

BioDME als brandstof voor vrachtwagens



Literatuurstudie naar de energie- en CO₂-prestatie van WTW-productieketens en toepassing van DME als transportbrandstof

A.J. Kok-Kuijper

15 juni 2010

Titel

Bio-DME als brandstof voor vrachtwagens

Literatuurstudie naar de energie- en CO₂-prestatie van WTW-productieketens en toepassing van DME als transportbrandstof

Auteur

A.J. Kuijper
Studentnummer 680525001
06 - 55 32 31 56
Angelique.kok@wur.nl
Milieumanagement(deeltijd)
Van Hall-Larenstein Leeuwarden

In opdracht van

Onderzoeks- en adviesbureau Duinn
Werfstraat 5
9701 BK Groningen

Ten behoeve van

Afstudeerscriptie Milieumanagement
Hogeschool Van Hall-Larenstein
Agora 1
8934 CJ Leeuwarden

Begeleiders

Van Hall-Larenstein:
Dhr. J. Theunissen
Dhr. W. Hilbrants

Onderzoek- en adviesbureau Duinn
Dhr. A. van der Mei

Plaats

Bakkeveen

Datum

15 juni 2010

Voorwoord

Een afstudeerscriptie schrijven, dat doe je niet alleen, ook al staat er maar een auteur op het titelblad. Daarom wil ik hier graag mijn dank betuigen aan iedereen die mij het laatste halve jaar, dat in het teken van deze scriptie stond, heeft gesteund.

Waarvoor dank aan mijn begeleiders, Jos, Wim, voor hun sturing, aanvullingen en plezierige samenwerking. En natuurlijk Age, voor het sparren over de interpretatie van de berekeningen waar het hele rapport op rust en de dialogen die daar uit rolden. Percy en Marcel, dank voor jullie onderzoekservaring en programmakennis, dat was welkom.

Mijn thuisbasis, Gerard en lieve kids, en Baukje, is mijn bron waarom ik de dingen kan doen zoals ik ze gedaan heb. En jongens, de pc is weer voor jullie.

En verder wil ik iedereen bedanken die geregeld eens even vroeg hoe het er mee staat, dat was fijn, want een klus als dit houdt je bezig, ook als je er niet mee aan het werk bent.

Ik heb er met veel plezier aan gewerkt.

Angelique Kok-Kuijper

Bakkeveen

15 juni 2010

Summary

Stated in the Kyoto protocol a CO₂-reduction percentage of 6 % has been agreed for the Netherlands compared to 1990, to be reached at the latest in 2012.

The environmental footprint by volume development of the amount of traffic and transport has grown in 2008 with 33 % compared to 1990. The CO₂-emission shows the same rise as the amount of driven kilometers. Although the vehicles became cleaner, they didn't become more energy efficient.

European and national directives prescribe the amount of energy in 2020 to be produced from biomass, this means fuels for transport, and the way biofuels has to comply to the requirements for sustainability and quality. A few biofuels such as bio-ethanol and biodiesel are already used, some biofuels are in a developing stage, including bioDME.

Therefore the purpose of this research is answering the question in what way the environmental performance of bioDME can be an argument to use bioDME as an alternative fuel for diesel as transport-fuel.

BioDME is a good substitute for diesel caused by the high cetane number. When DME is burned in a diesel engine, it produces no particulate matter and gives no SO_x-emission. DME is extremely inflammable and has the same storing conditions as LPG. DME can be distributed by detachable storage and transfer containers.

BioDME is a proper alternative fuel for diesel in trucks concerning saving fossil energy and diminishing CO₂-emission. BioDME implementation in the Netherlands has a long way to go, DME is not produced yet for fuel purpose, optimal engine technique is under development and a distribution channel isn't available yet but technically possible.

DME is produced from syngas, a mixture containing H₂ and CO, produced by steam reforming from natural gas or gasification from coal or diverse sorts of biomass.

Glycerine is a possible type of commodity, a byproduct from the biodiesel industry. There's no definite answer to the sustainability from glycerine and counting it in the national CO₂-reduction objective.

To assess if DME is an alternative for diesel, the Well-To-Wheel-chains for biomass are compared with the WTW-chains for diesel. The Well-To-Wheel biomass chains analysed in this research are farmed wood, black liquor and glycerine. Natural gas is world-wide a well known commodity for DME and is analysed in this research.

The WTW-chains are built with the process-steps collecting/producing commodity, transport to location for production, fuel production, transport to depot and/or filling station and the fuel use in the engine. For every process-step in the WTW-chain the loss of energy in MJ and loss of CO₂ in grams per MJ end fuel is included or calculated.

The energy consumption per kilometre of the defined truck is calculated. These data results in a Well-To-Wheel efficiency and WTW CO₂-performance.

Conclusion is that DME from biomass is less energy efficient compared to diesel from crude oil. The fossil energy input is very small and therefore the WTW biomass chains give a favourable CO₂-emission per kilometre. DME from natural gas has a better energy efficiency than biomass but is less efficient compared to diesel. Natural gas gives a higher/equal CO₂-emission compared to diesel, for energy efficiency and CO₂-emission there's no benefit.

Samenvatting

In het Kyoto-protocol van 1997 is vastgelegd dat voor Nederland een CO₂-reductiepercentage van 6 % geldt ten opzichte van 1990, dit moet uiterlijk 2012 behaald zijn.

De milieudruk door volumeontwikkeling van verkeer en vervoer daarentegen is van 1990 tot 2008 met 33 % gestegen. De CO₂-emissie laat een zelfde stijging zien door het aantal gereden kilometers. Hoewel de voertuigen wel schoner zijn geworden, dat wil zeggen, minder NO_x-, CO- en VOS- en fijnstof-emissie, zijn ze niet zuiniger geworden.

Europese en nationale richtlijnen stellen sinds 2009 eisen aan de hoeveelheid energie die in 2020 uit hernieuwbare bronnen moet komen, waaronder transportbrandstoffen, en aan welke kwaliteits- en duurzaamheidseisen de biobrandstof moet voldoen. Een aantal biobrandstoffen zoals bio-ethanol en biodiesel is reeds praktijkrijp, een aantal brandstoffen is nog in ontwikkeling waaronder bioDME.

Het doel van het onderzoek is het beantwoorden van de vraag in welke mate de milieuprestatie van DME een argument kan zijn waardoor bioDME als transportbrandstof een alternatief kan zijn voor het gebruik van dieselolie in het vrachtverkeer.

BioDME is door het hoge cetanaantal een vervanger voor dieselolie en geeft bij verbranding geen fijnstof-, en SO_x-emissie. DME is extreem ontvlambaar en kent de zelfde opslagcondities als LPG. DME kan gedistribueerd worden middels voor DME geschikte losse op- en of overslagtanks.

BioDME is een goed alternatief voor dieselolie in vrachtwagens als het gaat om besparing van fossiele energie en een vermindering van CO₂-emissie. De implementatie van bioDME als transportbrandstof in Nederland zal een lange weg zijn omdat DME nog niet voor dit doel geproduceerd wordt, optimale motortechniek is nog in ontwikkeling en er is nog geen distributiestructuur ligt.

DME wordt geproduceerd uit syngas, een mengsel van H₂ en CO, dat geproduceerd wordt door het stoomreformen van aardgas of vergassen van bijvoorbeeld steenkool of diverse typen biomassa. Een mogelijke grondstof is glycerine, een restproduct uit de biodieselproductie. Er bestaat nog geen uitsluitend over de duurzaamheid van glycerine en dus het mogen meetellen in de nationale CO₂-reductiedoelstelling.

Om te beoordelen of DME een alternatief is voor dieselolie, worden de WTW-ketens voor biomassa vergeleken met de WTW-keten voor dieselolie. De WTW-biomassaketens die zijn opgenomen in dit onderzoek zijn teelhout, black liquor en glycerine. Aardgas is mondiaal en nationaal een grondstof voor DME en wordt in de vergelijking opgenomen.

De WTW-ketens zijn opgebouwd uit de processtappen verzamelen/produceren van de grondstof, transport naar productielocatie, productie van de brandstof, transport naar depot en/of vulstation en tenslotte het verbruik van de brandstof in de dieselmotor. Voor elke processtap in de WTW-keten is het energieverlies in MJ en CO₂-verlies in grammen per MJ eindbrandstof opgenomen of berekend. Voor de gedefinieerde vrachtwagen is het energieverbruik per kilometer berekend. Deze gegevens resulteren in een WTW-energie-efficiency en een WTW-CO₂-prestatie.

Conclusie is dat DME uit biomassa een minder goede energie-efficiency kent dan dieselolie uit ruwe olie. De input aan fossiele energie in de biomassaketens is klein en daardoor geeft DME uit biomassa een gunstige CO₂-emissie per kilometer, de CO₂-winst is groot. In de biomassaketens is de besparing op fossiele grondstoffen per MJ brandstof groot. DME uit aardgas geeft een betere energie-efficiency dan biomassa maar slechter vergeleken bij dieselolie. Aardgas geeft een hogere/gelijkwaardige CO₂-emissie ten opzichte van dieselolie waardoor voor de energie-efficiency en de CO₂-emissie geen winst wordt geboekt.

Voorwoord	
Samenvatting	
Begrippenlijst	
Inhoudsopgave	

1	Inleiding	10
1.1	Broeikasgasemissies in Nederland	10
1.2	Broeikasgasemissies door verkeer en vervoer in Nederland	10
1.3	Broeikasgasemissies door vrachtverkeer.....	12
1.4	Wet- en regelgeving	12
1.5	Biobrandstof als alternatief	14
1.6	Scope van het onderzoek.....	15
2	Wat is DME.....	16
2.1	Chemische eigenschappen van DME	16
2.2	Vergassingscapaciteit wereldwijd en in Nederland	16
2.3	Productieproces DME.....	19
2.4	Toepassing van DME	21
2.4.1	Dieselmotor voor DME.....	21
2.5	Infrastructuur.....	21
2.6	Grondstoffen voor DME en beschikbaarheid	23
2.6.1	Glycerine en duurzaamheid.....	25
3	Methode voor berekenen van route Well-to-Wheel.....	26
3.1	Methode voor het berekenen van WTT-route	27
3.1.1	WTT-route ruwe olie→diesel	28
3.1.2	WTW-route aardgas→DME.....	29
3.1.3	WTT-route teelhout→DME	29
3.1.4	WTT-route black liquor → DME.....	29
3.1.5	WTT-route glycerine→DME.....	30
3.2	Methode voor het berekenen van TTW-route	30
4	Resultaten van routes Well-to-wheel	32
4.1	WTW-route ruwe olie → dieselolie	32
4.2	WTW-route aardgas → DME.....	33
4.3	WTW-route teelhout → DME.....	34
4.4	WTW-route black liquor → DME	34
4.5	WTW-route glycerine → DME	35
5	Conclusies.....	37
6	Discussie	40

Bijlage 1	Ontwikkeling broeikasgassen van 1990 via 2000 naar 2008	41
Bijlage 2	Energieverbruik door verkeer en vervoer	42
Bijlage 3	Voorbeeld van samenstelling syngas en productgas uit vergassingstechnieken	43
Bijlage 4	Resultaatoverzicht Well-to-wheel-ketens	
	Well-to-wheel berekening Ruwe olie naar diesel	44
	Well-to-wheel berekening Aardgas naar DME	45
	Well-to-wheel berekening Teelthout naar DME	46
	Well-to-wheel berekening Black liquor naar DME	47
	Well-to-wheel berekening Glycerine naar DME	48
Eindnoten		49
Literatuurlijst		52

Begrippenlijst

Cetaangetal Het cetaangetal is een referentiewaarde die aangeeft wat de bereidheid tot zelfontbranding van een brandstof is, onder druk en aanwezigheid van zuurstof. (Het cetaangetal is voor diesel wat octaangetal is voor benzine. Een cetaangetal 100 betekent dat de brandstof zich gedraagt als 100% cetaan, een koolwaterstof die zeer snel ontbrandt. Hoe hoger het cetaangetal, hoe beter de dieselmotor er op loopt.

CO₂-equivalenten CO₂ is het referentiegas, waartegen andere broeikasgassen gemeten worden.

Cryogeen Letterlijk 'koudmakend', een techniek die een vloeistof met een lage dampspanning zoals DME vloeibaar houdt door gebruik te maken van extreem koude opslag van de stof.

Distikstofoxide Distikstofoxide of lachgas (N₂O) ontstaat vooral tijdens de opwarmfase van driewegkatalysatoren bij een onvolledige omzetting van NO_x in stikstof. Bij de nieuwste generatie katalysatoren is dit 'probleem' voor een belangrijk deel opgelost. Er worden in de literatuur verschillende CO₂-equivalentwaarden gegeven, met name een CO₂-equivalentwaarde van 296 en 310.

Fijnstof Fijn stof (PM₁₀) door verkeer en vervoer ontstaat bij de verbranding van dieselolie, de rest is afkomstig uit slijtage van wegdek, banden, remvoeringen en bovenleidingen en dergelijke.

Fluorkoolwaterstoffen Fluorkoolwaterstoffen (HKF's) hebben een CO₂-equivalentwaarde die afhankelijk is van de molecuulgrootte en varieert van 124 tot 14.800.

Kooldioxide Kooldioxide (CO₂) wordt gevormd door oxidatie van het koolstof dat in de koolstofketens van de brandstof aanwezig is. De CO₂-equivalentwaarde is 1.

Koolmonoxide Koolstofmonoxide wordt gevormd bij een onvolledige verbranding van motorbrandstoffen. Dit proces vindt vooral plaats bij benzinemotoren.

LHV Lower Heating Value, Onderste verbrandingswaarde. De warmte, die zou ontstaan door condensatie van het water dat bij de verbranding gevormd is, en niet als beschikbaar beschouwd wordt en dus niet verrekend wordt in de warmte die de brandstof ter beschikking stelt.

Methaan Methaan (CH₄) is het hoofdbestanddeel van aardgas en biogas. De CO₂-equivalentwaarde varieert per literatuurbron, meestal wordt gerekend met 21 of 23.

NTA8080 Nederlandse technische afspraak nummer 8080

Perfluorkoolstoffen De perfluorkoolstoffen (PFK's) hebben een CO₂-equivalentwaarde die afhankelijk is van de molecuulgrootte en varieert van 7.390 tot 12.200.

PPO Puur plantaardige olie

Stikstofoxide Stikstofoxiden (NO_x) worden in de motor gevormd door verbranding van stikstof uit de lucht.

TTW Tank to wheel, de route die een stof aflegt van de tank tot de wielen.

Tweede generatie biobrandstoffen Dit zijn biobrandstoffen geproduceerd uit producten die niet concurreren met de voedselproductie.

Vluchtige organische stoffen VOS-emissies (VOS) ontstaan naast onvolledige verbranding van motorbrandstoffen tevens door verdamping van benzine uit het brandstofsysteem van voertuigen.

WTT Well-to-tank, de route die een stof aflegt van de bron tot de tank.

WTW Well-to-wheel, een optelling van well-to-tank en tank-to-wheel.

Zwavedioxide Zwavedioxide (SO_2) ontstaat door verbranding van het in de motorbrandstof aanwezige zwavel.

Zwavelhexafluoride Zwavelhexafluoride (SF_6) heeft een CO_2 -equivalentwaarde van 22.200.

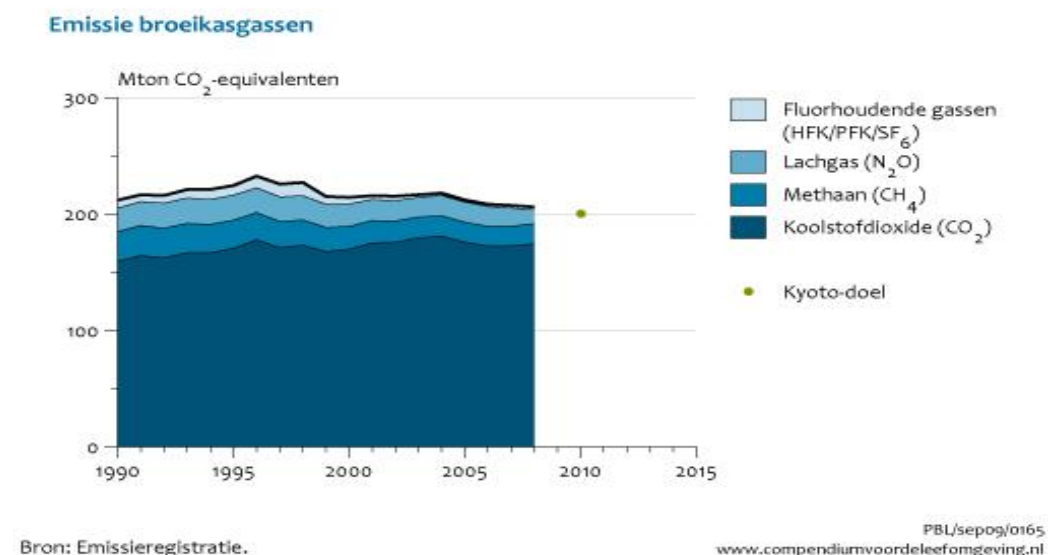
1 Inleiding

Tijdens de derde klimaatconferentie van 1997 zijn de reductiedoelstellingen vastgelegd in het 'Kyoto-protocol'. Hierin verplichten de industrielanden zich de uitstoot van zes broeikasgassen met gemiddeld 5,2 % in CO₂-equivalenten terug te dringen ten opzichte van 1990. Voor Europa komt dit neer op een reductiepercentage van 8 %. Voor Nederland is een reductiepercentage vastgesteld van 6 % van de totale Nederlandse emissie in CO₂-equivalenten. Dit doel moet tussen 2008 en 2012 bereikt zijn. Deze afspraken betreffen een aanzet om opwarming van de aarde te beperken tot 2°C, rekenend met een stabilisatieconcentratie van 450 ppm CO₂. Bij de broeikasgassen CO₂, CH₄, N₂O gaat het om de daling ten opzichte van 1990 en bij HFK, PFK en SF₆ ten opzichte van 1995¹.

