

Stieltjesweg 1
Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 15 269 20 00

F +31 15 269 21 11

info-lenT@tno.nl

TNO-rapport

MON-RPT-2010-01087

**Praktijk emissiemetingen aan een VDL
Ambassador Euro V EEV bus**

Datum	1 september 2010
Auteur(s)	R.J. Vermeulen
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht Bestuur Regio Utrecht Ministerie van VROM
Projectnummer	033.23400
Aantal pagina's	20
Aantal bijlagen	-

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

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

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

© 2010 TNO

Samenvatting

Gemeente Utrecht en Bestuur Regio Utrecht hebben TNO gevraagd om de uitlaatgasemissies en het brandstofverbruik van een VDL Ambassador Euro V EEV stadsbus onder praktijkcondities met speciale meetapparatuur op de weg te meten.

Er is vastgesteld dat de NO₂ concentratie in de buitenlucht in relatie tot de luchtkwaliteitsnorm in bepaalde delen van de stad Utrecht op straatniveau op een kritisch niveau ligt. Stadsbussen leveren een aanzienlijke bijdrage aan dat niveau. Van de VDL Ambassador EEV is bekend dat deze een potentieel hoge NO₂ uitstoot heeft (referentie [Kadijk 2007]) vanwege het gemonteerde roetfilter (CRT, Continuous Regenerating Trap). Dit roetfilter is gemonteerd om aan de EuroV EEV eis voor de deeltjesuitstoot te voldoen.

Vanwege de geconstateerde problemen en de potentieel hoge bijdrage van de specifieke bus is besloten om de bijdrage van de bus in de praktijk nader te onderzoeken om zo meer inzicht te krijgen in de werkelijke uitstoot. In eerste instantie is in een voorgaand project met een eenvoudige indirecte meting langs de kant van de weg op afstand gemeten aan de NO₂ fractie van de uitstoot van de VDL bussen met CRT [de Lange 2009]. Bij deze puntmeting op locatie bleek de gemiddelde NO₂ fractie slechts 20 %. Dit zou kunnen duiden op een meevallend resultaat, maar de metingen lieten een grote spreiding zien. Vanwege de onzekerheden is besloten om ook de emissies van een VDL bus direct uit de uitlaat te meten, gedurende daadwerkelijk bedrijf in de praktijk. Het meetprogramma van de praktijkmetingen aan de bus en de resultaten ervan worden in dit rapport beschreven.

Uit de resultaten van de praktijkmetingen aan de bus is gebleken dat de fractie van de NO₂ uitstoot in de totale NO_x uitstoot inderdaad vrij hoog is. De fractie ligt rond 40%. Daarentegen is de totale NO_x uitstoot van de bus vrij laag, waardoor de NO₂ uitstoot ondanks de hoge fractie weer rond de normale uitstoot van een vergelijkbare Euro V dieselbus ligt. Bijkomende voordelen van de bus zijn de lage deeltjesuitstoot door toepassing van de roetfilter en de lage NO uitstoot. De NO draagt echter ook voor een deel bij aan de uiteindelijke NO₂ concentratie in de buitenlucht.

Om zeker te stellen dat voertuigen die in de toekomst voor de Concessie 'Bestuur Regio Utrecht, 2011' aangeschaft moeten worden schoon genoeg zijn, is het mogelijk om aanvullend op de bestaande EU emissiewetgeving in het plan van eisen van het bestek een norm te stellen aan de uitstoot van NO₂ en NO_x onder praktijkcondities. De in dit onderzoek gebruikte methodiek met SORT testen en het PEMS emissiemeetsysteem kan dienen als basis voor de ontwikkeling van een controleprocedure.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Experimentele procedure	5
2.1	Voertuig- en motorspecificaties.....	5
2.2	Meetapparatuur.....	5
2.3	Testprogramma.....	6
3	Resultaten	9
3.1	Praktijkritten.....	9
3.2	SORT.....	9
3.3	Uitwerking.....	10
4	Discussie	14
5	Conclusies	17
6	Referenties	19
7	Ondertekening	20

1 Inleiding

Onlangs zijn er berekeningen gedaan aan de luchtkwaliteit in Utrecht en is vastgesteld dat de NO₂ concentratie in de buitenlucht in relatie tot de luchtkwaliteitsnorm in bepaalde delen van Utrecht op straatniveau op een kritisch niveau ligt. Om deze reden zijn vervolgens verschillende onderzoeken verricht; er is gerekend met een emissiemodel (CAR) en er zijn metingen langs de weg uitgevoerd.

In de berekeningen met het emissiemodel (CAR) is gebleken dat de bestaande vloot bussen een aanzienlijke bijdrage levert aan de directe NO₂ uitstoot op straatniveau in delen van Utrecht. Vanwege het belang van de directe NO₂ uitstoot van de bussen voor de luchtkwaliteit heeft de gemeente Utrecht TNO gevraagd om de NO₂ uitstoot van een bus langs de weg te meten [de Lange 2009]. De metingen langs de weg gaven een verstrooid beeld. Daarom is besloten om de bus onder representatieve rijcondities te meten. De VDL Ambassador Euro V EEV bus is gekozen voor de metingen omdat deze vanwege zijn specifieke technologie om deeltjes te reduceren, de CRT (Continuous Regenerating Trap), naar verwachting een hoge NO₂ uitstoot heeft en dus relatief veel bij zou dragen aan de problematiek. Door middel van metingen wordt inzicht verkregen in hoe de NO₂ uitstoot van de bus zich in de praktijk verhoudt tot de emissiefactoren die in de emissiemodellen worden gebruikt voor bussen met de gegeven deeltjesreductietechnologie.

