

Stieltjesweg 1  
Postbus 155  
2600 AD Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 15 269 20 00  
F +31 15 269 21 11  
[info-lenT@tno.nl](mailto:info-lenT@tno.nl)

**TNO-rapport**

**MON-RPT-033-DTS-2008-00153**

**Uitlaatgasemissies van PPO en biodiesel in Heavy  
Duty motoren**

Datum	17 januari 2008
Auteur(s)	Gerrit Kadijk Elke Rabé Ruud Verbeek
Opdrachtgever	SenterNovem Drs. R.E. Motshagen Postbus 8242 3503 RE Utrecht
Projectnummer	033.16167
Aantal pagina's Aantal bijlagen	28 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

## Samenvatting

In Nederland zijn in 2006 in een aantal steden milieuzones ingevoerd om de milieubelasting door wegvoertuigen te beperken. In die steden worden dan nog alleen Euro 2 en Euro 3 vrachtwagens toegelaten, indien zij voorzien zijn van een retrofit roetfilter. De vraag deed zich voor of door toepassing van biobrandstof een vergelijkbare emissievermindering van deeltjes bereikt zou kunnen worden.

Middels literatuuronderzoek en de consultatie van externe experts zijn de effecten op uitlaatgasemissie onderzocht van het gebruik van verschillende soorten biobrandstof, namelijk van Pure Plant Oil (PPO) en van de eerste generatie biodiesel (FAME, RME). In beiden gevallen is alleen de 100% variant geëvalueerd (dus geen mengsels met standaard diesel). Daarnaast is een vergelijking gemaakt met het effect van de toepassing van het halfopen retrofit roetfilter.

De emissiegegevens zijn geanalyseerd van een vijftal motoren met PPO brandstof en een zevental motoren met biodiesel in vergelijking met standaard dieselbrandstof. De meeste motoren waren Euro 3 vrachtwagenmotoren.

### *Effecten op uitlaatgasemissies*

Op basis van de geanalyseerde informatie veranderen de emissies in de range zoals weergegeven in onderstaande tabel:

	Retrofit roetfilter	PPO	Biodiesel
PM	-15% tot -60%	- 8% tot -71%	0% tot -60%
NOx	0%	- 8% tot +30%	-11% tot +18%
HC / CO	tot -90%	- 69% tot + 37%	-6% tot -71%

Bij PPO is door één instituut een sterkte verhoogde mutageniteit gemeten, terwijl een ander instituut juist een daling t.o.v. reguliere dieselbrandstof vaststelt.

Geconcludeerd kan worden dat voor zowel de toepassing van biobrandstoffen als de toepassing van het halfopen retrofit roetfilter de vermindering van de deeltjesmassa in dezelfde grootteorde ligt. De spreiding in resultaat is in beide gevallen groot, afhankelijk van factoren als inzet van het voertuig en motor- of brandstoftype. Voor zowel PPO als biodiesel is de deeltjesemissieverlaging vergelijkbaar. Gemiddeld genomen is wel een stijging van de NOx emissie te verwachten. Bij (de eerste generatie) biodiesel wordt een stijging van rond de 5% verwacht, terwijl deze voor PPO nog iets hoger zou kunnen liggen. HC en CO emissies dalen over het algemeen, alhoewel bij PPO ook wel eens een stijging wordt gemeten.

Bij biobrandstoffen kan overwogen worden om per motortype en brandstoftype de emissies te meten en formeel vast te leggen in bijvoorbeeld een soort typekeuring.

### *Praktische aspecten*

Vrijwel alle HD motorenfabrikanten laten het gebruik van biodiesel (puur of als blend) toe. Het gebruik van PPO wordt echter altijd afgeraden en de garantie op de motor vervalt. Voor PPO wordt doorgaans een verwarmingsstelsel voor de brandstof

geïnstalleerd en een wisselsysteem met 2 brandstoftanks zodat op gewone brandstof gestart kan worden.

Bij zowel PPO als biodiesel zal het motoronderhoud frequenter uitgevoerd moeten worden. Dit houdt vooral in: het bewaken van de motoroliekwaliteit en doorgaans het verkorten van de verversingstermijn.

#### *Aanbevelingen*

Gezien de spreiding in effecten op de emissies, wordt aanbevolen om in de toekomst meer systematisch metingen te verrichten gericht op de volgende witte vlekken:

- invloed brandstofsamenstelling op emissies voor zowel PPO als biodiesel
- invloed PPO en biobrandstof op chemische en toxische eigenschappen van de uitlaatgassen
- effecten bij Euro 2, 4 en Euro 5 motoren.

Gezien de tegenstrijdige resultaten van mutageniteitsmetingen van verschillende instituten is het noodzakelijk om veel uitgebreider onderzoek te verrichten naar de toxische eigenschappen van het uitlaatgas. Aanbevolen wordt om de meetmethode en resultaten van zo'n onderzoek door een team van internationale experts te beoordelen.

Daarnaast wordt aanbevolen om meer informatie te verzamelen over een eventueel lange termijn effect van PPO en biodiesel op motorslijtage en emissies.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting</b> .....	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>5</b>
1.1	Achtergrond .....	5
1.2	Doelstelling.....	5
1.3	Plan van aanpak .....	5
<b>2</b>	<b>Onderzoeksopzet</b> .....	<b>6</b>
2.1	Literatuuronderzoek.....	6
2.2	Consultatie externe experts .....	6
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>7</b>
3.1	Wat is PPO en wat is biodiesel? .....	7
3.2	Resultaten literatuuronderzoek PPO .....	7
3.3	Resultaten consultatie externe experts .....	15
3.4	Resultaten van het halfopen retrofit roetfilter .....	18
3.5	Overzichtstabel resultaten .....	18
<b>4</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>20</b>
4.1	Implicaties van de resultaten voor de onderzoeksvraag.....	20
4.2	Opmerkingen rond het gebruik van biobrandstoffen .....	20
<b>5</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b> .....	<b>24</b>
	<b>Afkortingen</b> .....	<b>25</b>
	<b>Referenties</b> .....	<b>26</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In Nederland worden binnenkort milieuzones ingevoerd om de milieubelasting door wegvoertuigen binnen een aantal wat grotere steden te beperken. In die steden worden dan nog alleen Euro 2 en Euro 3 vrachtwagens toegelaten, indien zij voorzien zijn van retrofit roetfilter. De vraag doet zich voor of toepassing van biobrandstof tot een vergelijkbare emissievermindering leidt als toepassing van een retrofit roetfilter.

Om die vraag te beantwoorden heeft SenterNovem TNO Industrie en Techniek opdracht gegeven om de milieueffecten van biobrandstoffen te onderzoeken voor met name Euro 2 en Euro 3 vrachtwagens. De onderzochte biobrandstoffen omvatten PPO (Pure Plant Oil) en Biodiesel. Biodiesel sluit voor wat betreft brandstofeigenschappen beter aan op standaard diesel. Biodiesel bestaat in twee varianten: veresterde plantaardige olie (FAME, RME, SME, etc.) en waterstofbehandelde plantaardige of dierlijke olie (NexBTL of Sundiesel).