1.1 Broeikasgasemissies in Nederland

De broeikasgasemissie in Nederland bedroeg in 1990 213 Mton CO₂-eq. In 2008 bedroeg deze emissie 206 Mton CO₂-eq, een daling van 3 % ten opzichte van het basisjaar 1990.

Figuur 1 geeft de ontwikkeling van de emissie van deze (groepen) gassen weer van 1990 tot en met 2008. In bijlage 1 in een tabel opgenomen waarin getalsmatig de ontwikkeling is vermeld van de hoeveelheid broeikasgassen in de jaren 1990, 2000 en 2008.



Figuur 1 Emissie broeikasgassen Nederland 1990 t/m 2008 (bron: Compendium voor de leefomgeving)

1.2 Broeikasgasemissies door verkeer en vervoer in Nederland

Het verkeer en vervoer in Nederland draagt in substantiële mate bij aan een aantal milieuproblemen zoals de broeikasgasemissies (18 %), verzurende emissies als NO_x, SO₂ en NH₃ (26 %) en fijn stof (31 %)². Dit zijn cijfers over het jaar 2008. Het wegverkeer is in deze indeling een onderdeel van verkeer en vervoer. Onder wegverkeer wordt hier verstaan de personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens en autobussen. Het overig verkeer is treinverkeer, scheep- en luchtvaart. Het vrachtverkeer is de vracht- en bestelwagens, al dan niet met oplegger.

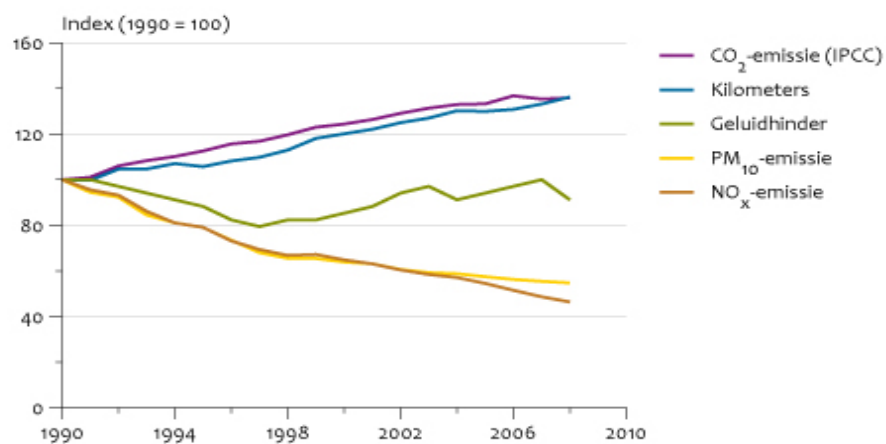
De totale uitstoot door verkeer en vervoer bedroeg in Nederland in 1990 30,4 Mton CO₂-equivalenten. In 2008 was de uitstoot door verkeer en vervoer gegroeid naar 39,6 Mton CO₂-eq, dit is een groei van 33 %, zie bijlage 2. In tabel 1 is dit naar de verschillende broeikasgassen uitgesplitst.

Tabel 1 Ontwikkeling broeikasgassen door het wegverkeer in Nederland
(bron: Compendium voor de leefomgeving,2009)

Mton	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
1990	25.500	0,92	6,8
2000	31.700	1,5	3
2008	34.600	1,4	2,2

Ook het energieverbruik voor zware bedrijfsvoertuigen is gestegen van 80 PJ in 1990 naar 104 PJ in 2008. Hierdoor laat de CO₂-emissie door het wegverkeer een zelfde stijging zien als het aantal gereden kilometers. De hoeveelheid emissie van fijn stof en NO_x zijn daarentegen wel afgenomen. Zie figuur 2.

Volume-ontwikkelingen en milieudruk wegverkeer



Bron: CBS.

CBS/sep09/0127
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 2 Volumeontwikkelingen en milieudruk wegverkeer (bron:Compendium voor de leefomgeving, 2009)

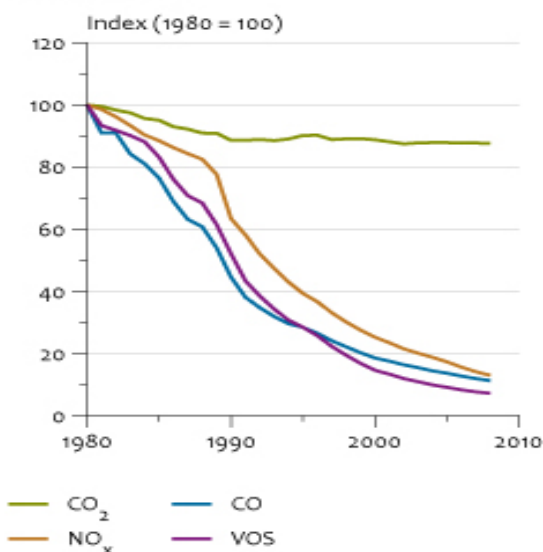
Een van de maatregelen om de CO₂-emissie door verkeer en vervoer te beperken is de verplichting tot levering van biobrandstoffen sinds 1 januari 2007. In 2007 bestond 2,8 % van de benzine- en dieselverkoop uit biobrandstoffen, in 2008 was dit 3,0 %³.

De voertuigen, zowel personenauto's als zware bedrijfsvoertuigen, zijn de afgelopen 30 jaar wel 'schoner' geworden, maar nauwelijks zuiniger. Hierdoor zijn de NO_x-, CO-, en VOS-emissies per voertuigkilometer de afgelopen 30 jaar fors gedaald maar de CO₂-emissie niet. Zie figuur 3.

De VOS-emissies zijn door Europese eisen vanaf 1990 fors gedaald door de toepassing van koolstof-filters in personenauto's. De NO_x-emissie is gedaald door invoering van de driewegkatalysator. De emissies van CO, NO en HC zijn gedaald door gebruik van oxidatiekatalysatoren in nieuwere diesel-auto's die deze stoffen omzetten in CO₂, NO₂ en H₂O.

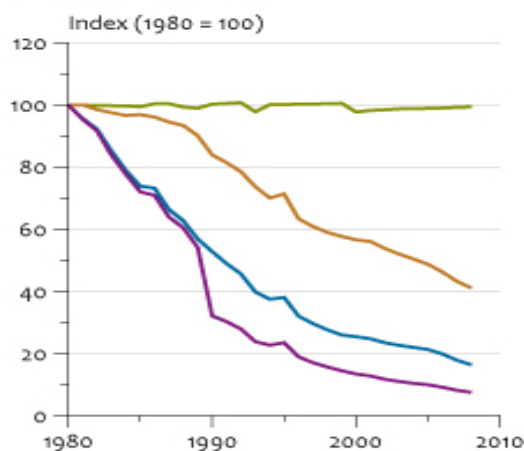
Emissie per voertuigkilometer

Personenauto's



Bron: CBS.

Zware bedrijfsvoertuigen



CBS/sep09/0131

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 3 Emissie per voertuigkilometer (bron: Compendium voor de leefomgeving, 2009)

1.3 Broeikasgasemissies door vrachtverkeer

De bijdrage van bestel- en vrachtwagens aan de CO₂-emissie door verkeer en vervoer bedroeg in 2008 11,4 Mton CO₂. Zie tabel 2.

Tabel 2 Bijdrage broeikasgassenemissie van vrachtvervoer (bron: Compendium voor de leefomgeving, 2009)

	2008	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Totaal verkeer en vervoer		39.600	1,5	2,5
w.v. Wegverkeer		34.600	1,4	2,2
w.v. Personenvervoer		20.100	1	1,9
Vrachtovervoer		11.400	0,25	0,16

Het goederenvervoer emitteerde in 2008 60% van de emissie van het aandeel stikstofoxiden door het wegverkeer en 51% van de emissie van fijn stof.

1.4 Wet- en regelgeving

Uit de gemaakte internationale en Europese afspraken volgden de volgende nationale beleidsdoelen, te weten:

- Daling van de uitstoot van broeikasgassen met 30 % in 2020 t.o.v. 1990
- 20 % van onze energie in 2020 is duurzaam verkregen waarvan 10 % biobrandstoffen
- Jaarlijks een besparing van 2 % op ons energieverbruik

Twee Europese richtlijnen en een Nederlandse regeling zijn van belang bij en voor gebruik van bio-brandstoffen op de Nederlandse markt.

Europese Richtlijn

De Richtlijn ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen

Kort gezegd: Richtlijn Hernieuwbare Energie⁴

Op 25 juni 2009 is de Richtlijn Hernieuwbare Energie gepubliceerd. Binnen 18 maanden na deze datum moet deze richtlijn in de Nederlandse wetgeving zijn geïmplementeerd.

In deze Richtlijn zijn ook duurzaamheidcriteria geformuleerd voor de productie van biobrandstoffen en vloeibare biomassa. Voldoen de biobrandstoffen niet aan de criteria, dan mag het gebruik van deze biomassa niet meetellen in het halen van nationale doelstellingen. Verder staat in de richtlijn dat:

- Nederland streeft naar een aandeel van 14 % energie uit hernieuwbare bronnen dat wordt verbruikt in vervoer, elektriciteit, verwarming en koeling in 2020.
- voor de sector verkeer en vervoer een specifieke doelstelling geldt; in 2020 moet minimaal 10 procent van alle transportbrandstoffen (benzine, diesel, biobrandstoffen in weg- en railvervoer en elektriciteit) uit hernieuwbare bronnen moet komen. (Biobrandstoffen, bijvoorbeeld biodiesel en bio-ethanol en hernieuwbare elektriciteit en waterstof.)
- brandstofmengsels met een aandeel biobrandstof hoger dan 10 volumepercent een apart label moeten krijgen op verkooppunten.
- de productie van biobrandstoffen niet ten koste mag gaan van biodiversiteit
- de CO₂eq-prestatie in de keten moet 35 % verbeteren t.o.v. fossiele brandstoffen. Dit wordt 50 % in 2017 en vanaf 2017 60 % nieuwe installaties, anders mogen deze biobrandstoffen niet meetellen voor de nationale doelstelling en/of verplichting en komen niet voor financiële ondersteuning in aanmerking.
- randvoorwaarden gesteld zijn aan type land waarop biomassa verbouwd mag worden voor biobrandstoffen en vloeibare biobrandstoffen voor energieopwekking, dit gaat minder ver dan de Cramer-criteria.
- grote koolstofvoorraden op- of in de bodem en gebieden met grote biodiversiteitwaarde moeten worden beschermd tegen aantasting.
- dat 10 % van de energie voor vervoer uit hernieuwbare energie moet bestaan zoals biobrandstoffen, maar ook hernieuwbare elektriciteit en waterstof tellen mee.
- dat de hernieuwbare energie voor elektrische voertuigen 2,5 maal meetelt.
- biotransportbrandstoffen op basis van afval, reststromen, non-food celluloseachtig materiaal en ligno-cellulose dubbel mee tellen in de nationale CO₂-reductiedoelstelling.
- de Europese Commissie periodiek zal rapporteren over indirecte effecten en er verplicht gerapporteerd moet worden over andere duurzaamheidsaspecten, echter zonder harde eisen zijn gesteld.

Europese Richtlijn

De Richtlijn brandstofkwaliteit (Fuel Quality Directive – FQD).⁵

Deze richtlijn is gepubliceerd op 23 april 2009. Het doel is het reduceren van de belangrijkste vervuilende emissies tijdens de productie en het gebruik van brandstoffen. De richtlijn moet een bijdrage leveren aan de reductiedoelstelling voor broeikasgasemissies van 20 procent in 2020.

In de richtlijn staat verder:

- Verplichting voor brandstofleveranciers om broeikasgasintensiteit van de geleverde brandstoffen te reduceren met maximaal 10 procent voor 31 december 2020.
- Deze vermindering van de broeikasgasintensiteit moet op 31 december 2020 ten minste 6 procent bedragen ten opzichte van het in 2010 gerapporteerde Europese gemiddelde broeikasgasintensiteit van fossiele brandstoffen. Te realiseren door inzet van biobrandstoffen,

alternatieve brandstoffen en de vermindering van het affakkelen en ontlichten in olieproductie-installaties.

- Biobrandstoffen mogen alleen worden meegeteld voor de doelstelling als zij aan de duurzaamheidscriteria in de richtlijn voldoen. Dezelfde duurzaamheidscriteria als in de Europese richtlijn hernieuwbare energie.
- In de richtlijn staan technische specificaties voor transportbrandstoffen (Wijziging Brandstofkwaliteitsrichtlijn 98/70/EG). Hierdoor is het nu mogelijk om hogere percentages biobrandstof bij te mengen in standaardbenzine of -diesel.
- Benzine mag maximaal 10 volumeprocent ethanol (E10) en maximaal 22 volumeprocent ETBE bevatten.
- Tot 2013 moet E5 beschikbaar blijven i.v.m. garantiEVERVAL voor auto's die niet kunnen rijden op hogere percentages.
- Standaarddiesel mag maximaal 7 volumeprocent biodiesel (FAME) bevatten (FAME-norm EN 14214).
- Deze 7 volumeprocent is hoger dan de 5 % in de huidige dieselnorm EN590. De Europese Commissie vindt hogere percentages biobrandstof wenselijk, met name B10, dit bevat 10% biobrandstof.

Nederlandse Regeling

Besluit Biobrandstoffen Wegverkeer⁶

November 2009 is het Besluit Biobrandstoffen Wegverkeer in werking getreden waarin biobrandstoffen van een 2^e en volgende generaties zwaarder wegen om zo duurzamere biobrandstoffen meer te stimuleren. De regeling geldt met terugwerkende kracht vanaf 1 januari 2009 voor biobrandstoffen uit residuen, afval en lignocellulose. In de regeling worden o.a. afval en residuen genoemd die dubbel mogen worden geteld, hieronder worden hier ook verstaan gebruikte frituurvetten, dierlijk vet en ruwe glycerine.

Met behulp van zogenaamde bio-tickets kunnen de verplichtingen administratief worden verhandeld tussen leveranciers die ruim en leveranciers die onvoldoende aan de verplichting hebben voldaan.

1.5 Biobrandstof als alternatief

Ontwikkeling markt biobrandstoffen

Voor verbrandingsmotoren, zowel benzine als diesel, is reeds een aantal brandstoffen op de markt dat uit biomassa te produceren is. Momenteel zijn o.a. PPO, biodiesel, groen gas en bio-ethanol verkrijgbaar en worden gebruikt, er worden zowel als high- en lowblends gebruikt. Daarnaast is introductie van een aantal biobrandstoffen in meer of mindere mate in ontwikkeling is die zoals van methanol, groen gas en bio-DME (dimethylether).

Bio-DME kan gebruikt worden als vervanger van diesel in het vrachtverkeer en is een biobrandstof die goede potentie lijkt te hebben op gebied van milieuprestatie. Bio-DME wordt uit biomassa geproduceerd, we spreken hier, tenzij anders vermeld, verder kortweg van DME.

Alternatief voor dieselolie

Het aantal alternatieve biobrandstoffen voor dieselmotoren is beperkt. Praktisch gezien kan er met een aangepast injectiesysteem op PPO gereden worden, FAME uit diverse (rest-) stromen (B20, B100) en Fischer-Tropsch-diesel.

DME is een mogelijke hernieuwbare vervanger voor diesel. De kennis op dit gebied is verspreid en praktijkervaring is nog vrij beperkt. Buiten een pilot in Zweden, rijden er in Europa nog geen voertuigen

op DME. In Azië zijn al wel een aantal Aziatische modellen voor lichte transportvrachtauto's en bussen op de markt die op DME rijden. Wil toepassing van DME als transportbrandstof toegroeien naar een praktijkrijpe situatie, dan is onder andere meer onderzoek noodzakelijk.

1.6 Scope van het onderzoek

Centrale vraagstelling

Het doel van het onderzoek is het beantwoorden van de vraag in welke mate de milieuprestatie van DME een argument kan zijn waardoor DME als transportbrandstof een alternatief kan zijn voor het gebruik van dieselolie in het vrachtverkeer.

Het doel in het onderzoek is de milieuprestatie van DME inzichtelijk te maken door analyse van een aantal WTW-ketens voor DME uit biomassa.

