de kosten, maar is de kwaliteit biogas constant en beter en wordt opwaardering en liquefaction goedkoper (hoofdstukken 4 en 5)

opwaardering en liquefaction kunnen productiekosten van bio-LNG verder worden teruggebracht.

Bio-LNG is ten opzichte van zowel eerste als tweede generatie bio-ethanol en tweede generatie biodiesel niet alleen schoner (paragraaf 2.2), maar ook goedkoper (paragraaf 8.2). Bio-LNG zal in de gehele keten (LCA) schoner en goedkoper zijn dan BTL en GTL met daarnaast een grotere CO₂-reductie.

Een ketenanalyse van bio-LNG laat zien dat de keten carbon negatief kan zijn, d.w.z. de uitstoot na gebruik in automotive toepassing wordt ruimschoots gecompenseerd door de opname van CO₂ bij groei van de biomassa die wordt vergist. Veelal gaat het hierbij om afval dat zonder gebruik juist tot meer ongecontroleerde emissies (van vooral methaan) leidt.

Het opwaarderen van dit biogas tot zuiver bio-methaan en zuiver CO₂ geschikt voor hergebruik is de beste route voor het verminderen van de CO₂-uitstoot in het productieproces. Bij opwaardering tot 98% of meer CH₄ wordt de grootste hoeveelheid CO₂ afgescheiden tegen de geringste kosten. Het is daarom van eminent belang om duidelijk te kiezen voor bio-methaan en niet voor groen gas van Slochteren aardgaskwaliteit.¹⁰¹

Bio-LNG kan goed dienen als vervanging voor scheepsdiesel, ook zijn er andere toepassingen in de scheepvaart (walstroom met een aggregaat).

Bio-LNG kan worden gebruikt om bio-CNG te leveren aan een gecombineerd LCBM-station. Er zijn dan geen compressiekosten en op deze manier wordt nauwelijks energieverlies geleden (90% minder kosten dan in het geval van CNG alleen).

In het vrachtvervoer zal bio-LNG moeten concurreren met diesel. (Nieuwe) vrachtauto's die op bio-LNG kunnen rijden, gaan in massaproductie maximaal 5% meer kosten. In verhouding zou bio-LNG per liter 40%¹⁰² goedkoper moeten zijn dan gewone diesel om een direct economisch voordeel op te kunnen leveren voor de Nederlandse transportsector. 40% prijsvoordeel per liter (bio-LNG t.o.v. diesel) maakt de lagere energiedichtheid van LNG en de meerkosten bij investering in LNG-vrachtwagens goed.

Daar bio-LNG en bio-CNG schoner zijn dan Nederlands aardgas, is het realistisch aan te nemen, dat de accijnzen hieraan gerelateerd zullen worden (betekent 1,6 eurocent voor 1 liter bio-LNG – 4 eurocent voor 1 kilo bio-CNG).

Naast een verwachte productieprijs van bio-LNG van 31 eurocent en bij een redelijke marge voor distributie en de verkoopketen (7-15 eurocent per liter bio-LNG), zou bio-LNG dan inclusief accijns voor 40-47 eurocent per liter kunnen worden aangeboden aan de pomp (zonder BTW). Inclusief BTW zou 1 liter bio-LNG op dit moment kunnen worden aangeboden voor 47-57 eurocent per liter.

Dit is voldoende laag om een groot voordeel aan de transportsector te kunnen bieden bij een diesel prijs van 1,30 euro per liter per oktober 2008.

¹⁰¹101 Afscheiding en opberging van CO₂ uit biobrandstoffen is volgens HIT veruit de goedkoopste optie van CCS (Carbon Capture and Storage) en maakt de hele route carbon negatief.

¹⁰²102 In deze 40% zitten niet de meerkosten van de LNG installatie in een truck.

Bij een huidige prijs van 1,03 euro per liter (eind december 2008), hetgeen een diesel prijs betekent van 87 eurocent (incl. accijns, ex BTW.), zou een bio-LNG prijs van 52 eurocent nog steeds een voordeel genereren voor bio-LNG rijders.

Bio-CNG van LCBM-stations, zou maximaal 81 tot 89 eurocent (excl. BTW) kunnen gaan kosten per kilogram (incl. BTW 0,96-1,06 eurocent). Ter vergelijking kost op dit moment compressed groen gas van Slochteren kwaliteit met 38% minder energie-inhoud dan compressed bio-methaan 99 eurocent aan de pomp.¹⁰³

Met subsidies (SDE, biotickets, dubbeltelling) zouden deze bedragen lager kunnen worden.