## 1.2 Doelstelling

Het vaststellen van de effecten van het gebruik van PPO en Biodiesel op de uitlaatgasemissies van met name Euro 2 en Euro 3 motoren en deze te vergelijken met de emissies van een Euro 2/3 vrachtwagen met retrofit roetfilter bij het gebruik van standaard dieselbrandstof (EN590 zwavelvrij).

Het onderzoek wordt uitgevoerd aan de hand van beschikbaar materiaal, literatuuronderzoek en consultatie van specialisten.

## 1.3 Plan van aanpak

Dit onderzoek bestaat uit twee delen.

In het eerste deel is een literatuuronderzoek uitgevoerd. In het tweede deel zijn het gebruik van biobrandstoffen in het algemeen en de resultaten van dit onderzoek besproken met externe deskundigen. Hun mening is in dit rapport opgenomen.

## 2 Onderzoeksopzet

### 2.1 Literatuuronderzoek

Binnen TNO en in het bijzonder op haar afdeling MON-EST worden systematisch publicaties over het onderwerp biobrandstoffen verzameld. Voor dit project is in het bijzonder gezocht naar beschikbare meetdata van uitlaatgasemissies bij toepassing van biobrandstof. Er is primair gezocht naar meetdata van vrachtwagens en bussen. In dit project zijn echter ook een aantal andere technologieën gerapporteerd. De resultaten zijn vermeld in hoofdstuk 3.

### 2.2 Consultatie externe experts

In de afgelopen tien jaren zijn slechts spaarzaam biobrandstoffen gebruikt. Echter sinds de invoering van het wettelijk verplichte aandeel biobrandstof in de reguliere brandstoffen is de aandacht voor biobrandstoffen toegenomen. Dit betekent dat op diverse plaatsen onderzoek wordt gedaan naar de emissie-effecten van biobrandstoffen. Gezien de vele diversiteiten van biobrandstof zijn er ook veel verschillende uitkomsten te verwachten. De bestudering van publicaties van gerenommeerde instituten en gesprekken met experts vormen tezamen een compleet beeld van de huidige situatie rondom biodiesel en PPO.

De resultaten van de consultaties staan vermeld in hoofdstuk 3.3.

## 3 Resultaten

### 3.1 Wat is PPO en wat is biodiesel?

PPO is een vloeibare brandstof die uit natuurproducten is geperst. Hiertoe behoren bijvoorbeeld koolzaadolie (RSO), sojaolie en zonnebloemolie. PPO heeft geen kookpunt. Om een voorstelling te maken van deze eigenschap kan gedacht worden aan het verwarmen van frituurolie. Bij onbeperkt doorverwarmen zal de structuur van de olie veranderen (de olie wordt steeds donkerder) en bij toelating van voldoende zuurstof zal de olie de zelfontbrandingstemperatuur bereiken en ontbranden. De olie zal niet gaan koken. Echter in een verbrandingsproces treedt decompositie van PPO op en zal PPO wel gaan koken. Hieruit blijkt dat PPO een wezenlijk andere brandstof is dan reguliere dieselbrandstof en mogelijk ook een ander verbrandingsgedrag vertoont. PPO heeft een relatief hoge viscositeit, de toepassing van deze brandstof in een voertuig vereist een voorverwarmingsinstallatie. Na verwarming tot ongeveer 70 °C is de brandstof voldoende vloeibaar om te worden ingespoten in de verbrandingskamer. Een gehanteerde productspecificatie is DIN V51605

Biodiesel is PPO dat bewerkt is middels verestering of een BTL-proces, deze groep producten wordt wel aangeduid als FAME. Er zijn diverse veresterde producten op de markt. RME (Rapeseed Methyl Ester) of SME (Soybean Methyl Ester) zijn de meest bekende namen. Verestering maakt de brandstof minder visceus waardoor toepassing van een voorverwarmingsinstallatie niet nodig is.

Biodiesel heeft een kookpunt van ongeveer 320 °C.

Gehanteerde productspecificaties zijn DIN V51606, EN14214 en ASTM D6751

Reguliere dieselbrandstof heeft een kooktraject van +/- 200 – 350 °C.

### 3.2 Resultaten literatuuronderzoek PPO

Dit hoofdstuk geeft de emissie resultaten van diverse publicaties weer bij toepassing van PPO.

#### 3.2.1 Euro 3 Vrachtwagen onderzoek VROM

In dit VROM [1] onderzoek is een Volvo FH12 420D (309 kW) met zowel EN590 dieselbrandstof als met PPO doorgemeten. Het betreft hier een Euro 3 voertuig. Een korte weergave van de resultaten is weergegeven in Tabel 1: Emissie test resultaten Volvo FH12.

Tabel 1: Emissie test resultaten Volvo FH12

	Diesel [g/kWh]	PPO [g/kWh]	Vershil [%]	Euro 3 Limietwaarde
CO	0.42	0.24	-43	2.10
THC	0.09	0.03	-66	0.66
NOx	4.98	6.09	+22	5.00
Deeltjes	0.097	0.028	-71	0.10

Het motorvermogen op EN590 dieselbrandstof en PPO zijn gelijk.

### 3.2.2 *Stadsbus onderzoek TU-Graz met PPO*

De TU-Graz [2] heeft onderzoek gedaan naar verschillende typen stadsbussen. Graz rijdt met de gehele vloot van stadsbussen op biodiesel (afkomstig van afgewerkte frituurolie). Tabel 2 geeft emissieresultaten van stadsbussen in de Braunschweig stadsbuscyclus.

Tabel 2: Emissie test resultaten Braunschweig cyclus Mercedes Citaro Bus

	Diesel [g/km]	PPO [g/km]	PPO+cat [g/km]	Vershil Diesel-PPO [%]
CO	0.97	1.33	0.23	+37
THC	0.27	0.22	0.03	-19
NO <sub>x</sub>	10.1	13.1	13.0	+30
PM10	0.189	0.148	0.035	-22
CO <sub>2</sub>	1297	1313	1299	

Het gebruik van PPO leidt bij deze stadsbussen tot een verhoging van de NO<sub>x</sub>- en CO-emissie en een verlaging van de HC- en PM10-emissie. Een verhoging van de HC-emissie wordt niet vaak waargenomen, mogelijk is de motorafstelling voor het gebruik van PPO aangepast.

### 3.2.3 *Euro 3 Motoronderzoek met PPO*

De universiteit van Coburg [9] heeft een breed scala aan brandstoffen in een Mercedes Benz OM 906 Euro 3 dieselmotor (6.4 l en 205 kW) beproefd. In dit onderzoek is de mutageniteit van uitlaatgas in kaart gebracht.

Tabel 3 geeft een deel van de ESC test resultaten met PPO en verwarmd PPO (vPPO) weer. Bij gebruik van RME en verwarmd PPO zijn de CO, THC en NO<sub>x</sub> emissies vergelijkbaar. De fijnstof (PM10) emissie is bij gebruik van verwarmd PPO hoger dan bij gebruik van RME. Uit tabel 3 blijkt dat verwarming van PPO tot sterk verbeterde emissies leidt.

