
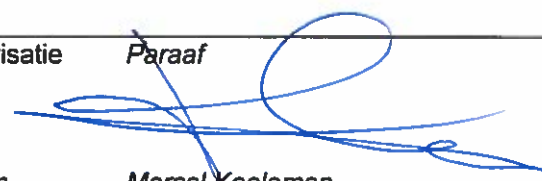


# **Onderzoek naar de Impact van Biobrandstoffen op Luchtkwaliteit en Gezond- heid**



## Onderzoek naar de Impact van Biobrandstoffen op Luchtkwaliteit en Gezond- heid

Kwaliteitstoets <i>Paraaf</i>	Autorisatie <i>Paraaf</i>
	
Naam <i>Willem Jan Okkerse</i>	Naam <i>Marcel Koeleman</i>
	Functie <i>Bureauhoofd Lucht</i>

Auteur (s) :Rinkje Molenaar, Sylke Davison  
Afdeling :Expertisecentrum  
Bureau :Lucht  
Documentnummer :21611098  
Datum november 2013

DCMR Milieudienst Rijnmond  
Parallelweg 1  
Postbus 843  
3100 AV Schiedam  
T 010 - 246 80 00  
F 010 - 246 82 83  
E [info@dcmr.nl](mailto:info@dcmr.nl)  
W [www.dcmr.nl](http://www.dcmr.nl)

# Inhoud

<b>Management Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Doel deelproject DCMR	7
1.2 Wat is een biobrandstof ?	9
1.3 Onderverdelingen binnen biobrandstoffen	9
1.4 Wetgeving	10
1.5 Biobrandstoffen in relatie tot luchtkwaliteit en gezondheid	11
<b>2 Brandstoffen</b>	<b>12</b>
2.1 Biodiesel	12
2.2 Bioalcohol	15
2.3 Biogas	17
<b>3 Uitlaatemissies</b>	<b>18</b>
3.1 Toepassing van biodiesel	18
3.2 Toepassing van bioethanol	21
3.3 Interpretatie uitlaatemissies	22
<b>4 Gezondheidseffecten</b>	<b>24</b>
4.1 Mutageniteit	24
4.2 Cytotoxiciteit	24
4.3 Invloed van nabehandeling	25
4.4 Samenvatting gezondheidseffecten	25
<b>5 Conclusies en algemene beschouwing</b>	<b>27</b>
5.1 Leidt gebruik van biobrandstoffen tot verbetering of verslechtering van de luchtkwaliteit ? Of ligt dit genuanceerder?	27
5.2 Stel dat er sprake is van een win-win situatie, welke biobrandstoffen zijn dan het beste voor de lokale luchtkwaliteit ?	27
5.3 Mag een eventuele afname van de gereguleerde componenten NO <sub>x</sub> en PM <sub>10</sub> zonder meer vertaald worden als gezondheidswinst?	28
<b>6 Aanbeveling</b>	<b>29</b>
<b>7 Literatuurlijst</b>	<b>30</b>
<b>Bijlage</b>	<b>35</b>

## Management Samenvatting

De inzet van biobrandstoffen vormt een belangrijk onderdeel van de pijler BioPort in het RCI-programma. Biobrandstoffen kunnen, als alternatief voor fossiele brandstof, een belangrijke bijdrage leveren aan de CO<sub>2</sub>-reductie.

Dit project kent drie deelprojecten. Twee daarvan worden uitgewerkt door het Copernicus Instituut in Utrecht; deze richten zich op CO<sub>2</sub>-reductie als sturingsinstrument en op het aspect impact op bestaand landgebruik (ILUC<sup>1</sup>). Het derde deelproject heeft betrekking op de mogelijke effecten van toepassing van biobrandstoffen op de luchtkwaliteit. Dit onderzoek is, in opdracht van het RCI, uitgevoerd door de DCMR Milieudienst Rijnmond en is in dit rapport vastgelegd.

Hierbij is niet alleen naar de bij wet gereguleerde componenten (NO<sub>2</sub> en fijn stof) gekeken, maar ook naar andere componenten die gezondheidsrelevant zouden kunnen zijn. Dit laatste mede omdat er binnen het luchtdossier steeds breder aandacht komt voor de gezondheidsconsequenties van luchtverontreiniging.

De studie richt zich op de emissies van het wegverkeer, omdat deze categorie (binnen de gehele transportsector) de belangrijkste bijdrage levert aan de blootstelling van burgers aan luchtverontreiniging.

Binnen het wegverkeer is een belangrijk onderscheid dat tussen dieselveertuigen (alle zwaar verkeer en een deel van het lichte verkeer) en benzinevoertuigen (altijd licht verkeer). Dieselveertuigen dragen tot op heden meer bij aan de luchtverontreiniging dan benzinevoertuigen en zijn daarmee ook meer gezondheidsrelevant. De meeste studies met biobrandstoffen hebben dan ook betrekking op de effecten van bijmenging met biodiesel bij dieselveertuigen.

De volgende vragen hebben centraal gestaan:

1. Leidt gebruik van biobrandstoffen tot verbetering of verslechtering van de luchtkwaliteit? Of ligt dit genuanceerder?
2. Stel dat er sprake is van een win-win situatie, welke biobrandstoffen zijn dan het beste voor de lokale luchtkwaliteit?
3. Mag een eventuele afname van de gereguleerde componenten NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> zonder meer vertaald worden als gezondheidswinst?

Het antwoord op **vraag 1** blijkt inderdaad genuanceerder te liggen. Veel studies waarin de effecten van bijmenging met biodiesel op de luchtkwaliteit zijn beschreven zijn uitgevoerd met relatief oude, vuile voertuigen (Euro III of eerder). Daarnaast was de referentie brandstof vaak van lagere kwaliteit dan de huidige zwavelvrije diesel. Ook blijken de operationele condities (rijgedrag, beladingsgraad, type inzet) en het al dan niet toepassen van nabehandelingstechnieken (katalysator, roetfilter e.d) van grote invloed te zijn op de uitkomsten. Dit alles bij elkaar maakt het trekken van conclusies en vertalen naar de huidige situatie moeilijk. Ditzelfde geldt ook voor studies naar bijmenging met bioethanol in benzine voor benzinevoertuigen.

Verder geldt, voor de gereguleerde componenten (NO<sub>x</sub> en PM), zowel voor diesel- als benzinevoertuigen dat, vanwege de in hoog tempo strenger wordende emissienormen voor voertuigen (Euro 6/VI), de eigenschappen van de (bio)brandstof steeds minder relevant zullen worden. In feite worden de uitlaatemissies door de wet gereguleerd en wordt in het stuk 'voertuigtechnologie' (motor in combinatie met nageschakelde technieken) van de keten ervoor gezorgd dat aan deze emissienormen wordt voldaan. Met andere woorden: indien voertuigen voldoen aan de gestelde emissienormen is het voor die componenten niet meer relevant welke biobrandstof wordt gebruikt.

Anderzijds is het wel zo dat de brandstoffen van voldoende kwaliteit dienen te zijn om de nabehandelingssystemen naar behoren te laten functioneren. Ook hier zijn richtlijnen voor (o.a. FQD, zie bijlage). Daarom is het van belang dat er niet getornd wordt aan de huidige normen waaraan brandstoffen dienen te voldoen om te voorkomen dat (opnieuw) brandstoffen met lagere kwaliteit op de markt komen.

---

<sup>1</sup> Indirect Land Use Change

Het antwoord op **vraag 2** is deels al in bovenstaande alinea gegeven. Voor de geregleerde componenten wordt de eventuele impact van de aard van de biobrandstof steeds minder belangrijk voor de uitstoot vanwege de strenger wordende emissienormen. Dit impliceert ook dat het niet zinvol is om te zoeken naar een mogelijke 'ranking' binnen de categorie biobrandstoffen op basis van effecten op de luchtkwaliteit.

Toch valt hier nog wel iets meer over te melden. Binnen de biodiesels kan onderscheid gemaakt worden tussen de zgn. FAME<sup>2</sup>-biodiesel en HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), die ook wel als 2<sup>e</sup> generatie of 'advanced' biodiesel wordt aangeduid en de nog in ontwikkeling zijnde BTL (Biomass tot Liquid). Geconstateerd is dat deze HVO van hoogwaardiger kwaliteit is dan de FAME-generatie en daarmee minder eisen stelt aan de nabehandelingssystemen. Ook worden hierover lagere emissies van zowel de geregleerde (NO<sub>2</sub> en fijn stof) als de niet geregleerde, maar wel gezondheidsrelevante componenten zoals aromaten gemeld.

Voor de benzinevoertuigen wordt bioethanol toegepast als biobrandstof. Dit kan zijn door directe bijmenging met benzine, maar ook in de vorm van bio-ETBE, een verbinding die ontstaat uit de reactie van bioethanol met (fossiele) isobutyleen. Bio-ETBE is opgenomen op de lijst van biobrandstoffen in internationale regelgeving en heeft een aantal eigenschappen die gunstiger zijn bij het bijmengen dan die van bioethanol.

In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat tot op heden benzine voertuigen schoner zijn dan dieselvoertuigen voor de geregleerde componenten NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>. Een verschuiving naar meer benzinevoertuigen, al dan niet in combinatie met biobrandstoffen, zal gunstig zijn voor de lokale luchtkwaliteit.

Op **vraag 3** of een afname van de geregleerde componenten NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> zonder meer verstaald mag worden als gezondheidswinst is het antwoord 'nee'. Het gaat bij gezondheidsaspecten niet alleen om de geregleerde componenten NO<sub>2</sub> en fijn stof (PM), er spelen ook andere componenten en parameters een rol. Voor PM is een belangrijke parameter de deeltjesgrootte (hoe kleiner het deeltje, hoe dieper het binnendringt in de luchtwegen en hoe schadelijker het is) en ook de samenstelling. Van aldehydes en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) wordt verondersteld dat deze schadelijk zijn voor de gezondheid. Over toepassing van FAME-biodiesel en directe bioethanol bijmenging zijn effecten op deze componenten gerapporteerd, die niet altijd eenduidig zijn.

De conclusie dat met de komst van EURO VI en EURO 6 de aard van de (bio)brandstof ook voor de gezondheidsaspecten geen rol meer speelt, kan dus niet zonder meer getrokken worden. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Ook speelt een rol dat recent gebleken is dat de emissies in de praktijksituatie (op de weg) minder schoon kunnen zijn dan in de testsituatie. Nu dit bekend is worden de testcycli voor de hogere EURO-normen hier wel op aangepast.

### **Aanbeveling**

Op dit moment wordt veelal nog gefocust op bijmenging (tot hogere percentages) met FAME-biodiesel. Gezien de positieve bevindingen met bijvoorbeeld HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), zowel met betrekking tot de voertuigtechnologische aspecten als de emissies van geregleerde en andere gezondheidsrelevante componenten, lijkt deze 2<sup>e</sup> generatie biodiesel een veelbelovende opvolger. Gelijktijdig kan aan een verdere ontwikkeling en toepasbaarheid van BTL worden gewerkt.

Voor benzinemotoren geldt dat het inzetten van bioethanol voor de productie van bio-ETBE, gezien de gunstige eigenschappen hiervan, de voorkeur verdient boven directe bijmenging met bioethanol in de benzine.

Aangeraden wordt nader onderzoek te verrichten naar de mogelijke gezondheidseffecten van zowel deze 2<sup>e</sup> generatie biodiesels als van bio-ETBE.

In deze aanbeveling zijn economische aspecten, competitie met de voedselketen, ILUC<sup>3</sup> e.d. niet meegewogen. Dit valt buiten de scope van deze studie.

---

<sup>2</sup> FAME staat voor: Fatty Acid Methyl Ester

<sup>3</sup> ILUC: Indirect Land Use Change

# 1 Inleiding

Het Rotterdam Climate Initiative (RCI) is een ambitieus klimaatprogramma waarin vier partijen een unieke samenwerking zijn aangegaan: de gemeente Rotterdam, Havenbedrijf Rotterdam NV, DCMR Milieudienst Rijnmond en Deltalinqs. De doelstelling van het RCI is de meest ambitieuze van Nederland: vijftig procent minder CO<sub>2</sub> in 2025 t.o.v. 1990, voorbereiding op klimaatverandering en versterking van de Rotterdamse economie.

De inzet van biobrandstoffen vormt een belangrijk onderdeel van de pijler BioPort in het RCI-programma. Biobrandstoffen kunnen bijdragen aan CO<sub>2</sub>-reductie en mogelijk aan verbetering van de luchtkwaliteit. Ze zijn een alternatief voor fossiele brandstoffen, stimuleren innovatie en versterken de economie. Het Rotterdam Climate Initiative wil daarom bevorderen dat er meer en betere biobrandstoffen worden gebruikt en is daarom het project 'Biobrandstoffen' gestart. Het project kent drie deelprojecten, waarbij de focus primair ligt op CO<sub>2</sub>-reductie als sturingsinstrument, maar waarbij de brandstoffen hoger scoren naarmate er sprake is van geringere impact op bestaand landgebruik (ILUC<sup>4</sup>) en/of bijdragen aan een verbetering van de luchtkwaliteit. De onderdelen CO<sub>2</sub>-reductie en ILUC worden uitgewerkt door het Copernicus Instituut in Utrecht. De DCMR Milieudienst Rijnmond neemt het derde deel voor zijn rekening.