De huidige Europese richtlijnen normen voor de uitstoot van schadelijke stoffen door zware voertuigen voorziet nog niet in normen voor de NO₂ uitstoot. Daarbij voorziet de wetgeving tevens niet in een norm voor de absolute uitstoot in grammen per kilometer van een voertuig, maar aan de specifieke uitstoot van een motor in grammen per kilowattuur. Vanwege de NO₂ problematiek en de achterblijvende wetgeving heeft Bestuur Regio Utrecht het voornemen om een norm te stellen aan de NO₂ uitstoot bij een bestek van in 2011 nieuw aan te schaffen bussen. De metingen zullen bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in de technische mogelijkheden voor het stellen van een norm.

Ook het Ministerie van VROM heeft interesse om een Euro V of Euro V EEV bus door te meten met behulp van het mobiele meetsysteem. De uitvoering daarvan kan gebeuren binnen het lopende steekproefcontroleprogramma voor vrachtwagens dat door het Ministerie van VROM wordt gefinancierd. Het meetprogramma is ingesteld op het meten onder representatieve condities van het betreffende voertuig zodat de metingen aan een bus over een representatieve rit in Utrecht goed aansluiten bij de doelstellingen van het programma. Dit schiep de mogelijkheid om voor beide partijen een goed passend meetprogramma uit te voeren waarbij de kosten werden gedeeld.

2 Experimentele procedure

2.1 Voertuig- en motorspecificaties

Voertuig

Merk	VDL
Type	Ambassador
Opgegeven ledig gewicht	8,8 t
Belading conform SORT	3,0t (15stuks 200 ltr drums gevuld met water)
Lengte	12 m
Versnellingsbak	Voith D854.5 ^E , 4 versnellingen
Km-tellerstand	42932 km
Inzet	Gecombineerd stad, buitenweg

Motor

Merk	Cummins
Type	ISBe5 225B
Vermogen	165 kW @ 2500 min ⁻¹
Cilinderinhoud	6,7 dm ³
Emissiewetgevingscategorie	Euro V EEV (2005/55/EC, Rij B2, letter I)
Emissiereductie	SCR en CRT
Brandstof	Handelsbrandstof EN590 dieselolie

2.2 Meetapparatuur

Het gebruik van PEMS (Portable Emission Measurement System) wordt uitvoerig beschreven in referentie [JRC 2006]. PEMS zal binnenkort in EU wetgeving worden voorgeschreven als middel om de 'In-Service Conformity' te controleren van de uitstoot van schadelijke stoffen van HD (Heavy-Duty) motoren en voertuigen. De technische procedure voor het bepalen van de uitstoot van gasvormige stoffen is afgerond en wordt al op enkele plekken in Europa toegepast om de emissies van HD-voertuigen onder praktijkcondities te kunnen bepalen. De procedure voor het meten van deeltjes (PM, Particulate Matter) is op het moment van schrijven nog in ontwikkeling. Vandaar dat de deeltjesmeting niet is opgenomen in het programma.

Specifiek voor de doelstelling van het bepalen van de NO₂ fractie in de uitlaatgassen is het belangrijk dat zowel NO als NO₂ op de juiste manier wordt gemeten. Het is belangrijk dat de meting in het onverdunde uitlaatgas plaatsvindt, dat NO en NO₂ simultaan worden bemonsterd en geanalyseerd en dat de monsterleiding verwarmd is om condensvorming tegen te gaan. De methode met PEMS voldoet aan de specificaties die gesteld kunnen worden voor een goede meting van NO₂.

PEMS (Portable Emission Measurement System)

Merk	Sensors
Type	Semtech DS
Exhaust flow meter	Sensors EFM II, 4"tube
Emissies	CO ₂ , THC, O ₂ , NO, NO ₂ , NO _x

Brandstofverbruik	Koolstofbalans (ondermeer 80/1268/EC), standaard H/C verhouding (uit 70/220/EC) en dichtheid (835 kg/m ³)
Motor en voertuigparameters	CAN (SAE J1939)
GPS	Longitude, Latitude, Altitude, Vehicle Ground Speed
Weerstation	Buitentemperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid
PSU	Honda 20i (2kW)



Figure 1; PEMS in de bus, samen met 15 stuks 200 ltr drums gevuld met water voor de belading van 3t.

2.3 Testprogramma

DAG 1; Praktijkritten

Met het voertuig zijn 3 buslijnen van Connexxion (lijn 63, 74 en 77) in en rondom Utrecht nagedren om zo een representatief beeld te kunnen krijgen van de praktijkemissies onder een tal van rijomstandigheden. Bij de keuze van de buslijnen is gekeken naar een verdeling waarbij zoveel mogelijk verschillende situaties voorkomen om zo de voorkomende ritkarakteristieken zo breed mogelijk af te dekken. In de ritten zitten ondermeer; busstation, (binnen-)stad, haltes, ontsluitingwegen, rotondes, buitenweg, opritten en afritten, autosnelweg, een grote brug (Lek, Vianen) en ritten in de omliggende steden (Bilthoven, Zeist, Nieuwegein).

