

**TNO-rapport****TNO 2012 R10714****N<sub>2</sub>O Emissies van Wegverkeer****Behavioural and Societal  
Sciences**  
Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
infodesk@tno.nl

Datum	4 oktober 2012
Auteur(s)	E. Kuiper A. Hensema
Exemplaarnummer	TNO-060-DTM-2012-02977
Aantal pagina's	21 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	RIVM - CMM
Projectnaam	Emissieregistratie
Projectnummer	054.01994/01.05

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande 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 opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

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

© 2012 TNO

## Samenvatting

N<sub>2</sub>O is een potent broeikasgas waarvoor op het moment nog geen regulering is wat betreft verkeeremissies. De emissiefactoren voor wegverkeer die tot op heden gebruikt worden in de Taakgroep Verkeer en Vervoer van de EmissieRegistratie zijn 10 jaar geleden opgesteld. Gezien de huidige relevantie van broeikasgassen en de verwachte afname van CO<sub>2</sub> de komende jaren wordt de relevantie van N<sub>2</sub>O emissies steeds groter. Het is dan ook nodig de huidige N<sub>2</sub>O emissiefactoren voor wegverkeer opnieuw te evalueren.

N<sub>2</sub>O emissies door wegverkeer worden hoofdzakelijk veroorzaakt door benzine en LPG voertuigen met driewegkatalysatoren en dan met name na een koude start. N<sub>2</sub>O wordt voornamelijk geproduceerd als de driewegkatalysator aan het opwarmen is. Zodra de optimale temperatuur van de katalysator bereikt is, zakt het niveau van de N<sub>2</sub>O emissies drastisch. Ook vrachtwagens vanaf Euro III met nabehandelingssystemen stoten relatief veel N<sub>2</sub>O per kilometer uit.

Naast de aanwezigheid van een katalysator zijn er enkele andere factoren die invloed hebben op de hoogte van de N<sub>2</sub>O emissies. Agressiever rijgedrag met meer versnelling en hogere motorbelasting leiden tot hogere N<sub>2</sub>O emissies. Tevens kan een hoger zwavelgehalte van de gebruikte brandstof een negatieve invloed hebben op hoeveel N<sub>2</sub>O er wordt geproduceerd. Veroudering van de katalysator zou, in theorie, tot hogere N<sub>2</sub>O emissie moeten leiden, maar hier is vooralsnog geen aanwijzing voor gevonden. Al deze effecten kunnen onvoldoende worden gekwantificeerd om apart te worden meegenomen in de emissiefactoren.

De Nederlandse en internationaal gebruikte emissiefactoren komen sterk met elkaar overeen. Het is waarschijnlijk dat de IPCC emissiefactoren deels gebaseerd zijn op de emissiefactoren zoals vastgesteld op basis van metingen door TNO. Alleen heeft het IPCC de emissiefactoren aangevuld met emissiefactoren voor nieuwere voertuigen, waarbij onduidelijk blijft waarop dit is gebaseerd. Gezien de geringe nieuwe inzichten van de afgelopen 10 jaar wordt er aanbevolen de huidige emissiefactoren aan te houden en aan te vullen met de IPCC emissiefactoren voor nieuwere voertuigtypes waarvoor geen TNO meetdata beschikbaar is. Een volledig overzicht van de emissiefactoren is te vinden in de Bijlage.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vorming van N<sub>2</sub>O in voertuigen.....</b>	<b>5</b>
2.1	Benzine en LPG voertuigen.....	5
2.2	Dieselveertuigen .....	6
<b>3</b>	<b>Ontwikkelingen uit de literatuur .....</b>	<b>7</b>
3.1	Afhankelijkheden .....	7
3.2	Relatie tot andere emissies .....	10
3.3	High emitters.....	10
3.4	Alternatieve brandstoffen.....	11
<b>4</b>	<b>Emissiefactoren .....</b>	<b>12</b>
4.1	TNO emissiefactoren .....	12
4.2	IPCC emissiefactoren .....	13
4.3	Vernieuwde emissiefactoren .....	16
<b>5</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>19</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Emissieregistratie	

# 1 Inleiding

De regulering van de uitstoot van broeikasgassen heeft zich de laatste jaren voornamelijk gericht op CO<sub>2</sub> omdat dit op grote schaal wordt uitgestoten.

Over het algemeen is de CO<sub>2</sub> uitstoot verantwoordelijk voor 9 tot 26% van het massabudget van alle broeikasgassen [Kiel & Trenberth 1997]. Naast waterdamp en CO<sub>2</sub> zijn er echter wel andere broeikasgassen die, hoewel qua massabudget significant minder bijdragen dan CO<sub>2</sub>, toch significant kunnen bijdragen aan het broeikaseffect. Eén van deze secundaire broeikasgassen is N<sub>2</sub>O.

N<sub>2</sub>O, ook wel bekend als lachgas, is een gas dat vooral bekend is door zijn verdovende werking en wordt daarom vooral in de medische wereld gebruikt. Het wordt in de natuur geproduceerd door bacteriën in de bodem en oceanen. Deze formatiewegen zijn verantwoordelijk voor 70% van alle N<sub>2</sub>O productie. De overige 30% wordt geproduceerd door menselijke activiteit, waarvan vee verantwoordelijk is voor 65%.

Hoewel de concentratie van N<sub>2</sub>O in de atmosfeer slechts 0.1% is van de concentratie van CO<sub>2</sub> is het toch een zeer potent broeikasgas. De levensduur van N<sub>2</sub>O in de atmosfeer is met ongeveer 114 jaar significant langer dan de levensduur van CO<sub>2</sub>, welke geschat wordt tussen de 30 tot 90 jaar. Tevens heeft N<sub>2</sub>O een relatief groot potentieel om warmte vast te houden. Mede hierdoor heeft N<sub>2</sub>O een Global Warming Potential van ongeveer 289 [IPCC 2007]. Dit geeft aan dat N<sub>2</sub>O een factor 289 sterker broeikasgas is dan CO<sub>2</sub>. Daarnaast wordt N<sub>2</sub>O in de atmosfeer omgezet naar NO en vervolgens ozon, een ander broeikasgas.

Met de toenemende aandacht voor broeikasgassen en de beleidsmatig voorgenomen afname van CO<sub>2</sub> over de komende jaren wordt de N<sub>2</sub>O emissie steeds relevanter. Het is dan ook nodig de huidige rol van N<sub>2</sub>O emissies in het verkeer te herzien. Over gereguleerde emissies zoals CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en PM is er relatief veel bekend wat betreft hoeveel voertuigen uitstoten. Over N<sub>2</sub>O is echter veel minder bekend. De huidige emissiefactoren die door de Taakgroep Verkeer en Vervoer van de EmissieRegistratie worden gebruikt zijn al 10 jaar oud en daarom is het belangrijk om te onderzoeken of er sindsdien nieuwe ontwikkelingen en inzichten zijn over de N<sub>2</sub>O uitstoot door voertuigen. In dit rapport wordt de huidige stand van zaken samengevat en wordt er geëvalueerd of de huidige emissiefactoren vervangen moeten worden.