## 1.1 Doel deelproject DCMR

Het doel van dit deelproject is het beschrijven van de effecten van de verschillende biobrandstoffen op de lokale luchtkwaliteit en zo mogelijk te komen tot een classificatie van de verschillende biobrandstoffen op basis van effecten op de luchtkwaliteit.

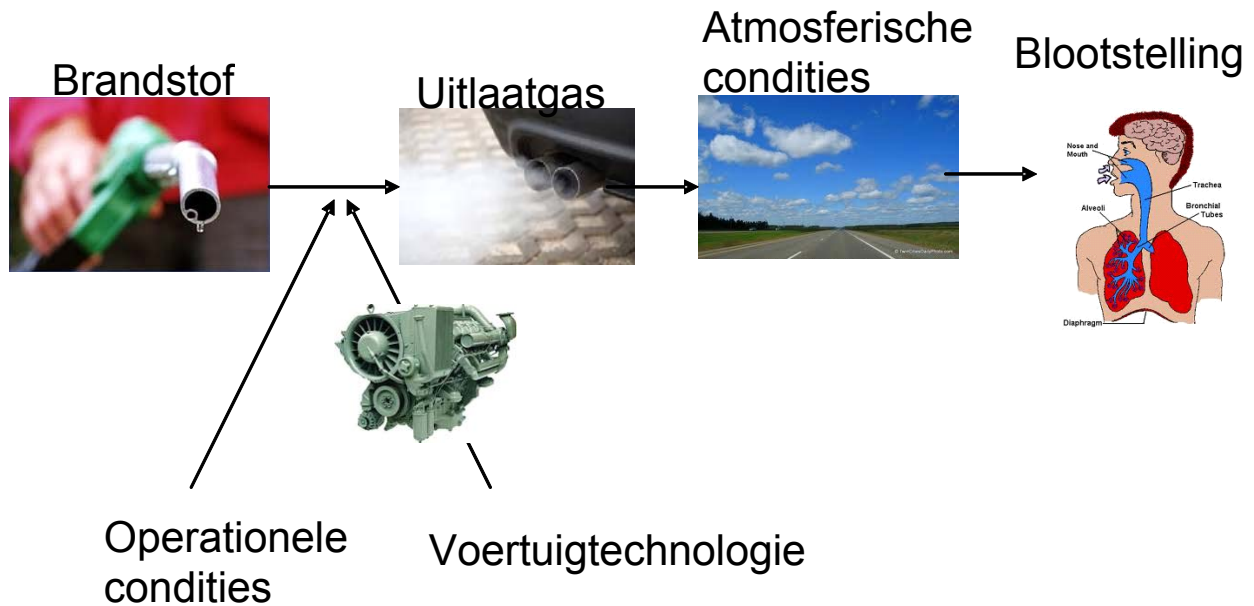
In deze context interpreteert de DCMR luchtkwaliteit in ruime zin en onderscheidt daarin de volgende twee aspecten:

1. juridische relevantie: wettelijke luchtkwaliteitseisen (grenswaarden) voor NO<sub>2</sub> en fijn stof
2. gezondheidskundige relevantie: welke componenten leiden tot gezondheidsklachten/vroegtijdige sterfte

Het is van belang niet uitsluitend te focussen op het effect op wettelijk gereguleerde emissies, maar ook de uiteindelijke blootstelling aan andere mogelijk schadelijke emissies van het individu in de weging mee te nemen. Voor Rotterdam is dit een belangrijk bestuurlijk aandachtspunt. In dit kader is het nuttig om het ketenproces van (bio)brandstof tot en met de impact op de gezondheid van de burger nader te beschouwen. Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 1.

---

<sup>4</sup> Indirect Land Use Change



*Figuur 1: Keten van tank tot aan blootstelling*

De (bio)brandstof wordt verbrand in een motor of verbrandingsinstallatie. Bij de verbranding in een motor komt naast  $\text{CO}_2$ , ook een heel spectrum aan andere verontreinigingen vrij. De bekendste zijn  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  en fijn stof, maar er komen ook sporen van andere verontreinigingen vrij zoals aldehydes, zware metalen, PAKs, roet, etc.

Een belangrijke vaststelling is dat niet alleen de (bio)brandstof bepaalt hoe groot de uitstoot van verontreiniging is, maar dat de combinatie van voertuigtechnologie en operationele condities samen sterk medebepalend zijn voor het effect. Onder voertuigtechnologie moet dan verstaan worden: het type motor (benzine of diesel), de EURO norm en het al dan niet aanwezig zijn van nageschakelde technieken zoals roetfilter en katalysator. Bij operationele condities gaat het o.a. om: rijgedrag, beladingsgraad, type inzet. Daarnaast speelt ook de leeftijd van de motor en staat van onderhoud een belangrijke rol.

Voor één en dezelfde biobrandstof kan de uitstoot dus sterk verschillen afhankelijk van bovengenoemde factoren. Hierop wordt in deze studie nader ingegaan.

Voor de uiteindelijke blootstelling van het individu spelen atmosferische processen en verspreidingscondities een belangrijke rol. Deze zullen waarschijnlijk niet onderscheidend zijn voor de verschillende brandstoffen. Hierop wordt in deze studie dan ook niet nader ingegaan.

Deze studie richt zich op de emissies van het wegverkeer, omdat deze categorie (binnen de gehele transportsector) de belangrijkste bijdrage levert aan de blootstelling van burgers aan luchtverontreiniging. Voor Rotterdam is daarbij relevant dat in de stad de grootste aantallen mensen hieraan worden blootgesteld en de bijdrage van het wegverkeer daaraan relatief hoog is.

De in dit document gepresenteerde resultaten berusten voornamelijk op literatuuronderzoek in combinatie met een door de auteurs zeer gewaardeerde bijdrage van de heer Gerrit Kadijk (Consultant biofuels & sustainable transport, TNO) met name ten aanzien van de voertuigtechnologische aspecten.



## 1.2 Wat is een biobrandstof ?

Een biobrandstof is een koolwaterstofverbinding die is gemaakt door of van een levend organisme en die gebruikt kan worden om een motor aan te drijven. Volgens deze definitie zouden ook fossiele brandstoffen hieraan voldoen.

Wat er echter in de praktijk meestal mee bedoeld wordt is een brandstof die in een beperkt tijdsbestek (dagen, weken of maanden) gemaakt wordt uit biomassa (levend of dood). Het grote verschil met fossiele brandstoffen ligt dan ook in het feit dat deze, weliswaar ook van organische oorsprong, in een proces van miljoenen jaren zijn gevormd. Fossiele brandstoffen zijn hierdoor niet 'hernieuwbaar' en biobrandstoffen wel. Het is dit belangrijke verschil waardoor momenteel de interesse voor biobrandstoffen zo groot is.

## 1.3 Onderverdelingen binnen biobrandstoffen

### 1.3.1 Biodiesel versus bioalcohol

Biobrandstoffen kunnen op verschillende manieren worden onderverdeeld. De belangrijkste is tussen biodiesel en bioalcohol. Biodiesel wordt gemaakt uit gewassen die rijk zijn aan oliën en vetten, zoals soja, koolzaad, palm of ook wel uit dierlijk vetten of frituurvet en is mengbaar met diesel. Bioalcohol wordt gemaakt uit gewassen die rijk zijn aan suikers en zetmeel (maïs, suikerriet, suikerbiet) en kan gemengd worden met benzine. Het gebruik van alcohol als brandstof is overigens niet nieuw. Henry Ford gebruikte ethanol al als brandstof aan het begin van de vorige eeuw.

In Tabel 1 zijn de belangrijkste biobrandstoffen naast de vergelijkbare fossiele brandstof weergegeven met de belangrijkste (verschillen in) eigenschappen.

Biobrandstof	Fossiele brandstof	Verschillen
Biodiesel	Diesel	Biodiesel heeft iets minder energie (9%) per volume-eenheid dan gewone diesel. De verbranding van biodiesel is schoner.
Ethanol	Benzine	Ethanol geeft slechts 60% van de energie van benzine per volume-eenheid. Ethanol verbrandt veel schoner dan benzine; er wordt minder CO geproduceerd. Echter, bij de verbranding van ethanol komt meer ozon vrij. Motoren moeten aangepast worden om op ethanol te rijden.
Methanol	Methaan	Methanol heeft maar maximaal 50% van de energie van methaan. Methanol is een vloeistof en makkelijk te transporteren, dit in tegenstelling tot methaan dat een gas is.
Biobutanol	Benzine	Biobutanol heeft maar iets minder energie dan gewone benzine (9%). De motor hoeft niet aangepast te worden.

Tabel 1: Belangrijkste biobrandstoffen en hun eigenschappen zoals beschreven op de website: <http://biofuel.org.uk/types-of-biofuel.html>

Het belangrijkste voordeel van fossiele brandstoffen is de hoge energiedichtheid. Fossiele brandstoffen hebben genoeg energie in kleine volume-eenheden om ze erg praktisch te maken voor transportdoeleinden. Met andere woorden: biobrandstoffen hebben een lagere energetische waarde dan fossiele brandstoffen, waardoor voertuigen met dezelfde hoeveelheid brandstof minder ver kunnen rijden. Zo lang het gaat om relatief lage bijmengpercentages speelt dit echter geen grote rol.

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de structuur en eigenschappen van beide typen biobrandstoffen.

### 1.3.2 Onderverdeling naar 'generatie'

Een andere onderverdeling is die naar 'generatie'. Er wordt wel gesproken van 1<sup>e</sup> generatie biobrandstof als deze geproduceerd wordt uit gewassen die normaliter als voedsel dienen. Van 2<sup>e</sup> generatie is sprake indien gebruik gemaakt wordt van niet eetbare gewassen of restanten van gewassen die reeds als voedsel hebben gediend. De term 1<sup>e</sup> of 2<sup>e</sup> generatie heeft in deze definitie dus niets te maken met de structuur van de biobrandstof die geproduceerd wordt<sup>5</sup>.

Tegenwoordig wordt ook de term 3<sup>e</sup> generatie biobrandstof gebezigd, die betrekking heeft op algen. Deze categorie kent een aantal grote voordelen.

- a. zij produceren een olie waarvan diesel gemaakt kan worden en zelfs enkele benzine-componenten.
- b. na genetische manipulatie zijn ze in staat om zowel ethanol als butanol (de meest veelbelovende alcohol) te produceren.
- c. Zij kunnen hoge opbrengsten genereren.

Er is echter een groot nadeel en dat is het feit dat algen een enorm grote hoeveelheid water en kunstmest nodig hebben om te groeien. Momenteel wordt gezocht naar een oplossing voor dit probleem om gebruik van deze bron voor biobrandstof ook commercieel te maken.

## 1.4 Wetgeving

De doelstellingen vanuit de EU en ook nationaal zijn gericht op hogere bijmengpercentages van biobrandstoffen in de fossiele brandstoffen. De effecten van bijmenging op de emissies van benzine- en dieselmotoren hangen voor een groot deel af van de emissie-eisen die in de wetgeving geïmplementeerd gaan worden.

In januari 2011 is de Nederlandse wet- en regelgeving ingegaan die de Europese richtlijnen voor hernieuwbare energie en brandstofkwaliteit implementeert (zie bijlage). Deze wetgeving, die in plaats komt van het Besluit Biobrandstoffen Wegverkeer uit 2007<sup>6</sup>, treedt in werking met terugwerkende kracht per 1 januari 2011. De uitvoering, toezicht en handhaving is ondergebracht bij de uitvoeringsorganisatie Biobrandstoffen van de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).

De implementatie van de RED en FQD in de Nederlandse wet- en regelgeving zijn gekoppeld aan de Wet milieubeheer (zie bijlage). De nadere uitwerkingen zijn vastgelegd in het Besluit en de Ministeriële regeling hernieuwbare energie vervoer (RED) en het Besluit en de Ministeriële regeling brandstoffen luchtverontreiniging (FQD). De RED verplicht lidstaten om in 2020 10% van de energie gebruikt in vervoer te laten bestaan uit hernieuwbare energie. Dit omvat niet alleen biobrandstoffen, zoals eerdere doelstellingen die voortkwamen uit de Biobrandstoffenrichtlijn uit 2003, maar ook hernieuwbare elektriciteit. De FQD schrijft voor dat vanaf 1 januari 2011 brandstofleveranciers jaarlijks moeten rapporteren over de broeikasgasintensiteit (hoeveelheid broeikasgasemissies over de gehele levenscyclus van de brandstof, per eenheid energie) van de door hen verkochte brandstoffen en energie voor vervoer. Verder moeten de EU lidstaten brandstofleveranciers verplichten om stapsgewijs de broeikasgasintensiteit van de geleverde brandstoffen te reduceren met minimaal 6% ten opzichte van 2010 voor 31 december 2020

Om de doelstellingen uit de wet- en regelgeving te halen is het belangrijk dat de verplichtingen worden nageleefd.