Het ligt derhalve in handen van de overheid of bio-LNG en bio-CNG kunnen worden ingezet in de Nederlandse transportsector (en tegen de luchtvervuiling). Immers wanneer bij accijnsheffing de relatie wordt gelegd met aardgas, zou een prijs van 52 eurocent per liter (zie hoofdstuk 8), reeds betekenen dat bio-LNG in verhouding goedkoper zal worden dan diesel van het huidige zeer lage prijsniveau (december 2008). Wanneer de overheid daarentegen de schone brandstoffen bio-LNG en bio-CNG extra zou gaan belasten, wordt introductie van bio-LNG en bio-CNG in Nederland verhinderd.

Het opzetten van een onafhankelijke LCBM tankstations structuur is te verkiezen boven het systeem van inpompen van groen gas (met CO₂) in bestaande gasleidingen en vervolgens middels certificaten tanken van 'pseudo' groen gas.

Met het opzetten van een bio-LNG en bio-CNG route, zou voor het eerst de dominantie van de grote oliemaatschappijen worden doorbroken.

Het verkopen van bio-LNG en bio-CNG aan de Nederlandse pomp zou ook aansluiten aan de structuur die op dit moment in Europa wordt ontwikkeld.

In de vergelijkende studie naar vergistingstechnologie heeft Holland Innovation Team geconstateerd dat Nederlandse firma's en universiteiten duidelijk achterblijven op het terrein van biogas (productie en opwaardering) en bio-methaan (infra en liquefaction) in Europa. Op het gebied van LNG en dus ook bio-LNG bevindt Nederland zich op wereldniveau in de achterhoede – niet in de laatste plaats gezien het ontbreken van regelgeving. Het kiezen van een afwijkende route (van groen gas/certificaten) levert Nederland verdere achterstand op.

In dit rapport is duidelijk gemaakt dat er nog veel verbeteringen mogelijk zijn in de route van biogas tot bio-LNG. Met de nodige inspanningen (zoals demonstratieprojecten) kan de achterstand van Nederland worden omgezet in een voorsprong en kunnen de hier voorgestelde prijzen nog verder verlaagd worden.

Met de route biogas – bio-methaan – bio-LNG kan de doelstelling van 10% bijmenging in 2020 (aan biobrandstoffen in de transportsector) worden gehaald. Gezien de functie van Nederland als distributieland met de meeste vrachtauto's en de meeste 'vuile' scheepvaartbewegingen per km oppervlakte in Europa, zou juist Nederland een pleitbezorger en koploper moeten zijn van bio-methaan en bio-LNG. Juist omdat bio-methaan en bio-LNG voor een transportland economische voordelen op kan leveren, is de tijd rijp voor een inhaalslag en sterke stimulering in de richting van bio-LNG.

¹⁰³ www.fuelswitch.nl

Aanbevelingen

Daar bio-LNG zondermeer de goedkoopste en schoonste biobrandstof is, zou er in Nederland veel meer aandacht (en subsidiegeld) besteed moeten worden aan de biogas – bio-methaan – bio-LNG - bio-CNG route.

Met deze insteek kan Nederland:

1. De achterstand op dat gebied t.o.v. van de rest van de wereld inhalen.
2. De doelstelling van 10% van biobrandstoffen (2020) via deze route halen.
3. De luchtkwaliteit in industrie en havengebieden door inzet van bio-LNG in vrachtverkeer en scheepvaart sterk verbeteren.
4. Als distributieland bij uitstek het voortouw nemen bij het opzetten van een schone transportsector en tegelijkertijd de economie verbeteren van die transportsector.

Het is aan te bevelen regels te ontwikkelen voor het gebruik van (bio-)LNG in Nederland. Regels met betrekking tot veiligheid, tankstations, opslag en vervoer zullen in een wettelijk kader moeten worden geplaatst. Hierbij kan naar landen worden gekeken waar regels voor LNG en CNG al wel zijn ontwikkeld.

Eveneens is het aan te bevelen om accijnzen op bio-methaan en bio-LNG (gerelateerd aan energie-inhoud, duurzaamheid en aardgas) voor langere tijd vast te stellen.