In tabel 4 zijn de resultaten van het mutageniteitsonderzoek gerapporteerd. Hieruit blijkt dat het gebruik van PPO leidt tot relatief een sterk verhoogde mutageniteit van uitlaatgas.

Tabel 3: Emissie test resultaten ESC test Euro 3 motor diesel/PPO

	Diesel [g/kWh]	RME [g/kWh]	PPO [g/kWh]	vPPO [g/kWh]	Vershil Diesel- PPO [%]	Vershil Dsl-vPPO [%]
CO	0.48	0.26	0.43	0.39	- 10	- 19
THC	0.016	0.008	0.026	0.005	+ 63	- 69
NO <sub>x</sub>	4.8	5.6	6.3	5.7	+ 31	+ 19
PM10	0.067	0.03	0.90	0.062	+ 34	- 8



Tabel 4: Mutageniteitsresultaten Euro 3 motor diesel–RME-PPO

	Diesel [aantal]	RME [aantal]	PPO [aantal]	PPO Verw. [aantal]
TA98 – S9 part	51	57	494	1374
TA98 + S9 part	24	51	422	1419
TA98 – S9 cond	48	35	145	646
TA98 + S9 cond	36	35	89	465

### 3.2.4 Euro 5 Vrachtwagen mutageniteitsonderzoek

In reactie op het onderzoek van de universiteit van Coburg [9] is een vrachtwagen met Euro 5 technologie beproefd in opdracht van Bioltec evol-ram GmbH [10] door Bifa Umweltinstitut. Bioltec veronderstelt dat het door de universiteit van Coburg uitgevoerde onderzoek aan de Mercedes motor zonder Bioltec installatie is gedaan. In dit experimentele onderzoek is alleen de mutageniteit van uitlaatgassen gemeten in een ESC-test op een rollenbank. Toepassing van PPO in een Euro 5 voertuig met bioltec installatie resulteert in een lagere mutageniteit van uitlaatgassen dan bij toepassing van dieselbrandstof.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze state of the art Euro 5 motor geoptimaliseerd is voor PM10 emissies. Hiervoor is o.a. veel aandacht besteed aan het brandstofinspuitsysteem. De Euro 3 motor uit het voorgaande onderzoek [9] beschikt over minder hoogwaardige inspuitechnologie.

Zie ook hoofdstuk 3.4.3.

### 3.2.5 Euro 3 stadsbussen in Hasselt (B)

Sinds 2003 rijdt er in Hasselt (B) één Euro 3 bus op PPO voor het openbaar vervoerbedrijf De Lijn. De MAN D0836LUH02 6,87 liter 162 kW motor is niet uitgerust met een nabehandelingsstelsel, maar heeft wel interne EGR.

Voor gebruik van PPO is een Elsbett-ombouwset geïnstalleerd. Deze bestaat uit twee aparte brandstofsysteemen (twee aparte tanks), een PPO voorverwarmingsinstallatie en een omschakel-unit. Inmiddels is er met deze bus ongeveer 180.000 km gereden.

In deze periode heeft men periodiek oliemonsters genomen en hieruit blijkt dat er geen sprake is van verhoogde motorslijtage. Vanwege de lagere verbrandingswaarde van PPO levert de motor iets minder vermogen, de chauffeurs melden dat er sprake is van minder trekkracht. In de afgelopen maanden zijn nog een tiental bussen omgebouwd, deze zullen in de komende maanden ook op PPO gaan rijden.

Door het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO) zijn m.b.v. een mobiel emissiemeetsysteem de emissieniveaus gemeten [16].

Het gebruik van PPO levert t.o.v. reguliere brandstof de volgende verschillen:

- CO - 17 tot - 45 %
- THC - 32 tot - 45 %
- NOx - 2 tot - 8 %
- PM10 - 35 tot - 47 %

In tegenstelling tot de meeste resultaten laten deze meetresultaten bij gebruik van PPO een daling van de NOx-emissie zien. Uit de gedetailleerde data van de voertuigmetingen blijkt dat de bus in geval van PPO iets minder vermogen heeft en een lagere gemiddelde snelheid in bepaalde cycli heeft dan bij gebruik van dieselbrandstof. De motortechnologie (EGR) zou ook invloed kunnen hebben op de NOx-emissie. In hoofdstuk 3.3.2 (tabel 7,8 en 9) zijn de gedetailleerde meetresultaten gerapporteerd.

### 3.2.6 *Euro 4 LD motor Hochschule Offenburg*

In een beperkte publicatie [17] laat de Hochschule Offenburg verschillen zien van een 1.7 ltr Euro 4 dieselmotor van een personenwagen die zowel op dieselbrandstof als op biodiesel als op PPO is beproefd. Middels de LPME-metmethode is de deeltjesconcentratie gemeten.

Het gebruik van koolzaadolie laat een sterk verlaagde deeltjesconcentratie (- 47,8 %) zien t.o.v. reguliere dieselbrandstof.

De gehanteerde meetmethode is wezenlijk anders dan de geregementeerde deeltjesmeting. Hierdoor is een vergelijking met andere resultaten niet mogelijk.

Er zijn geen data van geregementeerde emissies gepubliceerd. In de conclusie staat alleen vermeld dat de NOx-emissies op PPO hoger zijn dan bij dieselbrandstof.

Deze publicatie vermeldt niet de specificaties van de gebruikte brandstoffen en de uitgevoerde testmethoden.

Gezien de summiere testgegevens is dit onderzoek in de verdere overwegingen niet meegenomen.

### 3.2.7 Resultaten literatuuronderzoek biodiesel

### 3.2.8 Euro 3 Motoronderzoek met diverse brandstoffen(1)

De universiteit van Coburg [3] heeft diverse brandstoffen in een verbrandingsmotor beproefd. Tabel 5 geeft de ESC test resultaten van een Mercedes Benz OM 906 Euro 3 dieselmotor (6,4 l en 205 kW) weer.

Emissietestresultaten van 4 verschillende biodiesels (mengsels van RME met SME of PME), een reguliere dieselbrandstof en drie moderne dieselbrandstoffen (GTL, Ultimate en V-Power) zijn vergeleken.

De kolom "Biodiesel" toont de gemiddelde waarde van emissietesten van 4 biobrandstoffen. De kolom "Moderne diesel" toont de gemiddelde waarde van emissietesten van 3 moderne dieselbrandstoffen.

Uit tabel 5 blijkt dat toepassing van biodiesel t.o.v. diesel leidt tot een afname van de CO, THC en PM10 emissies, de NOx emissies stijgen.

Tabel 5: Emissie test resultaten in een ESC test

	Diesel [g/kWh]	Biodiesel [g/kWh]	Moderne diesel [g/kWh]	Vershil Diesel-Biodiesel [%]
CO	0.43	0.27	0.52	-37
THC	0.018	0.013	0.014	-28
NOx	4.4	5.2	4.1	+18
Deeltjes	0.075	0.035	0.060	-53

### 3.2.9 Euro 3 Motoronderzoek met diverse brandstoffen(2)

De universiteit van Coburg [4] heeft in opdracht van Federal Agricultural Research Centre (FAL) diverse brandstoffen in een Mercedes Benz OM 904 LA Euro 3 verbrandingsmotor (4,25 ltr en 125 kW) beproefd.