Bij het rijden is zoveel mogelijk geprobeerd om het normale rijgedrag te volgen, waarbij ook bij haltes werd gestopt en de deuren werden bediend om het in- en uitstappen van passagiers te simuleren. Voor de praktijkritten is een ervaren chauffeur van Connexxion ingezet met werkervaring op de betreffende buslijnen.

- Lijn 63 Utrecht CS – A12 – A2 – Vianen
- Lijn 74 Zeist – Utrecht CS – Nieuwegein – Vianen
- Lijn 77 Bilthoven NS – Utrecht CS – Nieuwegein

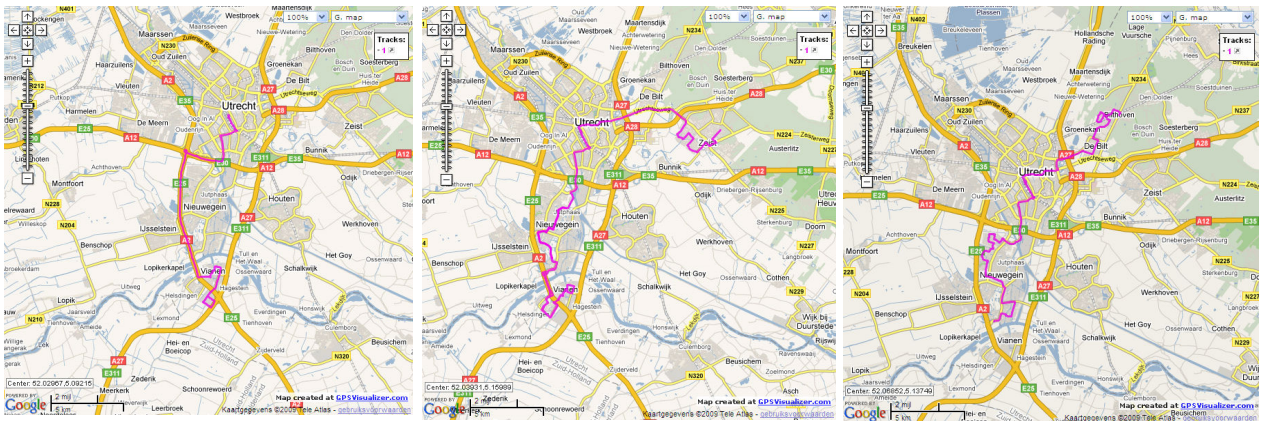


Figure 2; gereden routes van respectievelijk lijn 63, 74 en 77, zoals gemeten met de GPS.

De praktijk testen zijn uitgevoerd bij droog weer, ongeveer 21 tot 27 °C, 1007mbar, 60-70% relatieve luchtvochtigheid en weinig wind.

DAG 2; SORT

SORT (Standardised On-Road Test-Cycles) is een testprocedure die speciaal door het UITP buscomité is ontwikkeld om het brandstofverbruik van bussen te kunnen meten. Reden voor de ontwikkeling van de test is het onderling kunnen vergelijken van het brandstofverbruik van bussen voor concessies in het openbaarvervoer.

De SORT procedure bestaat uit 3 typische, enigszins stilistische afstand-tijd cycli (trapezes) die op een vlak stuk weg zonder overig verkeer, onder strikte omgevingscondities op de weg redelijk goed nagereden kunnen worden. De 3 cycli verschillen in gemiddelde snelheid en het idee hierbij is dat de 3 cycli zo gewogen kunnen worden dat de werkelijke inzet (bijvoorbeeld de verdeling stad-buitenweg) van een bus zo goed mogelijk benaderd kan worden. De test is tot nu alleen gevalideerd voor standaard bussen met een lengte van 12 meter.

Urban operation

Urban base cycle
SORT 1 (12 km/h)

Mixed base cycle
SORT 2 (17 km/h)

Suburban operation

Suburban base cycle
SORT 3 (27 km/h)

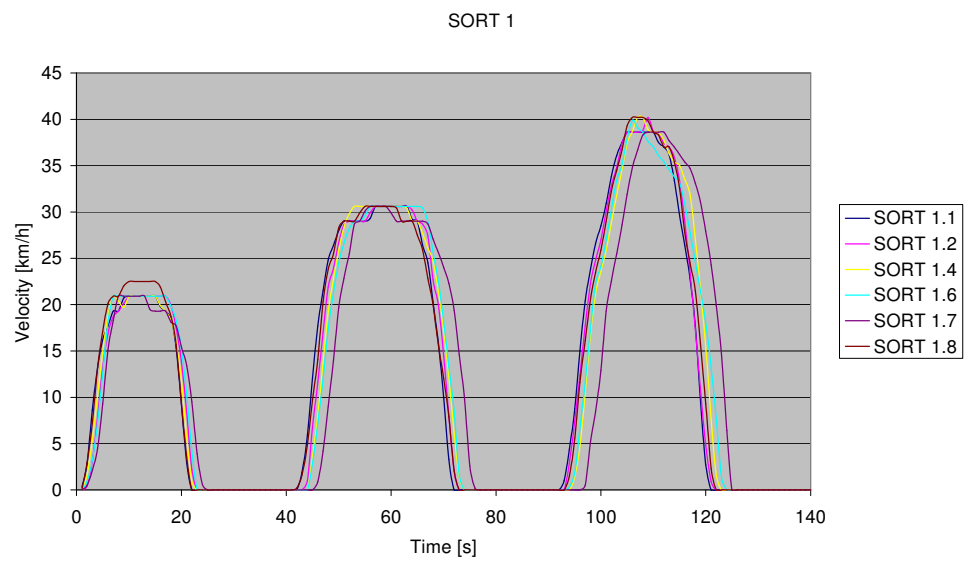


Figure 3; een reeks herhaalde SORT testen van het type 1 (gemiddelde snelheid ongeveer 12 km/u)

De SORT delen zijn elk meerdere malen herhaald in twee rijrichtingen. Hiermee wordt de invloed van wisselende omgevingscondities zoveel mogelijk uitgemiddeld. Enkele mislukte SORT testen zijn uit de dataset verwijderd. De SORT testen zijn uitgevoerd bij droog weer, ongeveer 20 tot 26 °C, 1012 mbar, 50 % relatieve luchtvochtigheid en weinig wind.