---

<sup>5</sup> In hoofdstuk 5 wordt nog op deze definities terugkomen en toegelicht hoe deze ook in een andere context met een andere betekenis gebruikt worden.

<sup>6</sup> (<http://www.mvo.nl/Wetenregelgeving/Biobrandstoffen>)

Biobrandstoffen worden gereguleerd vanuit zowel Europese als Nederlandse wetgeving. In de bijlage wordt hier een overzicht van gegeven.

### **1.5 Biobrandstoffen in relatie tot luchtkwaliteit en gezondheid**

Nederland heeft een dubbele uitdaging, namelijk: de CO<sub>2</sub>-emissies moeten teruggedrongen worden, maar ook de luchtkwaliteit moet verbeteren. Sommige maatregelen om CO<sub>2</sub> terug te dringen kunnen ervoor zorgen dat tegelijkertijd de luchtkwaliteit verbetert (win-win situatie), andere daarentegen leiden tot een verslechtering van de luchtkwaliteit.

De vragen die ons in het kader van deze studie interesseren zijn:

1. Leidt het gebruik van biobrandstoffen tot verbetering of verslechtering van de luchtkwaliteit? Of ligt dit wellicht veel genuanceerder en kan hier niet zonder meer een eenduidig antwoord op gegeven worden?
2. Stel dat er sprake is van een win-win situatie, welke biobrandstoffen zijn dan het beste voor de lokale luchtkwaliteit?
3. Naast het effect op de luchtkwaliteit, wat van belang is voor het halen van de grenswaarden, is het effect op de gezondheid van mensen minstens zo belangrijk. De vraag die hier speelt is of een eventuele afname van emissies van de geregleerde stoffen (NO<sub>x</sub> en PM) zonder meer vertaald mag worden naar een positief effect op de gezondheid.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de in het kader van dit project onderzochte literatuur en de belangrijkste conclusies daaruit t.a.v. de uitlaatemissies, terwijl in hoofdstuk 4 dit zelfde gedaan is m.b.t. de mogelijke gezondheidseffecten.

## 2 Brandstoffen

Zoals eerder gemeld worden biobrandstoffen vaak onderverdeeld naar de hoofdgroepen biodiesel en bioalcohol. De verschillen hiertussen worden hieronder nader toegelicht<sup>7</sup>.

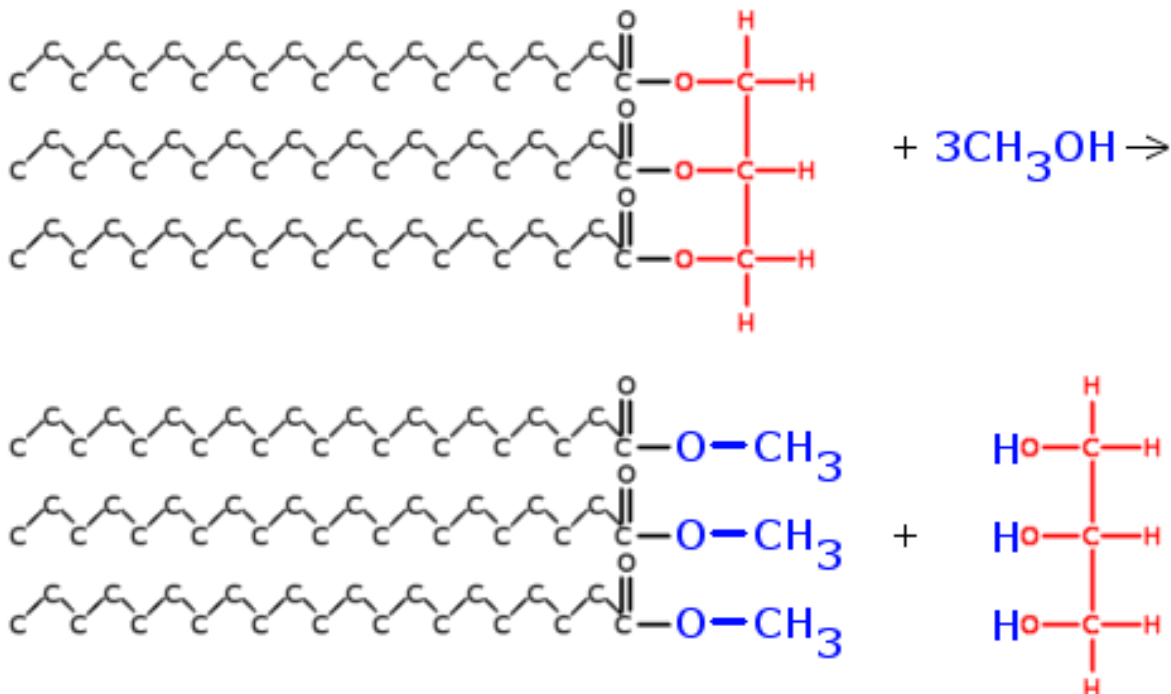
### 2.1 Biodiesel

Biodiesel wordt gemaakt uit gewassen die rijk zijn aan oliën en vetten zoals soja, koolzaad, palm of ook wel uit dierlijke vetten of frituurvet. Biodiesel is geschikt voor menging met diesel in een dieselmotor (een zuigermotor die werkt volgens het principe van zelfontbranding door compressie). Bij de dieselmotor is het zogenoemde cetaangetal een belangrijk kwaliteitskenmerk van de brandstof. Hoe hoger het cetaangetal hoe sneller de brandstof ontbrandt en des te beter is de kwaliteit van de brandstof. Voor biodiesel geldt dat de energiedichtheid lager is dan van fossiele diesel; het cetaangetal is juist hoger.

De groep biodiesel kan in drie soorten worden verdeeld, nl: de FAME<sup>8</sup>-biodiesel, de HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) en BTL (Biomass To Liquid). Deze worden hieronder besproken.

#### 2.1.1 FAME- biodiesel

D.m.v. een chemisch proces, transesterificatie genoemd, wordt de triglyceride gesplitst in een reactie met een alcohol in drie afzonderlijke vetzuuresters en een glycerol, een bijproduct dat in andere processen kan worden gebruikt (o.a. voedselbereiding). Zie ter illustratie figuur 2 hieronder.



Figuur. 2: Omzetting van triglyceride naar vetzuuresters m.b.v. methanol.

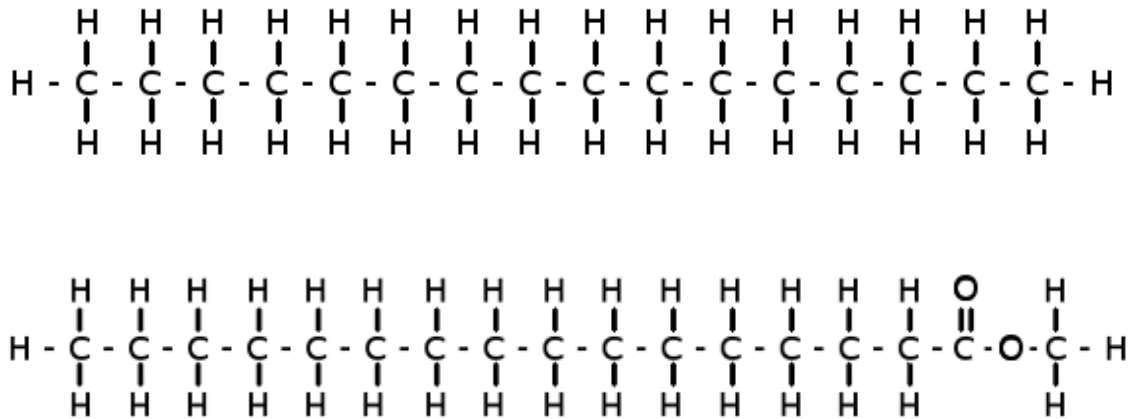
Boven: triglyceride (zwart/rood) en methanol (blauw)

Onder: drie afzonderlijke vetzuuresters (zwart/blauw) en glycerol(rood/blauw)

<sup>7</sup> Belangrijke bron: referentie 1

<sup>8</sup> FAME staat voor: Fatty Acid Methyl Ester

Een belangrijk verschil tussen fossiele diesel en biodiesel zit hem in de aanwezigheid van de twee O (zuurstof)-atomen aan het einde van de keten van biodiesel. Dit wordt geïllustreerd in figuur 3.



*Figuur 3: Boven: voorbeeld van een molecule uit fossiele diesel (16 C-atomen)<sup>9</sup>.  
Onder: voorbeeld van een molecule uit biodiesel (17 C-atomen, ook wel aangeduid als 16 C-atomen met een ester groep)*

Dit heeft een aantal gevolgen. De voordelen zijn:

- het maakt biodiesel makkelijk biologisch afbreekbaar.
- het zorgt voor een efficiëntere verbranding

De nadelen zijn:

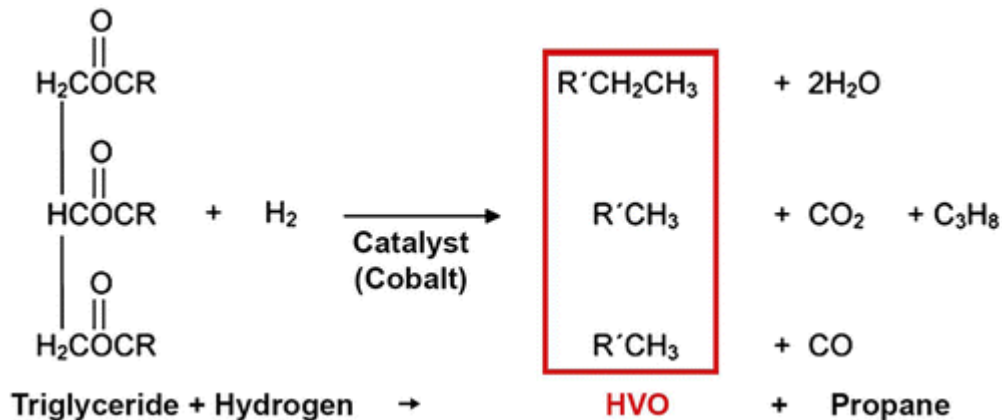
- het leidt ertoe dat biodiesel pas bij veel hogere temperatuur viskeus wordt. Afhankelijk van het gewas komt het voor dat de biodiesel pas vanaf +16 °C viskeus worden, terwijl dit bij fossiele diesel al vanaf -5 tot -15 °C plaatsvindt. In de winter is dit nadelig.
- het leidt eerder tot roesten van metalen motoronderdelen en tast rubberonderdelen aan

Niet elke FAME-biodiesel is precies hetzelfde. Afhankelijk van het gewas waaruit de biodiesel is bereid kunnen er verschillen zijn in de vetzuuresters, zoals de mate van verzadiging en de hoeveelheid aanwezige O-atomen die de eigenschappen enigszins kunnen beïnvloeden. In paragraaf 3.1.3. wordt hier kort op ingegaan.

### 2.1.2 HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)

Sinds kort wordt, ook in Nederland, een andere vorm van biodiesel geproduceerd, namelijk HVO. De grondstoffen hiervoor zijn eveneens plantaardige oliën en vetten, maar ook dierlijk vet of frituurvet kunnen worden gebruikt. De reactie is hieronder in Figuur 4 weergegeven.

<sup>9</sup> Diesel bestaat uit een mengsel van koolwaterstofketens variërend in lengte van 8 tot 21 C-atomen



Figuur 4: Omzetting van triglyceride m.b.v. waterstof naar HVO (Hydrotreated Vegetable oil)

Deze vorm van biodiesel wordt wel aangeduid als 2<sup>e</sup> generatie of 'advanced' biodiesel<sup>10</sup>. De chemische structuur van HVO lijkt zeer veel op die van fossiele dieselbrandstof (bevat geen zuurstof) en is onafhankelijk van de toegepaste grondstof.