In Hoofdstuk 2 zullen de principes betreffende N<sub>2</sub>O formatie in voertuigen worden toegelicht. Hier wordt vooral aandacht besteed aan de rol van katalysatoren in de vorming van N<sub>2</sub>O. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de literatuurstudie beschreven. De emissiefactoren die op dit moment gebruikt worden, worden in hoofdstuk 4 toegelicht, zowel voor de Nederlandse situatie als op internationaal niveau. Hier wordt tevens de afweging gemaakt of nieuwe emissiefactoren in gebruik moeten worden genomen.

## 2 Vorming van N<sub>2</sub>O in voertuigen

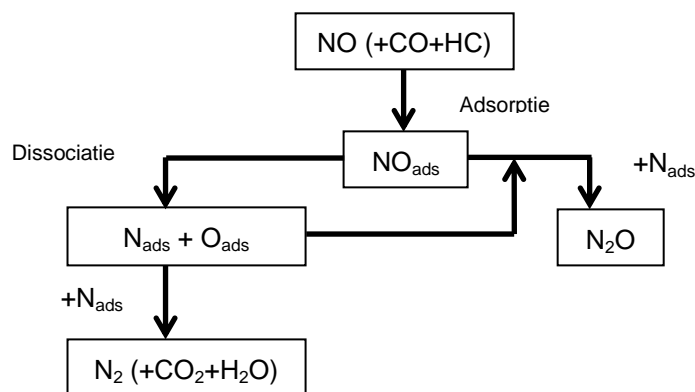
In de volgende paragrafen wordt beschreven op welke wijze N<sub>2</sub>O ontstaat bij voertuigen op verschillende brandstoffen.

### 2.1 Benzine en LPG voertuigen

Hoewel de verbrandingsmotor zelf zeer weinig N<sub>2</sub>O produceert is er toch een bepaalde concentratie N<sub>2</sub>O aanwezig bij de uitlaat van benzine en LPG voertuigen. Dit geeft aan dat N<sub>2</sub>O voornamelijk wordt gevormd in de driewegkatalysator van benzine en LPG voertuigen. Pre-Euronorm benzine en LPG voertuigen zonder katalysator hebben dan ook weinig tot geen N<sub>2</sub>O uitstoot.

De driewegkatalysator zorgt voor conversie van CO, HC en NO<sub>x</sub> naar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub>. De driewegkatalysator is op deze manier een essentiële component om de schadelijke emissies van benzine en LPG voertuigen significant te reduceren. Om te begrijpen waarom de driewegkatalysator N<sub>2</sub>O emissies veroorzaakt, wordt in meer detail gekeken naar de werking van een driewegkatalysator.

De vorming van N<sub>2</sub>O op de katalysator hangt vooral samen met de reductie van NO<sub>x</sub>. NO adsorbeert aan de katalysator en dissocieert vervolgens naar N<sub>ads</sub> en O<sub>ads</sub> (geadsorbeerd stikstof en zuurstof). De geadsorbeerde zuurstof zal vervolgens reageren met CO en HC om H<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> te vormen. De geadsorbeerde stikstof kan vervolgens reageren met andere geadsorbeerde stikstofatomen om N<sub>2</sub> te vormen of met NO<sub>ads</sub> dat nog niet gedissocieerd is om N<sub>2</sub>O te vormen. Welke van deze twee mogelijkheden plaatsvindt hangt af van de hoeveelheid N<sub>ads</sub> en NO<sub>ads</sub>. Wanneer er veel NO<sub>ads</sub> op de katalysator aanwezig is, dan zal er voornamelijk N<sub>2</sub>O gevormd worden. Deze twee routes zijn als volgt schematisch weer te geven:



Figuur 1: Vorming van N<sub>2</sub>O in de driewegkatalysator

De hoeveelheid NO<sub>ads</sub> is vooral groot bij lage temperaturen ( $200 < T < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) als de katalysator nog niet volledig is opgewarmd. Naarmate de temperatuur van de katalysator toeneemt, neemt ook de dissociatie van NO<sub>ads</sub> toe en dus zal er meer N<sub>ads</sub> aanwezig zijn dan NO<sub>ads</sub>. De vorming van N<sub>2</sub>O zal dan ook sterk afnemen.

Deze temperatuursafhankelijkheid zorgt ervoor dat  $N_2O$  emissies vooral voorkomen bij een koude start. De opwarmperiode is verantwoordelijk voor 95% van alle  $N_2O$  emissies [Huai et al. 2003]. Logischerwijs zal de meeste  $N_2O$  dan ook uitgestoten worden in stedelijke omgevingen, want hier is de kans op een koude start het grootst. Op provinciale en snelwegen is de  $N_2O$  emissie van benzine en LPG voertuigen zeer gering. Voor broeikasgassen is het effect echter vooral merkbaar op globale schaal en dus is de locatie van de uitstoot niet zozeer relevant.

## 2.2 Dieselvoertuigen

Er is relatief weinig onderzoek gedaan naar de  $N_2O$  emissies van dieselvoertuigen. Dit is omdat dieselvoertuigen geen driewegkatalysator hebben die verantwoordelijk is voor  $N_2O$  emissies bij benzine en LPG voertuigen. In de motor zelf wordt zeer weinig  $N_2O$  gevormd, dus hebben dieselvoertuigen over het algemeen zeer lage  $N_2O$  emissies. Voor oudere dieselvoertuigen is dit een factor 2-5 lager dan voor benzine en LPG voertuigen.

Echter, diesel-voertuigen worden de laatste jaren uitgerust met nabehandelingssystemen om de  $NO_x$  en PM emissie significant te reduceren, zoals oxidatie katalysatoren en roetfilters (DPFs). Ook oudere auto's (in het bijzonder Euro-3) worden uitgerust met retrofit roetfilters. In deze nabehandelingssystemen is vaak platina verwerkt en daardoor kan er een soortgelijk proces plaatsvinden als bij de driewegkatalysator van benzine en LPG voertuigen. Omdat dergelijke systemen vaak verder in de uitlaatstroom zijn geplaatst, is de temperatuur van het uitlaatgas lager. Dit werkt de vorming van  $N_2O$  ook in de hand. Nieuwere dieselvoertuigen stoten dus meer  $N_2O$  uit dan oudere dieselvoertuigen zonder nabehandelingssystemen. Voor vrachtwagens zijn dergelijke nabehandelingstechnieken standaard voor Euro IV en later.