Onderzoeksvragen

- Wat zijn de stappen in het productieproces van DME.
- Welke grondstoffen zijn geschikt en welke zijn beschikbaar.
- Wat is het energieverbruik en CO₂-emissie van de WTW-procesketen.
- Welke energie- en CO₂-winst is met DME te behalen ten opzichte van de WTW-keten van diesel.
- Welke veiligheids- en beheersaspecten spelen bij een rol bij het gebruik van DME.
- Hoe ziet de benodigde infrastructuur voor DME er uit voor de modaliteit vrachtverkeer.
- Welk nationaal en Europees beleid is van toepassing / invloed op hernieuwbare brandstoffen en mogelijke introductie van DME in het bijzonder.

Definitie

Onder milieuprestatie wordt hier verstaan de energie-efficiency en de broeikasgasemissie van de well-to-wheel-ketens voor DME en dieselolie.

Afbakening

Buiten de scope van deze studie vallen de volgende punten:

- Toepassing van DME in een brandstofcel
- De bedrijfseconomische aspecten
- Een uitgebreide omschrijving van de mogelijke vergassingstechnieken
- Vergelijking van vrachtwagentransport met andere modaliteiten
- Vergelijking binnen verschillende laadvermogens van vrachtwagens
- Verdiepend onderzoek naar alle typen emissie van DME in vergelijking met diesel

Methode

Om te beoordelen of DME een alternatief kan zijn voor dieselolie, worden de WTW-ketens voor biomassa vergeleken met de WTW-keten voor dieselolie.

Omdat aardgas mondiaal en nationaal een belangrijke grondstof is voor de syngasproductie, wordt deze WTW-keten opgenomen in dit onderzoek om een vergelijking te kunnen maken met DME uit aardgas.

De WTW-biomassaketens die zijn opgenomen in dit onderzoek zijn teelhout, black liquor en glycerine. In bijlage 3 zijn de te onderzoeken WTW-routes opgenomen.

2 Wat is DME

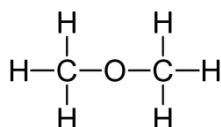
In dit hoofdstuk wordt uiteengezet wat dimethylether (DME) is. Aan bod komt hoe DME geproduceerd wordt en welke grondstoffen hiervoor geschikt zijn. Ook wordt bij de productiemethode kort ingegaan op de vergassingscapaciteit mondiaal en in Nederland, voor zowel fossiele bronnen als biomassa, om de potentie van DME-productie aan te geven. Naast de mogelijkheid van gebruik als transportbrandstof wordt andere toepassingsmogelijkheden van DME aangestipt en de voor- en nadelen van DME. Vervolgens komt bij de infrastructuur aan bod hoe deze er uit kan zien voor distributie van DME. Van belang hierbij zijn de uiteen te zetten veiligheids- en beheersaspecten.

2.1 Chemische eigenschappen van DME

Dimethylether, $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$, is de eenvoudigste ether zonder C-C verbindingen. Zie figuur 5. Een ether is een organisch verbinding waarbij de centrale zuurstof een directe binding heeft met twee koolstofatomen die verder geen andere speciale functionele groep vormen.

Samen met het hoge zuurstofgehalte van bijna 35 % op gewichtsbasis⁷ en het ontbreken van zwavelverbindingen, levert DME een schone verbranding op zonder roet en SO_2 met enkel CO_2 en H_2O als eindproducten.⁸

Het cetaangetal van DME is 55-60 en is daarmee hoger dan van diesel (40-53)⁹ wat een goede koude starteigenschap geeft. Door het hoge cetaangetal is, net als bij diesel, geen vonkontsteking nodig voor ontbranding. Water en methanol zijn normale 'verontreinigingen' in DME, maar zelfs kleine hoeveelheden water en methanol verlagen het cetaangetal aanzienlijk.



Figuur 5 Structuur dimethylether (DME) (bron: Wikipedia, 2010)

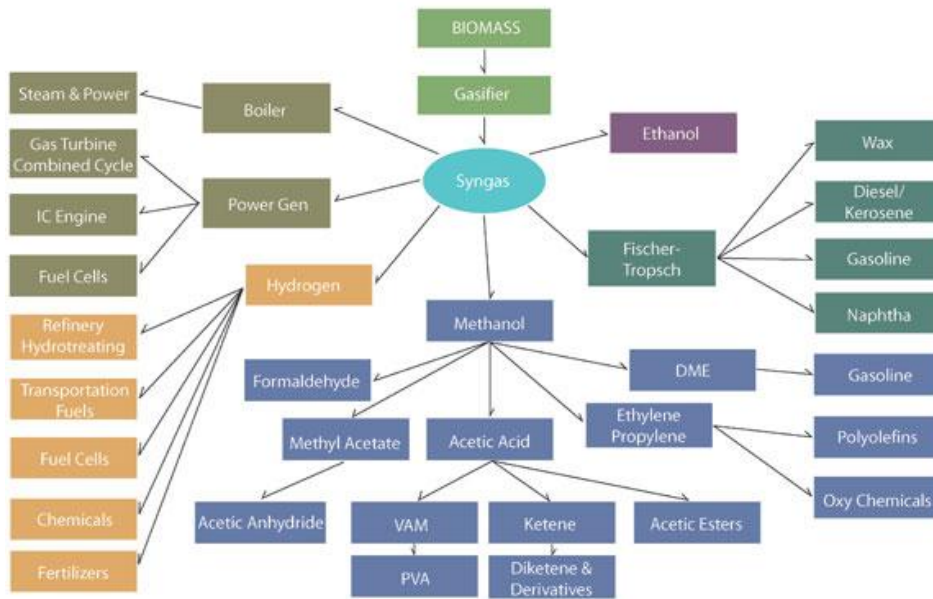
DME heeft een vlampunt van $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ (benzine $21\text{-}55\text{ }^{\circ}\text{C}$, diesel $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$)^{10 11}. DME is onder normale atmosferische druk een gas en onder een druk van 5 bar vloeibaar en kent dezelfde opslagcondities als LPG. De energiedichtheid van DME is $28,4\text{ MJ/kg}$, deze energie-inhoud is per kg bijna 35 % lager dan van diesel met $43,1\text{ MJ/kg}$.¹²

2.2 Vergassingscapaciteit wereldwijd en in Nederland

DME wordt geproduceerd uit synthese gas (syngas). Syngas kan geproduceerd worden uit fossiele grondstoffen en uit biomassa.

Syngas kent veel mogelijkheden voor verdere verwerking tot brandstoffen, elektriciteitsopwekking en producten voor de chemische industrie. Met name formaldehyde en azijnzuur nemen met 40 % van het verbruik van methanol uit syngas, een belangrijk deel van het gebruik van syngas voor hun rekening. Figuur 6 laat een overzicht zien met de producten en gebruiksmogelijkheden van syngas uit biomassa, dit kunnen ook fossiele bronnen zijn.

Gasification – Options for Bio-based Products



Figuur 6 Overzicht van producten en gebruiksmogelijkheden te produceren uit syngas
(bron: www.biomassmagazine.com)

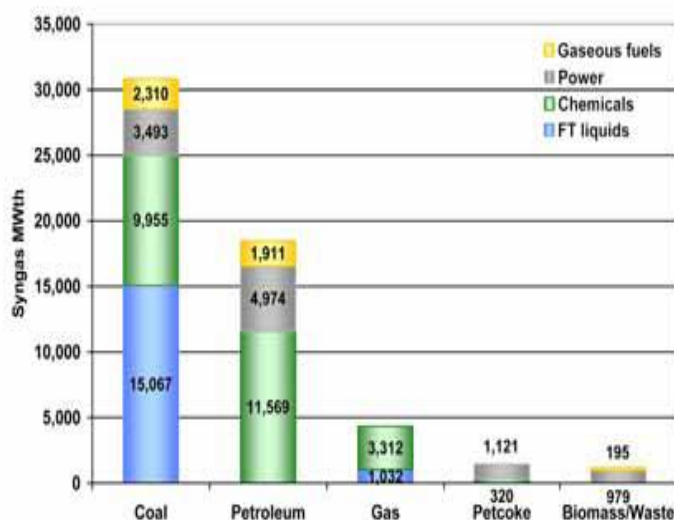
Vergassing wereldwijd

De vergassingscapaciteit is wereldwijd de laatste jaren fors gegroeid, deze groei komt volledig op conto van de fossiele brandstoffen. Deze vergassingscapaciteit¹³ bedroeg in 2007 56.238 MW_{th}, wereldwijd staat de bouw van tien installaties in de planning. Wanneer deze in 2010 inderdaad gerealiseerd zijn, is er een wereldwijde capaciteit van ruim 73.000 MW_{th}. Dit is een groei van ruim 30 procent in drie jaar tijd. Met name China en Qatar zijn voor deze groei verantwoordelijk. Zie tabel 3. Van de zeven nieuwe kolengestookte installaties staan er zes in China waarvan er vijf syngas produceren voor de chemische industrie, de geplande installatie op aardgas met een capaciteit van bijna 11.000 MW_{th} staat in Qatar welke Fischer-Tropsch-diesel zal gaan produceren.

In 2007 was 55 % van de syngasproductie gevoed met kolen, 33 % met petroleum, 8 % met aardgas, 2 % met petcoke en 2 % met biomassa/afval. Zie figuur 7. In Europa staan relatief gezien de meeste installaties die biomassa gebruiken, hoewel biomassa maar een klein aandeel heeft in de syngasproductie. Wereldwijd lag de vergassingscapaciteit op circa 2 % van het mondiale energieverbruik.

Tabel 3 Wereldwijde capaciteit vergassing (bron: Gasification World Database, 2007)

Feedstock		Operating 2007	Planned 2008-2010	Totals
Coal	MW _{th}	30,825	4,690	35,515
	Gasifiers	212	10	222
	Operating Plants	45	7	52
Petroleum	MW _{th}	18,454	620	19,074
	Gasifiers	145	3	148
	Operating Plants	59	1	60
Gas	MW _{th}	4,345	10,936	15,281
	Gasifiers	41	18	59
	Operating Plants	22	1	23
Petcoke	MW _{th}	1,441	889	2,330
	Gasifiers	8	3	11
	Operating Plants	5	1	6
Biomass/Waste	MW _{th}	1,174		1,174
	Gasifiers	21		21
	Operating Plants	13		13
Total MW _{th}		56,238	17,135	73,373
Total Gasifiers (Operating plus spares)		427	34	461
Total Operating Plants		144	10	154



Figuur 7 Specificatie producten uit syngas (bron: Gasification World database, 2007)

Vergassing in Nederland

In Nederland zijn de methanol- en ammoniakproducenten en raffinaderijen die de H₂ nodig hebben voor het raffinageproces de grootste syngasgebruikers. De totale omvang van de syngasproductie is circa 3 % van het Nederlandse primaire energieverbruik. Momenteel wordt syngas vooral gebruikt voor de productie van chemicaliën en transportbrandstoffen, maar ook voor SNG en elektriciteit. In Nederland wordt voor de elektriciteitsproductie in Buggenum, en wellicht in de toekomst ook in de Magnumcentrale, biomassa mee vergast. BioMCN in Farmsum produceert via syngas methanol uit aardgas en bio-methanol uit glycerine.

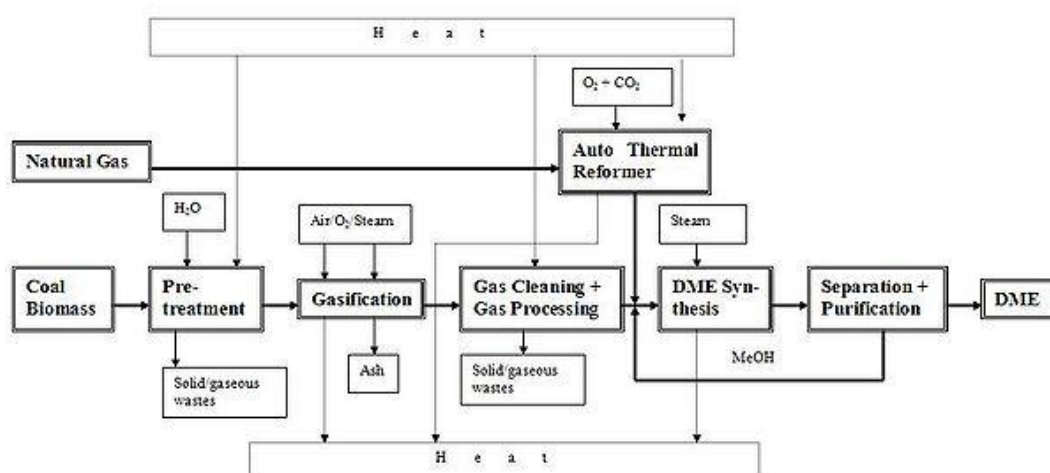
2.3 Productieproces DME

Syngas, de grondstof voor DME, is een mengsel van koolstofmonoxide (CO) en waterstof (H₂). Syngas ontstaat door een grondstof als biomassa, aardgas of steenkool te vergassen. Het omzetten van aardgas naar syngas heet stoomreforming. Het verkregen syngas kan omgezet worden in DME. Beide procedés worden hieronder kort beschreven.

Vergassing

Vergassing¹⁴ is een thermisch (volgens ECN/van hall¹⁵) en chemisch proces (volgens Wikipedia). Thermisch omdat het proces plaats vindt door toevoer van warmte, chemisch omdat er katalysatoren nodig zijn voor het proces.

Vergassing is een onvolledig verbrandingsproces (>1300 °C) doordat een ondermaat aan zuurstof wordt toegevoegd. Hierdoor ontleedt de grondstof waarna een brandbaar syngas, ontstaat dat uit CO en H₂ bestaat. Vergassing bij lagere temperaturen, 700-1000°C, levert productgas op, dit bestaat voornamelijk uit CH₄, CO en H₂ en andere koolwaterstoffen. Vanwege de gassamenstelling is het voor het gebruik van belang onderscheid te maken tussen productgas en syngas. Productgas kan gebruikt worden voor elektriciteitsopwekking en productie van SNG, voor de chemische industrie en voor transportbrandstoffen is syngas nodig. Zie voor een overzicht van de gassamenstelling bijlage 3. Figuur 8 geeft schematisch de plaats van het vergassingsprocedé weer in het productieproces van grondstof tot DME.



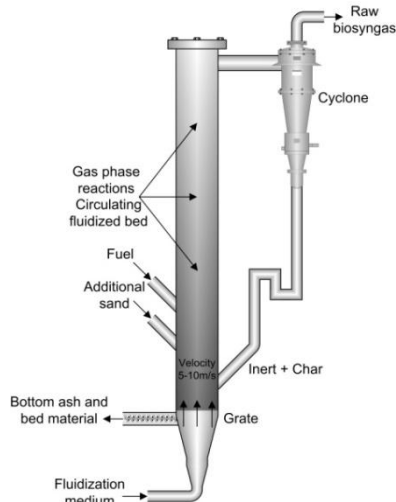
Figuur 8 Vergassingsproces steenkool en biomassa (bron: Wikipedia, 2010)

Kwalitatief hoogwaardig steenkool en biomassa worden vergast bij hoge temperaturen (1.300-1.500°C). Kwalitatief laagwaardige steenkool, bruinkool en biomassa kunnen worden vergast bij lagere temperaturen (700-1000°C).¹⁶

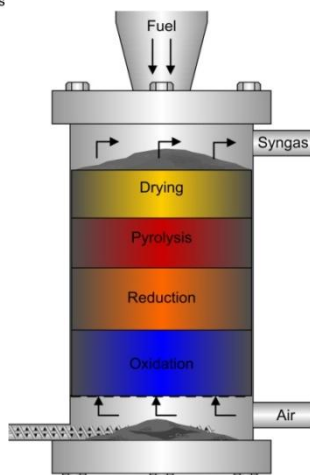
Hoe een vergasser functioneert hangt van de soort biomassa af waarbij het vochtgehalte, asgehalte en samenstelling, chemische samenstelling (C, O₂, H₂ etcetera), verbrandingswaarde, dichtheid, morfologie (deeltjesvorm- en grootte), gehalte aan vluchtige bestanddelen en verontreinigingen van de biomassa van belang zijn. Deze punten moeten binnen een bepaalde bandbreedte liggen, afhankelijk van het type vergasser.¹⁷

Voor het vergassen van vaste biomassa bij hoge temperatuur (>1300°C) waarbij syngas verkregen

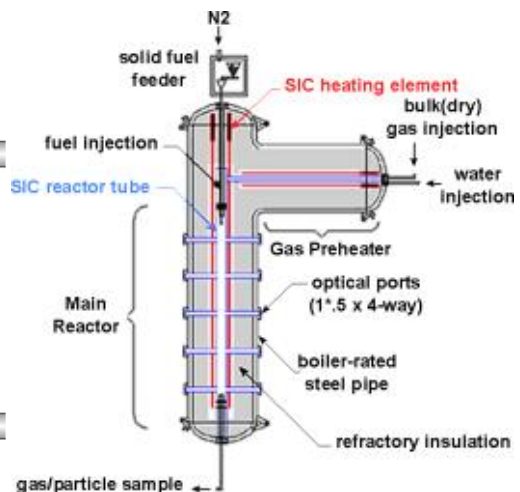
wordt, kan gekozen worden voor een stofwolkvergasser. Voordeel is de hoge capaciteit die mogelijk is. In de figuren 9, 10 en 11 staat een aantal vergassers afgebeeld, in dit rapport wordt niet nader ingegaan op de diverse mogelijkheden van vergassen van de verschillende typen biomassa.