Voordelen van HVO zijn:

- het kan tot 30% worden bijgemengd met fossiele diesel zonder de kwaliteit van de brandstof negatief te beïnvloeden.
- In vergelijking met standaard zwavelvrije diesel (EN590) heeft het een hoger cetaange-tal
- het heeft een betere 'koudestartprestatie' dan zwavelvrije diesel
- het bevat geen aromaten

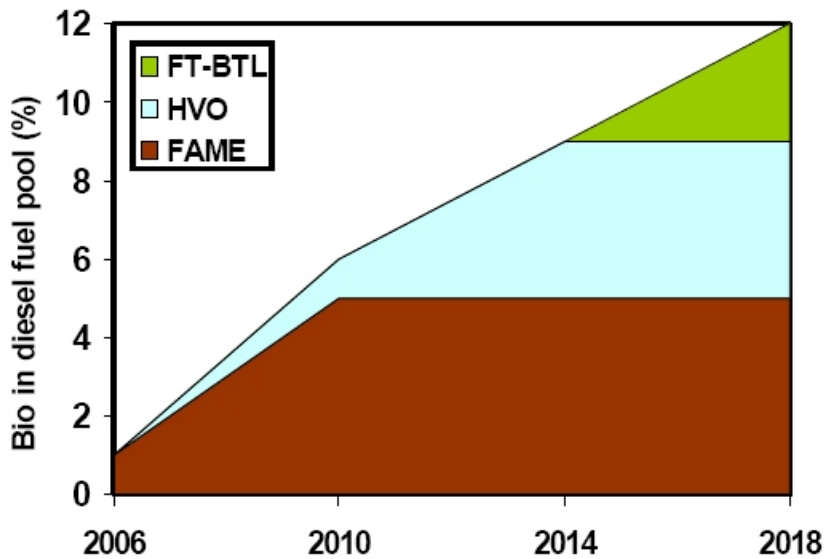
Fossiele diesel heeft het nadeel dat het zwavel (S) bevat. Er bestaat echter ook Ultra-low-sulfur diesel (ULSD), dat een significant lagere zwavel concentratie heeft. De huidige diesel bevat zelfs minder dan 10 ppm zwavel en wordt zwavelvrij genoemd. Voor EURO IV en V voertuigen is 'zwavelvrij' een vereiste in verband met de toegepaste nabehandelingstechniek.

### 2.1.3 BTL (Biomass To Liquid)

Een derde vorm is de zgn. BTL, die evenmin zuurstof bevat. Dit wordt gemaakt uit hout en houtafval door een proces dat wordt aangeduid als Fischer-Tropsch synthese. De techniek hiervoor is echter nog in ontwikkeling en het product is nog niet op de markt.

Met onderstaande Figuur 5 gaven Aatola et al. (2) in 2008 een illustratie van de verwachte marktpenetratie van bovengenoemde soorten biodiesels.

<sup>10</sup> De betekenis van het begrip '2<sup>e</sup> generatie' is hier dus een hele andere dan die in de inleiding is ge-noemd; ook deze wordt gebezigd.



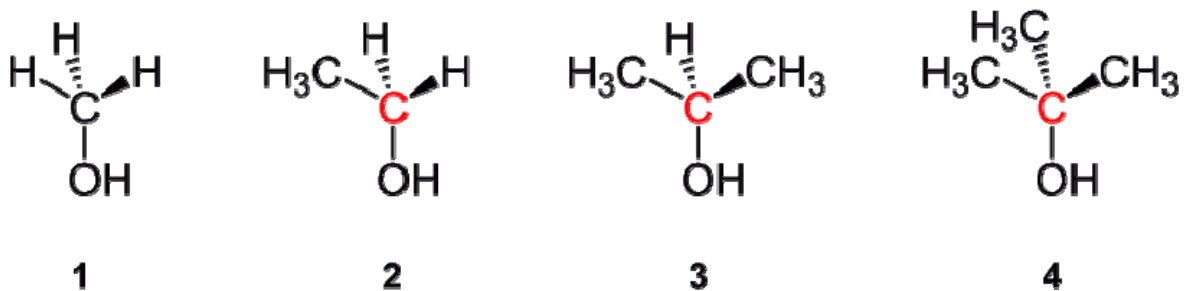
Figuur 5: Weergave van de verwachte marktpenetratie van anno 2008

## 2.2 Bioalcohol

Bioalcohol wordt gemaakt uit gewassen die rijk zijn aan suikers en zetmeel, zoals: mais, suikerriet en suikerbiet. D.m.v. een biologisch proces (fermentatie) worden deze door bacteriën omgezet in alcohol. Deze alcoholen zijn goed mengbaar met benzine en geschikt voor toepassing in benzinemotoren (Otto-proces: verbranding wordt geïnitieerd door een ontsteking of vonk van een bougie). De energetische dichtheid is echter altijd lager dan van benzine.

Een andere belangrijke eigenschap van de brandstof is het octaangetal; dit is een maat voor de klopvastheid (neiging tot zelfontbranding). Een hoger octaangetal kan leiden tot een efficiëntere verbranding. Biobrandstoffen hebben over het algemeen een hoger octaangetal dan benzine, waardoor de nadelige energiedichtheid enigszins wordt gecompenseerd door het verhoogde motorrendement.

De alcoholen die (theoretisch) kunnen worden toegepast zijn: methanol, ethanol, propanol en butanol. Zie Figuur 6.



Figuur 6: chemische structuur van 1. methanol, 2. ethanol, 3. propanol en 4. butanol

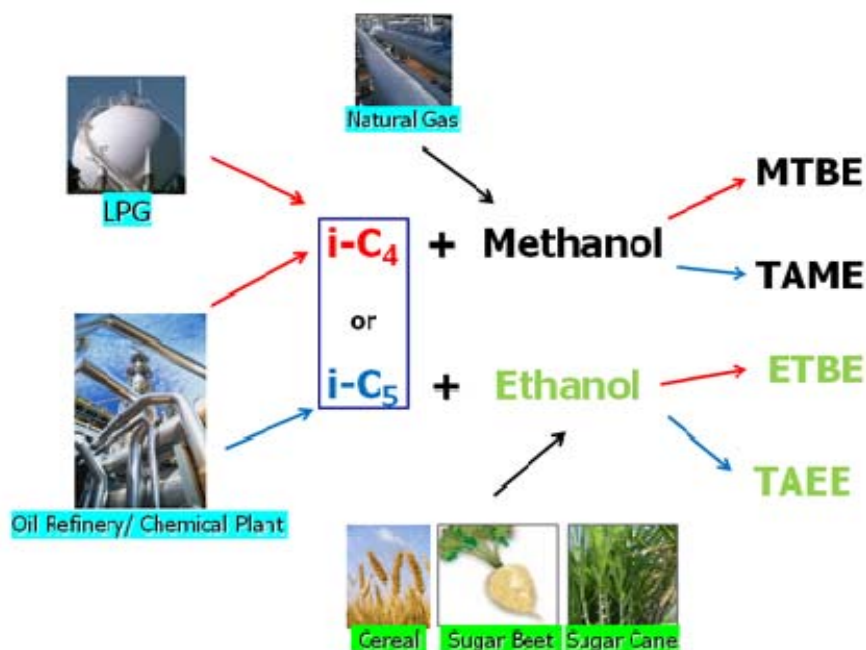
- Ethanol ( $C_2H_5OH$ ). Deze kennen wij uit de alcoholische dranken. Ethanol wordt reeds toegepast als additief in standaard benzine als 'octaanverhoger'. Ethanol is echter wel agressief en leidt bij hogere mengpercentages tot schade aan met name de rubberonderdelen. Ook trekt ethanol water aan, waardoor het niet getransporteerd kan worden in pijpleidingen.
- Methanol ( $CH_3OH$ ). Dit is de kortste keten. Deze wordt niet toegepast vanwege de toxiciteit (leidt tot blindheid)

- Propanol ( $C_3H_7OH$ ). Deze alcohol heeft slechts een iets hogere energiedichtheid dan ethanol, maar is de moeilijkste en duurste om te produceren.
- Butanol ( $C_4H_9OH$ ). Dit is de langste keten en butanol lijkt daardoor het meest op benzine<sup>11</sup>. Deze alcohol kan zonder aanpassingen in een benzinemotor worden toegepast en heeft een gunstige energiedichtheid en octaangetal. Echter, ook de productie van butanol is moeilijk en het is niet bekend of het schadelijk is voor de gezondheid.

Dit heeft ertoe geleid dat voor benzinemotoren tot op heden alleen bioethanol wordt toegepast. De structuur van deze bioethanol is onafhankelijk van het gewas dat is gebruikt om het te verkrijgen. Naast het verschil in ketenlengte is ook de aanwezigheid van een O (zuurstof)-atoom in de bioethanol een verschil met benzine dat uit ketens met uitsluitend C (koolstof) en H (waterstof) atomen bestaat. Dit maakt het molecuul makkelijk biologisch afbreekbaar.

### 2.2.1 Bio-ETBE

ETBE staat voor Ethyl Tertiair Butyl Ether en is een brandstof die gemaakt wordt door de reactie van ethanol met iso-butyleen. De oorsprong van de iso-butyleen is fossiel, maar indien gebruik gemaakt wordt van bio-ethanol spreekt men van bio-ETBE. Bio-ETBE is opgenomen in de lijst van biobrandstoffen in de RED en FQD, richtlijnen voor biobrandstoffen (zie bijlage). Figuur 7 laat het productieproces schematisch zien.



Figuur 7: Productieproces van bio-ETBE door reactie van (fossiele) isobutyleen met bioethanol

Bio-ETBE heeft een aantal eigenschappen die gunstiger zijn dan van (bio)ethanol:

- hoog octaangetal i.c.m. een lage dampspanning
- betere 'koudestartprestatie'
- tot 22% bijmenging in benzine mogelijk
- bevat minder aromaten
- heeft een hogere energiewaarde

<sup>11</sup> Benzine bestaat uit een mengsel van koolwaterstof (CH)-ketens variërend in lengte van 4 tot 12 C-atomen



### **2.3 Biogas**

Naast vloeibare biobrandstoffen wordt ook biogas geproduceerd, voornamelijk uit afvalwaterzuiveringsinstallaties en stortplaatsen. Ook kan vaste biomassa zoals houtachtige delen van gewassen en schillen van vruchten worden toegepast.

In deze studie hebben wij ons beperkt tot onderzoek naar de effecten van vloeibare biobrandstoffen.

### 3 Uitlaatemissies

In dit hoofdstuk worden de resultaten van een literatuurstudie besproken waarbij de effecten van biobrandstoffen op de uitlaatemissies zijn onderzocht. In paragraaf 3.1 betreft dit de studies met biodiesel (dieselmotor) en in 3.2 met bioethanol (benzinemotor).

De meeste studies hebben betrekking op biodiesel. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het feit dat de emissies van dieselveertuigen hoger zijn dan die van benzinevoertuigen.

#### 3.1 Toepassing van biodiesel

Omdat HVO later op de markt is gekomen dan de FAME-biodiesel heeft vrijwel alle literatuur op deze laatstgenoemde soort betrekking. Indien hieronder het woord biodiesel wordt gebruikt wordt hiermee dan ook de FAME (estervariant) biodiesel bedoeld.

De meeste dieselmotoren kunnen op hoge percentages bijmenging met biodiesel draaien. Dit kan echter wel leiden tot vervuiling van de motor en smeerolie, waardoor deze vaker ververs moet worden. De auto-industrie stelt daarom dat bijmenging tot 7% probleemloos kan.

Zoals in Figuur 1 is weergegeven en toegelicht, zit er tussen de stap 'brandstof' en de stap 'uitlaatgas' een scala aan factoren die een rol spelen bij de uiteindelijke emissies van luchtverontreinigende stoffen. Hieronder is aangegeven waarin de onderzochte studies o.a. verschillen.

- a. de herkomst van de biodiesel: soja, koolzaad, palmolie, dierlijke vetten, synthetische biodiesel. Soms is ook het effect van pure plantaardige olie meegenomen.
- b. het percentage bijmenging
- c. het type motor: verschillende Euroklassen, vrachtwagen versus personenauto, 'non-road' werktuigen. Maar ook het al dan niet aanwezig zijn van nageschakelde technieken zoals uitlaatgasrecirculatie (EGR<sup>12</sup>), selectieve katalytische reductie (SCR<sup>12</sup>) en roetfilter (DPF<sup>12</sup>).
- d. De testcyclus of operationele modus waarbij de metingen zijn verricht. O.a. de volgende omschrijvingen zijn in de literatuur gegeven:
  - NEDC: New European Driving Cycle
  - FTP: Federal Testing Procedure (California)
  - UDDS cycle: Urban Dynamometer Driving Schedule (California)
  - 40 of 50 mph cycle
  - ADC (Athens Driving Cycle)
  - Artemis Driving Cycles
  - JC08: d.w.z. stadsverkeer (9)
  - CFR, titel 40: d.w.z. zwaar verkeer op snelweg (9)
  - PEMS: Portable Emission Measurement System (een praktijksituatie) (11)
  - Stad versus snelweg
  - certificatiecyclus versus 'real world driving' cyclus (17)
- e. de kwaliteit van de diesel die als referentie is gekozen. De volgende omschrijvingen worden o.a. in de onderzochte literatuur gebruikt:
  - low carbon fuel standard (gecertificeerd cf California Air Resources Board (CARB))
  - CARB-like
  - ultra low sulfur diesel (ULSD)
  - clean (als tegenhanger van CARB-like)
  - standaard diesel

---

<sup>12</sup> De afkortingen slaan op de Engelse termen

### 3.1.1 Emissies

De componenten die zijn onderzocht zijn: NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden, nl: mengsel van NO en NO<sub>2</sub>), PM (fijn stof), KWS (koolwaterstofketens), CO (koolmonoxide) en soms ook Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en aldehydes.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2, waarbij onderscheid gemaakt is naar het type voertuig (zwaar of licht) of is aangegeven dat dit niet duidelijk uit het artikel blijkt.