Het is aan te bevelen om zo snel mogelijk pilots op te zetten van biogasinstallaties, die biogas opwaarderen tot bio-methaan. Ook zouden er pilots moeten worden uitgevoerd voor het LNG maken van bio-methaan. Hiermee kan ook in Nederland ervaring worden opgedaan. Het is daarbij belangrijk mee te nemen dat verschillende biomassastromen van verschillende kwaliteit andere optimale routes hebben om te komen van biogas tot bio-LNG.

Het via grotere vergistinginstallaties vergisten van landbouwafval, etensresten, stortplaatsen, biobrandstoffenrestanten, rioolslib, tuin afval, etensresten, vergisting van restanten uit de voedselindustrie etc. tot biogas is de schoonste en goedkoopste route voor schone brandstoffen. Stimulering is hierbij welkom, stimulering van slechtere routes is fnuikend voor introductie van bio-methaan en bio-LNG. Daarom zouden er duidelijke keuzes moeten worden gemaakt.

Het is ten slotte aan te bevelen zich aan te sluiten bij Europa en bij Europese standaards en geen route te kiezen die volledig afwijkt van de ons omringende landen. De opwaardering tot methaan meteen en niet tot virtueel groen gas is hierbij een eerste vereiste om niet uit de pas te lopen.

Daar LCNG-tankstations goedkoper zijn dan CNG-aardgas-stations (bij dezelfde afgiftecapaciteit), zou een subsidiëring van bio-LCNG-stations eerder voor de hand liggen dan subsidiëring van aardgasstations zoals nu geldt.

Een keten zoals deze is verder volledig onafhankelijk van de conventionele spelers (lees oliemaatschappijen) en zal voor een open marktwerking zorgen. Een biogas-bio-methaan – bio-LNG, bio-CNG route kan prijzen van de brandstof door meer concurrentie transparanter maken dan nu het geval is.

Bio-LNG zou gemengd kunnen worden met conventioneel liquefied natural gas (LNG). Ook zou een peakshaving faciliteit gevuld kunnen worden met bio-LNG.

Het belangrijkste is echter dat de overheid voor langere tijd een accijnsbeleid voor bio-LNG en bio-methaan ondersteunt dat gerelateerd is aan de energie-inhoud en aan de uitstoot van schadelijke stoffen via de uitlaat. Hierbij zou het logisch zijn om de accijns van aardgas – gepropageerd door de overheid – als uitgangspunt te nemen. Deze bedraagt 3 eurocent per kg. Dit overziend, zou de accijnzen op bio-LNG niet hoger moeten zijn dan 1,6 euro per liter en die op bio-CNG niet meer dan 4 eurocent per kilo.

Tot slot zou er een regeling kunnen komen voor het ombouwen naar en aanschaffen van nieuwe vrachtauto's op bio-LNG en het stimuleren van het gebruik van bio-LNG in de scheepvaartsector.

Bronnen

http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/Een%20prijs%20voor%20elke%20reis_tcm195-212125.pdf

<http://www.fuelswitch.nl>

http://www.logistiek.nl/nieuws/id5551-Vos_Logistics_verkiest_gas_boven_diesel.html 26 oktober 2007

http://students.chem.tue.nl/ifp23/interim_report/lng_gtl.html

<http://www.worldlpgas.com/gain/what-is-autogas-/global-autogas-statistics>

<http://www.bovag.nl/smartsite.shtml?id=62243>

<http://www.ieabioenergy.com/LibItem.aspx?id=5955>

http://assets.panda.org/downloads/oeko_institut__2007_is_the_cdm_fulfilling_its_environmental_and_sustainable_development.pdf

<http://ies.jrc.ec.europa.eu/wtw.html>

<http://www.calstart.org/programs/chdvc/2007CHDV/WestStart-CALSTART.pdf>

<http://www.rrbconference.org/bestanden/downloads/61.pdf>

<http://www.biopact.com/2007/12/biomethane-presented-as-most-efficient.html>

http://www.ucc.ie/serg/pub/JFUE_3779.pdf

http://www.senternovem.nl/energietransitieng/werkgroepen/groen_gas/index.asp

<http://www.biomethaan.be>

<http://www.biogasmax.eu/262-increasing-interest-for-bio-methane-in-the-united-kingdom.html>

<http://ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf>

<http://www.businessregion.se/download/18.24aa314e10f47fcad4c80004792/Peter+Boisen.pdf>

http://assets.panda.org/downloads/oeko_institut__2007____is_the_cdm_fulfilling_its_environmental_and_sustainable_development.pdf

http://www.volkskrant.nl/binnenland/article1043576.ece/Voedselcrisis_Niet_in_de_Nederlandse_vuurnisbak

