

TNO-rapport

TNO 2012 R10015

**Resultaten van Remote Emission Sensing
metingen aan HD voertuigen**

Mobiliteit

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 18 juni 2012

Auteur(s) Ernst Kuiper
Arjan Eijk
Pim van Mensch
Ulrike Stelwagen
Willar Vonk

Exemplaarnummer TNO-060-DTM-2012-01411
Aantal pagina's 31 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen 2
Opdrachtgever Mr. H.L. Baarbé
Ministry of Infrastructure and the Environment
Directorate-general for environment and international coordination
P.O. box 20901, 2500 EX Den Haag
Projectnaam Steekproefcontroleprogramma vrachtauto's 2011
Projectnummer 033.27092

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernieuwvuldigd 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

Voertuigen die significant meer emissies uitstoten dan verwacht zou worden aan de hand van de typekeurresultaten worden doorgaans aangeduid als *high emitters*. Hoeveel voertuigen dit betreft is onbekend, maar het is belangrijk om dit aandeel te achterhalen. Dit kan namelijk zeer waardevol zijn voor het definiëren van maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren.

In het kader van het steekproefcontroleprogramma vrachtwagens is er met een Remote Emission Sensing (RES) meetsysteem een meetsessie uitgevoerd bij de bloemenveiling van Aalsmeer om te bepalen of RES gevoelig genoeg is om *high emitters* te detecteren en wat dan het aandeel *high emitters heavy duty* (HD) voertuigen is. RES wordt langs de weg opgesteld en meet *real-world* emissies van passerende voertuigen. De bloemenveiling in Aalsmeer blijkt hiervoor een ideale locatie te zijn gezien het grote aantal HD voertuigen dat passeert. Tevens voldoet deze locatie aan enkele andere eisen die belangrijk zijn voor het meetproces, zoals het feit dat het een éénbaansweg betreft en dat er na een bocht gemeten kan worden wat zorgt voor acceleratie en dus hogere hoeveelheden uitlaatgasemissies.

De analyse van de resultaten laat zien dat RES *high emitters* kan identificeren voor CO en HC. Hierbij wordt de volgende definitie gebruikt: een *high emitter* is een voertuig waarvan de emissies minimaal 5 maal de standaard deviatie boven de gemiddelde emissie ligt. Voor NO is de intrinsieke spreiding in de individuele gasmetingen groot en worden er geen *high emitters* gevonden. Over *high emitters* van fijnstof kunnen geen uitspraken worden gedaan, omdat de *black smoke factor* gemeten door RES niet gerelateerd lijkt te zijn aan fijnstof-emissie.

Ondanks dat RES geschikt blijkt te zijn om *high emitters* te identificeren kunnen er geen kwantitatieve uitspraken worden gedaan over het aandeel *high emitters* in het wagenpark van Nederland. Dit komt door het zeer beperkte aantal voertuigen dat is gebruikt in de analyse. Gedurende de meetsessie hebben 746 voertuigen het systeem gepasseerd, waaronder ruim 500 HD voertuigen. Voor de HD categorie is 60-75% van de gasmetingen geslaagd. Echter, doordat de kentekenherkenning niet optimaal werkte gedurende de meetsessie is kentekeninformatie en daardoor de voertuiginformatie voor HD voertuigen zeer beperkt. Dit beperkt de groep voertuigen die gebruikt kunnen worden voor een gedetailleerde *high emitter* analyse. Echter, voor een kleine groep HD voertuigen met gedetailleerde voertuiginformatie (zoals Euro klasse) is er wel een indicatie dat Euro 3 HD voertuigen meer NO uitstoten dan Euro 5 HD voertuigen, zoals men zou verwachten. Dit geeft dus aan dat RES dergelijke trends kan waarnemen, zelfs met een beperkte hoeveelheid voertuigen.