Tabel 2: Het effect van FAME-biodiesel op de uitlaatemissies van luchtverontreinigende stoffen

Component	Zwaar voertuig/werktuig (nummer referentie)	Licht voertuig (nummer referentie)	Voertuigtype onbekend (nummer referentie)
NO <sub>x</sub>	↑ (3, 4, 5, 6, 7, 8) 0 (9, 10) ↑ en ↓ (11, 12)	↑ (9, 15, 25) ↓ (16) ↑ en ↓ (7)	↑ (6, 18, 19)
PM (fijn stof)	↓ (4, 5, 9, 11, 8, 13, 14, 10, 12)	↓ (9, 16, 15)	↓ (6, 20, 21, 18, 22)
KWS	↓ (5, 9, 11, 10)	↓ (9, 15)	↓ (6, 22)
CO	↓ (5, 9, 11, 10)	↓ (9, 15)	↓ (6, 22)
PAK's	↓ (14)	↓ (16)	↓ (23)
aldehydes	↓ (9)	↑ (16, 17) ↓ (9)	

↑: toename

0: geen tot verwaarloosbaar effect

↓: afname

↑ en ↓: zowel toe- als afname binnen dezelfde studie

Ondanks de grote variatie in proefopzet kan uit bovenstaande tabel een aantal overall conclusies getrokken worden, die hieronder per component zijn vermeld.

- Het merendeel van de studies meldt voor toepassing van biodiesel bij vrachtwagens en werktuigen een lichte toename van de NO<sub>x</sub> uitstoot t.o.v. de referentiediesel. Enkele studies wijzen op geen tot een zeer gering effect en op een zeer grote spreiding (van afname t/m toename, afhankelijk van motortype en testcyclus) en daarmee een gemiddeld effect dat niet significant afwijkt van de referentiebrandstof. Voor lichte voertuigen wordt zowel een toename als afname gemeld. De studies waaruit niet duidelijk het voertuigtype blijkt melden eveneens een toename.
- Voor PM wordt in alle studies een afname gemeld voor alle voertuigtypen. In sommige onderzoeken is tevens gekeken naar de aantallen deeltjes en de grootte ervan. Hierin treden verschuivingen op. Hierop wordt in paragraaf 3.1.2. nader ingegaan.
- Voor KWS en voor CO wordt in alle studies waar naar deze componenten is gekeken een afname gerapporteerd
- In drie studies is naar PAK's gekeken en bleken deze af te nemen. Deze verbindingen staan bekend als mutageen.
- Naar aldehydes is ook in drie studies gekeken. Twee melden een toename en één een afname. Deze verbindingen staan bekend als (mogelijk) toxisch.

### 3.1.2 Analyse fijnstofdeeltjes (PM)

Zoals onder 3.1.1 vermeld, constateerden alle onderzoekers dat bijmenging met biodiesel leidt tot een (aanzienlijke) afname van de PM massa. In enkele studies is verder gekeken naar de samenstelling van de fractie. Hieruit is een aantal interessante conclusies te trekken, nl.:

1. Hoewel de totale massa afneemt, neemt het aantal deeltjes toe en is er een verschuiving te zien naar kleinere (ultrafijn en nano) deeltjes. (8, 24, 14). Aangezien geldt dat hoe kleiner het deeltje is des te dieper het doordringt in het respiratoire systeem, kan dit een belangrijk gezondheidsaspect zijn.
2. Er vindt een verschuiving plaats in de verhouding EC (elementair koolstof) en OC (organisch koolstof). De EC/OC ratio gaat drastisch naar beneden (8, 24, 13). Verondersteld wordt dat de OC toename te wijten is aan de SOF (soluble organic fraction) aan het oppervlak van de deeltjes en dat dit tot negatieve gezondheidseffecten kan leiden (24, 13).
3. Eén studie (21) noemt een verschuiving in de metaalcomponenten die zich aan de deeltjes hechten. Bij biodiesel is meer Zn, Cr, Cu, Fe, Ni, Mg, Ba en K gevonden, terwijl bij ULSD (ultra laag zwavel) meer Co, Pb, Mn, Cd, Sr en As werd gevonden, met mogelijke gezondheidsconsequenties.

Op de mogelijke gezondheidseffecten van biobrandstoffen wordt in hoofdstuk 4 nader ingegaan.

### 3.1.3 Impact van herkomst/structuur van de biodiesel

Diverse studies tonen aan dat naarmate de biodiesel meer onverzadigd is (meer C-atomen met een dubbele binding<sup>13</sup>) dit tot hogere NO<sub>x</sub> uitstoot leidt (16, 15, 12, 25, 26, 7). Graboski et al. (26) geven aan dat er een hoge lineaire relatie is tussen het aantal dubbele bindingen en de NO<sub>x</sub> emissie, waarbij een gemiddelde van 1,5 band per C-atoom overeen zou komen met gecertificeerde diesel. Ook melden zij dat de ketenlengte van belang is: een kortere keten zou tot meer NO<sub>x</sub> emissies leiden.

Biodiesel van sojabonen en koolzaad is meer onverzadigd dan bv biodiesel van palmolie en dierlijke vet (3).

Er is geen directe relatie tussen de mate van verzadiging of ketenlengte en de PM<sub>10</sub>-uitstoot gevonden; wel is de PM afname afhankelijk van het zuurstofgehalte in de brandstof (26). Biodiesel bevat meer zuurstof in de keten, wat leidt tot een betere verbranding en daardoor minder roet. Daarbij speelt ook het feit dat biodiesel vrij is van zwavel en aromaten een belangrijke rol (13).

Of de biodiesel in de vorm van een ethylester of een methylester is geproduceerd maakt voor de eigenschappen niet uit, mits deze afkomstig is van dezelfde plantensoort (26)

### 3.1.4 Invloed van de operationele modus en nabehandeling

Het is algemeen bekend dat de emissiefactoren voor verkeer rijdend in de stad hoger liggen dan voor dit zelfde verkeer op de snelweg. Dit komt overeen met wat Hajbabaie et al. (3) laten zien, nl. dat de NO<sub>x</sub> uitstoot bij de UDDS cyclus (stad) veel hoger is dan bij de cyclus waar 40 of 50 mijl per uur wordt gereden. De procentuele toename als gevolg van bijmenging met biodiesel is in de laatste situatie echter hoger.

Shah et al. (27) melden dat de OC (organisch koolstof) uitstoot van vrachtwagens (rijdend op standaarddiesel) bij congestie een factor 8 hoger ligt dan op de snelweg; voor EC (elementair koolstof) is dit een factor 2. De ratio EC/OC, die relevant is voor de gezondheidseffecten is dus sterk afhankelijk van de operationele omstandigheden.

---

<sup>13</sup> Dit wordt weergegeven met het iodine getal; hoe hoger, hoe meer onverzadigd

Andere studies (17, 25) laten een toename van emissies zien als gevolg van bijmenging van biodiesel bij de *koude start*, terwijl dit tot lagere emissies leidt bij een *warme motor* en *hogere snelheid*.

Mc Cornick et al. (11) melden dat de reductie van PM, KWS en CO emissies die gevonden werd met bijmenging van 20% biodiesel geheel verdwenen was bij aanwezigheid van een roetfilter. Van belang hierbij is dat de emissies als gevolg van dit filter al zeer laag waren.

Een diesel oxydatiekatalysator voorkomt de specifieke toename van OC t.g.v. bijmenging met biodiesel, maar leidt wel tot hogere NO<sub>x</sub> emissies. (8)

Een EGR (uitlaatgasrecirculatie) (19) zou specifiek de kleinste PM deeltjes reduceren die verhoudingsgewijs toenemen door bijmenging met biodiesel en dit nadelige effect zo enigszins kunnen compenseren.

### 3.1.5 Bevindingen met HVO

Hartikka et al (28) laten in een overzichtartikel zien dat bij zwaar verkeer van Euroklasse II t/m V toepassing van HVO leidt tot reductie van de emissie van NO<sub>x</sub> (8-9%), PM (27-37%), CO (16-37%) en HC (26 – 55%) t.o.v. EN590 (zwavelvrije diesel). De absolute reducties nemen uiteraard af bij de hogere (schonere) Euroklassen. Tevens wordt vermeld dat er binnen de PM fractie geen verschuiving optreedt naar nanodeeltjes.

Onderzoek met personenauto's laat een lineair verband zien tussen de uitstoot reductie voor NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> en het bijmengpercentage met HVO.

Van de niet gereguleerde, gezondheidsrelevante componenten PAK's en aldehydes wordt respectievelijk een verlaging en geen effect tot enige reductie gemeld.

Doordat de emissies van luchtverontreinigende componenten lager zijn zijn minder complexe nabehandelingstechnieken nodig.

## 3.2 Toepassing van bioethanol

De meeste door ons onderzochte literatuur heeft betrekking op de toepassing van bioethanol door rechtstreekse bijmenging met benzine. In paragraaf 3.2.1. wordt kort op enkele ervaringen met bio-ETBE ingegaan.

In tegenstelling tot FAME-biodiesel heeft bij bioethanol de herkomst (welke plantensoort) geen invloed op de chemische samenstelling van het product: dit is ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) (22). Bio-ethanol kan worden gemengd met benzine tot hoge concentraties. De meeste benzineauto's kunnen tot 10% bijmenging zonder aanpassing probleemloos aan. Ethanol is wel agressiever dan benzine en tast metaal en rubber aan, wat tot snellere slijtage van motoronderdelen en afdichtingen zal leiden.

Voor hogere mengpercentages (tot 85% toe) zijn speciale 'flexible fuel voertuigen' (FFV) ontwikkeld met een aangepast brandstofinjectiesysteem en vervaardigd van materialen die beter bestandig zijn tegen ethanol.

De componenten die voor het effect van bijmenging met bioethanol zijn onderzocht zijn: NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden, nl: mengsel van NO en NO<sub>2</sub>), PM (fijn stof), KWS (koolwaterstofketens), CO (koolmonoxide), ozon en aldehydes.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3; in het geval van bioethanol (benzinemotor) hebben deze altijd betrekking op lichte voertuigen.

Tabel 3 : Het effect van bioethanol op de uitlaatemissies van luchtverontreinigende stoffen

Component	Effect (nummer referentie)
NO <sub>x</sub>	↑ (29) 0 (30, 31, 32, 33)
PM (fijn stof)	↑ ((4) 0 (32) ↓ (31, 33)
KWS	0 (30, 32) ↓ (31, 33)
CO	0 (30) ↓ (29, 32, 33, 22)
ozon	↑ (29, 33)
aldehydes	↑ (33,22)

↑: toename

0 : geen tot verwaarloosbaar effect

↓: afname

Ondanks dat ook hier sprake is van verscheidenheid in proefopzet en/of operationele omstandigheden kan uit bovenstaande tabel een aantal overall conclusies getrokken worden, die hieronder per component zijn vermeld.

De volgende resultaten zijn hiervoor gevonden:

- a. De meeste studies melden voor NO<sub>x</sub> geen tot een verwaarloosbaar effect is. De studie die een toename meldt vermeldt hierbij dat het hier gaat om oudere voertuigen (van voor 1995).
- b. Voor PM wordt verschillend gerapporteerd. Zowel een verlaging van de emissies als een onduidelijk effect als een toename wordt gemeld. Eén studie (31) meldt dat de gesignaleerde afname toeneemt van E5 naar E10 en verder naar E15, maar dat de emissie van E85 weer op het niveau ligt van E5.
- c. Voor zowel KWS als CO wordt geen effect of een verlaging gemeld.
- d. Voor zowel ozon als acetaldehyde wordt in twee studies een toename gemeld. Van beide componenten wordt verondersteld dat deze een nadelig effect op de gezondheid kunnen hebben.

### 3.2.1 Bevindingen met bio-ETBE

Voor bio-ETBE worden door Bennett in 2013 in vergelijking met ethanol lagere emissies vermeld voor KWS, NO<sub>x</sub> en CO en toxische koolwaterstoffen indien gemengd met benzine (34). Hirose et al (35) lieten in 2007 een goede relatie zien tussen de hoeveelheid aromaten in de brandstof en het aantal geëmitteerde PM-deeltjes. Bijmenging met bio-ETBE resulteert in minder aromaten dan bijmenging met (bio)ethanol en daarom naar verwachting ook tot een geringere uitstoot van PM-deeltjes.