<http://www.ngvglobal.com/en/editorial-comment/heat-is-on-for-regulatory-change-on-biomethane-in-uk-01698.html>

<http://renewenergy.wordpress.com/2008/02/26/eu-research-project-increases-biogas-yield-by-up-to-40-improves-utilisation-efficiency>

<http://www.biopact.com>

http://www.iea-biogas.net/Dokumente/upgrading_report_final.pdf

<http://www.veolia.com/en/default.aspx>

<http://www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/LNG>

<http://64.224.198.26/clientassets/LNGsection3.pdf>

<http://www.enerdynamics.com/clientassets/LNGsection3.pdf>

<http://www.touchbriefings.com/pdf/2447/moreira.pdf>

http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/ngvtf/pdfs/liquefaction_ngvtf_sac.pdf

http://www.crown-support.com/images/cnp_company_presentation.pdf

<http://www.prometheus.com>

<http://www.acrion.com>

<http://www.acrion.com/LNG%20from%20LFG.htm>

http://www.greencarcongress.com/2007/01/prometheus_prod.html

<http://www.swanaoregon.org/Docs/Symposium%202008/Session%208/Marshall%20Carpenter%20Converting%20LFG%20Into%20Liquefied%20Natural%20Ga.pdf>

<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news>

<http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/landfillreportfinal.pdf>

<http://www.ngvglobal.com/en/market-developments/liquid-biogas-production-paves-road-to-swedish-energy-independence-02191.html>

<http://en.cngv.gov.cn/en/product/product.asp?id=638>

<http://www.fuelswitch.nl/index.php?mod=pages&item=19>

http://www.senternovem.nl/energietransitiedm/presentations_connecting_clean_mobility_arnhem_1415_november_2007.asp

<http://www.chive-ltd.co.uk/chivefuels/ngvfuels.htm>

<http://lngtrucks.westport.com>

<http://www.cunninghamreport.com/080303westportletter.pdf>

<http://www.greencarcongress.com/2008/01/kenworth-to-beg.html>

http://en.cngv.gov.cn/en/news/news_detail.asp?id=1138&class=66

<http://www.twanetwerk.nl/default.ashx?DocumentID=10736>

<http://www.kenworth.com/newspics/T800%20LNG%20TTSI.pdf>

<http://www.volvo.com/group/global/en-gb/newsmedia/pressreleases/2007/NewsItemPage.htm?ItemId=27919&sl=en-gb27919&sl=en-gb>

<http://www.nonox-bv.com/products.php>

<http://www.greencarcongress.com/2008/03/southern-counti.html>

<http://www.eu-magalog.eu/home>

<http://www.worldcruise-network.com/features/feature687/feature687-1.html>

http://www.dnv.com/binaries/Tanker%20update%201-2007_tcm4-293584.pdf

<http://www.sustainableshipping.com/news/2008/08/72788?gsid=58438f3ae90c751b998314379bab5028&asi=1>

http://www.energieprojecten.nl/pr_lngfjorden.html

<http://scheepsbouw.navigo.nl/artikel/17427/schipco+wil+binnenschip+laten+varen+op+lng>

<http://www.greencarcongress.com/2007/08/demonstration-o.html>

<http://www.tupolev.ru/english/Show.asp?SectionID=82>

<http://www.scribd.com/doc/514466/CRYOGENIC-AIRCRAFT>

http://aardgas.gasinfo.be/pdf/nl/figaz_oct-nov_05_NL.pdf

<http://ecocomplex.rutgers.edu/PeterBoisen.pdf>

<http://www.consumerenergycenter.org/transportation/afvs/lng.html>

http://www.ctnpublishing.com/pubs/CCC/CCC_02/CC_Day_1.pdf

<http://www.chive-ltd.co.uk/chivefuels/ngvfuels.htm>

<http://www.sgc.se/rapporter/resources/sgc167.pdf>

<http://www.hydrocarbononline.com/article.mvc/Clean-Energy-Opens-First-Large-Scale>

<http://www.ber-rotterdam.com>

http://www.wziworldwide.com/images/CleanEnergy_Presentation062408.pdf

<http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/greet.pdf>

http://tpe.web.psi.ch/images/PosterA0_BErlin.pdf