RME is vergeleken met een reguliere dieselbrandstof, een dieselbrandstof met verhoogd aromatengehalte en een Zweedse MK1 diesel (dit is een lichte dieselbrandstof).

De eindwaarden van de ECE R49 testen zijn niet gerapporteerd, wel de resultaten van de individuele modes.

Een aantal eindconclusies is:

RME heeft t.o.v. reguliere dieselbrandstof 30 tot 50% lagere HC, CO en deeltjesemissie en een verhoogde NOx emissie.

Gebruik van RME leidt tot lagere emissies van polycyclische aromatische koolwaterstoffen t.o.v. reguliere dieselbrandstof. Ook de aldehyde-emissie is bij gebruik van RME veel lager.

### 3.2.10 *1-Cilinder Motoronderzoek met diverse brandstoffen*

De universiteit van Bochum [5] heeft op een 1-cilinder motor mutageniteitsonderzoek gedaan bij toepassing van dieselbrandstof (370 en 2 ppm zwavel) en verschillende biobrandstoffen (RME en SME). Ook is de invloed van een oxidatie katalysator op de mutageniteit van uitlaatgassen bepaald. Dit onderzoek geeft alleen een relatief oordeel over mutageniteit.

De 1-cilinder motor emitteert bij toepassing van RME en SME 3 tot 20 keer meer deeltjes dan bij gebruik van laagzwavelige dieselbrandstof. De brandstofinspuiting is in deze motor geoptimaliseerd voor dieselbrandstof,

De gemeten mutageniteit van uitlaatgas blijkt in het geval van RME en SME iets lager te zijn dan bij gebruik van zwavelarme diesel.

De zeer hoge deeltjesemissie van de 1-cilinder motor bij toepassing van RME en SME is sterk afwijkend van de overige onderzoeken waarin bij gebruik van biodiesel een deeltjesafname wordt gemeten. De configuratie van de 1-cilinder dieselmotor zal waarschijnlijk debet zijn aan de deeltjesemissie. Gezien deze sterk afwijkende inspuittechnologie is dit onderzoek in de verdere overwegingen niet meegenomen.

### 3.2.11 *Personenwagenonderzoek met diverse brandstoffen*

Neste Oil Corporation [6] heeft een tweede generatie biodiesel ontwikkeld. Dit is afkomstig uit PPO dat middels een hydrateringsproces is geconverteerd. Dit product NExBTL kan met reguliere dieselbrandstof worden gemengd (tot 40%). Dit product heeft volgens de leverancier dezelfde eigenschappen als GTL. Het bevat geen zuurstof en heeft een hoog cetaangetal. Drie personenwagens met direct ingespoten dieselmotor zijn met verschillende percentages NExBTL en reguliere brandstoffen getest. Blends met NExBTL resulteren in verlaagde CO, HC en PM emissies. Een hoger aandeel NExBTL in de brandstof leidt tot lagere CO, HC en PM emissies. De NOx emissie blijft gelijk. Het brandstofverbruik en de CO2 emissie dalen bij gebruik van NExBTL licht. Het gebruik van NExBTL brandstof leidt tot verlaagde aldehyde emissies.

### 3.2.12 Euro 2 Motoronderzoek met diverse brandstoffen

VTT Finland [7] heeft een zeer uitgebreid onderzoek verricht aan diverse biobrandstoffen en diverse motoren. Dit onderzoek is de meest gedocumenteerde bron in dit project. In een inventariserend literatuuronderzoek blijkt dat een Euro 2 HD-motor bij gebruik van biodiesel meer NO<sub>x</sub> uitstoot en de PM emissies zijn lager dan bij gebruik van reguliere dieselbrandstof.

In het experimentele deel van dit project is een Volvo DH10A-285 Euro 2 motor getest met diverse dieselbrandstoffen en biodiesels (ECE R49 test). Tabel 6 geeft de emissieverschillen van reguliere brandstof t.o.v. RME en SME

Tabel 6: Emissieverschillen Volvo Euro 2 motor in ECE R49 test diesel - RME/SME

	Verschil [%]	Verschil [%]
	RME	SME
CO	-16	-18
HC	-52	-60
NO <sub>x</sub>	+13	+13
PM10	-60	-60
Formaldehyde	0	0

De PM10 of fijnstof emissie bestaat uit drie delen. Dit zijn:

- SOF (Soluble Organic Fractions)
- Sulfaat en water (SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O)
- Black Carbon (Roetdeeltjes)

Bij het gebruik van biodiesel neemt het aandeel roetdeeltjes sterk af. Ondanks het slechts iets lagere zwavelaandeel in de biodiesel (283 ppm) t.o.v. de reguliere dieselbrandstof (403 ppm) bleek het aandeel SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O bij gebruik van biodiesel geheel verdwenen. Het aandeel SOF bleek iets toe te nemen.

Hiervoor is geen verklaring gevonden.

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) kunnen aan roetdeeltjes zijn gebonden of aan gasvormige componenten. Bij gebruik van biodiesel neemt de PAK-emissies ongeveer 60% af. Tevens daalt de PM10-emissie met 60%.

Mutageniteitsonderzoek (Ames test) laten bij gebruik van biodiesel iets lagere meetwaarden zien. In dit onderzoek is het uitlaatgas verdund en er is verdund uitlaatgas bij statisch bedrijf op de standaardtijden bemonsterd. Dit betekent dat er geen uitlaatgas is bemonsterd tijdens dynamisch motorbedrijf. Deze meetmethode wijkt af van de door Krahl en Buenger gehanteerde methode.

De deeltjesgrootteverdeling laat bij gebruik van biodiesel geen verschuiving zien. Het aantal deeltjes neemt wel sterk af.

In dit project zijn metingen met en zonder oxidatiekatalysator uitgevoerd. Een oxidatiekatalysator heeft een gunstig effect op de CO, HC en PM10 emissies. Ook de resultaten van de Ames test (mutageniteit) dalen.

### 3.2.13 *Tractorenonderzoek met diverse brandstoffen*

In opdracht van Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie [8] heeft de universiteit van Rostock (D) twee tractoren beproefd met reguliere dieselbrandstof en koolzaadolie. Eén tractor was uitgerust met TIER 1 technologie, de andere tractor was uitgerust met TIER 2 technologie. De resultaten staan gerapporteerd in driedimensionale staafgrafieken en zijn moeilijk af te lezen. Een aantal trends is wel goed af te lezen.

In vergelijking met dieselbrandstof kan worden geconcludeerd:

- De NOx emissies nemen bij gebruik van koolzaadolie voor beide tractoren licht toe
- De CO emissies nemen bij gebruik van koolzaadolie licht af.
- De HC emissies nemen bij gebruik van koolzaadolie meer dan 50% af.
- De deeltjesemissie van de TIER 1 tractor blijven bij gebruik van RME gelijk.
- De deeltjesemissie van de TIER 2 tractor halveert bij gebruik van RME.