## 3.3 Interpretatie uitlaatemissies

Bij de interpretatie van de hierboven gepresenteerde resultaten en conclusies is het van belang het volgende in het oog te houden.

In het algemeen wordt gewerkt met emissiefactoren (uitstoot in g/km) als maat voor de bijdrage aan de luchtvervuiling van een voertuig. Voor fossiele brandstoffen is dat al lastig vanwege de grote diversiteit binnen een wagenpark qua motortype, modellen, bouwjaar, rijgedrag enz. en de vereiste hoeveelheid metingen om tot een statistisch verantwoorde uitspraak te komen. Voor biobrandstoffen is dit nog veel complexer, omdat we hier ook nog te maken hebben met verschillende bijmengpercentages en geringere aantallen.

In de studies met FAME-biodiesel is het effect altijd vergeleken met een 'referentiediesel' (veelal zwavelhoudend) (zie paragraaf 3.1). De huidige diesel is zwavelvrij en daardoor zullen de gunstige verschillen die in deze studies worden toegeschreven aan biodiesel als het om PM gaat voor de huidige situatie veelal overschat zijn.

De meeste studies uit dit onderzoek zijn ook al enige jaren oud en uitgevoerd met voertuigen met een lage Euronorm ( $\leq$  EURO III/3) of zelfs van voor de euronormering. Door de euronormering worden voertuigen snel schoner. Zware EURO VI voertuigen zijn vanaf 2013 op de markt en zijn zeer schoon (al dan niet gerealiseerd met nageschakelde technieken). Ook wordt gewerkt aan testcycli die zo goed mogelijk de praktijksituatie op de weg representeren. In dat licht moeten ook de resultaten zoals beschreven in paragraaf 3.1.4. worden gezien. Ook voor lichte voertuigen, zowel diesel als benzine, geldt dat de Euro 6 (die in 2014 op de markt komt) uiterst schoon is.

Wanneer we kijken naar de invloed van de herkomst en structuur van de biodiesel (paragraaf 3.1.3) geldt feitelijk hetzelfde. Het is de EURO-norm (wetgeving) die de maximale concentratiebijdrage van verontreinigende componenten van een bepaald type voertuig afdwingt. Dit geldt uiteraard alleen voor de gereguleerde stoffen zoals  $\text{NO}_x$  en  $\text{PM}_{10}$ . Dit hoeft niet persé parallel te gaan met gezondheidsrelevante componenten en parameters. Hierop wordt in Hoofdstuk 4 ingegaan.

De meest recente informatie wijst in de richting dat voor dieselmotoren HVO een kwalitatief hoogwaardiger alternatief is dan de FAME-biodiesel. Ditzelfde geldt voor benzinemotoren voor bio-ETBE ten opzichte van bioethanol.

## 4 Gezondheidseffecten

Het tweede deel van de vraagstelling betreft het mogelijke effect van toepassing van biobrandstoffen op de gezondheid. De huidige ontwikkeling in het luchtdossier is dat het gezondheidsaspect steeds meer de aandacht krijgt. Hierbij spelen meer componenten dan de wettelijk gereguleerde NO<sub>2</sub> en PM een rol. Daarom is ook hiernaar literatuuronderzoek verricht.

Dat het inademen van dieseluitlaatgassen schadelijk is voor de gezondheid wordt algemeen aangenomen. In het kader van deze studie is het van belang om te weten of (bijmenging met) biodiesel tot meer of minder gezondheidsschade zal (kunnen) leiden, of dat dit niet uitmaakt. Deze vraag is niet zonder meer te beantwoorden, mede omdat er nog weinig *in vivo* studies over dit onderwerp zijn. De studies die er zijn, zijn over het algemeen uitgevoerd met diermodellen en de resultaten leidden niet tot eenduidige conclusies.

Er zijn wel diverse *in vitro* (celkweek) studies die interessante informatie bieden. Een goed overzicht geeft het Review van Bünger et al. (2012): '*Potential hazards associated with combustion of bio-derived versus petroleum-derived diesel fuel*' (36). Hieronder volgt een toelichting met een korte weergave van de belangrijkste bevindingen.

Dieseluitlaatgassen zijn een complex mengsel bestaande uit een grote variatie aan organische en anorganische verbindingen, verdeeld over de gasfase en de 'deeltjes'fase. Aan het oppervlak van deze deeltjes zijn diverse chemische componenten gebonden waaronder polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), die bekend staan als mutageen (carcinogeen). Daarbinnen zijn de zgn. n(itraat)-PAK's extreem carcinogeen. In de gasfase bevinden zich o.a. aldehydes die als toxisch bekend staan en ook NO<sub>x</sub>, dat irriterend is voor de slijmvliezen en een precursor is voor ozon.

De hier onder vermelde *in vitro* studies richtten zich op het mutagene en/of het toxische effect van diesel, biodiesel of mengsels hiervan. De resultaten worden hieronder besproken.

### 4.1 Mutageniteit

Voor onderzoek naar mutagene effecten is in het algemeen gebruikt gemaakt van bacteriën. Dit is een wereldwijd geaccepteerde methode (OECD Richtlijn 471), omdat zoogdier cellijnen niet bestand zijn tegen het oplosmiddel dat gebruikt wordt om de niet in water oplosbare componenten (waaronder PAK's) te isoleren.

Diverse onderzoekers (37, 38, 39, 40, 41, 42) constateerden dat bijmenging met biodiesel uit koolzaad kan leiden tot sterke afname (tot maximaal factor 6) van de mutageniteit t.o.v. standaarddiesel. Een aantal keren wordt geconstateerd dat het mutagene effect van het betreffende mengsel hoger is dan op grond van het bijmengpercentage werd verwacht en ook dat dit niet lineair is. Eén studie (43) toonde zelfs een negatief effect aan als gevolg van bijmenging. Er wordt verondersteld dat dit mogelijk te maken heeft met de bewaartijd van de biodiesel. Met name B20 (20% bijmenging) lijkt hier gevoelig voor te zijn en deze scoort regelmatig slechter dan de lagere bijmengpercentages.

Voor biodiesel afkomstig van sojabonen (44, 40) werd een vergelijkbare afname van de mutageniteit gevonden als voor koolzaad-biodiesel.

### 4.2 Cytotoxiciteit

In tegenstelling tot het gunstige effect van biodiesel op mutageniteit is in diverse studies een hogere toxiciteit van biodiesel aangetoond (39, 41, 45, 46). Als oorzaak hiervan worden aldehydes genoemd. De eerste twee genoemde studies zijn uitgevoerd met bacteriën. De laatste twee met humane cellijnen afkomstig uit de luchtwegen. Opvallend is dat melding wordt gemaakt dat het effect slechts beperkt lineair is met het bijmengpercentage (maximale effect bij



50% (46) en bij 20% (45). Een zeer recente studie van Gerlofs-Nijland et al. (47) laat eveneens een cytotoxisch effect van B50 (50% bijmenging met biodiesel) zien op deze humane cellijn.

### 4.3 Invloed van nabehandeling

In een aantal studies is het effect van nabehandeling van de uitlaatgassen m.b.v. een roetfilter, DOC (diesel oxydatie katalysator) of een SCR (selectieve katalytische reductie) onderzocht. In één studie (44) werd een duidelijk afname van de mutageniteit gevonden a.g.v. DOC tot een vergelijkbaar niveau voor zowel de standaarddiesel als de koolzaad-biodiesel. Een andere studie (42) laat echter een sterke toename in mutageniteit zien bij toepassing van een DOC. Ook Bünger et al. (48) vonden een toename bij zware belasting van de motor, terwijl dit niet het geval was bij lichte belasting. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat onder bepaalde omstandigheden o.i.v. NO<sub>x</sub> het extreem carcinogene n-PAK wordt gevormd, terwijl mogelijk de totale PAK's afnemen. Deze veronderstelling wordt ondersteund door de observatie van Krahl et al. (49) dat toepassing van een SCR (50% NO<sub>x</sub>-reductie) leidde tot een verwaarloosbare mutageniteit.

Bünger et al. (50) toonden aan dat toepassing van een roetfilter leidde tot een sterke fijn stof reductie en daarmee tevens tot een afname van de mutageniteit van de uitlaatgassen. Echter, tijdens de regeneratie van het filter werd een enorme toename van het aantal deeltjes waargenomen en ook van de mutageniteit.

Tot slot zijn de volgende zaken nog vermeldenswaard:

1. in een studie van Bünger et al. (40) is ook het effect van laagzwavelige diesel (2 ppm) meegenomen en de mutageniteit hiervan bleek vergelijkbaar met die van biodiesel.
2. bij een koude start is door Kado et al. (51) een hogere mutageniteit gevonden
3. Bünger maakt melding van het feit dat pure koolzaadolie in een landbouwtractor leidde tot extreem hoge mutageniteit, terwijl de gereguleerde emissies niet hoger waren.

Eveneens belangrijk is de constatering van Westphal et al. (52) die een zeer lage mutageniteit van HVO (op bacteriën) rapporteren en de minst toxische effecten hiervan in een vergelijking met fossiele diesel, koolzaad- en jatropha biodiesel.

Studies waarin naar de mogelijke gezondheidseffecten van bijmenging van benzine met bio-ethanol of bio-ETBE is gekeken zijn ons niet bekend.

### 4.4 Samenvatting gezondheidseffecten

Allereerst kan vermeld worden dat ook hier, net als bij de interpretatie van de studies met effecten op de uitlaatemissies (paragraaf 3.3), het van groot belang is in welke keten van 'voertuig-technologie en operationele omstandigheden' de geteste uitlaatgassen zijn opgewekt en met welke referentie brandstof deze zijn vergeleken.

Bovendien betreft het hier *in vitro* studies en mag niet zonder meer de vertaalslag naar *in vivo* en 'bij de mens' gemaakt worden.

Toch kunnen bovenstaande resultaten als volgt worden samengevat.

1. De studies doen vermoeden dat er tot bijmenging van 5% biodiesel geen gezondheidsrelevante effecten zullen optreden.
2. Diverse studies tonen aan dat door bijmenging met biodiesel de mutageniteit van de uitlaatgassen naar beneden gaat. Relatie met een afname van de PAK's wordt verondersteld.
3. Een aantal studies laat een toename van de cytotoxiciteit zien, hetgeen veroorzaakt kan zijn door een toename aan aldehydes in de uitlaatgassen
4. De mutagene en cytotoxische effecten zijn niet (altijd) lineair met het percentage bijmenging van biodiesel. Dit kan mogelijk te maken hebben met de beperkte houdbaarheid van biodiesel.

5. Bij gebruik van ultralaagzwavelige diesel zijn de verschillen met biodiesel mogelijk verdwenen/verwaarloosbaar
6. Het effect van nabehandeling is niet eenduidig en is sterk afhankelijk van de operationele omstandigheden, maar verdient zeker de aandacht. Dit geldt bv. ook voor additieven om het cetaannummer te verhogen.
7. Pure plantaardige olie is mogelijk zeer schadelijk (mutageen).
8. HVO is wellicht ook vanuit gezondheidsoogpunt een beter alternatief dan FAME-biodiesel.

## 5 Conclusies en algemene beschouwing

In deze studie is de keuze gemaakt om te focussen op het *wegverkeer* om de impact van het bijmengen van biobrandstoffen op de luchtkwaliteit en gezondheid te onderzoeken, omdat deze categorie (binnen de transportsector) de belangrijkste bijdrage levert aan de blootstelling van burgers aan luchtverontreiniging.

We hebben ons daarbij drie vragen gesteld (zie paragraaf 1.5) die hieronder afzonderlijk besproken worden.

### 5.1 Leidt gebruik van biobrandstoffen tot verbetering of verslechtering van de luchtkwaliteit ? Of ligt dit genuanceerder?

Dit ligt inderdaad genuanceerder. Zoals in paragraaf 3.3 al is aangestipt is de conclusie uit dit onderzoek dat vanwege de in hoog tempo strenger wordende emissienormen voor voertuigen de eigenschappen van de brandstof (en dus ook de aard van de biobrandstof) steeds minder relevant worden. Althans, waar het de emissies van de door de wet gereguleerde componenten betreft (NO<sub>x</sub> en PM); in het stuk 'voertuigtechnologie' (motor in combinatie met nageschakelde technieken) van de keten wordt ervoor gezorgd dat hieraan wordt voldaan.

Met andere woorden: indien voertuigen voldoen aan de gestelde emissienormen is het niet meer relevant welke biobrandstof wordt gebruikt. Recentelijk is gebleken dat de emissies in de praktijk situatie (op de weg) minder schoon kunnen zijn dan in de testsituatie. Nu dit bekend is worden de testcycli voor de hogere EURO-normen hier wel op aangepast. De EURO VI (zwaar verkeer) en EURO 6 (licht verkeer) voertuigen die in 2013/2014 op de markt komen zijn uiterst schoon en zullen naar verwachting geen belemmering vormen voor het halen van de grenswaarden voor NO<sub>2</sub> en fijn stof (PM).