3 Resultaten

3.1 Praktijkritten

In de tabel hieronder staat een overzicht van de praktijkemissies en het praktijk brandstofverbruik, gemiddeld over de hele gereden buslijnen. De massafractie NO₂ bedraagt 32 tot 45% en ligt daarmee op een vergelijkbaar niveau als de metingen aan de VDL bus van hetzelfde type op de rollenbank bij VTT in Finland, zie [Kadijk, 2007]. De NO_x uitstoot over de praktijkritten is met 1,3 tot 2,8 g/km laag te noemen. De emissiefactor (in de bussenmodule bij CAR) voor deze technologie (emissieklasse) voor stadsgebruik is namelijk 4,5 g/km bij een gemiddelde snelheid van ongeveer 22 km/u.

Tabel 1; gemiddelde resultaten over de 3 buslijnen

Test	Afgelegde weg	Ge-middelde snelheid	FC	CO ₂	CO	THC	NO _x	NO _x *	Massa-% NO ₂
	[m]	[km/u]	[l/100km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/kWh]	[%]
<i>Lijn 63</i>	23254	38	25,7	680	0,81	0,01	1,32	0,99	41
<i>Lijn 74</i>	52522	24	32,3	855	0,62	0,01	2,14	1,24	32
<i>Lijn 77</i>	31869	22	31,5	833	0,74	0,07	2,77	1,65	45

* De onzekerheidsmarge van de specifieke NO_x uitstoot in g/kWh wordt geschat op ±20%. De oorzaak van de grote marge is de onzekerheid van de bepaling van de motorarbeid (kWh). De motorarbeid is berekend uit door de ECU (voertuigcomputer) geleverde signalen van motorkoppel en toerental.

3.2 SORT

In de tabel hieronder staat een overzicht van de emissies en het brandstofverbruik over de 3 SORT testen zoals gemeten op de weg en van de SORT 3 test zoals gereden op de rollenbank bij VTT in Finland. De SORT testen op de weg zijn meerdere keren herhaald. De meetvariatie (2 maal de standaarddeviatie) tussen de achterelkaar uitgevoerde testen is ongeveer 3-4% voor het brandstofverbruik en ongeveer 25% voor de NO_x uitstoot en de NO₂ massafractie. De relatief hogere spreiding op de NO_x uitstoot wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de tussenkomst van de SCR katalysator die wordt toegepast voor de vermindering van de NO_x uitstoot. Het rendement van de katalysator is sterk afhankelijk van de regeling van de katalysator (met ureumdosering). De variaties van THC en CO zijn relatief hoog maar blijken uit ervaring normaal bij deze lage emissieniveaus.

De NO_x uitstoot en het brandstofverbruik nemen sterk toe als de gemiddelde snelheid lager wordt.

Tabel 2; resultaten over de 3 SORT testen (gemiddelde en de spreiding 2σ in procenten)

		n	Ge- middelde snelheid [km/u]	Afge- legde weg [m]	FC [l/100km]	CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	THC [g/km]	NO _x [g/km]	Massa- % NO ₂ [%]
SORT 1	Gemiddelde	5	12,5	493	46,10	1219	1,21	0,0	11,32	35
	stdev * 2 [%]		2	1	4	4	14	260	19	25
SORT 2	Gemiddelde	6	19,1	880	36,35	961	1,00	0,0	6,19	29
	stdev * 2 [%]		2	0	4	4	5	103	26	13
SORT 3	Gemiddelde	5	28,3	1397	32,75	866	0,67	0,0	3,58	29
	Stdev * 2 [%]		5	1	3	3	8	82	23	21
SORT 3 VTT	Gemiddelde	2	27,45	1452	32,80	796	0,10	0,0	4,1	34
	afwijking [%]		-3	4	0	-8	-85	0	14	20

3.3 Uitwerking

In onderstaande grafieken zijn alle gemiddelde testwaarden van het brandstofverbruik en van de NO_x uitstoot over de praktijkritten en de SORT testen in een grafiek tegen de gemiddelde snelheid van de test uitgezet.

Duidelijk valt de afhankelijkheid van de gemiddelde snelheid op. Het brandstofverbruik neemt toe en de NO_x uitstoot en de NO₂ neemt sterk toe bij afname van de gemiddelde snelheid.

De emissie van NO_x ligt bij stadsgebruik (gemiddelde snelheid rond 20 km/u) zeer laag. De emissiefactor die gebruikt wordt ligt op 4,5 g/km terwijl de bus bij vergelijkbare gemiddelde snelheden beduidend minder NO_x uitstoot.

De NO₂ uitstoot is vergelijkbaar met de emissiefactor, maar varieert enigszins. De NO₂ uitstoot is afhankelijk van veel factoren zoals de rijcondities en de eventuele regeneratie van deeltjes in de roetfilter.