Bij toepassing van RME blijkt de deeltjesemissie sterker te dalen bij de tractor met TIER 2 technologie t.o.v. dezelfde test uitgevoerd met reguliere dieselbrandstof. De TIER2 tractor is uitgerust met een hoogwaardig brandstofinspuitsysteem (Common Rail systeem met hogere inspuitdrukken). Hierdoor kan de visceuze biodiesel op een goede manier worden verneveld. Dit resulteert in een lagere deeltjesemissie.

### 3.3 Resultaten consultatie externe experts

#### 3.3.1 *Bezoek VITO België:*

Op 4 december 2007 is een bezoek afgelegd aan het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO). In een gesprek met mevr. Devriendt en dhr. Lenaers zijn ervaringen uitgewisseld over het gebruik van biobrandstoffen.

VITO heeft in de loop van de jaren een aantal experimenten uitgevoerd aan personenwagens en vrachtwagens/bussen waarbij biobrandstoffen zijn gebruikt. Deze metingen zijn verricht aan voertuigen op een afgesloten circuit m.b.v. een mobiel meetsysteem dat in staat is om CO, THC, NOx en PM10 emissies te bepalen. Middels een drivers-aid is men in staat om bepaalde tijd-snelheids profielen te realiseren.

VITO heeft haar mobiele meetsysteem op één bus van De Lijn gemonteerd en de emissies in diverse praktijkcycli van deze bus op een aantal brandstoffen gemeten. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in de tabellen 7 t/m 9.

Uit tabel 7 t/m 9 blijkt dat zowel voor B100 als voor PPO de CO, THC en fijnstof (PM10) emissies veel lager zijn dan voor dieselbrandstof. Ook zijn de NOx emissies iets lager bij gebruik van PPO en B100 dan bij dieselbrandstof.

Zie ook 3.2.5.

#### 3.3.2 *Telefoongesprek De Lijn België:*

Op 10 december 2007 is per telefoon gesproken met dhr. F. van Steenberghe van openbaar vervoerbedrijf De Lijn. In Vlaanderen (B) is één openbaar vervoerbedrijf actief n.l. De Lijn.

Sinds 2003 rijdt er in Hasselt (B) één Euro 3 bus op PPO voor dit openbaar vervoerbedrijf. Deze is uitgerust met een MAN D0836LUH02 6,87 liter 162 kW motor zonder nabehandelingssysteem, maar heeft wel interne EGR.

Voor gebruik van PPO is een Elsbett-ombouwset geïnstalleerd. Deze bestaat uit twee aparte brandstofsysteem (twee aparte tanks), een PPO voorverwarmingsinstallatie en een omschakel-unit. Sinds 2003 is met deze bus ongeveer 180.000 km gereden.

In deze periode heeft men periodiek oliemonsters getrokken en hieruit blijkt dat er geen sprake is van verhoogde motorslijtage. Vanwege de lagere verbrandingswaarde van PPO levert de motor iets minder vermogen, de chauffeurs melden dat er sprake is van minder trekkracht.

In de afgelopen maanden zijn nog een tiental bussen omgebouwd, deze zullen in de komende maanden ook op PPO gaan rijden.

Tabel 7: Emissieresultaten Euro 3 busmotor diesel/PPO/B100, De Lijn cyclus

	Diesel	B100	PPO	Vershil Dsl-B100	Vershil Dsl-PPO
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[%]	[%]
CO <sub>2</sub>	1128	1154	1150	+ 3	+ 2
CO	6.08	5.24	3.99	- 14	- 34
THC	0.200	0.058	0.136	- 71	- 32
NO <sub>x</sub>	17.8	17.0	16.4	- 5	- 8
PM10	0.68	0.30	0.36	- 56	- 47

Tabel 8: Emissieresultaten Euro 3 busmotor diesel/PPO/B100, DBTC cyclus

	Diesel	B100	PPO	Vershil Dsl-B100	Vershil Dsl-PPO
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[%]	[%]
CO <sub>2</sub>	1261	1269	1264	+ 1	0
CO	8.69	7.55	4.82	- 13	- 45
THC	0.186	0.082	0.103	- 56	- 45
NO <sub>x</sub>	16.2	14.6	15.9	- 10	- 2
PM10	0.98	0.41	0.44	- 58	- 55

Tabel 9: Emissieresultaten Euro 3 busmotor diesel/PPO/B100, SORT1 cyclus

	Diesel	B100	PPO	Vershil Dsl-B100	Vershil Dsl-PPO
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[%]	[%]
CO <sub>2</sub>	1321	1369	1350	+ 4	+ 2
CO	5.69	5.38	4.72	- 6	- 17
THC	0.312	0.094	0.19	- 70	- 39
NO <sub>x</sub>	23.1	20.6	22.0	- 11	- 5
PM10	0.57	0.30	0.37	- 47	- 35

### 3.3.3 *Bezoek Fachhochschule Coburg*

Op 17 december 2007 is door Gerrit Kadijk (TNO) en Miriam Gerlofs-Nijland (RIVM) een bezoek afgelegd aan de universiteit van Coburg. Prof. dr. Juergen Krahl (chemicus), Dr. Juergen Buenger (arts) hebben toelichting gegeven op hun al uitgevoerd onderzoek. Prof. Krahl is tevens verbonden aan het FAL in Braunschweig (een federale landbouwclub). Het FAL heeft twee motorproefstanden en uitgebreide faciliteiten voor het meten van gereguleerde en ongereguleerde emissies van verbrandingsmotoren die veelal gebruikt worden voor ontwikkeling van brandstoffen. Dr. Buenger houdt zich hoofdzakelijk bezig met het uitvoeren van gezondheidsonderzoek en voert in dit kader de Ames testen (mutageniteit) uit. In juni 2006 zijn beide heren in het nieuws gekomen door de toevallige ontdekking van de zeer hoge gemeten mutageniteit van uitlaatgassen bij het gebruik van PPO (pure plantaardige olie). Dit was ook de directe aanleiding voor dit bezoek. Beide heren melden dat zij geheel onafhankelijk zijn en niet gefinancierd worden door bepaalde partijen met belangen. Zij geven aan dat zij neutraal staan en willen staan tegenover het gebruik van PPO als motorbrandstof. Zij zien het als hun taak om de (toevallig) gegenereerde informatie te publiceren in peer reviewed tijdschriften.



#### Meet- en testmethode FAL:

Voor het bepalen van de mutageniteit van uitlaatgas wordt de totale onverdunde uitlaatgasstroom sterk afgekoeld en gefilterd. Door afkoeling ontstaat condensaat en alle resterende vaste deeltjes worden afgevangen in twee filters. De afgevangen deeltjes in het filter worden geëxtraheerd. Zo ontstaan twee monsters, 1 monster uit het condensaat en 1 monster uit de filters. Voor beide monsters is minimaal 2-3 mg nodig voor het uitvoeren van een Ames test met twee bacteriestammen, elk met en zonder S9-mix. Gedurende de ESC-test wordt continu bemonsterd (in totaal 24 minuten). Dit betekent dat niet alleen de stationaire gedeelten maar ook de dynamische gedeelten worden gemeten. De heren gaven aan dat juist gedurende dynamisch motorbedrijf de mutagene componenten worden geproduceerd. Ook de gedachte dat 1 molecuul carcinogeniteit of mutageniteit kan veroorzaken maakt het noodzakelijk om continu de volledige uitlaatgasstroom te bemonsteren en niet gedeelten van de ESC-test.