Het RES meetsysteem kan, ondanks het zeer beperkte aantal voertuigen dat gebruikt is in deze analyse, *high emitters* identificeren. De sample grootte is echter te beperkt om een robuuste kwantitatieve uitspraak te doen over het aandeel van *high emitters* in het Nederlandse HD wagenpark als geheel en uitgesplitst naar Euro klasse. Om dit toch mogelijk te maken zal een significant grotere dataset nodig zijn. Het wordt aanbevolen om in navolging van deze analyse de dataset uit te breiden door meerdere meetsessies uit te voeren.

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| | Samenvatting | 2 |
| 1 | Inleiding | 4 |
| 1.1 | Achtergrond | 4 |
| 1.2 | Doelstelling | 4 |
| 2 | Methode | 6 |
| 2.1 | Remote Emission Sensing | 6 |
| 2.2 | Locatie | 7 |
| 2.3 | Analyse | 7 |
| 3 | Resultaten | 9 |
| 3.1 | Statistieken | 9 |
| 3.2 | High emitters | 9 |
| 3.3 | Black smoke factor | 14 |
| 3.4 | Vergelijking met Versit+ | 14 |
| 4 | Discussie | 15 |
| 4.1 | Beantwoording van de onderzoeksvragen | 15 |
| 4.2 | RES in het buitenland | 15 |
| 4.3 | Outlook | 17 |
| 5 | Conclusies en aanbevelingen | 19 |
| 6 | Ondertekening | 20 |
| | Bijlage(n) | |
| | A Literatuurlijst | |
| | B Presentatie Remote Emission Sensing | |

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Als er een vergelijking wordt gemaakt tussen de emissies van individuele voertuigen in de praktijk en de resultaten van de typekeurtesten, dan blijkt dat de praktijkemissies gemiddeld significant hoger uit vallen. De *real-world* emissies van individuele voertuigen van een gelijke euro-klasse kunnen onderling ook grote verschillen vertonen. Deze discrepanties kunnen verschillende oorzaken hebben, zoals een structureel verschil tussen typekeur en *real-world* emissies, gebrekkig onderhoud, storingen of *tampering*.

Voertuigen die aanzienlijk meer uitstoten dan verwacht op basis van hun Euroklasse worden *high emitters* genoemd. Het exacte aantal van deze zogenoemde *high emitters* binnen de Nederlandse vloot en de bijdrage van deze groep aan het totaal van voertuigemissies is op het moment nog onbekend. Het is echter zeer belangrijk om het aandeel *high emitters* binnen de Nederlandse vloot te bepalen. Inzichten op dit gebied kunnen namelijk gebruikt worden voor het nauwkeuriger bepalen van emissiefactoren. Tevens kan kennis van het aandeel *high emitters* bijdragen aan het definiëren van maatregelen betreffende de verbetering van de luchtkwaliteit.

1.2 Doelstelling

Eén van de relevante vragen die beantwoord moet worden is of het mogelijk is om op een efficiënte manier *high emitters* te identificeren in een *real-world* situatie. TNO heeft ruime ervaring met het onderzoeken van voertuigemissies in laboratorium omstandigheden. Sinds 2009 is het met de aanschaf van Remote Emission Sensing (RES) meetsysteem ook mogelijk geworden om in praktijksituaties voertuigemissies te meten.

In 2010 heeft TNO een grote hoeveelheid voertuigen (enkele duizenden) gescand met RES en vergelijkingen gemaakt tussen PEMS, rollenbank, Powertrain Test Bed, en RES-metingen en Versit+-voorspellingen. Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde waarden van de door het RES-systeem gemeten emissies van specifieke voertuigcategorieën redelijk overeen komen met de Versit+-voorspellingen. Gemiddelde RES-waarden voor grotere groepen voertuigen (bijvoorbeeld onderverdeeld naar brandstof en Euroklasse) volgen de trends zoals voorspeld met emissiemodel Versit+. Verder zijn de met RES gemeten emissies qua ordegrootte goed vergelijkbaar met de PEMS-metingen en de laboratoriummeetapparatuur.