De SORT testen lijken wat hoger te liggen dan de praktijktesten. Voor SORT 1 en 2 wordt dit duidelijk verklaard door de lagere gemiddelde snelheid van de testen. Vooral voor SORT 3 ligt bij gelijkblijvende snelheid het brandstofverbruik wat hoger. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de relatief hoge dynamiek van de SORT test. Elke acceleratie wordt namelijk uitgevoerd met vol gas. Dit is bij de ontwikkeling van de test zo gekozen omdat de test dan gemakkelijk op de weg is na te rijden.

Voorts valt op dat de NO_x uitstoot van de SORT testen flink hoger ligt dan bij de praktijktesten. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de uitvoeringswijze van de SORT testen. De SORT testen zijn namelijk niet direct na elkaar gereden. Dit heeft

ervoor gezorgd dat de temperatuur van de SCR katalysator niet heeft kunnen stabiliseren maar na elke test iets is afgekoeld zodat uiteindelijk minder NO_x is gereduceerd dan het geval zou zijn bij een op een hogere temperatuur gestabiliseerde katalysator.

Ook opvallend is dat snelweggebruik (subtrip van lijn 63) ver buiten het SORT bereik valt. Dit geldt mogelijk ook voor buitenweggebruik. SORT test 3 is de snelste met een gemiddelde snelheid van 28 km/u en een testdeel waarbij maximaal 60 km/u wordt gereden. De SORT testen lenen zich daarom niet goed voor het vastleggen van het brandstofverbruik op de snelweg en mogelijk ook minder goed voor de buitenweg.

Wanneer de SORT testen worden ingezet bij normering van emissies en brandstofverbruik dan is het advies om met de afwijkende karakteristieken en de resulterende afwijkende resultaten van de test rekening te houden in de ontwikkeling van de testprocedure voor de concessie.

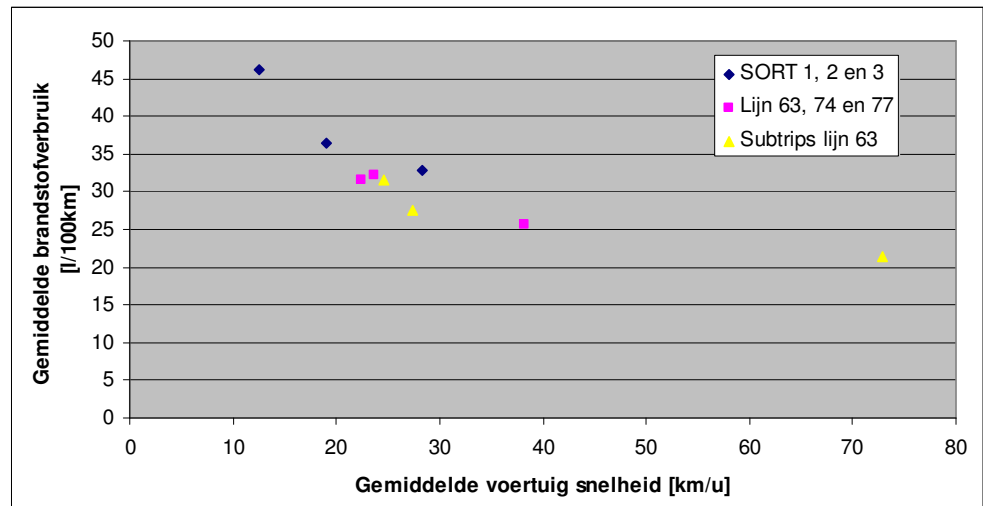


Figure 4; gemiddeld brandstofverbruik over de praktijkritten (de 3 buslijnen) en de 3 SORT testen. Lijn 63 is tevens opgedeeld in verschillende delen (Subtrips; 2x stad en 1x snelweg).

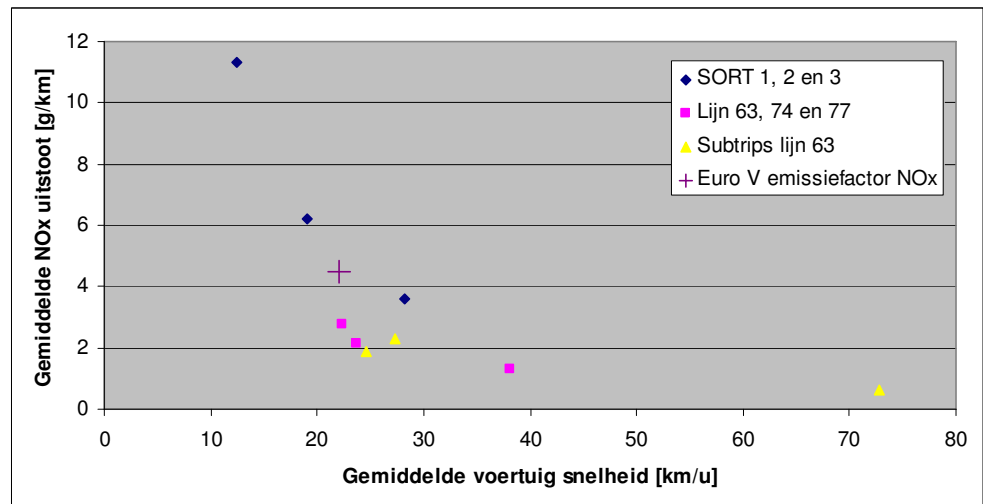


Figure 5; gemiddelde NO_x uitstoot over de praktijkritten (de 3 buslijnen) en de 3 SORT testen. Lijn 63 is tevens opgedeeld in verschillende delen (Subtrips; 2x stad en 1x snelweg). Tevens weergegeven is de Euro V emissiefactor voor NO_x.