Figuur 9 Circulerend wervelbed-vergasser (bron: Gasned)



Figuur 10 Tegenstroom-vergasser (bron: Gasned)



Figuur 11 Stofwolkvergasser (bron: van Hall-Larenstein)

Stoom reforming

Het proces waarbij aardgas omgezet wordt in syngas heet stoomreforming (steam reforming). Hierbij reageert stoom van 750-800 °C met methaan (CH₄) tot H₂ en CO, de methaanmoleculen wordt ge-

kraakt. De samenstelling van het syngas uit stoomreforming van aardgas is circa 73 % H₂, 16 % CO, 7 % CO₂ en 4 % CH₄, sluit goed aan bij de eisen voor het syngas dat nodig is voor methanolsynthese, dat bestaat uit 71 % H₂, 19 % CO en 4-8% CO₂, waaruit DME geproduceerd kan worden.¹⁸

DME-synthese

Om DME te verkrijgen wordt het geproduceerde syngas in een of twee processtappen omgezet in methanol. Dit is mogelijk via directe synthese (een-staps-proces) en indirecte synthese (twee-staps-proces)¹⁹. Figuur 12 toont twee illustraties van DME-productieinstallaties.

Bij de directe synthese vinden twee processen gelijktijdig plaats, methanolsynthese en methanol dehydratatie. Dit vindt plaats volgens de volgende reactievergelijkingen (met bijbehorende reactiewarmte):

- | | | |
|-----|--|---|
| (1) | $2\text{CO} + 4\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{CH}_3\text{OH}$ | methanolsynthese, synthesesgas wordt omgezet in methanol synthese (-/-182 KJ/mol) |
| (2) | $2\text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | methanol dehydratatie (-/- 23 KJ/mol) |
| (3) | $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ | water-gas shift-reactie (-/- 41KJ/mol) |

Wanneer reactie (3) niet plaatsvindt, volgt uit reactie (1) plus (2) reactie (4):

- | | | |
|-----|---|---|
| (4) | $2\text{CO} + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | indirecte dme-synthese (-/- 205 KJ/mol) |
|-----|---|---|

Reactie (4) vindt vnl. plaats bij een H₂/CO verhouding van 2 (Ook genoemd twee-staps synthese-proces, licenties Haldor Tapsoe, Lurgi, DTP, ToYo, MGC, etc.)

Vindt reactie (3) wel plaats dan volgt uit reactie (1) plus (2) plus (3) reactie (5):

- | | | |
|-----|--|--------------------------------------|
| (5) | $3\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$ | directe dme-synthese (-/-246 KJ/mol) |
|-----|--|--------------------------------------|

Reactie (5) vindt vnl. plaats bij H₂/CO verhouding van 1 (JFE-technologie) ook genoemd een-staps-synthese proces (>1300 °C).

De reacties (1), (2) en (3) vinden in aanwezigheid van de katalysatoren CuO , ZnO en Al_2O_3 .
Reactie (4) wordt gekatalyseerd door γ -aluminum of silica-alumina.



Figuur 12 JFE DME Plant – Japan



DME Plant - Bengbu, China (bron: www.aboutdme.org, 2010)

2.4 Toepassing van DME

DME wordt toegepast als drijfgas in spuitbussen en het is toepasbaar in de chemische industrie, bij koken en verwarmen, in gasturbines, in Ottomotoren, brandstofcellen en dieselmotoren. DME geeft een lager geluidsniveau van draaiende motor en heeft goede koude start-eigenschappen

DME kan tot 25% worden bijgemengd in LPG zonder dat hiervoor het materiaal van de infrastructuur hoeft te worden aangepast²⁰. Er zijn onderzoeken gedaan met het blenden van DME en diesel. Vanaf 25 % bijmenging van DME op gewichtsbasis gaf het mengsel een viscositeit die voor de conventionele dieselmotor niet acceptabel meer was omdat DME een lagere dampdruk heeft dan diesel.²¹

2.4.1 Dieselmotor voor DME

De lagere energiedichtheid van DME ten opzichte van dieselolie heeft tot gevolg dat er een grotere tankinhoud nodig is voor dezelfde hoeveelheid energie of dat minder ver gereden kan worden op DME bij een gelijke volumehoeveelheid als diesel. De tank die onder druk staat, zal zwaarder uitgerust worden.

Wanneer DME in een dieselmotor gebruikt wordt, worden speciale injectoren gebruikt voor DME.

Door de agressieve werking van DME op de meeste kunststoffen en rubbers moeten slangen en kleppen DME-bestendig uitgevoerd worden.²² De nog reguliere dieselmotor wordt voorzien van aangepaste software voor het motormanagement voor het gebruik van DME.

2.5 Infrastructuur

Bij infrastructuur komt de vraag op welke wijze DME opgeslagen en getransporteerd kan worden en welke aanpassingen er eventueel moeten plaatsvinden. Dit geldt zowel voor de route van de productielocatie naar de pomp als van de pomp naar de uiteindelijke gebruiker; de vrachtwagen.

Opslag en transport

Omdat kookpunt, dampdruk en dichtheid van DME overeenkomt met die van LPG, geldt voor DME een zelfde behandelingswijze als voor LPG. Bij opslag kan dezelfde uitrusting en materialen worden gebruikt als voor LPG. DME kent een lage viscositeit²³ waardoor interne lekkage kan optreden in pompen, kleppen en afdichtingen. Hiervoor moet extra aandacht zijn bij het ontwerp van deze onderdelen.

Distributie

Distributie vanaf de productielocatie naar de pomp kan per spoor en per vrachtwagen, afhankelijk van de volumes die getransporteerd moeten worden en de daarmee gepaard gaande kosten. Op het tankstation is een aantal opties mogelijk waarop DME opgeslagen kan worden. De veiligheids-eisen voor opslag van DME zullen streng zijn en afhankelijk van de wijze van opslag zijn gedefinieerd²⁴.

In Zweden komt een aantal vormen van opslag voor:

Een vrij liggende tank met een hek er omheen. Alle hulpstukken, pomp en veiligheidssystemen liggen binnen de omheining.

Een vulstation door een betonnen muur omgeven. Hierdoor kan de afstand tot overige bebouwing kleiner zijn. De muur moet een uur brandvertragend werken.

Een ondergrondse tank. Dit vergt minder grond maar de eisen voor de hulpstukken en leidingen voor wat betreft lekkage (corrosie) zijn hoger.

De meest geavanceerde maar ook duurste techniek is opslag in een cryogene tank. Een brandbestendige, voorgefabriceerde installatie die weinig ruimte vraagt.

Er ligt geen netwerk waarmee DME getransporteerd kan worden. Distributie zal bij introductie op de Nederlandse markt moeten starten met een kleinschalig distributiesysteem. Dit is vergelijkbaar met de introductie van biogas op de Zweedse markt. Losstaande tanks op locatie (zie bovengenoemde mogelijkheden) worden van DME voorzien met behulp van tankwagens. Ook kunnen losse gevulde containers geplaatst worden. De locatie waar deze containers geplaatst worden zal aan specifieke veiligheids-eisen moeten voldoen vanwege de grote ontvlambaarheid van DME. De containers kunnen dan vervangen worden door volle containers waarbij dus geen vloeistof overgepompt hoeft te worden²⁵.

Veiligheids- en beheersaspecten

Hieronder worden de eigenschappen van DME genoemd met daarachter vermeld welke risico's dit met zich meebrengt en in welke mate er beheersmaatregelen genomen moeten worden bij gebruik van DME.

Reukloos

DME is reukloos. Daarom moeten uit veiligheidsoverwegingen geurstoffen toegevoegd worden.

Kleurloos

DME brandt met een zichtbare vlam maar is als gas kleurloos.

Niet corrosief

DME is niet corrosief maar tast wel de meeste rubbers aan. Hierdoor moeten voor afdichtingen, leidingen en brandstofinjectoren materialen gebruikt worden die hiertegen bestand zijn. Conventionele rubberen slangen en afdichtingen moeten vervangen worden door DME-bestendige materialen zoals butyl-n (Buna-M) of PTFE (Teflon). Echter Teflon wordt bros door de grote temperatuurschommelingen (hitte door verbranding van DME en koude door verdamping van DME). Bij het gebruik van niet vonkend metaal zoals roestvrij staal en koper bij metaal op metaal afdichtingen/pakkingen wordt dit aandachtspunt ondervangen.

Niet giftig²⁶, niet carcinogeen en niet mutageen

De lethale concentratie voor inhalatie voor muizen en ratten is respectievelijk (LC50) 386 ppm (15 min.) en (LC50) 300 g/m³ (4 uur). Deze waarden geven de definitie niet giftig, niet carcinogeen en niet

mutageen. Bij hoge concentraties kan het een narcotiserende werking hebben. Bij veelvuldig contact met de huid kan het huidontsteking geven.

NO_x-emissie

Diverse bronnen geven tegengestelde informatie over de NO_x-emissie. Een aantal bronnen geeft aan dat de NO_x-emissie lager is dan die van diesel^{27 28 29}. Een aantal onderzoeken geven juist een hogere NO_x-emissie op dan diesel³⁰.

Langdurige blootstelling aan hoge concentraties NO_x (NO en NO₂) leidt tot long- en luchtwegaandoeningen. Daarnaast leidt NO_x direct of indirect tot verzuring, eutrofiering en smogvorming.

PM-emissie

De roetuitstoot bij verbranding van DME is erg laag (0,0016 g/KWh)³¹ vergeleken bij andere (bio)brandstoffen en ligt fors lager dan de norm voor Euro5 (2008-2012)³², deze ligt op 0,02 gram per KWh. Bij het verbeteren van lokale luchtkwaliteit is ook deze lage PM-emissie dit een belangrijk voordeel van DME in het wegtransport ten opzichte van diesel. De gemeten PM-emissie is toe te schrijven aan de toegevoegde smeermiddelen. Zie ook figuur 16 voor een testresultaat van de PM-emissie door DME in een dieselmotor.

Lage SO_x-emissie

DME bevat geen zwavel, de verbranding van DME geeft daarom geen SO_x-emissies.

Emissie aromatische koolwaterstoffen

Omdat DME geen koolstof-koolstofverbindingen bevat, vindt er tijdens de verbranding geen of nauwelijks emissie van PAK's of benzeen, toluen, xyleen plaats.³³

Biologisch afbreekbaar

DME zal bij lekkage snel verdampen. Risico's voor verontreiniging van oppervlaktewater of grondwater is klein. Veiligheidsbladen geven aan dat waterverontreiniging op lange termijn schadelijk effecten kan veroorzaken. (Niet nader gespecificeerd)

Lage dampdruk

Hierdoor ontstaan in geval van lekkage snel dampwolken waardoor het risico op explosie groter is dan bij benzine en diesel. Een losse opslageenheid DME moet bewaard worden in een goed geventileerde ruimte. De damp verspreidt zich snel door de lucht waardoor de damp snel verdwenen is. DME is hierdoor extreem ontvlambaar waardoor uit het voorzorgsbeginsel DME als meer risicovol beschouwd moet worden dan diesel of benzine. DME moet daardoor verwijderd blijven van ontstekingsbronnen en er moeten voorzorgsmaatregelen genomen worden tegen statische ontlading. Ook in de vrachtwagen moet de DME-tank vonkvrij ontworpen zijn.

Smeereigenschap

DME heeft een slechte smeereigenschap. Hierdoor moeten smeermiddelen toegevoegd worden aan de brandstof.

2.6 Grondstoffen voor DME en beschikbaarheid

Zoals genoemd zijn fossiele grondstoffen een bron voor syngas, maar ook biomassa. Biomassa kan voor dit doel geteeld zijn zoals snelgroeiend hout. Hoewel ook tarwe en suikerbieten geschikt zijn, is

het vanuit oogpunt van concurrentie met voedsel niet wenselijk dit type grondstof te gebruiken. Biomassa kan zijn een bijproduct zijn zoals glycerine, black liquor, dunningshout, mest, stro etcetera, en het kan een afvalproduct zijn uit bijvoorbeeld de voedings- en genotsmiddelenindustrie, afvalhout, slib en dergelijke. In Zweden wordt ook black liquor vergast voor gebruik als transportbrandstof en in Nederland wordt zoals gezegd glycerine vergast.

Binnen de onderzoeksvragen is voor het berekenen van de WTW-milieuprestatie een keuze gemaakt voor een aantal soorten biomassa die als grondstof kunnen dienen voor DME. Deze grondstoffen worden hieronder nader toegelicht. Aardgas dient als veel gebruikte grondstof voor syngasproductie in deze berekening als vergelijking met biomassa.

Aardgas

Aardgas in Nederland, Groningen gas, bestaat voor 81,9 % uit methaan (overige stoffen zijn hogere gasvormige koolwaterstoffen (3.3%), stikstofgas (14 %) en kooldioxide (0,8%).

Nederland beschikte eind 2006 over 1,4 miljard standaard kubieke meters (Sm^3) aardgas, dit is iets meer dan 2% van de Europese hoeveelheid aardgas van ca. 60 miljard m^3 ³⁴. Europa importeert meer dan een derde van de gasvraag, dit zal in 2020 opgelopen zijn naar ruim twee derde. Gas gebruikt voor transport zal dus geïmporteerd worden. In de vergelijking van de WTW-routes wordt uitgegaan van Russisch gas. De beschikbaarheid is niet oneindig maar mondiaal liggen hier geen directe problemen voor wat betreft de beschikbaarheid.

Glycerine

Glycerine, of glycerol of 1,2,3-propaantriol ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$) is het eenvoudigste drievoudige alcohol.

Glycerine is een kleurloze, reukloze, zoete vloeistof met een hoge viscositeit. Het product is niet-giftig en oplosbaar in water. Glycerine wordt op meerdere manieren geproduceerd. Door het hydrolyseren van dierlijke of plantaardige vetten en oliën, door productie uit aardolie en bij de productie van zeep en biodiesel komt glycerine vrij als restproduct.

Glycerine is afkomstig uit het biodieselproductieproces. In dit proces worden de (tri)esterverbindingen van de plantaardige oliën verbroken met behulp van een base, hierbij komt glycerol vrij.

Uit een onderzoek³⁵ blijkt dat ruwe glycerine circa 50 % glycerine bevat, en circa 24 % MONG (matter organic non-glycerol) dat bestaat uit delen glycerides, vrije vetzuren, oxidatieproducten en gepolymeriseerde bestanddelen van glycerol. Naast glycerine bevat ruwe glycerine circa 10 % water circa 15 % zouten.

In de geraffineerde glycerine kan korte en middellange vrije vetzuurketens bevatten en oxidatieproducten bevatten. Het MONG-percentage bedraagt dan nog enkele procenten. Er komt wereldwijd circa 1.600 kiloton glycerine vrij bij de biodieselp productie en 1.100 kiloton uit andere productieprocessen. In 2008 is er 83 kton biodiesel geproduceerd in Nederland³⁶. Uit dit proces komt 830 ton ruwe glycerine³⁷ vrij.

Black liquor

De papierindustrie kent twee soorten papierpulpbereiding, de mechanische en de chemische. Bij de chemische pulpbereiding komt black liquor vrij, een oplossing van lignine. Zweden kent een grote papierindustrie in tegenstelling tot Nederland waaruit dit goeddeels verdwenen is. Met name in Zweden is black liquor een belangrijke grondstof voor bio-DME.

Teelthout

Een mogelijke hernieuwbare grondstof is teelthout. Dit is in tegenstelling tot afvalhout een uniforme soort biomassa met een laag risico op vervuilingen. De beschikbaarheid aan teelthout in Nederland is beperkt circa 2 kton/jaar³⁸. Om teelthout, en biomassa in het algemeen, te kunnen gebruiken voor bijvoorbeeld de productie van bio-DME, zal er op energie- en CO₂-basis een rendabele aanvoer moeten kunnen plaatsvinden van biomassa naar een verwerkingseenheid. Afstand tot de productielocatie is hierbij cruciaal voor de milieuprestatie van DME uit teelthout.

2.6.1 Glycerine en duurzaamheid

Van een aantal grondstoffen voor biodiesel kan nog niet aangetoond worden dat ze duurzaam geproduceerd zijn. Zo is van een grondstof als palmolie bekend dat de productie ervan maar voor een klein deel duurzaam geschied. Een belangrijk aspect³⁹ bij de teelt van oliepalmen is de ontbossing wat zijn schadelijk invloed heeft op de biodiversiteit en habitat voor diersoorten. Bekend zijn ook de milieuproblemen zoals watervervuiling, luchtverontreiniging, te veel bestrijdingsmiddelen, maar ook sociale problemen.

Glycerine is geen hoofdproduct maar een restproduct van biodiesel dat volop geproduceerd wordt in Europa uit diverse grondstoffen.

In de Richtlijn hernieuwbare energie wordt vermeld dat ruwe glycerine behoort tot de restproducten.