Binnen de context van *high emitters* kan RES mogelijk worden ingezet om deze specifieke voertuigen te detecteren. Om de haalbaarheid van een dergelijke detectie te toetsen is onderzoek naar de nauwkeurigheid, gevoeligheid en robuustheid van RES vereist. Zodoende kan ook worden bepaald met welke nauwkeurigheid *high emitters* kunnen worden gedetecteerd.

Indien RES in staat is *high emitters* te detecteren (grondslag is *type-approval*-test of de periodieke inspectie), dan kan het RES-systeem als aanvullende tool worden ingezet om te controleren of voertuigen aan de APK voldoen (opaciteitstest en CO voor LD).

Onderzoeksvragen

Voor het meetprogramma zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

1. Hoe groot is het aandeel *high emitters* in Nederland?
 - Bij welke mate van overschrijden kan het RES-systeem *high emitters* onderscheiden?
 - Wat is de herhaalbaarheid van de RES-meting?
 - Kunnen naast *high emitters* van de gasvormige componenten HC, CO en NO ook *high emitters* van deeltjes (PM10) worden gedetecteerd met behulp van de *black smoke factor*?
 - Hoe verhoudt de gemeten *black smoke factor* zich tot een APK opaciteitstest en tot de door Versit+ voorspelde PM-emissie? Is er een verband?
2. Wat is de invloed van locatie en gebruiksfhankelijke factoren op de detectiegraad en het meetresultaat van RES metingen van (*heavy duty*) voertuigen?
 - Heeft de uitlaatpositie of het combinatietype invloed op de detectiegraad van trucks?
 - Wat is de detectiegraad van elke combinatietype?
 - Wat is de invloed van de beladingsgraad van *heavy duty* voertuigen op de RES meetwaarden?
 - Wat is de invloed van de motortemperatuur en/of temperatuur van het uitlaatgasnabehandelingssysteem op de RES meetwaarden? Kan de locatiekeuze bijdragen aan representatieve meetresultaten?
 - Onder optimale meetcondities, wat is de detectiegraad van het RES meetsysteem?

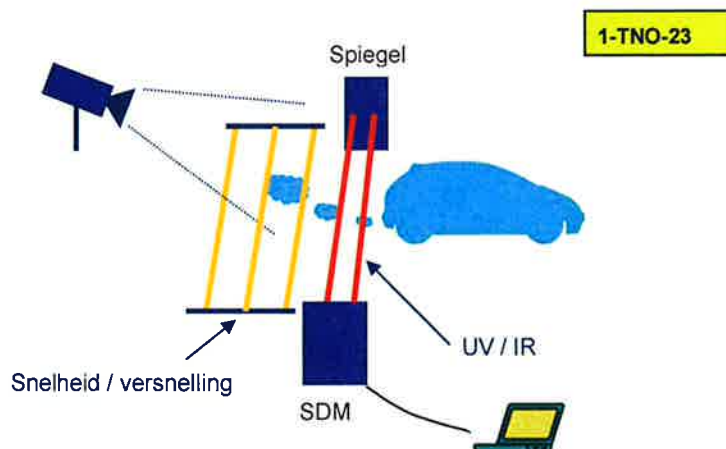
2 Methode

2.1 Remote Emission Sensing

Het RES meetsysteem werkt doormiddel van een ultraviolette (UV) en infrarode (IR) lichtbundel. Deze lichtbundels worden vanuit een bron/detector module uitgezonden over de weg. De bundels worden vervolgens gereflecteerd door een spiegelsysteem en weer opgevangen door dezelfde bron/detector module (SDM).

Voertuigemissies worden gemeten wanneer een voertuig het meetsysteem passeert. De uitlaatgassen van het voertuig zullen het licht van beide lichtbundels absorberen. De mate van absorptie zegt iets over de samenstelling van de lucht waar de lichtbundels doorheen zijn gegaan en dus over de hoeveelheid voertuigemissies. Er worden zowel aan de voorkant van het voertuig als aan de achterkant van het voertuig metingen verricht. Bij elke passage worden de meetgegevens van de achterkant van het voertuig vergeleken met meetgegevens van de voorkant van het voertuig. Hierbij dienen de metingen aan de voorkant van het voertuig dus als ijsituatie.