De mutageniteit van uitlaatgas wordt in de twee monsters gemeten. Voor oudere motoren werd 95% van de totale mutageniteit gemeten in de roetdeeltjes en 5% in de gasvormige koolwaterstoffen. Voor de huidige motoren die een wezenlijk lagere deeltjesemissie hebben is deze verhouding 67/33 %. Het mutageniteitsaandeel vanuit de deeltjes neemt dus af bij moderne motoren.

#### Meet- en testmethode BIFA:

In reactie op de gepubliceerde resultaten van Krahl en Buenger is in opdracht van Bioltec evolv-ram GmbH uit Regensburg door BIFA Umweltinstitut uit Augsburg een mutageniteitsonderzoek (ESC-test) uitgevoerd aan een Euro 5 vrachtwagen. Zie hoofdstuk 3.2.4. Dit onderzoek geeft aan dat gebruik van PPO leidt tot een verlaagde mutageniteit (t.o.v. dieselbrandstof).

BIFA meet in de geest van de Europese wetgeving. Voor de mutageniteitsmetingen wordt alleen in de laatste gedeelten van de stationaire modes van de ESC-test gemeten (dus geen transients). Tevens bemonstert BIFA verdund uitlaatgas uit een CVS. Deze meetmethode kijkt sterk dus af van de door Krahl en Buenger (FAL) gehanteerde methode.

#### Mogelijke vervolgstappen:

Voor een internationale acceptatie van mutageniteitsmetingen zou het zeer wenselijk zijn om de gehanteerde meetmethoden te valideren. Hierbij wordt gedacht aan:

1. Definitie testprotocol motor en meetprotocol Ames test
2. Het genereren van monsters met verdund en onverdund uitlaatgas. Deze monsters zouden dan in 2-3 laboratoria op mutageniteit getest kunnen worden.
3. Vergelijking en analyse meetresultaten.

Indien de mutageniteitsmetingen van PPO voldoende betrouwbaar zijn, kan deze informatie worden verwerkt in toekomstige beleidsbeslissingen.

Prof. Krahl en Dr. Buenger hebben hun medewerking toegezegd bij een dergelijk project, er dient wel financiering te worden geregeld.

### 3.4 Resultaten van het halfopen retrofit roetfilter

Toepassing van een retrofit roetfilter op vrachtwagen met een Euro 2 of 3 motor wordt op dit moment middels een subsidieregeling gestimuleerd. De minimale deeltjesreductie voor het halfopen roetfilter in een typegoedkeuringstest dient 50% te zijn. Dit is een gemiddeld rendement. Uit metingen is gebleken dat het rendement afhankelijk is van de motorbelasting en ook van de beladingsgraad van het roetfilter [11, 12, 13, 14, 15]. Bij metingen aan halfopen roetfilters voor trucks zijn filtratierendementen gemeten van gemiddeld ca 15% voor een (sterk) beladen roetfilter van een vuilniswagen tot ruim 60% voor een halfopen filter in een lijnbustoeffpassing. Onder relatief gunstige omstandigheden (goede gemiddelde uitlaatgastemperatuur) worden vaak rendementen rond de 50% gemeten. Voor stadsdistributie wordt vaak met lage snelheden gereden, hetgeen leidt tot een gemiddelde lage belasting en een lage gemiddelde uitlaatgastemperatuur. Door deze minder gunstige condities wordt een lager gemiddeld rendement verwacht.

Voor de meeste retrofit roetfilters geldt: Voor effectief gebruik van een retrofit roetfilter dient de roetfiltertemperatuur een bepaald percentage van de bedrijfstijd (30%) in een bepaalde tijdsperiode (10 uur) boven een bepaalde temperatuur (250 °C) uit te stijgen waardoor regeneratie optreedt.

Het retrofit roetfilter heeft geen effect op de NO<sub>x</sub> emissie maar zet wel een gedeelte van de NO om in NO<sub>2</sub>. In buitenlucht vindt ook NO<sub>2</sub>-productie plaats, een gedeelte van de NO wordt n.l. omgezet in NO<sub>2</sub>. Het retrofit roetfilter versnelt dus de omzetting van NO in NO<sub>2</sub>.

De HC en CO emissie zullen echter wel sterk dalen (80-90%) vanwege de in het retrofit roetfilter geïntegreerde oxidatiekatalysator.

### 3.5 Overzichtstabel resultaten

In tabel 10 zijn de emissiereducties bij gebruik van retrofit roetfilters en biobrandstof samengevat.

Tabel 10: Emissiereducties

	Retrofit roetfilter	PPO	Biodiesel
PM	-15% tot -60%	- 8% tot -71%	0% tot -60%
NO <sub>x</sub>	0%	-8% tot +30%	-11% tot +18%
HC / CO	Tot -90%	+37% tot -69%	-6% tot -71%

In tabel 11 staan de resultaten van het literatuuronderzoek. Hieruit kunnen een aantal trends worden afgeleid.

Voor zowel de HC als de PM10 emissies geldt dat de gemeten verschillen sterk variëren. De variaties in emissies treden zowel bij PPO als biodiesel op. Zowel de voertuigen met Euro 2 technologie als de voertuigen met Euro 3 technologie leveren zeer uiteenlopende resultaten.

Technologie	Referentie Hfd.	Brandstof	CO Verschil [%]	HC Verschil [%]	NO <sub>x</sub> Verschil [%]	PM10 Verschil [%]	PAK Verschil [%]	Aldehyde Verschil [%]	Mutageniteit
HD Euro 2	4.2.2	PPO	+ 37	- 19	+ 30	- 22			
HD Euro 3	4.2.1	PPO	- 43	- 66	+ 22	-71			
HD Euro 3	4.2.3	mPPO	- 19	- 69	+ 19	- 8			+++
HD Euro 3	4.4	PPO	- 17 - - 45	- 32 - - 45	- 2 - - 8	- 35 - - 55			
HD Euro 5	4.3.6	PPO							--
HD Euro 2	4.3.5	Biodiesel	- 17	- 56	+ 13	- 60	- 60	O	-
HD Euro 3	4.3.1	Biodiesel	- 37	- 28	+ 18	- 53			
HD Euro 3	4.3.2	Biodiesel	--	--	+	--	-	--	
LD Euro 3	4.3.4	Diesel + RTI	-	-	O	-			
HD Euro 3	4.4	Biodiesel	- 6 - - 14	- 56 - - 71	- 5 - - 11	- 47 - - 58			
HD TIER 1	4.3.7	Biodiesel	O/-	--	+/O	O			
HD TIER 2	4.3.7	Biodiesel	O/-	--	+/O	--			

Tabel 11 Emissieverschillen PPO/Biodiesel t.o.v. dieselbrandstof

## 4 Discussie

### 4.1 Implicaties van de resultaten voor de onderzoeksvraag

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er een grote diversiteit aan beschikbare biobrandstoffen is. Elk van deze biobrandstoffen heeft specifieke eigenschappen die invloed hebben op de emissies van verbrandingsmotoren en soms technische aanpassingen van de motor vereisen. De bronnen melden hoofdzakelijk resultaten van motoren met Euro III-technologie. Er zijn slechts enkele publicaties van Euro II motoren gevonden met metingen op biobrandstof.