## 3 Ontwikkelingen uit de literatuur

In recente jaren zijn er relatief weinig ontwikkelingen geweest op het gebied van N<sub>2</sub>O emissies. Er zijn enkele studies geweest, maar deze hebben zich vooral gericht op Amerikaanse voertuigen. Het is moeilijk om een direct verband te leggen tussen de Amerikaanse en Europese emissiewetgeving, voertuigen, en classificering. Daardoor is het niet mogelijk om de emissiefactoren bepaald in de Amerikaanse studies te gebruiken voor de Nederlandse situatie. Dit hoofdstuk gaat derhalve vooral over de kwalitatieve ontwikkelingen uit de literatuur.

### 3.1 Afhankelijkheden

Zoals als behandeld in Hoofdstuk 2, hangt de sterkte van de N<sub>2</sub>O emissies van benzine en LPG voertuigen af van de temperatuur van de katalysator. N<sub>2</sub>O emissies vinden vooral plaats bij lage temperaturen als de katalysator minder efficiënt functioneert. Als de katalysator opgewarmd is, neemt de N<sub>2</sub>O emissie sterk af. De opwarmperiode is door verbeterde katalysator-technieken korter geworden, waardoor nieuwere benzine en LPG voertuigen over het algemeen minder N<sub>2</sub>O emissie hebben dan oudere voertuigen met een driewegkatalysator. Naast de aanwezigheid van een driewegkatalysator is er veel onderzoek gedaan naar andere mogelijke factoren die de hoogte van de N<sub>2</sub>O emissie kunnen beïnvloeden.

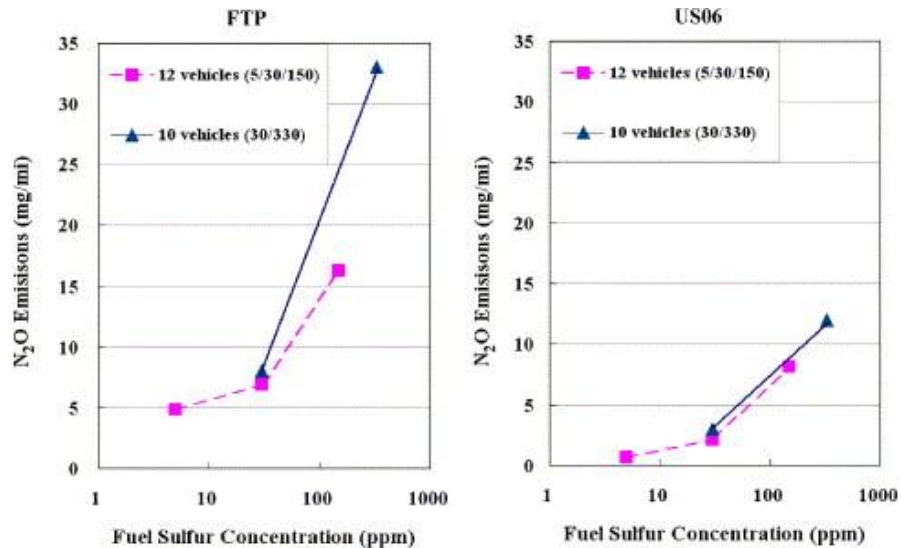
#### 3.1.1 *Veroudering van de katalysator*

Eén van de hypothesen die regelmatig onderzocht is betreft veroudering van de katalysator. Een verouderde katalysator functioneert waarschijnlijk minder efficiënt, wat N<sub>2</sub>O emissies in de hand kan werken. Omdat er geen eenduidige maat is voor katalysatorveroudering hebben veel studies kilometrage hiervoor aangehouden; voertuigen die veel kilometers hebben gereden zullen een grotere kans hebben dat de katalysator verouderd is. De resultaten van deze studies zijn niet eenduidig. Enkele studies vinden een toename van de N<sub>2</sub>O emissies met toenemend kilometrage [Pringent & De Soete, 1989; Sasaki & Kameoka, 1992], maar andere studies vinden hier geen aanwijzing voor [Barton & Simpson, 1994; Behrentz et al. 2004; Graham et al. 2009]. Het gebrek aan duidelijk bewijs voor de hypothese is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit dat kilometrage niet direct te relateren hoeft te zijn aan katalysatorleeftijd. Een voertuig met hoog kilometrage kan bijvoorbeeld recent een nieuwe katalysator hebben gekregen. Tevens gebruiken de genoemde studies vaak relatief kleine aantallen auto's, waardoor een waargenomen trend mogelijk toe te schrijven is aan statistische fluctuatie. Het blijft dus onduidelijk in hoeverre veroudering van de katalysator de N<sub>2</sub>O emissie beïnvloedt.

#### 3.1.2 *Zwavelgehalte brandstof*

Een andere factor die meerdere malen genoemd wordt als invloed hebbende op de hoogte van de N<sub>2</sub>O emissie is het zwavelgehalte van de gebruikte brandstof. Zwavel wordt omgezet tot SO<sub>2</sub> in de verbrandingsmotor en hecht zich vervolgens aan de katalysator. Hierdoor wordt de katalysator minder efficiënt in het omzetten van NO<sub>x</sub> en moet naar hogere temperaturen dan normaal verwarmd worden voordat de conversie optimaal verloopt. Het temperatuurvenster waarin de katalysator niet optimaal functioneert verschuift dus naar hogere temperaturen en de opwarming van de katalysator duurt langer. Het directe gevolg hiervan is dat N<sub>2</sub>O productie langer mogelijk blijft en effectief zal er dus meer N<sub>2</sub>O uitgestoten worden.

Dit wordt geïllustreerd in Figuur 2. Hier staan voor 2 verschillende Amerikaanse ritcycli (FTP en US06) de  $N_2O$  emissies van een groep Amerikaanse benzine personenauto's gegeven als functie van zwavelgehalte. In beide panelen is een duidelijke toename in  $N_2O$  emissie waar te nemen met toenemend zwavelgehalte. Echter, de zwavelgehalten van brandstoffen zijn de laatste jaren al significant gereduceerd en dus zal de invloed hiervan op huidige  $N_2O$  emissies minimaal zijn.



Figuur 2:  $N_2O$  emissie in mg/mijl van een groep Amerikaanse benzine personenauto's als functie van zwavelgehalte in ppm voor de FTP en US06 ritcycli [Huai et al. 2004]. De FTP ritcyclus begint met een koude motor en heeft daardoor in het algemeen hogere  $N_2O$  emissies.