Naast het centrale meetsysteem dat de voertuigemissies meet is er een module die de snelheid en de versnelling van de passerende auto's meet. Ook is er een camerasysteem dat voor elke passage een foto maakt van de achterkant van het voertuig en tevens het kenteken. Met behulp van het kenteken kunnen essentiële voertuiggegevens opgevraagd worden. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden om de resultaten behaald met RES te vergelijken met het Versit+ model. De gehele opstelling is in de figuur hieronder schematisch weergegeven.



De absorptiemetingen van het RES systeem worden vertaald in drie verschillende relevante gasratio's:

- 1) CO/CO₂
- 2) HC/CO₂
- 3) NO/CO₂

Deze worden als volgt berekend (met CO als voorbeeld genomen):

$$CO/CO_2 = (CO_{achter} - CO_{voor}) / (CO_{2,achter} - CO_{2,voor})$$

Aangezien NO de meest relevante gemeten emissiecomponent is binnen de context van *high emitters* en luchtkwaliteit, is het onderzoek voornamelijk hierop gefocust. Het huidige instrument kan door technische beperkingen geen NO₂ emissies bepalen.

Naast de hierboven genoemde gasratio's meet RES ook een *black smoke factor*. De *black smoke factor* is een indicatie van de opaciteit van de uitlaatgassen gedeeld door de hoeveelheid gebruikte brandstof. Het is onduidelijk of deze *black smoke factor* eenduidig gerelateerd kan worden aan PM emissie.

2.2 Locatie

De focus van dit meetprogramma ligt op *heavy duty* voertuigen. Voor RES metingen is de locatie van essentieel belang om goede resultaten te verkrijgen. Vanwege onderstaande redenen is als locatie de bloemenveiling in Aalsmeer gekozen.

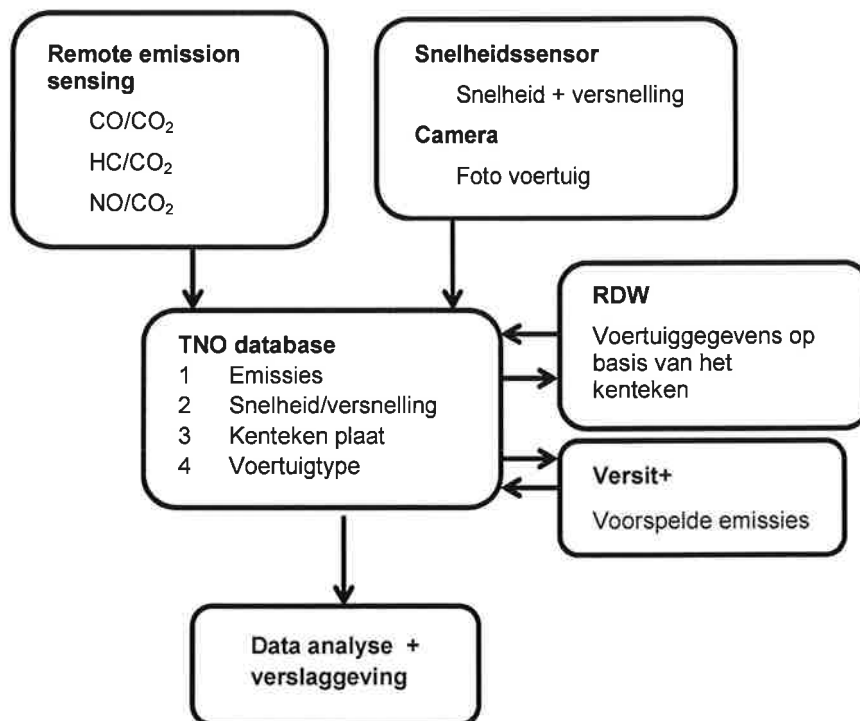
- Passage van een relatief groot aantal *heavy duty* voertuigen.
- Eénbaansweg (om de emissies van individuele voertuigen te kunnen bepalen).
- Het systeem kan worden opgesteld na een bocht. Dit zorgt ervoor dat de passerende voertuigen accelereren wat resulteert in voldoende uitlaatgasemissies.
- Het is de toevieroute van de bloemenveiling. Dit verzekert een warme motor en vergelijkbare beladingsgraad.
- Een groot deel van de voertuigen hebben voorafgaand aan de RES-passage op de snelweg een weeglus gepasseerd. Hierdoor zou de massa van het voertuig bekend zijn. Deze gegevens zijn echter niet vrijgegeven door Rijkswaterstaat.