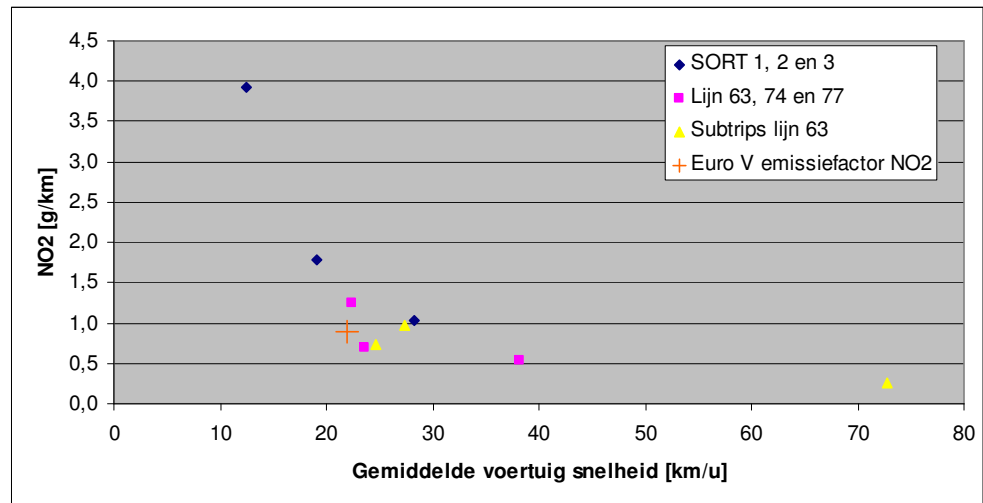


Figure 6; gemiddelde NO₂ uitstoot over de praktijkritten (de 3 buslijnen) en de 3 SORT testen en de emissiefactor voor de NO₂ uitstoot van Euro V bussen.

Uit de grote hoeveelheid data per seconde is de NO_x en NO₂ data gegroepeerd in snelheidsintervallen van vijf km/u. Dat levert een beeld van de emissieprestatie over het hele snelheidsbereik van het voertuig. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven. Opvallend is de forse afhankelijkheid van de NO_x uitstoot van de voertuigsnelheid. Dit effect is bekend van zware Euro V voertuigen.

Tabel 3; de uitstoot van NO_x, NO₂ en de NO₂ fractie van de VDL Ambassador per snelheidsinterval.

	NO _x	NO ₂	%-NO ₂
[km/uur]	[g/km]	[g/km]	[%]
5-10	14,73	5,66	38
10-15	6,83	1,96	29
15-20	3,69	1,33	36
20-25	2,18	0,80	37
25-30	1,28	0,57	44
30-35	0,82	0,38	46
35-40	1,04	0,50	48
40-50	0,60	0,37	62
50-60	0,78	0,28	37
60-70	0,55	0,24	43
>70	0,57	0,25	45

4 Discussie

De bijdrage van het verkeer aan de buitenluchtconcentraties wordt door een emissiemodel (CAR) gemodelleerd. Het model werkt met standaard emissiefactoren voor voertuigcategorieën van verschillende emissiewetgevingsklassen (Euroklassen). In specifieke situaties kan het echter wenselijk zijn om te kijken naar de daadwerkelijke emissies van voertuigen in de praktijk.

In het CAR model werd gerekend met 4,5 g/km voor de NO_x uitstoot en een NO₂ fractie van 20%, dit komt samen neer op 0,9 g/km NO₂ uitstoot. Bij de VDL bus is de NO₂ uitstoot voor vergelijkbare rijcondities tussen de 0,7 en 1,25 g/km, maar is de totale NO_x uitstoot slechts 1,3 tot 2,8 g/km.

Hieruit blijkt dat de VDL bussen, ondanks de hoge NO₂ fractie maar dankzij de lage NO_x uitstoot op het gebied van NO₂ uitstoot ongeveer even schoon zijn als een gemiddelde Euro V dieselbus.

Er is een verschil geconstateerd tussen de metingen aan de bus en de metingen langs de weg in de Lange Janstraat. De NO₂ fractie langs de weg was ter plaatse ongeveer 20%, terwijl het gemiddelde over het praktijkgebruik van de bus ongeveer 40% was. Dit verschil komt waarschijnlijk doordat de ene meting een puntmeting is, dat wil zeggen op één locatie, terwijl de andere meting een praktijkmeting is over het hele gebruiksgebied van de bus. Omdat de NO₂ fractie tijdens het gebruik van de bus varieert is het mogelijk dat ter plaatste van de puntmeting juist in een situatie is gemeten waarbij de bussen een lage NO₂ fractie hebben, bijvoorbeeld bij het accelereren. Een andere mogelijke oorzaak ligt in het verschil van de methodes; bij de meting langs de weg spelen de omstandigheden een grote rol en kunnen leiden tot verstrooiing van de resultaten. Bij de busmeting is de directe NO₂ uitstoot uit de uitlaat gemeten en vindt die verstrooiing niet plaats. De meting langs de weg liet wel een toename zien van de NO₂ fractie wanneer de VDL bus passeerde, de toename was echter beperkt.