### 3.1.3 Rijgedrag

Belangrijk is ook hoe de  $N_2O$  emissie afhangt van rijgedrag. Heeft een agressievere rijstijl invloed op de  $N_2O$  uitstoot? Verschillende studies hebben dit onderzocht door voertuigen verschillende ritcycli te laten rijden op de rollenbank. Hoewel de verschillende studies niet geheel eenduidig zijn, zijn er aanwijzingen dat agressievere rijgedrag zorgt voor hogere  $N_2O$  emissie [Behrentz et al. 2004, Graham et al. 2009]. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de hogere  $NO_x$  output uit de motor bij versnelling of zware belasting. Als er een grotere hoeveelheid  $NO_x$  aanwezig is, dan zal de hoeveelheid  $NO_{ads}$  op de katalysator ook relatief hoog zijn in vergelijking met de hoeveelheid  $N_{ads}$ . Dit werkt de formatie van  $N_2O$  in de hand. Echter, agressief rijgedrag warmt de motor ook sneller op, waardoor het effect van de koude start minder lang aanhoudt.

### 3.1.4 Voertuigtype

In Amerikaanse studies wordt onderscheid gemaakt binnen de categorie benzine/LPG licht wegverkeer tussen personenauto's en Light Duty Trucks (LDT, bestelauto's). Deze benzine bestelauto's stoten ongeveer een factor 2 keer meer  $N_2O$  uit dan personenauto's. Dit kan komen doordat bestelauto's meer tijd nodig hebben om op te warmen of door de hogere  $NO_x$  uitstoot van deze voertuigen. Het overgrote deel van de Nederlandse bestelauto's rijdt echter op diesel en stoot dus standaard minder  $N_2O$  uit dan benzine en LPG voertuigen. De relevantie van dit onderscheid is voor de Nederlandse situatie dus beperkt en alleen van toepassing op de grotere personenauto's, zoals Hummers.



### 3.1.5 Nabehandelingssystemen

Voor de effecten van de driewegkatalysator van benzine en LPG voertuigen, zie paragraaf 2.1.

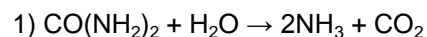
Voor dieselloertuigen zijn er in recente jaren enkele nabehandelingssystemen in gebruik genomen om de NO<sub>x</sub> en PM emissie significant te reduceren. Deze nabehandelingstechnologieën hebben in veel gevallen gevolgen voor de N<sub>2</sub>O emissie. Naar de exacte effecten van dergelijke systemen op de N<sub>2</sub>O uitstoot is, echter, nog relatief weinig onderzoek gedaan.

In theorie zijn alle nabehandelingssystemen waarin platina verwerkt is mogelijke bronnen van N<sub>2</sub>O emissie. Voorbeelden hiervan zijn het Diesel Particulate Filter (DPF), een oxidatiekatalysator of de Continuously Regenerating Trap (CTR). Omdat de uitlaatgastemperatuur relatief laag is zal bij dergelijke nabehandelingssystemen een soortgelijk proces plaatsvinden als bij de driewegkatalysator voor benzine en LPG voertuigen: NO adsorbeert aan het platina en bij lage temperaturen reageert het met N<sub>ads</sub> tot N<sub>2</sub>O.

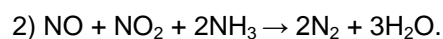
Omdat veel dieselloertuigen in Nederland inmiddels zijn uitgerust met een roetfilter kan dit gevolgen hebben voor de N<sub>2</sub>O uitstoot. Het is, echter, nooit onderzocht wat het kwantitatieve effect is van roetfilters voor personen- en bestelauto's. Voor vrachtwagens blijkt dat, in vergelijking tot vrachtwagens zonder nabehandeling, een oxidatiekatalysator voor 1,6 keer meer N<sub>2</sub>O emissie zorgt en een DPF voor 2,75 keer meer N<sub>2</sub>O emissie [Graham et al. 2008].

Daarnaast wordt voor vrachtwagens het Selective Catalytic Reduction (SCR) systeem gebruikt om de NO<sub>x</sub> emissie te reduceren. Het is bekend dat het SCR systeem kan leiden tot significante N<sub>2</sub>O emissie van 50 – 90 mg/km [Riemersma et al. 2003]. Deze emissie wordt gedeeltelijk veroorzaakt door een oxidatiekatalysator die stroomopwaarts van de SCR staat, maar ook de SCR zelf kan N<sub>2</sub>O emissie veroorzaken.

Om dit toe te lichten is een korte toelichting over de werking van het SCR systeem noodzakelijk. De SCR werkt met behulp van urea CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> die na de oxidatiekatalysator in de uitlaat wordt gespoten. De urea wordt doormiddel van hydrolyse omgezet in ammonia:



waarna de volgende reactie plaatsvindt:

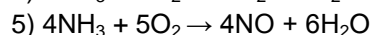
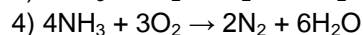
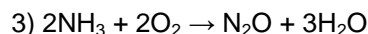


Hierbij wordt de NO<sub>2</sub> aanwezig in 2) geproduceerd door de oxidatiekatalysator. Eventuele overgebleven NH<sub>3</sub> wordt vervolgens door een ammonia slip catalyst (ASC) geoxideerd.

Binnen dit proces zijn er meerdere manieren waarop N<sub>2</sub>O gevormd kan worden. Zo is het mogelijk dat er tijdens het proces ammonium-nitraten (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) worden gevormd die zich aan de SCR katalysator hechten. Deze kunnen vervolgens worden omgezet in onder andere N<sub>2</sub>O. De efficiëntie van dit proces blijkt sterk

afhankelijk te zijn van de soort katalysator, de temperatuur en de concentratie van  $\text{NO}_2$  ten opzichte van  $\text{NO}_x$ . Voor  $300 < T < 350$  °C en  $\text{NO}_2/\text{NO}_x > 0.6$  is de  $\text{N}_2\text{O}$  productie het hoogst. Daarnaast blijken een Cu-zeoliet katalysator met hoge Cu belading en Fe-zeoliet katalysator voor significant meer  $\text{N}_2\text{O}$  emissie te zorgen dan een katalysator gebaseerd op Vanadium [Kamasudram et al. 2012].

De tweede methode om  $\text{N}_2\text{O}$  te vormen in de SCR betreft de oxidatie van  $\text{NH}_3$ . Dit kan verlopen volgens de volgende reactievergelijkingen



Hierbij is 4) de geprefereerde route, maar daarnaast kunnen zowel  $\text{N}_2\text{O}$  als  $\text{NO}$  worden geproduceerd via 3) en 5). De mate van  $\text{N}_2\text{O}$  productie hangt ook hier af van de soort katalysator die gebruikt wordt. Omdat de oxidatie van  $\text{NH}_3$  ook in de ASC plaatsvindt, vaak met behulp van een katalysator met platina, kan ook hier  $\text{N}_2\text{O}$  worden geproduceerd.