De emissieresultaten laten algemene trends zien maar er is sprake van een grote spreiding. Bij toepassing van biobrandstof in een dieselmotor is in grote lijnen sprake van een emissiereductie van CO, HC en PM10, de NOx emissie neemt in bijna alle gevallen toe.

Op het gebied van mutageniteit van uitlaatgassen is weinig bekend. De op dit moment gepubliceerde resultaten laten geen consistent beeld zien. Eén onderzoek wijst op een zeer sterk verhoogde mutageniteit van uitlaatgas bij gebruik van PPO terwijl een ander onderzoek een grote daling van mutageniteit toont.

Gezien de zeer uiteenlopende resultaten van de emissiemetingen bij toepassing van PPO in de diverse projecten zijn toekomstige emissievoordelen pas gegarandeerd indien aan een aantal voorwaarden wordt voldaan. Dit zijn:

- Motor dient uitgerust te zijn met hoogwaardige inspuuttechnologie (Euro 3, 4 of 5)
- Installatie dubbel tanksysteem (PPO en diesel) met schakelsysteem en PPO-voorverwarmingsinstallatie
- Emissiewinst bepalen middels een rollenbanktest
- Bewaking brandstofkwaliteit gedurende gebruik
- Kortere olie verversingsintervallen hanteren
- Daadwerkelijk gebruik biobrandstof tijdens bedrijf

Het gebruik van vrachtwagens in milieuzones wijkt sterk af van de omstandigheden in de typegoedkeuringstest. In milieuzones zal gemiddeld met een lage motorbelasting worden gereden, de motorbelasting en de uitlaatgastemperaturen zijn laag.

Voor zowel voertuigen met retrofit roetfilter als voertuigen die rijden op biodiesel of PPO zullen in deze omstandigheden de praktijkemissies sterk af kunnen wijken van de typegoedkeuringsemisies.

### 4.2 Opmerkingen rond het gebruik van biobrandstoffen

Gezien de grote verscheidenheid aan biobrandstoffen en de verschillende eigenschappen van deze brandstoffen en de verschillende mengsels die geproduceerd worden, is het van groot belang om bij eventuele stimuleringsregelingen hier aandacht aan te besteden.

Ter illustratie: Op dit moment wordt biodiesel op de markt gebracht dat uit de volgende componenten bestaat: 60% koolzaadolie, 30% frituurvet en 10% soja-olie.

Volkswagen (FAD-conferentie 2007 in Dresden) meldt dat gebruik van biodiesel op langere termijn nogal eens problemen geeft in de motor. De verbranding van biodiesel

veroorzaakt afzettingen (deposits) op zuigers en zuigerveren. De zuigerveren blijken vast te gaan zitten en veroorzaken grote en onherstelbare slijtage aan de cilinderwanden.

Verder meldt Volkswagen dat de motorolie vaker vervast moet worden. De oorzaak is gelegen in het feit dat smeerolieverdunding door biobrandstof een blijvend karakter heeft. De biobrandstof verdampt niet of nauwelijks bij hogere olietemperaturen. Volkswagen staat achter het gebruik van biobrandstoffen en roept producenten van biobrandstoffen en smeeroliën op hun producten verder te ontwikkelen.

Gezien de zeer uiteenlopende grondstoffen voor biobrandstof zal een constante brandstofkwaliteit moeilijk te realiseren zijn. Indien een voertuig langdurig op biobrandstof rijdt en er willekeurig getankt wordt, zal de kans op interne motorvervuiling aanwezig zijn.

Het is niet ondenkbaar dat ten gevolge van interne motorvervuiling de emissies verslechteren. Het betreft hier langlopende processen (meer dan 10.000 km).

Sommige inspuitechnologieën lijken beter geschikt voor de toepassing van biobrandstoffen dan anderen. Vanwege de hogere viscositeit van biodiesel en vooral PPO zijn voldoende hoge inspuitedrukken noodzakelijk voor een goede verneveling en verbranding van biobrandstof. Een systeem met beperkte inspuitedrukken zal al snel tot onvolledige verbranding van biobrandstof en verhoogde emissies leiden. De relatief hoge viscositeit van PPO vereist technische aanpassingen van de motor. Hierbij valt te denken aan een brandstofvoorverwarmingsinstallatie en een dubbel tank systeem.

De inspuitechnologie van personenwagens met dieselmotor kan sterk verschillen t.o.v. de inspuitechnologie van HD-voertuigen. Dit betekent dat de emissies van personenwagens met dieselmotor bij gebruik van biobrandstof kunnen afwijken van wat in dit rapport is gerapporteerd.

De koudstart eigenschappen van biobrandstoffen voor dieselmotoren zijn over het algemeen slecht. Hier kan primair gedacht worden aan een verhoogde HC en PM10 emissie. Koudstartemissies worden tot op heden in HD-emissietesten niet gemeten. In geval van toepassing van PPO dient het voertuig altijd op dieselbrandstof gestart te worden, dit betekent dat voor uitschakeling van de motor van PPO op dieselbrandstof omgeschakeld zal moeten worden.

Verskillende fabrikanten van vrachtwagens beschrijven de mogelijkheid om biodiesel (EN 14214 en DIN 51606) als motorbrandstof in hun voertuigen te gebruiken. De meeste fabrikanten laten 100% biodiesel toe, sommige fabrikanten laten slechts 30% biodiesel toe en één fabrikant laat geen biodiesel toe. Er wordt door allen gewezen op de diverse (technische) consequenties en randvoorwaarden.

Zie <http://www.advancedbiofuels.co.uk>.

PPO wordt door alle fabrikanten niet geaccepteerd als motorbrandstof. Dit heeft tot gevolg dat de productgarantie vervalft.

## 5 Conclusies

Emissiegegevens zijn geanalyseerd van een vijftal motoren met PPO brandstof en een zevental motoren met biodiesel, dit zijn hoofdzakelijk Euro III motoren. Daarnaast is een vergelijking gemaakt met het halfopen retrofitfilter in combinatie met standaard dieselbrandstof.

Voor biodiesel wordt onderscheid gemaakt tussen veresterde plantenzie (FAME, RME, SME) en door waterstof behandelde plantenzie of dierenzie (NexBTL, Sundiesel). De laatste groep lijkt voor wat betreft eigenschappen veel meer op standaard dieselbrandstof. Ten aanzien van de compatibiliteit van de motortechnologie en de biobrandstoffen kan het volgende geconcludeerd worden:

- Vrijwel alle HD motorenfabrikanten laten het gebruik van biodiesel (als blend) toe. Het gebruik van PPO wordt afgewezen, de productgarantie vervalt.
- Het motoronderhoud zal frequenter uitgevoerd moeten worden bij toepassing van PPO en de veresterde plantenzie. Dit houdt vooral in het bewaken van de motoroliekwaliteit en doorgaans het verkorten van de verversingstermijn.
- Voor PPO wordt doorgaans een verwarmingssysteem voor de brandstof geïnstalleerd (tot 70°C) om de viscositeit te verlagen.