Er is een discrepantie ontstaan tussen buitenluchtkwaliteitsnormen enerzijds en normen t.a.v. bronbeleid (voertuigen) anderzijds. Buitenluchtkwaliteitsnormen worden gesteld aan NO₂ vanwege de schadelijkheid van deze stof, terwijl voor voertuigen slechts een norm wordt gesteld aan de NO_x uitstoot (de som van NO en NO₂). Dit heeft in enkele gevallen geleid tot technologische oplossingen die weliswaar resulteren in een lage deeltjesuitstoot, maar die vanwege dezelfde technologische oplossingen een hoge NO₂ fractie in de NO_x uitstoot hebben en daardoor nog steeds fors bijdragen aan de luchtkwaliteitsproblematiek. Voor een toekomstige concessie met aanschaf van een nieuw bussempark zou een norm, te stellen aan de NO₂ uitstoot, al dan niet in combinatie met een norm aan de NO uitstoot, een oplossing kunnen zijn voor de ontstane discrepantie.

Vanwege de problematiek is het dus interessant om te gaan kijken naar de mogelijkheid om een eis te stellen aan de NO₂ uitstoot voor een bestek voor nieuw aan te schaffen bussen die in 2011 aangeschaft gaan worden. Hiermee zou het risico op een hoge NO₂ uitstoot vermeden kunnen worden. Voor het stellen van een norm zou een eenvoudige nieuwe methodiek ontwikkeld moeten worden omdat de huidige EU emissiewetgeving hier nog niet in voorziet. Deze methodiek kan worden gebaseerd op bestaande procedures. De metingen in dit onderzoek zullen daarom voor een deel bestaan uit het uitvoeren van een testprocedure zoals die door de UITP is opgezet om het

praktijkbrandstofverbruik van stadsbussen onderling te kunnen vergelijken, de SORT (Standardised On-Road Test Cycles). Deze test is mogelijk geschikt om uit te breiden met een NO₂ meting.

De hoge NO₂ massafractie (fractie van de NO_x uitstoot) van 35 tot 42% zoals gemeten in (referentie [Kadijk 2007]) aan een bus van hetzelfde merk en type, wordt door de praktijkmetingen bevestigd. De praktijkmetingen laten een NO₂ fractie van een vergelijkbaar niveau zien, namelijk 32 tot 45%.

De gemeten NO_x uitstoot (NO en NO₂) over de praktijkmetingen is vrij laag. De gemiddelde NO_x uitstoot over een hele rit (lijn) varieerde van 1,3 g/km voor de lijn met de hoogste gemiddelde snelheid tot 2,8 g/km voor de lijn met de laagste gemiddelde snelheid. De gemiddelde emissiefactor voor een stadsbus over een stadsrit is 4,5 g/km. Ook de specifieke NO_x uitstoot is relatief laag; 1,0 tot 1,7 g/kWh.

De lage NO_x uitstoot in combinatie met de hoge NO₂ fractie zorgen ervoor dat de bus wat betreft absolute NO₂ uitstoot vergelijkbaar presteert als reguliere Euro V dieselbussen. Een voordeel van de gemeten bus is dat de NO uitstoot en de deeltjesuitstoot (roetfilter) beide laag zijn vergeleken met de reguliere Euro V dieselbussen.

De NO_x uitstoot is gemiddeld over hele buslijnen. Lokaal kan de NO_x uitstoot in g/km fors toenemen. De gemiddelde snelheid en de rijdynamiek (acceleraties) hebben veel invloed op dat niveau. Bij afname van de gemiddelde snelheid neemt de NO_x uitstoot fors toe, evenals bij toename van de rijdynamiek. Andersom geldt ook; bij toename van de snelheid en afname van de dynamiek neemt de NO_x uitstoot af.

De fractie NO₂ varieert ook over de ritten en is afhankelijk van het gebruik van de bus; bij stationair draaien is de fractie hoog, tot 60%, maar dan is de absolute uitstoot laag. Bij acceleraties daalt de NO₂ fractie naar 15 tot 25%, maar dan is de absolute NO_x uitstoot hoog.

De SORT testen herhalen naar verwachting; van een reeks achter elkaar uitgevoerde testen was de meetvariatie (2 maal de standaarddeviatie) van het brandstofverbruik 3-4% en van de NO_x uitstoot 25%. De variatie van de NO_x uitstoot is relatief hoog, waarschijnlijk vanwege de tussenkomst van de SCR katalysator en de ureumdoseerstrategie. Bij het toepassen van SORT als test voor de normering van brandstofverbruik en uitstoot van NO₂ zal rekening met de meetvariatie gehouden moeten worden.

De SORT testen 1, 2 en 3 zijn vergeleken met de praktijktesten van de buslijnen. De SORT testen lijken te resulteren in een iets hoger verbruik en een flink hogere NO_x uitstoot dan de praktijkritten. Het iets hogere verbruik wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hogere acceleraties in de SORT testen. De hogere NO_x uitstoot wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de wijze waarop de testen zijn uitgevoerd en de gevoeligheid van de NO_x emissie hiervoor. De SORT testen zijn namelijk niet direct achter elkaar uitgevoerd waardoor er geen temperatuuropbouw en stabilisatie heeft kunnen plaatsvinden in de SCR katalysator. Tussen elke SORT test is de SCR katalysator telkens een beetje afgekoeld. Wanneer de katalysator afkoelt kan er minder NO_x gereduceerd worden.