In de SCR kan  $\text{N}_2\text{O}$  ook worden afgebroken. Echter, dit vindt alleen plaats voor temperaturen hoger dan 450 °C, terwijl de SCR grotendeels bij lagere temperaturen functioneert [Kamasudram et al. 2012].

### 3.2 Relatie tot andere emissies

De  $\text{N}_2\text{O}$  emissie lijkt geheel onafhankelijk te zijn van de  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  en  $\text{CO}_2$  emissie. Echter, er bestaat enige correlatie tussen de  $\text{NO}_x$  emissie en de  $\text{N}_2\text{O}$  emissie, maar niet dusdanig dat de  $\text{NO}_x$  en  $\text{N}_2\text{O}$  emissie 1-op-1 aan elkaar zijn te relateren. Hoge  $\text{NO}_x$  emissie kan leiden tot een hoge  $\text{N}_2\text{O}$  emissie, maar doordat ook andere factoren een grote rol spelen in de formatie van  $\text{N}_2\text{O}$  is het niet zo dat voor hoge  $\text{N}_2\text{O}$  emissie de  $\text{NO}_x$  emissie ook hoog is [Riemersma et al. 2003]. Het is dus niet mogelijk om op basis van de  $\text{NO}_x$  emissie de  $\text{N}_2\text{O}$  emissie te voorspellen.

### 3.3 High emitters

Voor gereguleerde emissies, zoals  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  en  $\text{PM}$ , wordt vaak waargenomen dat een kleine subgroep van alle voertuigen verantwoordelijk is voor een buitenproportioneel groot aandeel van de totale emissies. Dit zijn de zogenaamde *high emitters*. Er zijn verschillende redenen waarom een voertuig een *high emitter* kan zijn, zoals slijtage, tampering of een technisch defect. Voor het bepalen van realistische emissiefactoren is het belangrijk te weten hoe groot de fractie is van *high emitter* voertuigen binnen het wagenpark, en wat de toename van de emissie is.

Er is tot op heden weinig onderzoek gedaan naar *high emitters* van  $\text{N}_2\text{O}$ . Dit is vooral toe te schrijven aan het zeer geringe aantal pogingen om  $\text{N}_2\text{O}$  in praktijk-situaties te meten. Hierdoor is de huidige kennis vooral afkomstig van een beperkt aantal metingen aan voertuigen op de rollenbank. Desondanks lijkt er bewijs te zijn dat  $\text{N}_2\text{O}$  *high emitters* bestaan [Jimenez et al. 2000]. In deze studie werd gevonden dat meer dan 50% van alle  $\text{N}_2\text{O}$  emissies wordt uitgestoten door slechts 10% van de voertuigen. Tevens lijkt het dat, over het algemeen, voertuigen geïdentificeerd als  $\text{N}_2\text{O}$  *high emitters* niet dezelfde voertuigen zijn als  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  of  $\text{NO}$  *high emitters*.

Dit geeft wederom aan dat er geen verband bestaat tussen de hoogte van de gereguleerde emissies en de hoogte van N<sub>2</sub>O emissies.

### **3.4 Alternatieve brandstoffen**

In de literatuur zijn enkele studies uitgevoerd die zich ook richten op alternatieve brandstoffen. Hieronder volgt een samenvatting van de algemene resultaten van deze studies.

In een studie door Graham et al. [2008] zijn verschillende vrachtwagens getest met verschillende brandstoffen, waarbij diesel als referentiebrandstof fungeerde. Voor een serie metingen aan bussen werd diesel vervangen door CNG en hythane (mengsel van 20% waterstof en 80% CNG). Het effect van het gebruik van deze alternatieve brandstoffen is een factor 2 en een factor 3 minder N<sub>2</sub>O uitstoot voor respectievelijk CNG en hythane. CNG wordt veel toegepast in het Nederlandse stadbussenpark. Hythane wordt niet op grote schaal in Nederland gebruikt.

Voor biodieselmengsels wordt er geen significant verschil in de N<sub>2</sub>O emissie waargenomen met reguliere diesel als er een oxidatiekatalysator aanwezig is. Wordt de oxidatiekatalysator weggehaald, dan wordt over het algemeen een kleine afname van de N<sub>2</sub>O emissie waargenomen van ongeveer 10% in vergelijking met reguliere diesel. Deze afname lijkt onafhankelijk te zijn van de fractie biodiesel. Enig positief effect van biodiesel ten opzichte van N<sub>2</sub>O emissie wordt dus tenietgedaan door de aanwezigheid van een oxidatiekatalysator.

## 4 Emissiefactoren

In dit hoofdstuk worden de huidige TNO emissiefactoren vergeleken met recente metingen en de door het IPCC gebruikte emissiefactoren.

### 4.1 TNO emissiefactoren

De meest recente metingen aan N<sub>2</sub>O emissies voor zowel personen- als vrachtauto's zijn gedaan in de periode 2001-2003 en zijn gerapporteerd in een drietal rapporten [Feijen et al. 2001, Gense & Vermeulen 2002, Riemersma et al. 2003]. De huidige set emissiefactoren van de Taakgroep Verkeer en Vervoer van de Emissieregistratie is gebaseerd op deze serie metingen. Hieronder worden de resultaten van deze meetserie samengevat.

Voor de personenauto's was een totaal van 45 voertuigen getest, waarvan 33 benzine, 9 diesel en 3 LPG voertuigen. Deze voertuigen vallen in de categorieën Euro-1 tot Euro-3. Real-world emissiefactoren zijn afgeleid van de resultaten voor zowel de EDC als de CADC cycli. Tevens is er een correctie toegepast om te corrigeren voor het verschil in temperatuur tussen het lab en de gemiddelde Nederlandse temperatuur in de praktijk. De afgeleide real-world emissiefactoren voor LD personenauto's zijn te vinden in Tabel 1.