“ Afval, residuen van landbouwproducten zoals stro, bagasse, vliezen, kolven en notendoppen, en residuen van verwerking, met inbegrip van ruwe glycerine (niet geraffineerde glycerine), worden geacht tijdens hun levenscyclus geen broeikasgasemissies te veroorzaken totdat ze worden verzameld. (Richtlijn 2009/28/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 april 2009, ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen en houdende wijziging en intrekking van Richtlijn 2001/77/EG en Richtlijn 2003/30/EG)”

Hoewel glycerine dus een restproduct is, kan het uit zowel duurzaam als niet duurzaam geproduceerde grondstoffen verkregen zijn. Dit gegeven leidt tot discussie rondom de duurzaamheid van een restproduct.

Om bio-DME te kunnen produceren uit glycerine dat volgens de vigerende wetgeving mee mag tellen voor het verplichte percentage biobrandstof op de (Nederlandse) markt, dan zal de duurzaamheid van de grondstof glycerine aangetoond moeten kunnen worden. Volgens de RED is dit wel mogelijk, volgens de vrijwillige NTA 8080, die stringenter regels bevat, zal dit nog een discussiestuk worden.

3 Methode voor berekenen van route Well-to-Wheel

Om uitspraken te kunnen doen over wat het energieverbruik en CO₂-emissie is van een bepaalde brandstof in een bepaalde verbrandingsmotor, wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van de Life Cycle Assessment (LCA)-methode. Hiervoor wordt in een aantal well-to-wheel-routes berekend wat de CO₂-emissie en de energie-efficiency is van vier alternatieve grondstoffen voor DME en deze worden vergeleken met de WTW-route voor dieselolie. Tevens wordt berekend hoeveel MJ aan energie het vraagt om 1 MJ eindbrandstof in de tank te krijgen en in de overbrenging van de aandrijflijn van de vrachtwagen.

Scope

In dit onderzoek worden vier WTT-routes vergeleken met de WTT-route van ruwe olie naar diesel. Het WTT-deel verschilt per route, dit wordt in de volgende paragrafen beschreven.

Ruwe olie: Productie → Transport → Raffinage → Dieseltransport → Conditionering en → Vulstation
Mix pijp/trein/schip distributie
40-tons truck

Aardgas: Extractie en → Transport pijp- → DME-productie → DME-transport → Distributie → Vulstation
Verwerking leiding (7000km) 40-tons truck

Teelthout: Teelt v. hout → Versnipperen → Transport → DME-productie → Transport → Vulstation

Black liquor*: Versnipperen → Transport → DME-productie → Distributie → Vulstation

Glycerine: Verzamelen → Transport → Raffinage → DME-productie → Transport → Distributie → Vulstation
Glycerine per schip 40-tons truck

*Zie methodebeschrijving (Black liquorroute loopt via resthout uit teelt)

De vergelijkingsroute is die met dieselolie omdat DME als transportbrandstof met name een vervanger is voor dieselolie.

De route met DME uit aardgas is (fossiele) routemogelijkheid die wordt meegenomen omdat stoom reformen van aardgas een bekend proces om methanol (of daaruit DME) te produceren in Nederland.

Als route voor zuivere biomassa is gekozen voor teelthout vanwege de uniforme kwaliteit ten opzichte van resthout en de bekendheid met gebruik van hout als biomassa voor duurzame doeleinden.

In Zweden wordt black liquor gebruikt voor DME-productie. Hoewel dit restproduct niet in Nederland beschikbaar is, is ter vergelijking voor dit product een WTT-route opgenomen.

Voor de route met glycerine is gekozen omdat dit een in Nederland beschikbare biomassa en reststof is die geschikt is als grondstof voor DME.

Uitgangspunten

De CO₂-emissie wordt uitgedrukt in grammen CO₂-equivalent per MJ eindbrandstof (MJ_f). Hierbij zijn de emissies voor methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) reeds omgerekend naar CO₂-equivalent. Voor methaan geldt een broeikasgasfactor van 21 en voor lachgas van 310 bij de gegevens uit het GM European Well-to-wheel-study. (Dit is met name gebruikt in de route EU-mix aardgas-DME) In het Concawe rapport wordt gerekend met een broeikasgasfactor van 23 voor methaan en 296 voor lachgas.

Belangrijke bronnen

Voor de route via glycerine is gedeeltelijk gebruik gemaakt van deze rapportage maar is aangevuld met gegevens uit ' Technical specifications; Greenhouse Gas Calculator for biofuels' van GAVE, augustus 2008.

Alle stappen kennen hun eigen specifieke energie in- en output, in deze stappen treden energie- en CO₂-verliezen op. Deze verliezen worden over de hele keten opgeteld en vergeleken met de WTT-route van diesel. Schematisch is hieronder weergegeven wat de onderdelen van de WTT-route is:

Energie- : Productie en → Transformatie → Transport → Transformatie → Conditionering → Vulstation
bron conditionering aan de bron in de EU en distributie aan de bron

De gegevens van de WTT- en TTW-ketens samen vormen het eindresultaat in de WTW-keten. Per grondstof wordt bekeken of er, c.q. hoe groot de energiewinst en CO₂eq-emissie is ten opzichte van de WTW-keten van dieselolie. In de WTW-keten wordt het energieverbruik in MJ per kilometer gegeven en de CO₂-emissie in grammen CO₂ per kilometer.

Om de basisgegevens tijdens het lezen van de tabel bij de hand te hebben, staan de belangrijkste uitgangspunten onder de tabel nog eens genoemd.

Voor het berekenen van de energie-efficiency en CO₂-emissies worden waarden uit de literatuur gebruikt. Deze waarden zijn gebaseerd op basis van Best Estimates (BE). Deze BE zijn gemiddelden van een aantal verschillende waarden die gegeven zijn door bedrijven die zich bezig houden met processen die in deze WTT-routes voorkomen. Zo zijn er bijvoorbeeld vijf grote oliebedrijven die raffinaderijen bezitten. Deze raffinaderijen kennen een verschillende efficiëntie met een bijbehorende onzekerheidsmarge. Deze waarden geven de bandbreedte aan waarbinnen een gemiddelde waarde als BE genomen wordt waarmee de berekeningen uitgevoerd zijn. Bijvoorbeeld het CO₂-gehalte van de olie verschilt per olieveld en Nederlands gas verschilt qua samenstelling van die van Russisch en Noors gas.

Uit de gebruikte bronnen blijkt dat de verliezen in de conversie van methanol naar DME verwaarloosd worden.

Om een beeld te kunnen geven over de verhouding van fossiele energie en energie uit biomassa die nodig is om 1 MJ dieselolie of DME te krijgen, is een regel in de tabel opgenomen met het aandeel fossiele energie in de energie-input. Dit gegeven wordt gebruikt in de toelichting op de analyse van de energie-efficiency.

De conclusie over de milieuprestatie zullen worden getrokken aan de hand van de berekende CO₂eq-emissies in grammen per kilometer en de percentages energie-efficiency waarbij de WTW DME-productieroutes vergeleken worden met de WTW-dieselmixroute.

3.1.1 WTT-route ruwe olie → diesel

Ruwe olie: Productie → Transport → Raffinage → Dieseltransport → Conditionering en → Vulstation
Olietanker mix pijp/trein/schip distributie
40-tons truck

In de stap 'Productie' van olie, worden gegevens van olieproductie opgenomen in de berekening in een mix van on- en offshore van de velden Noordzee (35%), Siberië (25%) en mix OPEC (40%).

Het transport van het olieveld naar een Europese haven vindt plaats met een olietanker. In de Europese haven vindt de raffinage plaats.

De efficiency en CO₂-emissie van het raffinageproces wordt op basis van 'Best Practices Refinery Performance' berekend met een 'Best Estimate-waarde' van de verschillende raffinaderijen. De energie-efficiency en CO₂-emissie zijn afhankelijk van de oliekwiteit en dichtheid, meer zware fracties vragen meer energie voor behandeling naar lichtere fracties, en het zwavelgehalte, meer zwavel vraagt meer energie voor ontzwaveling.

De verkregen producten (diesel in deze route) gaan (in de berekening in een mix) per pijpleiding (60 %), trein (20%) en schip (20%) naar het depot. Van daaruit wordt de diesel per 40-tons truck (26 ton laadvermogen, Euro4) naar de vulstations gedistribueerd over een aangenomen afstand van 150 km. Het verbruik is 12,6 MJ diesel/km, 938 gr CO₂/km en 0,065 gr CH₄/km.

3.1.2 WTT-route aardgas → DME

Aardgas: Extractie en Verwerking → Transport pijpleiding (7000km) → DME-productie → DME-transport 40-tons truck → Distributie → Vulstation

Europa importeert meer dan een derde van de gasvraag, dit zal in 2020 opgelopen zijn naar ruim twee derde. Aardgas dat gebruikt wordt voor transport zal dus geïmporteerd worden waarbij in deze berekening wordt uitgegaan van Russisch gas. Hiervan ligt het CO₂-gehalte, net als van Nederlands aardgas, onder de 2% ('Sweet gas', in tegenstelling tot 'sour gas' dat meer dan 2 % CO₂ bevat maar niet in Europa wordt geïmporteerd).

Bij de productie van Russisch aardgas treden fors hogere verliezen⁴⁰ op dan bij de productie van Nederlands aardgas (0,078 MJ/MJ_f tegen 0,008 MJ/MJ_f). Ook de grote afstand van de aardgasvelden van Rusland tot de gebruiker levert, door transportafstand en meer lekkage, een fors hoger energieverbruik op per MJ aardgas ten opzichte van de andere vier grote aardgasproducenten in Europa (0,005 tot 0,039 MJ/MJ_f voor Nederland, Noorwegen, Groot Brittanje en Algerije en 0,235 MJ/MJ_f voor Rusland) De afstand van de Russische velden tot aan de DME-productielocatie bedraagt in deze berekening 7000 km voor transport en 250 km voor distributie via het hogedruknet.

De methanolplant is een state-of-the-art-installatie. De gegevens zijn afkomstig van de methanolplant van Statoil (Tjeldbergodden)

Distributie van DME naar het vulstation vindt plaats met een 40-tons truck, (Euro4) over een afstand van 150 km. In deze stap zit ook het energieverbruik door het vulpunt.

3.1.3 WTT-route teelhout → DME

Teelhout: Teelt v. hout → Versnipperen → Transport → DME-productie → Transport → Vulstation

Het teelhout voor deze SRF-route (short rotation forestry) is populier, geteeld volgens korte rotatie bosbouw. Hierbij hebben de populieren een economisch optimum bij 20 jaar groei.⁴¹

Het hout wordt ter plaatse versnipperd en vervolgens over een afstand van 50 km vervoerd naar een vergassingsinstallatie. De afstand is klein omdat het inefficiënt is energetisch laagwaardige producten over grotere afstand te transporteren. In een straal van 50 km kan een 200 MW vergassingsinstallatie worden gevoed (4 % oppervlakte beplant).

De houtsnippers worden vergast. De 'best-case' vergasser is een Batelle-Columbus (BCL) indirect heated fixed bed gasifier. De 'worsecase' vergasser is een autothermal pressurized fluidized bed gasifier.

De DME wordt over een afstand van 150 km naar een vulstation getransporteerd, de retourvracht is leeg.

3.1.4 WTT-route black liquor → DME

Resthout uit teelt: Versnipperen → Transport → DME-productie → Distributie → Vulstation

In een conventionele installatie wordt de black liquor verbrand in een recoveryboiler waarmee de energie geleverd wordt voor stoom- en electriciteitsproductie. Een 'hogboiler' levert aanvullende stoom. Door de recoveryboiler te vervangen door de meer energie-efficiënte Black Liquor Gasification for Motor Fuels-installatie (BLGMF-installatie) wordt de efficiency van de papiermolen verbeterd.⁴²

Bij een BLGMF-installatie wordt de black liquor niet verbrand maar vergast. De hiermee geproduceerde DME wordt als transportbrandstof ingezet. De energie die nodig is voor het pulpproces, die gele-

verd werd door de black liquor, wordt bij de BLGMF-installatie verkregen door extra resthout in te voeden in de 'hog-boiler'. Zo kan de extra input aan energie in de vorm van resthout, toegerekend worden aan het de energie die verkregen wordt in de vorm van DME.

Het resthout wordt versnipperd en met een 40-tons truck over 50 km getransporteerd naar de papiermolen vanaf waar het resthout het bovenbeschreven proces in gaat.

De DME wordt vervolgens met een 40-tons truck naar het vulstation getransporteerd over een afstand van 150 km, de retourvracht is leeg.

3.1.5 WTT-route glycerine → DME

Glycerine: Verzamelen → Transport → Raffinage → DME-productie → Transport → Distributie → Vulstation
Glycerine per schip 40-tons truck

De glycerine voor deze WTT-route is een restproduct dat vrij komt bij de productie van biodiesel. Grondstoffen voor plantaardige biodiesel zijn onder andere palmolie, zonnebloemen, sojabonen en koolzaad.

Na verestering van de olie uit deze producten resteert biodiesel en ruwe glycerine (of glycerol).

Gesteld wordt nu dat glycerine tot het moment van verzamelen geen CO₂-emissie kent. Ook in de Renewable Energy Directive wordt hier vanuit gegaan. De CO₂-emissie van de keten van aanplant en verzorging van het gewas (oliepalmen, koolzaad etc.) tot biodiesel wordt toegerekend aan de biodieselproductie. De transportafstand van het glycerinedepot naar de DME-productielocatie is 400 km en transport vindt plaats per schip langs de kustwateren, het kent geen retourvracht.

Voor het vergassen van glycerine is geraffineerde glycerine nodig (>97 % glycerine). De raffinage bestaat uit het verdampen van water en verwijderen van zouten en MONG (matter organic non-glycerine).

Na de raffinage volgt het vergassingsproces. De efficiency van de methanolinstallatie wordt berekend aan de hand van de benodigde input aan energie in de vorm van glycerine en aardgas (stookgas). Deze waarde is gecontroleerd aan de hand van de gevonden efficiencygetallen van methanolinstallaties in de literatuur. In de discussie wordt hierop terug gekomen.

Voor het transport van DME worden dezelfde gegevens gebruikt als voor het transport van methanol.

Voor het transport van DME naar het vulstation worden ook de zelfde gegevens gebruikt als voor DME uit hout, de afstand bedraagt 150 km en kent geen retourvracht.

3.2 Methode voor het berekenen van TTW-route

Om een de energie-efficiency van een WTW-keten per kilometer te tonen, moet er een definiëring komen van een vrachtwagen. Gekozen is om te rekenen met de eenheid 'vrachtwagen' die een kilometer aflegt omdat de WTW-ketens van verschillende fossiele en biomassa bronnen vergeleken worden, niet de vrachtwagens. De berekeningswijze en tabelgegevens van het Streamrapport⁴³ en 'Shift or not to shift, that's the question'⁴⁴ gehanteerd voor het energiegebruik en de CO₂-emissie van de vrachtwagen. Hieronder volgt een opsomming van de keuze van de uitgangspunten. Wanneer deze variabelen anders gekozen worden, wijzigen de parameters.

Gekozen parameters:

Vrachtwagen Diesel

Vrachtwagen > 20 ton

Vrachtwagen > 20 ton deze rijdt 10 % stads-, 30 % buiten-, en 60 % snelwegen

Korte afstand	Korte afstand = <150 km
Nationaal transport	Nationaal transport(<150 km)
Container/non bulk	
Productieve ritten 67 % (p)	(Kan bij andere keuze variëren van 50 % tot 87 %)
Gemiddelde belading 11,6 ton(L)	Laadvermogen maximaal 27,3 ton
Omwegpercentage 0%	Gedefinieerd t.o.v. wegtransport dus niet van toepassing
Voor- en natransport 0 %	Vrachtverkeer kan overal kan komen

Met $E_{vrt} = [e_{vol} * p + e_{leeg} * (1 - p) / L * p]$, kan het energieverbruik per tkm berekend worden. In deze resultaten wordt volstaan door het energie per voertuig te geven met

$$E_{vrt} = e_{vol} * p + e_{leeg} * (1 - p)$$

E_{vrt}	= Energieverbruik van het voertuig per km
e_{vol}	= Energieverbruik van het volle voertuig per km
e_{leeg}	= Energieverbruik van het lege voertuig per km
p	= Percentage productieve ritten
L	= Gemiddelde lading per voertuig in tonnen

Volgens $E_{vrt} = e_{vol} * p + e_{leeg} * (1 - p)$ wordt het energieverbruik per vrachtwagen kilometer dan:

$$E_{vrt} = 14,7 * 0,67 + 8,6 * (1 - 0,67) = \mathbf{12,69 \text{ MJ/km}}$$

Voor wat betreft energie-inhoud en CO₂-emissie geldt:

	Energie-inhoud		CO ₂ -emissie
Dieselolie	35,9 MJ/ltr	43,1 MJ/kg	73,2 CO ₂ /MJ.
DME		28,4 MJ/kg	67,3 CO ₂ /MJ

Motor-efficiency

De efficiency van de dieselmotor is in de waarden van de formule verdisconteerd. Deze efficiency ligt op circa 35 % maar kan in praktijk een aantal procenten variëren afhankelijk van het merk en type vrachtwagen. De verbranding van DME is in theorie gunstiger vanwege het zuurstofatoom in DME en het hoge cetaangetal. DME wordt nu nog gebruikt in aangepaste dieselmotoren, hiervan is nog geen optimaal resultaat voor DME te verwachten. Wanneer de motor geoptimaliseerd zal zijn voor DME, zou DME een gunstiger verbrandingsefficiency kunnen geven⁴⁵. In dit rapport wordt gerekend met het zelfde efficiencypercentage en wordt dus uitgegaan van de zelfde waarden als voor diesel.