Anderzijds is het wel zo dat de brandstoffen van voldoende kwaliteit dienen te zijn om de nabehandelingssystemen naar behoren te laten functioneren. Ook hier zijn richtlijnen voor (o.a. FQD, zie bijlage). Daarom is het van belang dat er niet getornd wordt aan de huidige eisen waaraan (bio)brandstoffen dienen te voldoen om te voorkomen dat (opnieuw) brandstoffen met lagere kwaliteit op de markt komen.

### 5.2 Stel dat er sprake is van een win-win situatie, welke biobrandstoffen zijn dan het beste voor de lokale luchtkwaliteit ?

Zoals in 5.1. is toegelicht is, voor de gereguleerde componenten, de aard van de biobrandstof niet (meer) echt bepalend voor de uitstoot vanwege de strenge emissienormen. Geconstateerd is wel dat de nieuwere biobrandstoffen, HVO (voor diesel) en bio-ETBE (voor benzine) van hoogwaardiger kwaliteit zijn dan respectievelijk de FAME-biodiesel en bioethanol. Enerzijds doordat zij minder eisen stellen aan de nabehandelingssystemen en anderzijds omdat hierover lagere emissies, ook van de niet gereguleerde, maar wel relevante componenten zoals aromaten, worden gemeld.

Tevens kan gesteld worden dat benzine voertuigen in het algemeen schoner zijn dan dieselvoertuigen voor de gereguleerde componenten NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>. Als we kijken naar de Euronorm voor Euro 6 lichte voertuigen (personen- en bestelauto's) is de norm voor PM<sub>10</sub> overigens inmiddels gelijk getrokken. Voor NO<sub>x</sub> ligt de norm voor benzinevoertuigen wel aanzienlijk lager dan voor dieselvoertuigen. Een verschuiving naar meer benzinevoertuigen, al dan niet in combinatie met biobrandstoffen, zal gunstig zijn voor de lokale NO<sub>2</sub>-concentraties.

### **5.3 Mag een eventuele afname van de gereguleerde componenten NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> zonder meer vertaald worden als gezondheidswinst?**

Nee. Als het gaat om gezondheidsaspecten van biobrandstoffen gaat het niet alleen om de gereguleerde componenten NO<sub>2</sub> en fijn stof (PM), maar spelen ook andere componenten en parameters een rol. Voor PM is een belangrijke parameter de deeltjesgrootte (hoe kleiner het deeltje, hoe dieper het binnendringt in de luchtwegen en hoe schadelijker het is) en ook de samenstelling. Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven, wordt van aldehydes en PAK's (polycyclische koolwaterstoffen) verondersteld dat deze schadelijk zijn voor de gezondheid. De conclusie dat met de komst van EURO VI en EURO 6 de aard van de (bio)brandstof ook voor de gezondheidsaspecten geen rol meer speelt, kan dus niet zonder meer getrokken worden. Meer onderzoek en onder gestandaardiseerde omstandigheden, met name naar de veelbelovende HVO en bio-ETBE, is nodig om echt conclusies te kunnen trekken over de effecten van (bijmenging met) biobrandstoffen op de gezondheid voor de mens.

## 6 Aanbeveling

### *Biodiesel*

Zoeken naar een ranking binnen de FAME-biodiesels (de estervorm: 1<sup>e</sup> generatie) voor de parameter 'effect op de luchtkwaliteit' is op basis van de onderzochte literatuur, vanwege de grote diversiteit in de onderzoeksomstandigheden en de doorgaans oude voertuigen, niet mogelijk. Het lijkt ook weinig zinvol vanwege de steeds strenger wordende emissienormen voor NO<sub>x</sub> en PM, zoals hiervoor is toegelicht. Dat deze strenge normen voor NO<sub>x</sub> en PM gehaald kunnen worden is veelal dankzij nabehandelingssystemen. Om deze in goede staat te houden en technisch niet ingewikkelder dan noodzakelijk is het van belang dat er niet aan de kwaliteitseisen (o.a. vastgelegd in de FQD, zie bijlage) voor biobrandstof wordt getornd.

Dat ook andere geëmitteerde componenten gezondheidsrelevant kunnen zijn is onderkend. Gezien de positieve bevindingen met HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), zowel met betrekking tot de voertuigtechnologische aspecten als de lagere emissies van gereguleerde en andere gezondheidsrelevante componenten, lijkt deze 2<sup>e</sup> generatie biodiesel een veelbelovende opvolger. Het verdient aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de gezondheidseffecten van HVO en indien de eerste positieve resultaten bevestigd worden in te zetten op een snelle vervanging van de biodiesels in estervorm in plaats van te focussen op een hoger bijmengpercentage van de FAME-generatie. Gelijkzeitig kan aan een verdere ontwikkeling en toepasbaarheid van BTL worden gewerkt.

### *Bioethanol*

Voor benzinemotoren geldt dat het inzetten van bioethanol voor de productie van bio-ETBE, gezien de gunstige eigenschappen hiervan, de voorkeur verdient boven directe bijmenging met bio-ethanol in de benzine, mits dit niet tot nadelige gezondheidseffecten leidt. Naar dit laatste zal nader onderzoek moeten worden gedaan.

### *Mogelijk vervolgonderzoek*

Aanbevolen wordt om in een vervolgstudie met modernere dieselmotoren (EURO V/VI) onder geconditioneerde proefomstandigheden naast NO<sub>x</sub> en PM (zowel massa als deeltjesgrootte en -aantallen) ook de emissies van bekende gezondheidsrelevante componenten te meten, waarbij de brandstof wordt gevarieerd (FAME biodiesel versus HVO versus fossiele zwavelvrije diesel) in testcycli die zo goed mogelijk de praktijksituaties nabootsen. Om een indicatie over het gezondheidseffect te krijgen zouden blootstellingsexperimenten met complete mengsels van uitlaatgassen moeten worden uitgevoerd.

In deze aanbeveling zijn economische aspecten, competitie met de voedselketen, ILUC<sup>14</sup> e.d. niet meegewogen. Dit valt buiten de scope van deze studie.

---

<sup>14</sup> ILUC: Indirect Land Use Change

## 7 Literatuurlijst

1. [http: biofuel.org.uk/types-of-biofuel.html](http://biofuel.org.uk/types-of-biofuel.html)
2. Hannu Aatola, Martti Larmi, Teemu Sarjovaara, Seppo Mikkonen, *SAE-study: Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel; Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine*, 2008-01-2500
3. Maryam Hajbabaie, Kent C. Johnson, Robert A. Okamoto, Alexander Mitchell, Marcie Pullman and Thomas D. Durbin (2012), *Evaluation of the Impacts of Biodiesel and Second Generation Biofuels on NOx Emissions for CARB Diesel Fuels*, American Chemical Society
4. Ruud Verbeek (TNO), Bettina Kampman (CE Delft) 2012, *Brandstoffen voor het wegverkeer: kenmerk en perspectief*, TNO en CE Delft
5. U.S. Environmental Protection Agency, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions* (October 2002)
6. Jinlin Xue, Tony E. Grift, Alan C. Handen (November 2010), *Effect of biodiesel on Engine performances and emissions*, College of Engineering, Nanjing 210031, China
7. R. Verbeek, R.T.M. Smokers (CE), G. Kadijk, A. Hensema, G.L.M. Passier, E.L.M. Rabé, B. Kampman (CE), I.J. Riemersma (Sidekick Projects), 2008, *Impact of biofuels on air pollution emissions from road vehicles*, TNO
8. Aleksandar D. Bugarski, Emanuele G. Cauda, Samuel J. Janisko, Jon A. Hummer and Larry D. Patts (2010), *Aerosols Emitted in Underground Mine Air by Diesel Engine Fueled with Biodiesel*. Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh, PA
9. Curt Robbins, S. Kent Hoekman, Alan Gertler, and Amber Broch (2009 SAE International, Division of Atmospheric Sciences, Desert Research Institute, Mani Natarajan, Marathon Petroleum Compagny), *Biodistillate Transportation Fuels 2. Emissions Impacts*
10. Janet Yanowitz, Robert L. McCormick (July 2009), *Effect of biodiesel blends on North American heavy-duty diesel engine emissions*, European Journal of Lipid Science and Technology
11. R.L. McCormick, A. Williams, J. Ireland, M. Brimhall, and R.R. Hayes (October 2006), *Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions*, Milestone Report NREL/MP-540-40554, National Renewable Energy Laboratory
12. Gerhard Knothe , Christopher A. Sharp , and Thomas W. Ryan, *Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters, and Alkanes in a New Technology Engine*, Copyright © 2006 American Chemical Society
13. Nora Traviss, Brett Amy Thelen, Jaime Kathryn Ingalls, Melinda Dawn Treadwell (March 2011) *Evaluation of biodiesel's impact on real-world occupational and environmental particulate matter exposures at a municipal facility in Keene, NH*, Springer Science+Business Media B.V. 2011

14. Shu-Mei Chien, Yuh-Jeen Huang, Shunn-Cheng Chuang, Hsi-Hsien Yang (2009, Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Taiwan), *Effects of Biodiesel Blending on Particulate and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions in Nano/Ultrafine/Fine/Coarse Ranges from Diesel Engine*
15. Evangelos Bakeas, Georgios Karavalakis, Stamoulis Stournas, *Biodiesel emissions profile in modern diesel vehicles. Part 1: Effect of biodiesel origin on the criteria emissions*, <sup>a</sup> Laboratory of Analytical Chemistry, Chemistry Department, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimioupolis, 15771, Athens, Greece, <sup>b</sup> Laboratory of Fuels Technology and Lubricants, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, 9 Iroon Polytechniou Str. Zografou Campus, 157 80, Athens, Greece
16. George Karavalakis, Stamoulis Stournas, Evangelos Bakeas (May 2009), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709000035> - *aff2Light vehicle regulated and unregulated emissions from different biodiesels*, Science of The Total Environment
17. Georgios Fontaras, Georgios Karavalakis, Marina Kousoulidou, Theodoris Tzamkiozis, Leonidas Ntziachristos, Evangelos Bakeas, Stamoulis Stournas, Zissis Samaras (September 2009) *Effects of biodiesel on passenger car fuel consumption regulated and non – regulated pollutant emissions over legislated and real-world driving cyclus*
18. Michael S. Graboski, Robert L. McCormick (1998), *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines*, Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research and Department of Chemical Engineering and Petroleum Refining, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401-1887, U.S.A.
19. A. Tsolakis, *Effects on the Particle Size Distribution from the Diesel Engine Operation on RME-Biodiesel with EGR* (May 2, 2006), School of Engineering, Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, U.K
20. Chen YC, Wu CH (2002) *Emissions of submicron particles from a direct injection diesel engine by using biodiesel*, J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2002;37(5):829-43
21. Raghu Betha, Rajasekhar Balasubramanian (September 2011), *Emissions of Particulate-bound elements from stationary diesel engine: Characterization and risk assessment*, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, National University of Singapore, 1 Engineering Drive 2, E1A-02-19, Singapore 117576, Singapore
22. Daniel Gilman (2007), *Fueling Oregon with Sustainable Biofuels*, a report by the Oregon Environmental Council
23. Brito JM, Belotti L, Toledo AC, Antonangelo L, Silva FS, Alvim DS, Andre PA, Saldiva PH, Rivero DH, *Acute cardiovascular and inflammatory toxicity induced by inhalation of diesel and biodiesel exhaust particles*, Toxicol Sci. 2010, Jul;116(1):67-78. doi: 10.1093/toxsci/kfq107. Epub 2010 Apr 12.
24. Yage Di, C.S. Cheung, and Zuohua Huang (2009 American Association for Aerosol Research), *Comparison of the effect of Biodiesel-Diesel and Ethanol-Diesel on the Particulate Emissions of a Direct Injection Diesel Engine*