Tabel 1: Emissiefactoren personenauto's TNO (Gense & Vermeulen 2002)

Brandstof	Categorie	Urban cold (mg/km)	Urban hot (mg/km)	Rural (mg/km)	Motorway (mg/km)
Benzine	Pre-Euro	0	0	0	0
	Euro 1	38	21	13	8
	Euro 2	24	13	4	2
	Euro 3	9	5	2	1
Diesel	Pre-Euro	0	0	0	0
	Euro 1	0	2	4	4
	Euro 2	3	4	6	6
	Euro 3	15	9	4	4
LPG	Pre-Euro	0	0	0	0
	Euro 1	38	21	13	8
	Euro 2	23	13	3	2
	Euro 3	9	5	2	1

Het is uit deze emissiefactoren op te maken dat een koude start significant meer N<sub>2</sub>O emissie tot gevolg heeft dan het rijden met een opgewarmde motor. Tevens nemen de emissiefactoren voor benzine en LPG voertuigen af met oplopende Euro-norm. Dit reflecteert de vooruitgang wat betreft techniek die resulteert in nieuwere en betere katalysatoren. Merk op dat de benzine en LPG emissiefactoren sterk overeenkomen, wat komt door dezelfde nabehandelingstechniek. De waarden weergegeven in Tabel 1 komen goed overeen met resultaten uit de literatuur waar voor benzine voertuigen over het algemeen tussen de 5 en 50 mg/km wordt waargenomen.

De resultaten voor vrachtwagens zijn samengevat in Tabel 2 en zijn afkomstig uit Riemersma et al. (2003). In dit onderzoek zijn er metingen aan Euro I en Euro III vrachtwagens en Euro II bussen uitgevoerd. Daarnaast werd de N<sub>2</sub>O uitstoot gemeten van een klein aantal vrachtwagens met toentertijd experimentele nabehandelingstechnieken, zoals SCR en EGR. Omdat een koude start waarschijnlijk een kleine invloed heeft op de emissies van dieselloertuigen is deze categorie hier weggelaten. Tevens zijn voor alle categorieën de resultaten weergegeven voor een volledige belading.

Tabel 2: Real-world emissiefactoren vrachtwagens TNO (Riemersma et al. 2003)

Categorie	Euroklasse	Urban (mg/km)	Rural (mg/km)	Motorway (mg/km)
Light Truck (6.8 ton)	Euro I	<6	<5	<3
	Euro II	<5	<5	<3
	Euro III	<3	<3	<2
	SCR	18	24	21
Medium truck (13.6 ton)	Euro I	<11	<9	<7
	Euro II	<11	<9	<6
	Euro III	<5	<5	<4
	SCR	36	49	41
Heavy truck (37.1 ton)	Euro I	<19	<16	<11
	Euro II	<18	<16	<10
	Euro III	<10	<9	<7
	SCR	89	93	69
Truck met trailer (40 ton)	Euro I	<20	<17	<11
	Euro II	<20	<17	<11
	Euro III	<11	<10	<7
	SCR	96	100	74
Bus	Euro I	<12	<10	<7
	Euro II	<12	<10	<7
	Euro III	<6	<6	<5
	SCR	40	55	46

Veel van de TNO emissiefactoren zijn bovengrenzen omdat tijdens het meten de detectielimiet werd bereikt. De enige uitzonderingen hierop zijn de voertuigen met SCR technologie die wel een significante hoeveelheid N<sub>2</sub>O uitstoten.

In 2009 is nog een serie metingen uitgevoerd door TNO aan 5 Euro V vrachtwagens met een SCR systeem [Vermeulen & Eijk 2010]. De N<sub>2</sub>O emissies van deze vrachtwagens waren relatief laag: 10-20 mg/km. Er zijn verschillende manieren waarop N<sub>2</sub>O wordt gevormd bij een SCR systeem (zie paragraaf 3.1.5), waardoor het moeilijk is deze metingen om te zetten in emissiefactoren. De metingen geven aanleiding goed de literatuur bij te houden om ontwikkelingen op dit gebied goed te volgen.

## 4.2 IPCC emissiefactoren

De Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) heeft N<sub>2</sub>O emissiefactoren opgesteld voor verschillende voertuig- en brandstoftypes. Hierbij zijn de emissiefactoren ook opgesplitst naar 4 verkeerssituaties: stedelijk met koude motor, stedelijk met opgewarmde motor, buitenweg en snelweg. De IPCC emissiefactoren

voor licht wegverkeer zijn hieronder gegeven in Tabel 3. Voor zwaar wegverkeer is ook gebruik gemaakt van de EMEP/EEA emissiefactoren. Deze staan in Tabel 4.

De IPCC emissiefactoren zijn afkomstig uit het COPERT IV model [EMEP/EEA, 2009]. Het COPERT IV model gebruikt vervolgens weer waarden uit de literatuur, waaronder de TNO-studies. Deze zijn verder aangevuld met data gebaseerd op Amerikaanse voertuigen, waarbij er wordt aangenomen dat er een verband te leggen is tussen Euroklasse en Amerikaanse emissieklassen. Bij de berekening van emissiefactoren voor benzine en LPG voertuigen is rekening gehouden met het mogelijke effect van katalysator-veroudering. Dit effect is geparametriseerd als functie van kilometrage. Voor de IPCC emissiefactoren is een kilometrage van 50.000 km aangenomen. Tevens, zoals eerder besproken, is er een afhankelijkheid van het zwavelgehalte van de gebruikte brandstof. Er wordt aangenomen dat het zwavelgehalte gelijk is aan het gehalte in brandstoffen ten tijde van registratie.

Tabel 3: IPCC N<sub>2</sub>O emissiefactoren licht wegverkeer [IPCC, 2006]

Vehicle type	Fuel	Vehicle technology/ class	N <sub>2</sub> O emission factors (mg/km)			
			Urban		Rural	Highway
			Cold	Hot		
Passenger car	Gasoline	Pre-Euro	10	10	6.5	6.5
		Euro 1	38	22	17	8.0
		Euro 2	24	11	4.5	2.5
		Euro 3	12	3	2.0	1.5
		Euro 4	6	2	0.8	0.7
	Diesel	Pre-Euro	0	0	0	0
		Euro 1	0	2	4	4
		Euro 2	3	4	6	6
		Euro 3	15	9	4	4
		Euro 4	15	9	4	4
	LPG	Pre-ECE	0	0	0	0
		Euro 1	38	21	13	8
		Euro 2	23	13	3	2
		Euro 3 en later	9	5	2	1
Light Duty Truck	Gasoline	Pre-Euro	10	10	6.5	6.5
		Euro 1	122	52	52	52
		Euro 2	62	22	22	22
		Euro 3	36	5	5	5
		Euro 4	16	2	2	2
	Diesel	Pre-Euro	0	0	0	0
		Euro 1	0	2	4	4
		Euro 2	3	4	6	6
		Euro 3	15	9	4	4
		Euro 4	15	9	4	4

De emissiefactoren voor personenauto's komen zeer sterk overeen met de emissiefactoren bepaald door TNO zoals samengevat in paragraaf 4.1. Alleen de emissiefactoren voor benzinevoertuigen wijken af voor sommige Euroklassen. Hieruit blijkt dat de COPERT IV emissiefactoren, en dus ook de IPCC emissiefactoren, in sterke mate gebaseerd zijn op de TNO emissiefactoren.