4 Resultaten van routes Well-to-wheel

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de vergelijkingsroute

WTW-route ruwe olie	→	dieselolie met de vier berekende routes van
WTW-route aardgas	→	DME
WTW-route teelhout	→	DME
WTW-route black liquor	→	DME
WTW-route glycerine	→	DME

In het hele proces van winning tot verbranding in de motor, wordt aangegeven

- Wat de energie-efficiency is per processtap (in procenten)
- Met welke input aan energie de WTT-keten start om uiteindelijk 1 MJ aan energie in de tank van de vrachtwagen te krijgen (in MJ)
- Hoeveel energie er per processtap verloren wordt (in MJ/MJ_f) Met welke input aan energie de WTW-keten start om uiteindelijk 1 MJ aan energie in de overbrenging van de vrachtwagen te krijgen (in MJ)
- Hoeveel fossiele energie verbruikt wordt per MJ_f WTT (in MJ)
- Hoeveel gram CO₂-eq per processtap geëmitteerd/verloren wordt (in gr CO₂)

In de tabellen 4 tot en met 8 zijn deze resultaten gepresenteerd van alle well-to-wheel-routes.

Het volledige overzicht van deze berekeningen staat gepresenteerd in **bijlage 4**.

In de berekening van CO₂-emissie moet onderscheid gemaakt worden tussen CO₂ uit fossiele en uit hernieuwbare bron. De CO₂-emissie uit hernieuwbare bron wordt niet in de WTW-keten meegerekend omdat deze CO₂ via de atmosfeer in de biomassaketen terecht is gekomen.

4.1 WTW-route ruwe olie → dieselolie

Tabel 4 toont de resultaten van de ketens WTT, TTW en WTW voor de energie-efficiency en de CO₂-emissie van de keten van ruwe olie naar dieselolie.

Tabel 4 Resultaatoverzicht well-to-wheel-keten ruwe olie - dieselolie

Ruwe olie- dieselolie	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT /km	TTW	TTW	WTW/km
Efficiency per processtap	97%	99%	91%	98%	86%			35%	30%
Input in MJ per processtap	1,16	1,13	1,12	1,02	1,00	2,03	12,69		15
Verlies per processtap in MJ	0,03	0,01	0,10	0,02	0,16				
Input in MJ per MJ WTW	3,31	3,23	3,20	2,91	2,86		1,00	1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,16				
CO ₂ -emissie in gr CO ₂ /MJ _f	3,7	0,9	8,6	1,0	14,2	336		929	1264

Het kost 1,16 MJ aan energie om 1 MJ dieselolie in de tank van de vrachtwagen te krijgen. Dit gaat gepaard met een emissie van 14,2 gram CO₂ per MJ diesel (WTT), hetgeen resulteert in een emissie van 336 gr CO₂ per kilometer (WTT).

Bij de verbranding van diesel in deze vrachtwagenmotor wordt 929 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd (TTW).

Door een motorefficiency van 35 % is er 3,31 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 30 % (WTW)

WTW wordt door deze vrachtwagen 1264 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd en dit is 100 % van fossiele oorsprong.

4.2 WTW-route aardgas → DME

Tabel 5 toont de resultaten van de ketens WTT, TTW en WTW voor de energie-efficiency en de CO₂eq-emissie van de keten van aardgas naar DME voor zowel Russisch aardgas als voor een EU-mix.

Tabel 5 Resultaatoverzicht well-to-wheel-keten aardgas-DME

Russisch aardgas	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT/km	TTW	TTW	WTW /km
Efficiency per processtap	97,7%	83,1%	71,3%	98,0%	57%			35%	20%
Input in MJ per processtap	1,76	1,72	1,43	1,02	1,00	9,64	12,69		22
Verlies per processtap in MJ _f	0,04	0,29	0,41	0,02	0,76				
Input in MJ per MJ WTW	5,03	4,91	4,09	2,91	2,86			1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,76				
CO ₂ eq-emissie gr CO ₂ /MJ _f	5,4	22,0	10,6	1,0	39,0	776		854	1630
EU-mix	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT/km	TTW	TTW	WTW /km
Efficiency per processtap	97,4%	97,3%	71,3%	98,0%	66%			35%	23%
Input in MJ per processtap	1,51	1,47	1,43	1,02	1,00	6,47	12,69		19
Verlies per processtap in MJ _f	0,04	0,04	0,41	0,02	0,51				
Input in MJ per MJ WTW	4,31	4,20	4,09	2,91	2,86			1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,51				
CO ₂ eq-emissie in gr CO ₂ /MJ _f	2,1	4,4	10,6	1,7	18,8	396		854	1250

Russisch aardgas:

Het kost 1,76 MJ aan energie om 1 MJ DME in de tank van de vrachtwagen te krijgen (WTT). Dit gaat gepaard met een emissie van 39,0 gram CO₂ per MJ DME (WTT) hetgeen resulteert in een emissie van 776 gr CO₂ per kilometer.

Bij de verbranding van DME in deze vrachtwagenmotor wordt bijna 854 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd (TTW).

Door een motorefficiency van 35 % is er 5,03 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 20 % (WTW).

WTW wordt door deze vrachtwagen 1630 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd en dit is 100 % van fossiele oorsprong

EU-mix:

Het kost 1,51 MJ aan energie om 1 MJ DME in de tank van de vrachtwagen te krijgen (WTT). Dit gaat gepaard met een emissie van 18,8 gram CO₂ per MJ DME hetgeen resulteert in een emissie van 396 gr CO₂ per kilometer (WTT).

Bij de verbranding van DME in deze vrachtwagenmotor wordt bijna 854 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd (TTW).

Door een motorefficiency van 35 % is er 4,31 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 23 % (WTW).

WTW wordt door deze vrachtwagen 1250 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd en dit is 100 % van fossiele oorsprong

4.3 WTW-route teelhout → DME

Tabel 6 toont de resultaten van de ketens WTT, TTW en WTW voor de energie-efficiency en de CO₂eq-emissie van de keten van teelhout naar DME.

Tabel 6 Resultaatoverzicht well-to-wheel-keten teelhout-DME

Teelhout-DME	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT/km	TTW	TTW*	WTW/km
Efficiency per processtap	96,1%	99,5%	51,5%	98,0%	48%			35%	17%
Input in MJ per processtap	2,07	1,99	1,98	1,02	1,00	13,58	12,69		26
Verlies per processtap in MJ _f	0,08	0,01	0,96	0,02	1,07				
Input in MJ per MJ WTW	5,91	5,69	5,66	2,91	2,86			1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,06				
CO ₂ eq-emissie gr in CO ₂ /MJ _f	4,7	0,7	0,1	1,0	6,5	122		0,00	122

Het kost 2,07 MJ aan energie om 1 MJ DME in de tank van de vrachtwagen te krijgen (WTT). Dit gaat gepaard met een emissie van 6,5 gram CO₂ per MJ DME. Ruim een derde van deze CO₂eq-emissie WTT wordt veroorzaakt door de lachgasemissie bij de teelt van hout. Dit resulteert in een WTW CO₂-emissie van 122 gr/km.

Bij de verbranding van DME in deze vrachtwagenmotor wordt bijna 854 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd. Echter, de input aan energie uit grondstof is 100 % hernieuwbaar en wordt dus niet in de optelling meegenomen (TTW). WTW wordt dan door deze vrachtwagen 122 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd.

Door een motorefficiency van 35 % is er 5,91 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 17 % (WTW).

4.4 WTW-route black liquor → DME

Tabel 7 toont de resultaten van de ketens WTT, TTW en WTW voor de energie-efficiency en de CO₂eq-emissie van de keten van resthout naar DME. Deze keten geeft aan wat de uiteindelijke energie-efficiency en CO₂eq-emissies van *black liquor*.

Tabel 7 Resultaatoverzicht well-to-wheel-keten black liquor-DME

Black liquor-DME	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT/km	TTW	TTW*	WTW/km
Efficiency per processtap	97%	99%	68%	98%	64%			35%	22%
Input in MJ per processtap	1,56	1,52	1,51	1,02	1,00	7,11	12,69		20
Verlies per processtap in MJ	0,04	0,01	0,49	0,02	0,56				
Input in MJ per MJ WTW	4,46	4,34	4,31	2,91	2,86			1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,03				
CO ₂ eq-emissie in gr CO ₂ /MJ _f	0,50	0,50	0,10	1,00	2,10	44		0,00	44

Het kost 1,56 MJ aan energie om 1 MJ DME in de tank van de vrachtwagen te krijgen (WTT). Dit gaat gepaard met een emissie van 2,1 gram CO₂ per MJ DME hetgeen resulteert in een emissie van 44 gr CO₂ per kilometer.

Bij de verbranding van DME in deze vrachtwagenmotor wordt bijna 854 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd. Echter, de input aan energie uit grondstof is 100 % hernieuwbaar en wordt dus niet in de optelling meegenomen (TTW).

Door een motorefficiency van 35 % is er 4,46 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 22 % (WTW). WTW wordt door deze vrachtwagen 44 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd.

4.5 WTW-route glycerine → DME

In de berekening van de WTW-keten glycerine naar DME is een aantal extra berekeningen uitgevoerd die resulteren in het tabel 8 gepresenteerde overzicht. Hieronder volgen de resultaten van deze berekeningen.

Verzamelen ruwe glycerine

Verondersteld wordt dat tot het moment van verzamelen glycerine geen CO₂- emissie kent. Het afvoeren van de productie-eenheid naar de opslag moet altijd plaats vinden. Hierdoor levert deze stap geen energieverlies of CO₂-emissie op.

Raffinage ruwe glycerine

Bij het zuiveren van 1 kg ruwe glycerine resteert 0,82 kg zuivere glycerine (> 97 % glycerine, resteert nog klein deel water, zouten en MONG) [GAVE, 2008]. De input is dan 1,55 ton * 19 MJ/kg is 29,45 GJ/ton aan glycerine. De output is 23,56 MJ(1,24 ton)

Hiervoor moet 220 gr water per kg ruwe glycerine verdampt worden. Bij 4260 MJ per kg water kost dit 956 MJ(0,9 GJ) per ton schone glycerine. Doorerekend naar DME (0,81 kg per kg schone glycerine) kost dit 1166 MJ per ton DME.

Het verlies van de raffinagestap is dan 23,56/30,35 geeft 0,22 MJ/MJ. Dit is een efficiency van (1/1,22) 82 %.

1166 MJ uit aardgas levert een CO₂-emissie op van 6567 gr CO₂ per ton DME, dit levert een CO₂-emissie op van 2,3 gr CO₂ per MJ DME.

Productie DME

Voor het omzetten van aardgas naar DME is circa 33 GJ/ton aardgas nodig en wordt (25 tot) 35 % van de energie verbruikt als brandstof en 65 % wordt omgezet naar DME. In de literatuur [GAVE,2008] wordt aangenomen dat het 10 % meer energie vraagt om glycerine om te zetten in DME.

Omzetting van aardgas in DME vraagt aan energie-input:

35 % * 33 GJ * 110 % = 12,7 GJ/ton DME stookgas

65 % * 33 GJ * 110 % = 23,6 GJ/ton DME procesgas

Uitgaande van een LHV van 19 GJ/ton glycerine, is er dus 23,6 / 19 = 1,24 ton glycerine nodig om 1 ton DME te produceren. Hieruit volgt dat 1 ton glycerine 0,81 ton DME oplevert. Dit levert een emissie op van 12,7 GJ * 56,4 gr CO₂/MJ = 716,28 gr CO₂ per 0,81 ton DME. Dit is 0,0311 gram CO₂ per MJ DME.

Voor de conversie van glycerine naar DME is stookgas nodig. Dit vraagt 12,7 GJ/ton DME.

Voor 1 ton DME is 1,24 ton glycerine nodig (19 MJ/ton). De input aan stookgas (12,7 GJ/ton) plus grondstof (1,24 ton * 19 GJ/ton) is dan 36,26 MJ, dit geeft een verlies van (19,9 (output)/36,26) 0,45 MJ/MJ DME en hiermee een efficiency van (1/1,45) 71,4% voor de conversiestap van glycerine naar DME.

De totale efficiency van de raffinage en DME-productie is dan 71,4 % * 82 % is 58,5 %. Dit levert (bij 100 % verbranding van aardgas een CO₂-emissie op van 1166 MJ * 56,40 gr CO₂/MJ = 65762 gr

CO₂/ton DME. Dit is bij een LHV van methanol van 19,9 MJ/kg een CO₂-emissie van 3,30 gr CO₂/MJ DME.

Voor de raffinage is 956 MJ/ton fossiele energie nodig, voor de omzetting van glycerine naar DME is 12.700 MJ/ton fossiele energie nodig. Per saldo is dit 0,48 MJ fossiele energie per MJ DME.

Voor de gegevens van transport en distributie van DME worden de zelfde gegevens gebruikt als bij black liquor, hout en aardgas.

Tabel 8 Resultaatoverzicht well-to-wheel-keten glycerine-DME

Glycerine-DME	Winning	Transport	Productie	Distributie	WTT	WTT/km	TTW	TTW*	WTW/km
Efficiency per processtap	100%	98%	59%	98%	56%			35%	20%
Input in MJ per processtap	1,78	1,78	1,74	1,02	1,00	9,88	12,69		23
Verlies per processtap in MJ	0,00	0,02	0,51	0,02	0,55				
Input in MJ per MJ WTW	5,08	5,08	4,98	2,92	2,86			1,00	
Input fossiele energie in MJ					0,48				
CO ₂ eq-emissie in gr CO ₂ /MJ _f	0,00	1,47	2,33	1,00	4,80	95		0,00	95

Het kost 1,78 MJ aan energie om 1 MJ DME in de tank van de vrachtwagen te krijgen (WTT). Dit gaat gepaard met een emissie van 4,8 gram CO₂ per MJ DME hetgeen resulteert in een emissie van 95 gr CO₂ per kilometer.

De input aan energie uit de grondstof is 100 % hernieuwbaar en wordt dus niet in de optelling meegenomen (TTW).

Door een motorefficiency van 35 % is er 5,08 MJ input aan energie nodig om 1 MJ in de overbrenging van de motor te krijgen, de WTW energie-efficiency bedraagt 20 %(WTW).

WTW wordt door deze vrachtwagen 95 gram CO₂ per kilometer geëmitteerd.

5 Conclusies

Wat zijn de stappen in het productieproces van DME?

DME wordt geproduceerd uit syngas, een mengsel van CO en H₂. Dit syngas kan worden geproduceerd door stoomreforming van aardgas of door vergassing van vaste fossiele grondstoffen en diverse soorten biomassa waarbij een gasmengsel ontstaat met CO en H₂. De samenstelling van het syngas is afhankelijk van de grondstof en de vergassingstechniek. Uit syngas wordt uit methanol geproduceerd wat vervolgens door een katalytisch proces omgezet wordt in DME.

Welke grondstoffen zijn geschikt en welke zijn beschikbaar.

Een groot aantal grondstoffen is geschikt voor de productie van DME, zowel fossiele grondstoffen als biomassa reststromen en afvalstromen. Ruwe olie en aardgas zijn voldoende beschikbaar maar bewerkstelligen geen CO₂-reductie. Black liquor is wel een (hernieuwbare) reststof maar is in Nederland niet beschikbaar. Voor wat betreft teelhout is Nederland op korte termijn afhankelijk van import zolang het areaal onvoldoende is. Glycerine is een in Nederland voorradig product dat voor de productie van bio-DME gebruikt kan worden.

Wat is het energieverbruik en CO₂-emissie van de Well-to-tank-keten? En welke energie- en CO₂-winst is met DME te behalen ten opzichte van de Well-to-wheel-keten van diesel?

Energie-efficiency Well-to-tank

De energie-efficiency WTT van aardgas, hout, black liquor en glycerine naar DME is lager vergeleken met de WTT-efficiency van ruwe olie naar diesel. Zie tabel 9. Dit lagere percentage wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de processtap 'DME-productie'.

- Aardgas scoort WTT naar DME lager dan ruwe olie naar diesel door de technische efficiency van de techniek voor stoomreforming.
- Hout scoort lager doordat er veel energie uit biomassa in het vergassingsproces nodig is om DME te produceren.
- Black liquor scoort beter omdat het in deze fase minder bewerking behoeft dan hout, wel moeten de lignineverbindingen nog verbroken worden, dit kost energie.
- Glycerine heeft zelf weinig mechanische bewerking meer nodig vergeleken met hout maar scoort lager omdat er verhoudingsgewijs veel (fossiele) energie nodig is (aardgas) voor de raffinage, wat bij deze stap is meegenomen, en het vergassen van glycerine kost relatief veel energie.