Bij het toepassen van SORT als test voor de normering van brandstofverbruik en uitstoot van NO₂ zal hiermee rekening gehouden moeten worden. Zo zal het voor de

NO₂ normering belangrijk zijn om voor te schrijven dat de SORT tests direct na elkaar gereden worden zodat de temperatuur in de SCR katalysator de kans krijgt om te stabiliseren.

5 Conclusies

Praktijkemissies lijn 63, 74 en 77

De hoge NO₂ massafractie (fractie van de NO_x uitstoot) van 35 tot 42% zoals gemeten in (referentie [Kadijk 2007]) aan een bus van hetzelfde merk en type, wordt door de praktijkmetingen bevestigd. De praktijkmetingen laten een NO₂ fractie van een vergelijkbaar niveau zien, namelijk 32 tot 45%.

Echter, de NO_x uitstoot (NO + NO₂) over de praktijkmetingen is vrij laag. De gemiddelde NO_x uitstoot over een hele rit (lijn) varieerde van 1,3 g/km voor de lijn met de hoogste gemiddelde snelheid tot 2,8 g/km voor de lijn met de laagste gemiddelde snelheid. De emissiefactor voor een gemiddelde Euro V stadsbus over een stadsrit is 4,5 g/km. Ook de specifieke NO_x uitstoot is relatief laag in vergelijking met ervaringsgetallen van de praktijkprestatie van Euro V HD voertuigen; 1 tot 1,7 g/kWh.

De lage NO_x uitstoot in combinatie met de hoge NO₂ fractie zorgen ervoor dat de bus wat betreft absolute NO₂ uitstoot vergelijkbaar presteert als reguliere Euro V dieselbussen. Een voordeel van de gemeten bus is dat de NO uitstoot en de deeltjesuitstoot (roetfilter) beide laag zijn vergeleken met de reguliere Euro V dieselbussen.

De NO_x uitstoot is gemiddeld over hele buslijnen. Lokaal kan de NO_x uitstoot in g/km fors toenemen. De voertuigsnelheid en de rijdynamiek (acceleraties) hebben veel invloed op dat niveau. De NO_x uitstoot neemt toe bij een hogere dynamiek maar neemt vooral fors toe bij een lage voertuigsnelheid.

De fractie NO₂ varieert over de ritten en is afhankelijk van het actuele gebruik van de bus; bij stationair draaien is de fractie hoog, tot 60%, maar is de absolute uitstoot laag. Bij acceleraties daalt de NO₂ fractie naar 15 tot 25%, maar dan is de absolute NO_x uitstoot hoog.

SORT testen

De SORT testen reproduceren naar verwachting; van een reeks achter elkaar uitgevoerde testen was de meetvariatie (2 maal de standaarddeviatie) van het brandstofverbruik 3-4% en van de NO_x uitstoot 25%. De variatie van de NO_x uitstoot is relatief hoog, waarschijnlijk vanwege de tussenkomst van de SCR katalysator en de ureumdoseerstrategie. Bij het toepassen van SORT als test voor de normering van brandstofverbruik en uitstoot van NO₂ zal rekening met de variatie gehouden moeten worden.

De SORT testen 1, 2 en 3 zijn vergeleken met de praktijktesten van de buslijnen. De SORT testen lijken te resulteren in een iets hoger verbruik en een flink hogere NO_x uitstoot dan de praktijkritten. Het iets hogere verbruik wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hogere acceleraties in de SORT testen. De hogere NO_x uitstoot wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de wijze waarop de testen zijn uitgevoerd en de gevoeligheid van de NO_x emissie hiervoor. De SORT testen zijn namelijk niet direct achter elkaar uitgevoerd waardoor er geen temperatuurophouwen en stabilisatie heeft kunnen plaatsvinden in de SCR katalysator. Tussen elke SORT test is de SCR

katalysator telkens een beetje afgekoeld. Wanneer de katalysator afkoelt kan er minder NO_x gereduceerd worden.

Bij het toepassen van SORT als test voor de normering van brandstofverbruik en uitstoot van NO_2 zal hiermee rekening gehouden moeten worden. Zo zal het voor de NO_2 normering belangrijk zijn om voor te schrijven dat de SORT tests direct na elkaar gereden worden zodat de temperatuur in de SCT katalysator de kans krijgt om te stabiliseren.

6 Referenties

- [de Lange 2009] De Lange, Ronald et al. *Effecten van milieuzone vrachtverkeer en schone bussen in Utrecht*, MON-RPT-033-DTS-2009-02293, 20 juli 2009.
- [Kadijk 2007] Gerrit Kadijk, Ruud Verbeek, *VDL Ambassador diesel EEV bus: emission measurements and comparison with other buses*, TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-02723, 12 November 2007.
- [JRC 2006] JRC, *GUIDE FOR THE PREPARATION AND THE EXECUTION OF EMISSIONS ROAD TESTS ON HEAVY-DUTY VEHICLES*.

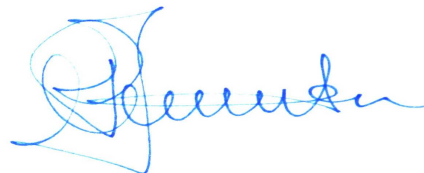
7 Ondertekening

Delft, 17 augustus 2010

TNO Industrie en Techniek



B. Bos
Afdelingshoofd



R.J. Vermeulen
Auteur