Tabel 4: IPCC/EMEP emissiefactoren zwaar wegverkeer [IPCC, 2006; EMEP/EEA, 2009]

HD categorie	Technologie	Urban (mg/km)	Rural (mg/km)	Highway (mg/km)
Gasoline > 3.5t	Conventional	6	6	6
Rigid 7.5-12t	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	6	5	3
	HD Euro II	5	5	3
	HD Euro III	3	3	2
	HD Euro IV	6	7.2	5.8
	HD Euro V	15	19.8	17.2
	HD Euro VI	18.5	19	15
Rigid and articulated 12-28t	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	11	9	7
	HD Euro II	11	9	6
	HD Euro III	5	5	4
	HD Euro IV	11.2	13.8	11.4
	HD Euro V	29.8	40.2	33.6
	HD Euro VI	37	39	29
Rigid and articulated 28-34t	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	17	14	10
	HD Euro II	17	14	10
	HD Euro III	8	8	6
	HD Euro IV	17.4	21.4	17.4
	HD Euro V	45.6	61.6	51.6
	HD Euro VI	56.5	59.5	44.5
Articulated > 34t	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	18	15	11
	HD Euro II	18	15	10
	HD Euro III	9	9	7
	HD Euro IV	19	23.4	19.2
	HD Euro V	49	66.6	55.8
	HD Euro VI	61	64	48
Diesel Urban busses	Conventional	30		
	HD Euro I	12		
	HD Euro II	12		
	HD Euro III	6		
	HD Euro IV	12.8		
	HD Euro V	33.2		
	HD Euro VI	41.5		

Ook voor vrachtwagens zijn er sterke overeenkomsten met de emissiefactoren bepaald door TNO. De IPCC emissiefactoren voor Euro I-III vrachtwagens lichter dan 28 ton zijn identiek, behalve dat de TNO emissiefactoren als bovengrenzen zijn gegeven. Voor zwaardere vrachtwagens komen de IPCC emissiefactoren identiek aan de TNO resultaten voor halve belading en wederom zijn de TNO emissiefactoren gegeven als bovengrenzen. Ook hier is het dus aannemelijk dat de N<sub>2</sub>O emissiefactoren gebruikt door het IPCC grotendeels zijn gebaseerd op TNO metingen.

Bij de TNO metingen [Riemersma et al. 2003] waarop de Nederlandse emissiefactoren zijn gebaseerd waren nog geen voertuigen van Euro IV en later beschikbaar. De IPCC emissiefactoren kunnen in dat opzicht de Nederlandse emissiefactoren verder aanvullen. Het is echter niet geheel duidelijk hoe deze emissiefactoren tot stand zijn gekomen en in welke mate deze zijn gebaseerd op Amerikaanse voertuigen. De enige bron waar naar verwezen wordt is in het Grieks (Papathanasiou & Tzircas, 2005). Maar daarin is slechts één nieuwe referentie naar meetdata opgenomen uit 2004, over het effect van veroudering van de eerste driewegkatalysator. De IPCC emissiefactoren voor nieuwere euroklassen komen echter niet overeen met de metingen van TNO uit 2009 [Vermeulen & Eijk 2010].

#### **4.3 Vernieuwde emissiefactoren**

Doordat er in het afgelopen decennium zeer weinig metingen zijn verricht aan Europese voertuigen is het niet mogelijk om op basis van de literatuur nieuwe N<sub>2</sub>O emissiefactoren op te stellen. Ook blijken de IPCC emissiefactoren zeer sterk overeen te komen met de beschikbare Nederlandse emissiefactoren zoals vastgesteld door TNO. Er is dus weinig mogelijkheid en reden om nieuwe emissiefactoren op te stellen. Het wordt dan ook aanbevolen om de huidige emissiefactoren aan te houden. Voor nieuwere voertuigtypen waarvoor geen of weinig meetdata beschikbaar is worden de IPCC emissiefactoren overgenomen, ondanks dat de bron onduidelijk blijft na meermaals contact met de personen die verantwoordelijk zijn voor het Griekse onderzoek (Papathanasiou & Tzircas, 2005). Voor pré-Euro benzine voertuigen wordt aangenomen dat deze geen N<sub>2</sub>O uitstoten, vanwege het ontbreken van een katalysator. De nieuwe emissiefactoren staan in de Bijlage.



## 5 Conclusies

Er zijn gedurende het afgelopen decennium zeer weinig nieuwe inzichten verkregen omtrent de N<sub>2</sub>O emissie van wegverkeer. Er is dus weinig mogelijkheid en reden om nieuwe emissiefactoren op te stellen. Het wordt dan ook aanbevolen om de huidige emissiefactoren aan te houden. Voor nieuwere voertuigtypen waarvoor geen eigen inzichten bestaan worden de door de IPCC gehanteerde emissiefactoren overgenomen. Voor pré-Euro benzine voertuigen wordt aangenomen dat deze geen N<sub>2</sub>O uitstoten, omdat deze geen katalysator bevatten. De nieuwe emissiefactoren staan in de Bijlage.

Voor de toekomst is het belangrijk om beter vast te stellen wat de rol van nabehandelingssystemen is. Dergelijke systemen worden steeds vaker toegepast om de uitstoot van gereguleerde emissies onder de Euronormen te krijgen, maar hebben vaak als bijeffect een toename van de N<sub>2</sub>O emissie. Gezien de toenemende relevantie van nabehandelingssystemen is er dus een reële mogelijkheid dat de totale N<sub>2</sub>O emissie van wegverkeer zal toenemen.

Ook zullen andere nieuwe technieken die de komende jaren op de markt komen onderzocht moeten worden op het effect op de N<sub>2</sub>O emissies. Voor benzine voertuigen zal bijvoorbeeld de direct injectie techniek steeds prominenter worden. Er bestaan echter aanwijzingen dat de direct injectie techniek leidt tot een factor 2 hogere N<sub>2</sub>O emissie [Rahman et al. 2011].

Daarnaast zijn er nog steeds enkele vragen waarop geen duidelijk antwoord is. Katalysator veroudering is bijvoorbeeld nog niet goed gekwantificeerd, maar zou in theorie grote gevolgen kunnen hebben voor de N<sub>2</sub>O emissie.