Belangrijkste punt bij deze deelconclusie is dat hout, black liquor en glycerine biomassa als energie-input zijn en hiermee dus geen bijdrage leveren aan een hogere CO₂-emissie. Zie tabel 9.

Tabel 9 Overzicht aandeel fossiele energie in energieverlies per MJ well-to-tank

Well-to-tank	Ruwe olie	Aardgas Rus	Aardgas EU	Teelhout	Black liquor	Glycerine
Verlies aan energie MJ/MJ _f	0,16	0,76	0,51	1,07	0,56	0,56
Waarvan input fossiel MJ/MJ _f	0,16	0,76	0,51	0,06	0,03	0,04

Om een MJ brandstof te krijgen (WTT), levert DME uit aardgas een fors slechter energieprestatie dan diesel uit ruwe olie. Maar ook de biomassa doet het qua energieprestatie slecht. Maar het grote verschil is te zien bij de input aan fossiele energie die hiervoor nodig is. Bij de fossiele grondstoffen is dit

vanzelfsprekend 100 %. Bij de biomassagrondstoffen is circa 60 % tot 80 % minder fossiele energie nodig per MJ eindbrandstof.

CO₂-emissie WTT en WTW

Dat het grootste deel aan input aan energie uit biomassa bestaat is ook zichtbaar aan de resultaten van de CO₂-emissie. Deze CO₂-emissie komt gunstig uit voor de grondstoffen op basis van biomassa. Zie tabel 10

Tabel 10 WTT en WTW CO₂eq-emissie per kilometer

Well-to-tank / well-to-wheel	Ruwe olie	Aardgas Rus	Aardgas EU	Teelhout	Black liquor	Glycerine
CO ₂ eq-emissie gr CO ₂ per km WTT	336	776	396	122	44	95
CO ₂ eq-emissie gr CO ₂ per km WTW	1264	1630	1250	122	44	95

Russisch aardgas scoort WTT bijna 130 % slechter dan dieselolie, aardgas EU-mix scoort bijna 20 % slechter dan diesel. Echter, DME kent een lagere CO₂-emissie per MJ dan dieselolie. Hierdoor wordt de hogere CO₂-emissie/MJ WTT gecompenseerd en scoren DME uit aardgas (EU-mix) en diesel in de WTW-keten nagenoeg gelijk maar scoort DME uit aardgas EU-mix 30 % slechter dan diesel.

Kijken we naar de WTW-ketens voor hout, black liquor en glycerine, dan geeft dit voor de CO₂-emissie uiteraard een totaal ander beeld. De CO₂-emissie van de verbranding van DME in de motor wordt niet meegenomen in de WTW-keten. Hierdoor scoort biomassa zeer goed ten opzichte van dieselolie, zowel WTT als WTW. Biomassa levert een CO₂-besparing op van circa 90 % tot 95 %.

Hoofdconclusie naar aanleiding van de berekende WTW-ketens is dat DME uit biomassa een minder goede energie-efficiency kent dan dieselolie. De input aan fossiele energie is klein dus is de besparing op fossiele grondstoffen per MJ groot. Hierdoor geeft DME uit biomassa een gunstige CO₂-emissie per kilometer. De CO₂-emissie ligt voor de biomassaketens op minder dan 10 % van dieselolie, de CO₂-winst is dus groot.

DME uit aardgas-EU-mix geeft een betere energie-efficiency dan biomassa maar slechter vergeleken bij dieselolie, DME uit Russisch aardgas produceren is niet energie-efficiënt. Aardgas is 100 % fossiel en geeft WTW een hogere (Russisch aardgas)/gelijkwaardige (EU-mix) CO₂-emissie ten opzichte van dieselolie. Voor DME uit aardgas wordt dus zowel voor de energie-efficiency als voor de CO₂-emissie geen winst geboekt.

Welke veiligheids- en beheersaspecten spelen een rol bij het gebruik van DME?

- De PM-emissie dan lager zijn bij gebruik van diesel. Dit is een voordeel bij het inzetten van DME in transport in gebieden waar de luchtkwaliteit in het geding is.
- De lagere energie-inhoud per volume-eenheid van DME ten opzichte van diesel vraagt om een keuze voor een grotere tank of voor een kleinere actieradius.
- Bij een grotere tank (groot volume DME) kunnen er andere risico's ontstaan met betrekking tot de veiligheid.

Hoe ziet de benodigde infrastructuur voor DME er uit voor de modaliteit vrachtverkeer?

Bevoorrading van DME-vulpunten kan dan bij regionaal gebruik geschieden met losse containers die in een daarvoor geschikte veilige opslag geplaatst worden waaruit getankt kan worden.

Starten met regionale vulpunten en regionaal gebruik is een mogelijke startfase voor DME.

Welk beleid en welke wetgeving is van toepassing / invloed op hernieuwbare brandstoffen en mogelijke introductie van DME in het bijzonder?

Volgens de Richtlijn Hernieuwbare energie (RED), de Richtlijn Brandstofkwaliteit en Besluit biobrandstoffen wegverkeer kan gebruik van bioDME aan *alle* in deze richtlijnen en regeling genoemde voorwaarden voldoen, mits goed bekeken wordt wat de grondstof voor DME is. Voor hout is biodiversiteit en benodigde hoeveelheid oppervlakte voor de teelt een punt dat in dit rapport niet nader is uitgewerkt maar wel aandacht behoeft. Voor glycerine is het kunnen voldoen aan de duurzaamheidscriteria (RED) van belang, dit is afhankelijk van de gekozen grondstoffen waaruit deze reststroom is ontstaan.

Eindconclusie

BioDME is een goed alternatief voor dieselolie in vrachtwagens als het gaat om besparing van fossiele energie en dus een vermindering van CO₂-emissie door vrachtwagens.

De implementatie van bioDME als transportbrandstof in Nederland zal een lange weg zijn, DME wordt nog niet voor dit doel geproduceerd en optimale motortechniek is nog in ontwikkeling. De distributiestructuur is nog niet aanwezig maar is technisch wel mogelijk.

6 Discussie

- Voor glycerine zijn maar weinig gegevens gevonden met betrekking tot vergassen. De verliezen uit ruwe glycerine (MONG) die de gebruikte bronnen vermelden zijn daarom inschattingen te noemen, net als de energie die het kost om ruwe glycerine te raffineren.
- Net zoals alle CO₂-verlies is toegerekend van de biodieselproductie en niets aan de glycerine, is al het CO₂-verlies toegerekend aan de glycerine en geen verlies aan het raffinagebijproduct (MONG). Hiervoor is gekozen omdat dit consequenter is, glycerine als restproduct, dus geen CO₂-allocatie, dus ook niet voor MONG.
- De vragen rondom de duurzaamheid van glycerine zijn nog niet beantwoord. Wordt glycerine zuiver als restproduct beoordeeld en beïnvloedt een grotere vraag naar het restproduct glycerine de gevolgen van duurzaamheid in negatieve zin?
- Binnen de LCA-methode kun je stellen dat een deel van de CO₂-emissie van de productie van biodiesel aan glycerine toegerekend zou moeten worden. In de RED (en ook in dit rapport) wordt geen CO₂ toegerekend aan glycerine tot moment van verzamelen.
- In de keten van glycerine is een efficiency van de methanolinstallatie berekend van 71,4 %. Een 'state-of-the-art- installatie' zoals die is gebruikt in de bronnen (Tjeldbergodden, Noorwegen), wordt uitgegaan van 69,4 % efficiency. Het verschil kan in de aannames zitten, het kan ook zo zijn dat glycerine een betere efficiency geeft. Dit zou in de praktijk nagevraagd moeten worden.
- Voor DME uit teelhout is relatief veel energie nodig, bij de DME-productie is voor elke MJ DME bijna twee MJ uit hout nodig. Dit heeft gevolgen voor de te beplanten oppervlakte. Bij de andere bioDME-productieprocessen is het 'verlies' aan energie circa een halve MJ. Hoe ethisch en duurzaam is het dan bij deze 'energieverliezen', om voor dit doel (transportbrandstof) hout te telen? Dit is ook afhankelijk van de efficiency die teelhout heeft bij gebruik voor andere doeleinden.
- NO_x-emissie en fijnstof-emissie (PM) bleken belangrijke parameters te zijn bij het gebruik van DME. In dit rapport is hier niet nader op in gegaan maar het is op basis van de gevonden gegevens wel als belangrijk punt meegenomen om DME als alternatief voor diesel te overwegen. Nadere verdieping zou hierover meer informatie kunnen geven. Met name omdat de gevonden bronnen elkaar op dit punt lijken tegen te spreken.

Bijlage 1 Ontwikkeling broeikasgassen van 1990 via 2000 naar 2008

miljoen kg	1990	2000	2008
CO ₂	159,3	169,6	174,9
N ₂ O	20,2	19,3	12
CH ₄	25,5	19,8	17,3
HFK, PFK, SF ₆	6,9	5,7	2,4
Totaal	211,9	214,4	206,4

Bron: Compendium voor de leefomgeving, 2009

Bijlage 2 Energieverbruik door verkeer en vervoer

Energieverbruik door verkeer en vervoer				
PJ	1990	2005	2007	2008
Totaal	451	571	584	599
Wegverkeer	325	417	429	438
waarvan:				
personenauto's	212	252	258	263
lichte bedrijfsvoertuigen	30	63	64	66
zware bedrijfsvoertuigen	80	97	102	104
motor- en bromfietsen	3	5	5	5
Overig verkeer	90	113	119	119
Mobiele werktuigen	36	41	36	42

Bron: Compendium voor de leefomgeving, 2009

Bijlage 3 Voorbeeld van samenstelling syngas en productgas uit vergas-
singstechnieken⁴⁶

	BFB/CFB	indirect gasifier	entrained flow
fuel	wood	wood	coal
temp.[°C]	800-1000	800-1000	1200-1500
air/oxygen	air	air	oxygen
CO [vol%]	12-20	25-45	60-65
H ₂ [vol%]	10-15	20-40	25-30
CO ₂ [vol%]	15-20	15-20	5
CH ₄ [vol%]	4-5	10-15	0
C ₂ + [vol%]	2	4-8	0
N ₂ + Ar [vol%]	45-50	1	5

Definitie:

- Syngas: mix van H₂ en CO (CO₂ en H₂O en mogelijk N₂).
- Productgas: mix van H₂, CO, CH₄, hogere koolwaterstofverbindingen (en CO₂ en H₂O en mogelijk N₂).

Bijlage 4 Resultaatoverzicht Well-to-Wheel-ketens

Well-to-wheel berekening: Ruwe olie naar diesel

Auteur: Angelique Kok
Doel: energieefficiency en CO₂eq-emissie van de WTW-keten
Methode: Ketenganalyse



CO₂ is in gram CO₂equivalent per MJ MJ = megajoule MJ_i = MJ eindbrandstof CO₂eq/MJ diesel = 73,2 gr
Tank-to-wheel in MJ per kilometer (TTW in MJ/km) = is het verbruik in MJ per kilometer van de vrachtwagen die in de berekening/uitgangspunten is opgenomen
Opmerking: De efficiency komt voort uit MJ verlies per MJ eindbrandstof, dit is omgezet naar een percentage (0,02 MJ/MJ geeft een efficiency van 98 %)
Bron: Well-to-wheels(version 3, Concawe/Eucar/JRC, november 2008), Annex "Full Background report"(GM, sept. 2002), To shift or not to shift, that's the question(CE, maart 2003)

- 1 Mix van 35 % Noordzee, 25 % Siberië, 40 % mix Opec, mix van on- en offshore
In Annex berekend met GEMIS(Global Emission, Model for Integrated Systems)
- 2 Transport per olietanker naar Europese haven met raffinaderij
- 3 Gemiddelde van 'best practice refinery performance', het huidige gemiddelde van de prestaties van raffinaderijen in Europa
- 4 Transport van raffinaderij naar depot met mix van 60 % pijpleiding, 20 % trein, 20 % boot
inclusief elektriciteitsverbruik van depot, distributie naar vulstation en elektriciteitsverbruik van vulstation

Well-to-wheel berekening: Aardgas naar DME

Auteur: Angelique Kok

Doel: Energy-efficiëntie en CO₂-eq-emissie van de WTW-keten

Methode: Ketenganalyse



Well-to-wheel berekening: Teelhout naar DME

Auteur: Angelique Kok

Doel: Energy-efficiency en CO₂-eq-emissie van de WTW-keten

Methode: Ketenganalyse



CO₂ is in gram CO₂-equivalent per MJ. MJ = megajoule MJ = MJ eindbrandstof gr CO₂-eq / MJ DME = 67,3

Tank-to-wheel in MJ per kilometer (TTW in MJ/km) = is het verbruik in MJ per kilometer van de vrachtwagen die in de berekening/uitgangspunten is opgenomen

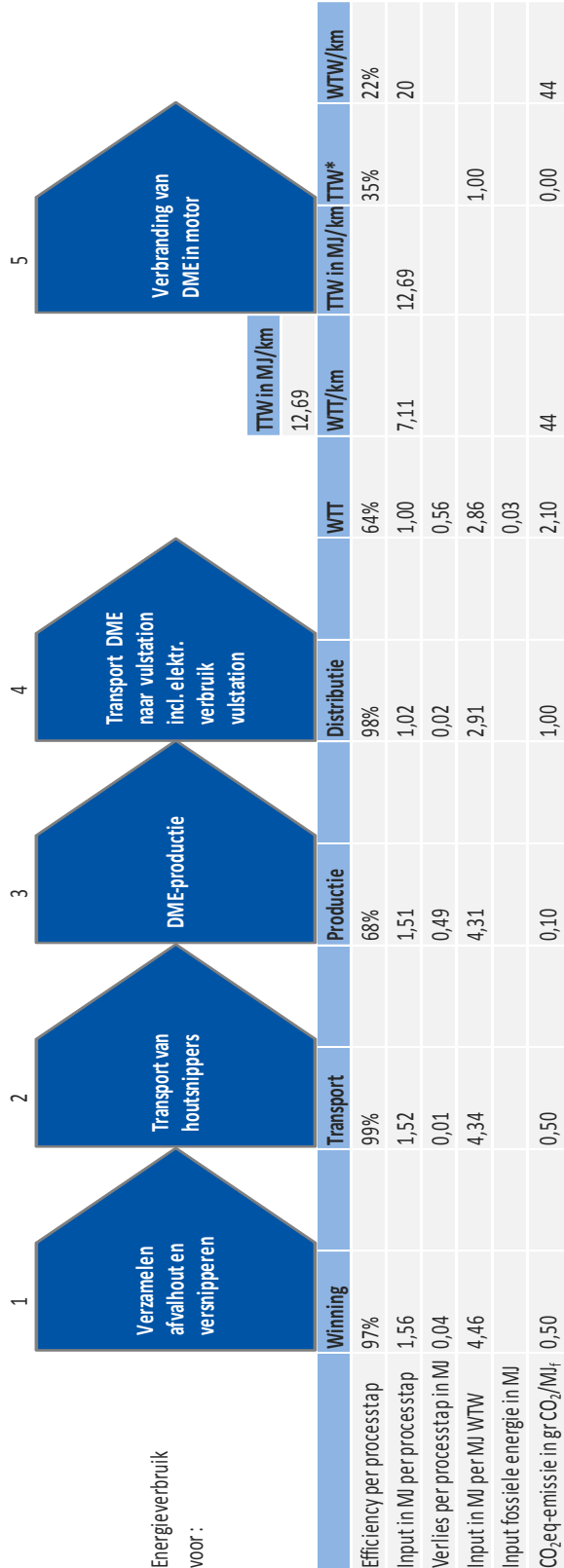
Opmerking: De efficiency komt voort uit MJ verlies per MJ eindbrandstof, dit is omgezet naar een percentage (0,02 MJ/MJ geeft een efficiency van 98 %)

Bron: Well-to-wheels(version 3, Concauwe/Eucar/JRC, november 2008), Annex "Full Background report"(GM, sept. 2002), To shift or not to shift, that's the question(CE, maart 2003)

- 1 Telen en versnipperen van hout geven de volgende fossiele emissies: 4,7 CO₂-eq = 2,3 gr CO₂ + 0,008 gr N₂O voor diesel, hout, kunstmest en veldemissies(N₂O)
- 2 Transport per 40 tons truck over 50 km
- 3 DME-productie d.m.v. vergassing van houtsnippers gevolgd door methanol synthese en DME-synthese
- 4 Transport van DME per 40 tons truck over 150 km, inclusief elektriciteitsverbruik van vulstation
- 5 * Bij de verbranding van 1 MJ DME komt 67,3 gr CO₂-eq vrij, dit komt uit hernieuwbare bron en wordt er voor de berekening dus afgetrokken.