De effecten op emissies van PPO en biodiesel zijn vergelijkbaar. De spreiding tussen de motoren (en wellicht brandstoffen) is voor beiden brandstoffen groot. De toepassing van PPO of biodiesel (beiden 100%) leidt over het algemeen tot de volgende effecten:

- Deeltjesemissie daalt meestal flink
- NOx emissies stijgt vaak in substantiële mate
- HC en CO emissies dalen over het algemeen flink

Eén instituut heeft een sterk verhoogde mutageniteit gemeten bij de toepassing van PPO als motorbrandstof terwijl een ander instituut juist een verlaging van de mutageniteit heeft gemeten.

De effecten van een retrofit filter op emissies van een Euro 2/3 voertuig zijn afhankelijk van de temperatuur van het retrofitfilter en leiden over het algemeen tot de volgende effecten:

- Deeltjesemissie daalt redelijk tot goed
- NOx emissie blijft gelijk, de NO<sub>2</sub> emissie stijgt
- HC en CO emissies dalen zeer sterk

Op basis van de geanalyseerde informatie veranderen de emissies in de range zoals weergegeven in onderstaande tabel:

	Retrofit roetfilter	PPO	Biodiesel*
PM	-15% tot -60%	- 8% tot -71%	0% tot -60%
NOx	0%	-8% tot +30%	-11% tot +18%
HC / CO	tot -90%	+37% tot -69%	-6% tot -71%

\* eerste generatie biodiesel (FAME)

Geconcludeerd kan worden dat voor zowel de toepassing van biobrandstoffen als de toepassing van het halfopen retrofit roetfilter de vermindering van de deeltjesmassa in dezelfde grootteorde ligt. De spreiding in resultaat is in beide gevallen groot, afhankelijk van factoren als inzet van het voertuig en motor- of brandstoftype. Voor zowel PPO als de eerste generatie biodiesel is gemiddeld genomen een stijging van de NOx emissie te verwachten. Bij biodiesel wordt een stijging van rond de 5% verwacht, terwijl deze voor PPO een nog iets hoger zou kunnen liggen.

Bij biobrandstoffen kan overwogen worden om per motortype en brandstoftype de emissies te meten en formeel vast te leggen in bijvoorbeeld een soort typekeuring. Daarnaast is uitvoeriger onderzoek noodzakelijk op het gebied van de toxische eigenschappen van het uitlaatgas.

## 6 Aanbevelingen

Gezien de spreiding in effecten op de emissies, wordt aanbevolen om in de toekomst meer systematisch metingen te verrichten gericht op de volgende witte vlekken:

- invloed brandstofsamenstelling op emissies voor zowel PPO als biodiesel
- invloed PPO en biobrandstof op chemische en toxische eigenschappen van de uitlaatgassen
- effecten bij Euro 2, 4 en Euro 5 motoren.

Gezien de tegenstrijdige resultaten van mutageniteitsmetingen van verschillende instituten is het noodzakelijk om veel uitgebreider onderzoek te verrichten naar de toxische eigenschappen van het uitlaatgas. Aanbevolen wordt om de meetmethode en resultaten van zo'n onderzoek door een team van internationaal experts te beoordelen.

Daarnaast wordt aanbevolen om meer informatie te verzamelen over een eventueel lange termijn effect van PPO en biodiesel op motorslijtage en emissies.



## Afkortingen

BTL	Biomass To Liquid
EGR	Exhaust Gas Recirculation
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
GTL	Gas To Liquid
HD	Heavy Duty
LD	Light Duty
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
PM	Particulate Matter
Ppm	Parts per million
PPO	Puur Plantaardige Olie
RME	Rapeseed oil Methyl Ester
SME	Soybean oil Methyl Ester

## Referenties

- [1] Vermeulen, Vonk, Staats: Kwartaalreportage 2<sup>e</sup> kwartaal 2006; Steekproefcontroleprogramma Vrachtwagens 2006-2008, TNO MON-RPT-033-DTS-2007-00169, Delft 2007
- [2] Hausberger en Vuckovic: Emissions and Fuel consumption of Clean City Bus Concepts, FVT-85/06/ Haus Em 29/04-6770 from 30.01.2007, Graz
- [3] Krahl e.a.: Impact of different fossil and biogenic fuels on the exhaust gas and the health effects, University Coburg, Germany 2005
- [4] Krahl e.a.: Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines, Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig 2005
- [5] Bünger e.a.: Influence of fuel properties, nitrogen oxides, and exhaust treatment by an oxidation catalytic convertor on the mutagenicity of diesel engine emissions, Arch Toxicol 2006
- [6] Rantanen e.a.: NExBTL - Biodiesel fuel of the second generation, SAE 2005-01-3771
- [7] Päivi Aakko e.a.: IEA/AMF Annex XIII: Emission performance of selected biofuels, VTT-Helsinki ENE5/33/2000
- [8] Gruber: Kraftstoffe der Zukunft 2006, Reines Pflanzenol als Motorkraftstoff, VWP Allersberg-Goggelsbuch
- [9] Bünger Krahl e.a.: Strong mutagenic effects of diesel engine emissions using vegetable oil as fuel, Arch Toxicol 2007
- [10] Krist e.a.: Prüfung der Mutagenität von Inhaltstoffen partikulärer Abgasbestandteile im Ames-Test, Bifa project 630094
- [11] Lehtoranta e.a.: Particle oxidation catalyst in light duty and heavy duty diesel applications. SAE International 2007-24-0093
- [12] Mieghem R. van, R. Verbeek: Test results open particulates filter from refuse truck, TNO report MON-MEM-033-DTS-2007-02511, 14 September 2007.
- [13] Verbeek, R.P.: Aanbevelingen ten aanzien van een stimuleringsregeling voor het retrofitten van deeltjesfilters op vrachtwagens (Recommendations with respect to government support program for retrofit particulate filters for trucks), TNO ATE report 29 June 2006.
- [14] Vermeulen, R.J. R.P. Verbeek: The efficiency of retrofit diesel particle filters on urban delivery vans, TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-03382, December 2007.

[15] Straathof, T., van de Moolen: "Investigation of a MAN PM-KAT® Continuous Soot Filter", TNO report 06.OR.PT.057.1/TS

[16] Lenaers e.a. :Vergelijkende metingen van emissies en verbruik aan een bus van De Lijn rijdend op PPO, biodiesel en diesel, Vito contract 061708

[17] Dorn e.a.: Nanoparticle Emissions CR Diesel Engine Euro 4 Fuelled by Plant Oils, University of Applied Sciences Offenburg, undated

## Ondertekening

Delft, 21 januari 2008

TNO Industrie en Techniek

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'B. Bos', with a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. B. Bos  
Afdelingshoofd

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'G. Kadijk', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ing. G. Kadijk  
Auteur