25. Evangelos Bakeas, Georgios Karavalakis, Georgios Fontaras, Stamos Stournas (June 2011), *An experimental study on the impact of biodiesel origin on the regulated and PAH emissions from a Euro 4 light-duty vehicle*, Elsevier Ltd.
26. M.S. Graboski, R.L. McCormick, T.L. Alleman, A.M. Herring (February 2003), *The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine*, National Renewable Energy Laboratory
27. Sandip D. Shah, David R. Cocker III, J. Wayne Miller and Joseph M. Norbeck, *Emission Rates of Particulate Matter and Elemental and Organic Carbon from In-Use Diesel Engines*, Copyright © 2004 American Chemical Society
28. Hartikka, H et al (2012) Technical Performance of HVO in Diesel Engines, SAE International
29. Natural Resources Defense Council (2006), *Unlocking the Promise of Ethanol: Promoting ethanol while protecting air quality*
30. VITO: Tobias Denys, Bart Beusen, Leen Govaerts, VUB: Vincent Wynen, Faycal Boureima, Nele Sergeant, Joeri van Mierlo (2008) *Uitwerken van een berekeningswijze om het milieuvoordeel van omgebouwde voertuigen te integreren in de hervorming van de verkeersbelastingen*, De Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie
31. Tim Murrells, Yvonne Li (September 2008), *Road Transport Emissions from Biofuel Consumption*, UK Emissions Inventory Stakeholder Meeting
32. Maurizia Seggiani, M. Vittoria Patri, M. Antonietta Costagliola, Monica Puccini and Sandra Vitolo (2012), *Bioethanol-gasoline fuel blends: Exhaust emissions and morphological characterization of particulate from a moped engine*, Journal of the Air & Waste Management Association
33. Air Quality Expert Group (2011), *Road transport biofuels: impact on UK air quality*
34. [http://www.energy.ca.gov/2011-ALT-1/documents/2012-08-01\\_workshop/presentations/Dr\\_Michael\\_Bennett\\_BioETBE\\_The\\_Right\\_Road\\_to\\_High\\_Quality\\_21ST\\_Century\\_Motor\\_Fuels\\_2012-08-23\\_TN-66889.pdf](http://www.energy.ca.gov/2011-ALT-1/documents/2012-08-01_workshop/presentations/Dr_Michael_Bennett_BioETBE_The_Right_Road_to_High_Quality_21ST_Century_Motor_Fuels_2012-08-23_TN-66889.pdf)
35. Hirose T et al (2007), Effects of ETBE and EtOH Blending in Gasoline on PM Emissions from a Direct Injection Spark Ignition Vehicle, SAE International
36. Jürgen Bünger, Jürgen Krahl, Olaf Schröder, Lasse Schmidt, Götz A. Westphal (2012), *Potential hazards associated with combustion of bio-derived versus petroleum-derived diesel fuels*, Critical Reviews in Toxicology
37. Grägg K. MTC Report No. 9209B, AB Svensk Bilprovning Motortestcenter. Haninge: Sweden; 1994. Effects of environmentally classified diesel fuels, RME and blends of diesel fuel and RME on the exhaust emissions.
38. Carraro E, Locatelli AL, Ferrero C, Fea E, Gilli G. Biological activity of particle exhaust emissions from light-duty diesel engines. *J Environ Pathol Toxicol Oncol.* 1997;16:101–109.
39. Bünger J, Krahl J, Franke HU, Munack A, Hallier E. Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel. *Mutat Res.* 1998;415:13–23



40. Büngrer J, Krahl J, Baum K, Schröder O, Müller M, Westphal G, et al. Cytotoxic and mutagenic effects, particle size and concentration analysis of diesel engine emissions using biodiesel and petrol diesel as fuel. *Arch Toxicol*. 2000a;74:490–498
41. Büngrer J, Müller MM, Krahl J, Baum K, Weigel A, Hallier E, et al. Mutagenicity of diesel exhaust particles from two fossil and two plant oil fuels. *Mutagenesis*. 2000b;15:391–397
42. Kado NY, Huang TL, Kuzmicky PA. 2001. Truck-in-the-Park II: Chemical and bioassay analyses of diesel and biodiesel particulate matter. Final Report, EDG–95–7561. Montana Department of Environmental Quality. Helena, Montana
43. Krahl J, Munack A, Ruschel Y, Schröder O, Büngrer J. Exhaust gas emissions and mutagenic effects of diesel fuel, biodiesel and biodiesel blends. SAE Technical Paper. 2008;2008:01–2508
44. Bagley ST, Gratz LD, Johnson JH, McDonald JF. Effects of an oxidation catalytic converter and a biodiesel fuel on the chemical, mutagenic, and particle size characteristics of emissions from a diesel engine. *Environmental Science & Technology*. 1998;32:1183–1191
45. Ackland ML, Zou L, Freestone D, van de Waasenburg S, Michalczyk AA. Diesel exhaust particulate matter induces multinucleate cells and zinc transporter-dependent apoptosis in human airway cells. *Immunol Cell Biol*. 2007;85:617–622
46. Liu YY, Lin TC, Wang YJ, Ho WL. Biological toxicities of emissions from an unmodified engine fueled with diesel and biodiesel blend. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2008;43:1735–1743
47. Gerlofs-Nijland ME, Totlandsdal AI, Tzamkiozis T, Leseman DL, Samaras Z, Låg M, Schwarze P, Ntziachristos L, Cassee FR. Cell toxicity and oxidative potential of engine exhaust particles: impact of using particulate filter or biodiesel fuel blend. *Environ Sci Technol*. 2013 Jun 4;47(11):5931-8. doi: 10.1021/es305330y. Epub 2013 May 20
48. Büngrer J, Krahl J, Weigel A, Schröder O, Brüning T, Müller M, et al. Influence of fuel properties, nitrogen oxides, and exhaust treatment by an oxidation catalytic converter on the mutagenicity of diesel engine emissions. *Arch Toxicol*. 2006;80:540–546
49. Krahl J, Munack A, Ruschel Y, Schröder O, Schwarz S, Hofmann L, Büngrer J. Influence of the phosphorus content in rapeseed oil methyl esters during a 1000 hours endurance test on the function of a SCR-System measured by exhaust gas emissions and health effects. SAE-Technical Paper. 2006;2006:01–3282
50. Büngrer J, Krahl J, Stein H, Schröder O, Müller M, Westphal G, Schulze L, Tschöke H, Munack A, Hallier E. Particle filters reduce emission and mutagenicity of diesel exhaust in regular operation but can cause an increase during the regeneration phase. *Naunyn Schmiedeberg's Arch Pharmacol*. 2004;369:145
51. Kado NY, Kuzmicky PA. 2003. Bioassay analyses of particulate matter from a diesel bus engine using various biodiesel feedstock fuels. Final Report. Report 3 in a series of 6. National Renewable Energy Laboratory U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, Oak Ridge, TN USA.
52. Götz A, Westphal, Jürgen Krahl, Axel Munack, Nina Rosenkranz, Olaf Schröder, Jens Schaak, Christoph Pabst, Thomas Brüning and Jürgen Büngrer (2013) *Combustion of Hydrotreated Vegetable Oil and Jatropa Methyl Ester in a Heavy Duty Engine: Emissions and Bacterial Mutagenicity*, American Chemical Society



## Bijlage

In april en mei 2011 zijn het besluit<sup>15</sup> en de regeling<sup>16</sup> hernieuwbare energie vervoer en het besluit<sup>17</sup> en de regeling<sup>18</sup> brandstoffen luchtkwaliteit gepubliceerd.

Biobrandstoffen worden gereguleerd vanuit zowel Europese als Nederlandse wetgeving.

Europese wetgeving:

Richtlijn hernieuwbare energie 2009/28/EG (RED)	De EU Richtlijn hernieuwbare energie geeft lidstaten het kader waarbinnen de overstap naar hernieuwbare energie in 2020 nationaal moet worden vormgegeven, compleet met een hoofddoelstelling van 20% hernieuwbare energie in 2020 en 10 % hernieuwbare energie in de transportsector
Brandstofkwaliteitsrichtlijn 2009/30/EG (FQD)	De Europese richtlijn brandstofkwaliteit geeft technische specificaties waaraan brandstoffen moeten voldoen. Sinds 2009 zijn ook specificaties opgenomen voor de uitstoot van broeikasgassen. Bovendien zijn er voorschriften voor de duurzaamheid van de gebruikte grondstoffen voor biobrandstoffen. Deze zijn gelijk aan die uit de EU Richtlijn hernieuwbare energie.
Energierichtlijn 2003/96/EG	Mogelijkheid van accijnsvrijstelling biobrandstoffen voor warmteopwekking en transportdoeleinden. Beschikkingen Europese Commissie ter sanctionering van de accijnsvrijstellingsregimes van Frankrijk, Italië en het Verenigd Koninkrijk (Bs 2002/550/EG, Bs 2002/265/EG, Bs 2003/238/EG)

<sup>15</sup> Besluit van 18 april 2011, houdende regels omtrent de inzet van energie uit hernieuwbare bronnen ten behoeve van bepaalde vormen van vervoer (Besluit hernieuwbare energie vervoer). Staatsblad 2011, 197.

<sup>16</sup> Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 2 mei 2011, nr. BJZ2011044006, houdende regels met betrekking tot energie uit hernieuwbare bronnen voor vervoer (Regeling hernieuwbare energie vervoer). Staatscourant 2011, nr. 8235, 11 mei 2011.

<sup>17</sup> Besluit van 8 april 2011, houdende eisen met betrekking tot brandstoffen ter implementatie van richtlijn nr. 2009/30/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 april 2009 tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG met betrekking tot de specificatie van benzine, dieselbrandstof en gasolie en tot invoering van een mechanisme om de emissies van broeikasgassen te monitoren en te verminderen, tot wijziging van Richtlijn 1999/32/EG van de Raad met betrekking tot de specificatie van door binnenschepen gebruikte brandstoffen en tot intrekking van Richtlijn 93/12/EEG (PbEU L 140) (Besluit brandstoffen luchtverontreiniging). Staatsblad 2011, 192.

<sup>18</sup> Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 20 april 2011, nr. BJZ2011043268, houdende regels betreffende de kwaliteit en het zwavelgehalte van brandstoffen (Regeling brandstoffen luchtverontreiniging). Staatscourant 2011, nr. 7532, 29 april 2011.

Kaderrichtlijn Afvalstoffen	Richtlijn 2008/98/EG heeft als doel de bescherming van het milieu en de menselijke gezondheid door preventie of beperking van de negatieve gevolgen van de productie en het beheer van afvalstoffen en de beperking van gevolgen in het algemeen van het gebruik van hulpbronnen en de verbetering van de efficiëntie van het gebruik ervan.
Dierlijke Bijproductenverordening	De Verordening Dierlijke bijproducten bevat voorschriften voor de behandeling van ruwe en bewerkte producten van dierlijke herkomst. In verband met de volksgezondheid zijn er strikte voorschriften voor alle behandelingen en kanalisatie (volgen van stromen) van grondstoffen en producten van dierlijke oorsprong. Ook zijn er voorschriften voor bepaalde toepassingen van gebruikt frituurvet.

#### Nederlandse wetgeving:

Besluit hernieuwbare energie vervoer	Dit besluit strekt tot implementatie van de richtlijn voor zover die verplicht tot het behalen van een aandeel hernieuwbare energie in de vervoerssector. De richtlijn geeft niet aan met welk instrumentarium deze verplichting moet worden geïmplementeerd.
Regeling hernieuwbare energie vervoer	Deze regeling betreft uitvoeringsmaatregelen ter uitvoering van het Besluit hernieuwbare energie vervoer.
Besluit stimulering duurzame energieproductie (SDE en SDE+)	De SDE+ stimuleert de productie van hernieuwbare energie en richt zich op bedrijven en (non-profit) instellingen.
Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA)	Eisen aan afvalverbrandingsinstallaties (AVI) o.a. voor toepassing van biobrandstoffen die wel als afval, maar niet als schone biomassa worden geïnclassificeerd. Dit besluit geldt ook voor het stoken van dierlijk vet.
Besluit Emissie-eisen Stookinstallaties (BEES) A en B	Eisen aan de emissies van verbrandingsinstallaties o.a. voor toepassing van biobrandstoffen, en eisen aan de emissies van grote stookinstallaties.
Wet op de accijns	Deze wet regelt de heffing van accijns op o.a. energieproducten waaronder biobrandstoffen.
Wet Belasting op Milieugrondslag	Deze wet regelt de verbruiksbelastingen van brandstoffen waaronder biobrandstoffen.

#### Afspraken met de industrie:

Beoordelingsrichtlijn K21010	Kiwa Beoordelingsrichtlijn Vloeibare biobrandstof
------------------------------	---

Om mee te mogen tellen voor de jaarverplichting moet de biobrandstof voldoen aan de Europese duurzaamheidseisen. Dit moet door een onafhankelijke deskundige (verificateur) geverifieerd zijn. Biobrandstoffen tellen alleen mee voor de EU-doelstelling voor het vervoer als ze voldoen aan de volgende eisen voor duurzaamheid:

- Boeren mogen geen biobrandstofgewassen verbouwen in gebieden met een grote biodiversiteit, bijvoorbeeld in een regenwoud of een beschermd natuurgebied.
- Boeren mogen geen veengebieden ontwateren om biobrandstofgewassen op te verbouwen.
- Boeren mogen geen biobrandstofgewassen verbouwen in gebieden die veel CO<sub>2</sub> vasthouden zoals oerbossen, veengebieden en graslanden.
- Bij de productie van de biomassa mag niet te veel CO<sub>2</sub> vrijkomen. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de productieketen van biobrandstof moet minimaal 35% lager zijn dan die van vergelijkbare fossiele brandstoffen. De productieketen betekent: vanaf het aanplanten van het gewas tot en met de verbranding in de auto. In 2018 moet de CO<sub>2</sub>-uitstoot van biobrandstof minstens 60% lager zijn dan van fossiele brandstof.