Al met al speelt N<sub>2</sub>O veroorzaakt door wegverkeer op het moment nog een ondergeschikte rol ten opzichte van CO<sub>2</sub>. Echter met een verwachte afname van de CO<sub>2</sub> uitstoot en een verwachte toename van de N<sub>2</sub>O uitstoot is het van belang dat er aandacht voor blijft bestaan

## 6 Referenties

- Barton & Simpson, 1994, The effects of aged catalysts and cold ambient temperatures on nitrous oxide emissions, *Mobile Sources Emissions Division (MSED) report #94-21*
- Behrentz et al., 2004, Measurement of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: a pilot study, *Atmospheric Environment*, 38, 4291-4303.
- EMEP/EEA, 2009, EMEP/EEA emission inventory guidebook, Part B, Section 1.A.3.b, updated May 2012
- Feijen et al., 2001, N<sub>2</sub>O emissions from mobile sources : Impact of technology development, *TNO report R 2001/113*.
- Gense & Vermeulen, 2002, N<sub>2</sub>O formation in vehicle catalysts, *TNO report 02.OR.VM.017.1/NG*.
- Graham et al., 2008, Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles, *Atmospheric Environment*, 42, 4665-4681.
- Graham et al., 2009, Nitrous oxide emissions from light duty vehicles, *Atmospheric Environment*, 43, 2031-2044.
- Huai et al., 2003,
- Huai et al., 2004, Estimates of the emission rates of nitrous oxide from light-duty vehicles using different chassis dynamometer test cycles, *Atmospheric Environment*, 38, 6621-6629
- IPCC, 2006, IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, Chapter 3
- IPCC, 2007, Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4), Working Group I Report, "The Physical Science Basis"
- Jimenez et al., 2000, Cross road and mobile infrared laser measurements of nitrous oxide emissions from motor vehicles, *Chemosphere – Global Change Science*, 2, 397-412.
- Kamasudram et al., 2012, N<sub>2</sub>O formation and mitigation in diesel aftertreatment systems, *SAE Int. J. Engines*, 5, 688-698
- Kiel & Trenberth, 1997, Earth's annual global mean energy budget, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 197-208
- Papathanasiou & Tzircas, 2005, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N<sub>2</sub>O) ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (NH<sub>3</sub>) ΑΠΟ ΟΧΗΜΑΤΑ ΟΔΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ (0507)
- Pringent & de Soete, 1989, Nitrous oxide N<sub>2</sub>O in engine exhaust gases—a first appraisal of catalyst impact, *SAE Technical Paper, No. 890492*.
- Riemersma et al., 2003, N<sub>2</sub>O emission of HD vehicles, *TNO report 03.OR.VM.006./IJR*.
- Sasaki & Kameoka, 1992, Nitrous oxide emissions from automobiles, *Proceedings of Fifth International Workshop on Nitrous Oxide Emissions*, pp. 1-8
- Vermeulen & Eijk, 2010, In-service testing programme for heavy-duty vehicle and engine emissions; 2006-2009, *TNO report MON-RPT-2010-00969*

## 7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

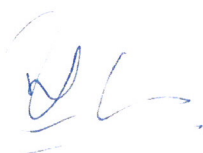
RIVM  
t.a.v. Wim van der Maas  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven

Namen en functies van de projectmedewerkers:

E. Kuiper  
A. Hensema

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:  
maart – september 2012

Naam en paraaf tweede lezer:



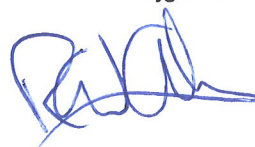
Dr. N.E. Ligterink

Ondertekening:



Ir. R. Dröge  
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Ir. R.A.W. Albers, MPA  
Research Manager

## A Emissieregistratie

Tabel 5: Emissiefactoren N<sub>2</sub>O voor licht wegverkeer. (Gense & Vermeulen 2002; IPCC, 2006, volume 2, pagina 3.24, table 3.2.5)

Voertuigtype	Brandstof en euroklasse	N <sub>2</sub> O			
		koud	WT1	WT2	WT3
		mg/km			
Personenauto's	Benzine pre-Euro	0	0	0	0
	Benzine Euro 1	38	21	13	8
	Benzine Euro 2	24	13	4	2
	Benzine Euro 3	9	5	2	1
	Benzine Euro 4 en verder	6	2	0,8	0,7
	Diesel pre-Euro	0	0	0	0
	Diesel Euro 1	0	2	4	4
	Diesel Euro 2	3	4	6	6
	Diesel Euro 3	15	9	4	4
	Diesel Euro 4 en verder	15	9	4	4
	LPG pre-Euro	0	0	0	0
	LPG Euro 1	38	21	13	8
	LPG Euro 2	23	13	3	2
	LPG Euro 3 en verder	9	5	2	1
	Bestelauto's	Benzine pre-Euro	0	0	0
Benzine Euro 1		122	52	52	52
Benzine Euro 2		62	22	22	22
Benzine Euro 3		36	5	5	5
Benzine Euro 4 en verder		16	2	2	2
Diesel pre-Euro		0	0	0	0
Diesel Euro 1		0	2	4	4
Diesel Euro 2		3	4	6	6
Diesel Euro 3		15	9	4	4
Diesel Euro 4 en verder		15	9	4	4
Motorfiets	Benzine		2	2	2
Bromfiets	Benzine		1	1	1

Tabel 6: Emissiefactoren N<sub>2</sub>O voor middelzwaar en zwaar wegverkeer. (Riemersma et al. 2003; EMEP/EEA, 2009, pagina 84, table 3-85)

Voertuigtype	Brandstof en euroklasse	N <sub>2</sub> O		
		koud	WT1	WT2
		mg/km		
Lichte vrachtauto	Diesel Euro I	6	5	3
	Diesel Euro II	5	5	3
	Diesel Euro III	3	3	2
	Diesel Euro IV	6	7	6
	Diesel Euro V	15	20	17
	Diesel Euro VI	19	19	15
Middelzware vrachtauto	Diesel Euro I	11	9	7
	Diesel Euro II	11	9	6
	Diesel Euro III	5	5	4
	Diesel Euro IV	11	14	11
	Diesel Euro V	30	40	34
	Diesel Euro VI	37	39	29
Zware vrachtauto	Diesel Euro I	19	16	11
	Diesel Euro II	18	16	10
	Diesel Euro III	10	9	7
	Diesel Euro IV	17	21	17
	Diesel Euro V	46	62	52
	Diesel Euro VI	57	60	45
Trekker	Diesel Euro I	20	17	11
	Diesel Euro II	20	17	11
	Diesel Euro III	11	10	7
	Diesel Euro IV	19	23	19
	Diesel Euro V	49	67	56
	Diesel Euro VI	61	64	48
Autobus	Diesel Euro I	12	10	7
	Diesel Euro II	12	10	7
	Diesel Euro III	6	6	5
	Diesel Euro IV	13	14	11
	Diesel Euro V	33	40	34
	Diesel Euro VI	42	39	29