Well-to-wheel berekening: Black liquor naar DME

Auteur: Angeliue Kok
Doel: Energy-efficiency en CO₂eq-emissie van de WTW-keten
Methode: Ketenganalyse



CO₂ is in gram CO₂equivalent per MJ. MJ = megajoule MJ_r=MJ/MJ eindbrandstof gr CO₂eq/MJ DME=67,3
Tank-to-wheel in MJ per kilometer (TTW in MJ/km)= is het verbruik in MJ per kilometer van de vrachtwagen die in de berekening/uitgangspunten is opgenomen
Opmerking: De efficiency komt voort uit MJ verlies per MJ eindbrandstof, dit is omgezet naar een percentage (0.02 MJ/MJ geeft een efficiency van 98%)
Bron: Well-to-wheels (version 3, Concawe/Eucar/JRC, november 2008), Annex "Full Background report"(GM, sept. 2002), To shift or not to shift, that's the question(CE, maart 2003)

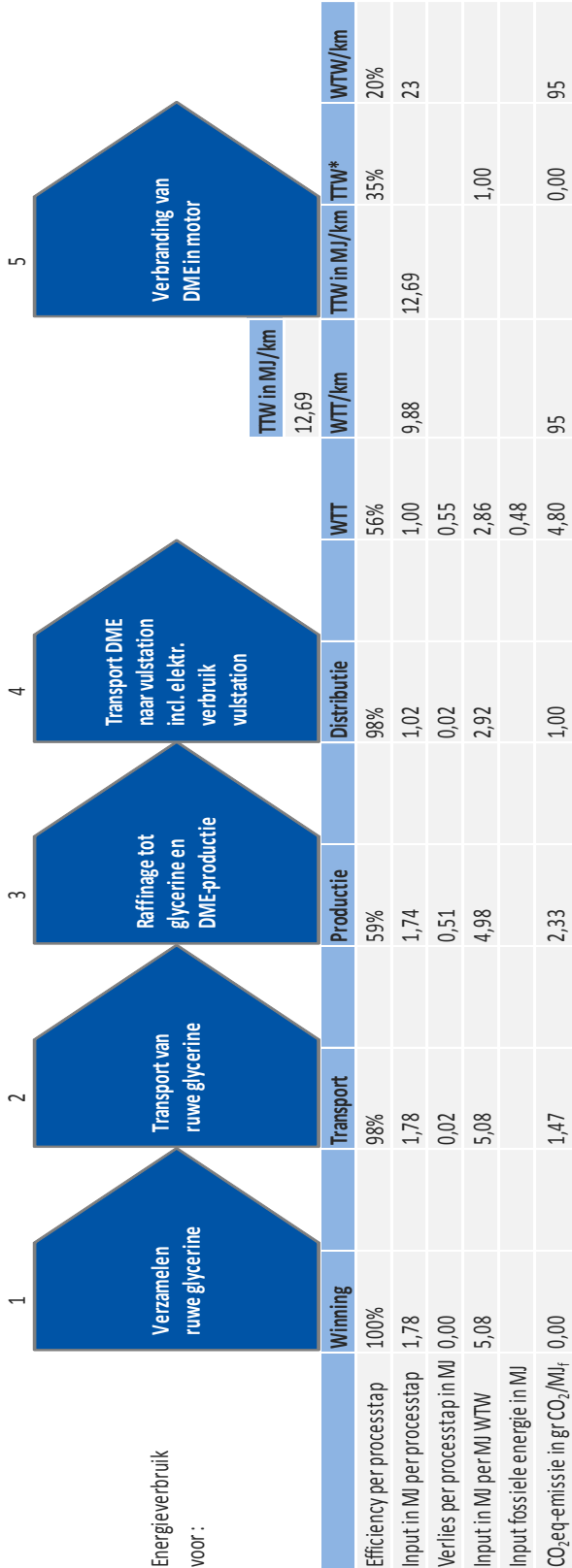
- 1 De route start met het verzamelen van resthout, zie voor werkwijze de omschrijving van de methode.
- 2 Transport per 40 tons truck
- 3 DME-productie d.m.v. vergassing van black liquor gevolgd door methanolsynthese en DME-synthese
- 4 Transport van DME per 40 tons truck over 150 km, inclusief elektriciteitsverbruik van vulstation
- 5 * Bij de verbranding van 1 MJ DME komt 67,3 gr CO₂eq vrij, dit komt uit hernieuwbare bron en wordt ervoor de berekening dus afgetrokken.

Well-to-wheel berekening: Glycerine naar DME

Auteur: Angelique Kok

Doel: Energy-efficiency en CO₂-emissie van de WTW-keten

Methode: Ketenenanalyse



CO₂ is in gram CO₂-equivalent per MJ. MJ = megajoule MJ_f=MJ/MJ eindbrandstof gr CO₂eq / MJ DME = 67,3

Tank-to-wheel in MJ per kilometer (TTW in MJ/km) = is het verbruik in MJ per kilometer van de vrachtwagen die in de berekening/uitgangspunten is opgenomen

Opmerking: De efficiency komt voort uit MJ verlies per MJ eindbrandstof, dit is omgezet naar een percentage (0,02 MJ/MJ geeft een efficiency van 98 %)

Bron: Well-to-wheels (version 3, Concawe/Eucar/JRC, november 2008), Annex "Full Background report" (GM, sept. 2002), To shift or not to shift, that's the question (CE, maart 2003)

- 1 Er treden geen grondstofverliezen op bij het verzamelen van glycerine, het energieverbruik dat is toe te rekenen aan deze stap is nihil
- 2 Transport per schip, 400 km (kustwateren)
- 3 Raffinage van ruwe glycerine, DME-productie d.m.v. vergassing van glycerine gevolgd door methanol-synthese en DME-synthese
- 4 Transport van DME per 40 tons truck over 150 km, inclusief elektriciteitsverbruik van vulstation
- 5 * Bij de verbranding van 1 MJ DME komt 67,3 gr CO₂-eq vrij, dit komt uit hernieuwbare bron en wordt er voor de berekening dus afgetrokken.

Eindnoten

- ¹ Z.a., Informatiedocument niet CO₂ broeikasgassen in Slok, dec. 2007, www.senternovem.nl , (9dec. 2009)
- ² Z.a., Inleiding milieudruk verkeer en vervoer, www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/.../nl0126-Inleiding-milieudruk-verkeer-en-vervoer.html, (10 dec. 2010)
- ³ Z.a., Biobrandstoffen voor het wegverkeer, aanbod, verbruik en bijmenging, nov. 2009, <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=71456ned&D1=0.2-3&D2=a&D3=a&HD=080616-1119&HDR=T.G2&STB=G1> , (5 feb. 2010)
- ⁴ Z.a., Bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen en houdende wijziging en intrekking van Richtlijn 2001/77/EG en Richtlijn 2003/30/EG, dec. 2010, http://www.europa-nu.nl/id/vi8rm30116z9/bevordering_van_het_gebruik_van_energie , (10 jan 2010)
- ⁵ Z.a., Wijziging van Richtlijn 98/70/EG met betrekking tot de specificatie van benzine, dieselbrandstof en gas olie en tot invoering van een mechanisme om de emissies van broeikasgassen te monitoren en te verminderen, tot wijziging van Richtlijn 1999/32/EG met betrekking tot de specificatie van door binnenschepen gebruikte brandstoffen en tot intrekking van Richtlijn 93/12/EEG, dec. 2010, http://www.europa-nu.nl/id/vi8rm30116czb/wijziging_van_richtlijn_98_70_eg_met, (12 jan. 2010)
- ⁶ Z.a., Besluit biobrandstoffen wegverkeer, nov 2009, http://www.senternovem.nl/mmfiles/Besluit-biobrandstoffen-wegverkeer-2007_versie_18-11-2009_tcm24-318824.pdf, (12 jan. 2010)
- ⁷ Kim, M.Y., K, Bang, S.H. , Lee, C.S., april 2007, Experimental investigation of spray and combustion characteristics of dimethyl ether in a common-rail diesel engine
- ⁸ Z.a., Dimethylether, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Dimethylether>, (28 nov. 2009)
- ⁹ Z.a., Cetanenumber, http://en.wikipedia.org/wiki/Cetane_number, (28 nov. 2009)
- ¹⁰ Z.a., Vlampunt, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Vlampunt>, (29 nov. 2009)
- ¹¹ Ekbom, T , Berglin, N, Logdberg, S, dec. 2005, Black liquor Gasification with motor fuel production, A techno-economic feasibility study on catalytic Fischer Tropsch synthesis for synthetic diesel production in comparison with methanol and DME as transport fuels. <http://www.chemrec.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/2005%20BLGMF%20II.pdf>
- ¹² Mei, v.d., A, april 2009, Duinn Mobility 2.0
- ¹³ Gasification World database 2007, Current industry status, Robust growth forecast, 2007, U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/Gasification2007_web.pdf
- ¹⁴ Drift v.d., B, Gasification, Energy research Centre of the Netherlands, <http://www.vergassing.nl/index.html>, (1 dec. 2010)
- ¹⁵ Z.a., Vergassen, van Hall-Larenstein, <http://www.vhlde.nl/vergassen-duurzame-energie-255..>, (3 dec. 2009 2010)
- ¹⁶ Uil den, H, e.a., feb. 2004, Duurzaam synthesesegas, Brug naar een duurzame energie- en grondstoffenvoorziening, http://www.senternovem.nl/mmfiles/135538_tcm24-280032.pdf
- ¹⁷ GasNed, <http://www.gasification.eu/index.php?id=8&rubriek=3>, (10 mei 2010)
- ¹⁸ Uil den, H, e.a., feb. 2004, Duurzaam synthesesegas, Brug naar een duurzame energie- en grondstoffenvoorziening, http://www.senternovem.nl/mmfiles/135538_tcm24-280032.pdf
- ¹⁹ Ogawa, T, e.a., 2003, Direct Dimethyl ether synthesis,

http://pse.che.ntu.edu.tw/hsp/Process_Design/direct%20dimethyl%20ether%20synthesis.pdf

- ²⁰ Z.a., About DME, <http://www.aboutdme.org/index.asp?bid=219>, (2 feb. 2010)
- ²¹ Bhide, S., e.a. okt 2003, [Characterization of the viscosity of blends of dimethyl ether with various fuels and additives](#)
- ²² Z.a. http://www.volvotrucks.com/trucks/global/engb/newsmedia/pressreleases/pages/press_article.aspx?Pubbid=7643, (28 mei 2010)
- ²³ Priddle, R, 2002, Bussystems for the future, Achieving sustainable transport worldwide, <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/bussystems2002.pdf>
- ²⁴ Ekbohm, T, e.a., 2003, Technical and commercial feasibility study of black liquor gasification with methanol/DME production as motor fuels for automotive uses, BLGMF, http://www.senternovem.nl/mmfiles/BLGMF1_tcm24-280132.pdf
- ²⁵ GasNed, <http://www.gasification.eu/index.php?id=8&rubriek=3>, (12 mei 2010)
- ²⁶ Z.a., Toxicity summary for dimethylether, http://www.aboutdme.org/EFIClient/files/ccLibraryFiles/Filename/000000000640/DME_Technical_-_Toxicity_Summary.pdf, (12 maart 2010)
- ²⁷ Z.a., About DME, <http://www.aboutdme.org/index.asp?bid=219>, (10 feb. 2010)
- ²⁸ Z.a., Conference on the development and promotion of environmental friendly heavy duty vehicles such as DME-trucks, www.methanol.org/pdf/DMETruck.pdf, (15 maart 2010)
- ²⁹ Liu, J, e.a., april 2010, Regulated and Nonregulated Emissions from a Dimethyl Ether Powered Compression Ignition Engine
- ³⁰ Kim, M.Y., e.a. 2008, Combustion and emission characteristics of DME as an alternative fuel for compression ignition engines with a high pressure injection system
- ³¹ Z.a., Conference on the development and promotion of environmental friendly heavy duty vehicles such as DME-trucks, www.methanol.org/pdf/DMETruck.pdf, (15 maart 2010)
- ³² Z.a., Zware bedrijfswagens, http://nl.wikipedia.org/wiki/Large_Goods_Vehicle, (15 april 2010)
- ³³ Z.a., Vervuilende stoffen in de bodem, http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Vervuilende%20stoffen%20in%20de%20bodem#Aromatische_koolwaterstoffen, (20 mei, 2010)
- ³⁴ Milieurekeningen 2008, CBS, 2008, <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/D2CE63F9-D210-4006-B68B-98BE079EA9B6/0/2008c167pub.pdf>
- ³⁵ Yong, K, e.a., 2001, Refining of crude glycerine recovered from glycerol residue by simple vacuum distillation, <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/Jopr13n2-6.pdf>
- ³⁶ Z.a., Biobrandstoffen voor het wegverkeer, aanbod, verbruik en bijmenging, nov. 2009, <http://statline.cbs.nl> (30 maart 2010)
- ³⁷ http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/prod_quality.pdf
- ³⁸ Hamm, P, 2007, Groenboek energietransitie, Platform Groene Grondstoffen, Sittard
- ³⁹ Z.a., Soja en palmolie, http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Soja%20en%20palmolie#Palmolie_en_het_milieu, (15 mei 2010)
- ⁴⁰ GM, 2002, Annex 'Full background report'- Methodology, Assumptions, Descriptions, Calculations, Results to the GM Well-to-wheel analyses of energy use and greenhouse gas emissions of advantaged fuel/vehicle systems- a European study GM-rapport wel to wheel study, <http://www.lbst.de/gm-wtw>,

-
- ⁴¹ Charlton, C, maart 2006, Potential seen to develop short rotation forestry for wood fuel,
<http://www.forestry.gov.uk/newsrele.nsf/WebPRByCountryLang/E09728F06ED2D7CE8025710000537C7D>
- ⁴² Ekbohm, T, e.a., 2005, Black liquor gasification with motor fuel production-BLGMP,
<http://www.chemrec.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/2005%20BLGMF%20II.pdf>
- ⁴³ Studie naar transportemissies van alle modaliteiten, versie 2.0, sept. 2008, CE Delft, Delft
- ⁴⁴ 'Shift or not to shift', The environmental performance of the principal modes of freight and passenger transport in the policy-making context, Essen van, H.P., maart 2007, Delft
- ⁴⁵ Jobson, E., Environmenatl Director, Volvo Buses, 3 juni 2010
- ⁴⁶ Drift v.d., B., Gasification, http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/bio/Leaflets/b-08-027_Gasification.pdf, (14 april 2010)

Literatuurlijst

George, A., 2006, *Beyond Oil and Gas; The methanol Economy*, Wiley VCH, Weinheim

Concawe Eucar JRC, 2008, Well-to-wheels analyses of future automotive powertrains in the European context
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

Czernichowski, A., 2009, Conversion of waste glycerol into synthesesgas,
<http://pagesperso-orange.fr/albin.czernichowski/ECP/paper%20glycerol%20for%20distribution.pdf>

Hamelinck, C, 2008, Technical specificationGreenhousegas calculator for biofuels,
http://www.senternovem.nl/mmfiles/Technical%20specification%20v2.1b%20-%202008%2008%2013_final_tcm24-327320.pdf

Hansen, J.B., Mikkelsen, S.E., 2001, DME as a Transportation Fuel, http://www.fstyr.dk/da-DK/Shortcuts/English/~media/Files/Publikationer/Engelske_pub/dme_eng.ashx

Hoogendoorn, A, Bierings, B., Boom v.d., R, Centrale productie van Bio-syntetic Natural Gas via vergassing, een oriënterende studie, 2008
http://www.senternovem.nl/mmfiles/Centrale%20productie%20van%20bioSNG%20via%20vergassing_tcm24-272626.pdf

Johansson, L., 2004, Future fuels for commercial vehicles

Jones, P., Jacobs, R., 2007, Terra incognita: globalisering,ecologie en rechtvaardige duurzaamheid

Klein, A., 2002, Gasification, An alternative proces for Energy recovery and disposal of municipal wastes
http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/klein_thesis.pdf

Landalv, H, 2005, Presentatie Heavy Duty Vehicles, highlights from the Volvo Group,
http://www.ecotraffic.se/synbios/konferans/presentationer/18_maj/synbios_landalv_henrik.pdf

Landalv, I, 2007, Dimethylether synthesis, <http://www.baumgroup.de/Renew/download/11%20-%20Landalv%20-%20slides.pdf>

Larson, E.D., Yang, H., 2004, Dimethylether from coal as a Household cooking fuel in China,
<http://www.princeton.edu/pei/energy/publications/texts/LarsonYang-China-DME-cooking-ESD-2004.pdf>

Mandil, C., 2004, Biofuels for transport, An International Perspective,
<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>

Reed, T.B., Lerner, R.M., 1973, Methanol, a versatile fuel for immediate use

Thomson, J.C., 2006, Characterisation of crude glycerine from biodiesel production from multiple feedstocks,
<http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/NewsReleases/Technote06.pdf>

Verbeek, R., 2008, Impact of biofuels on air pollutant emissions from road vehicles, a Management summary,
http://www.tno.nl/downloads/MON-RPT-033-DTS-2008-01737_management%20summary1.pdf

Volvo, 2007, Het klimaat centraal,
http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/belgium/About%20us/Environment/climate_issues_in_focus_NL.pdf

Wesselingh, J.A., 2006, Van aardgas naar methanol, <http://mail.vssd.nl/hlf/d006.pdf>

Worldwatch Institute, 2007, *Biofuels for transport*, Earthscan, London

Z.a., Platform Hout Nederland, brochure, De bos-en houtsector zorgt voor biomassa
<http://www.avih.nl/pdf/PHNbiomassa.pdf>