2.3 Analyse

Het RES meetsysteem kan, zodra het langs de weg is opgesteld, gebruikt worden om de praktijkemissies van (afhankelijk van locatie) honderden tot enkele duizenden voertuigen te meten. Voor elk van deze voertuigen worden de relevante gasratio's, de snelheid, versnelling en het kenteken bepaald. Met behulp van de kentekens wordt bij de RDW specifieke voertuiginformatie opgevraagd. Deze is nodig om bijvoorbeeld de gebruikte brandstofsoort, de Euroklasse of het voertuigtype te bepalen en voor de vergelijking met het TNO emissiemodel Versit+.

Tijdens de metingen is gebleken dat de kentekencamera niet optimaal functioneert voor langere voertuigen. Hierdoor is er voor slechts een klein aandeel van alle passages een bruikbaar kenteken geïdentificeerd. Om toch een voertuigtype te kunnen toekennen worden de foto's ook visueel geïnspecteerd. Op basis daarvan worden de voertuigen ingedeeld in zes overkoepelende voertuigklassen: personenauto (PA), bestelbus (BB), streekbus (SB), vrachtwagen (VW), trekker-oplegger (TO) en vrachtwagen met aanhanger (AH).

Om de grote hoeveelheid aan data te verwerken en dus voor elk voertuig de emissie-eigenschappen te bepalen is software ontwikkeld. Deze software stelt ons ook in staat om de gemeten voertuigemissies te vergelijken met output van het TNO Versit+ model. In de figuur hieronder is de analyse schematisch weergegeven.



Figuur 1: Flow chart die de data flow van de analyse illustreert.

3 Resultaten

3.1 Statistieken

Gedurende de meetsessie zijn er 745 voertuigpassages geregistreerd door het RES meetsysteem. Door de lengte van de heavy duty voertuigen zijn er enkele gevallen waarbij een paar voertuigen twee maal werd geregistreerd. In de onderstaande tabel staat de detectiegraad voor de verschillende voertuigklassen.

Tabel 1: Detectiegraad RES metingen per voertuigklasse

| | # passages | # geslaagde gasmetingen | # voertuigen met snelheid | # voertuigen met kenteken |
|--------------------------------|------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Alle voertuigen | 745 | 468 | 451 | 362 |
| Personenauto | 146 | 85 | 80 | 142 |
| Bestelauto | 33 | 15 | 28 | 32 |
| Streekbus | 23 | 22 | 14 | 23 |
| Vrachtwagen | 197 | 145 | 124 | 91 |
| Trekker-oplegger | 295 | 180 | 168 | 74 |
| Vrachtwagen + aanhanger | 51 | 21 | 33 | 34 |

Zoals uit de tabel blijkt varieert het aantal geslaagde gasmetingen sterk tussen de verschillende voertuigklassen. Voor *heavy duty* ligt dit tussen de 60-75% voor de meest voorkomende voertuigklassen (vrachtwagens en trekker-opleggers). Opvallend is het relatief kleine aantal kentekens dat geregistreerd is voor de *heavy duty* voertuigen. Zoals eerder aangegeven komt dit door de grotere lengte van deze voertuigen, iets wat problemen gaf met de kentekencamera. Dit kan opgelost worden voor een volgende meetsessie door een extra camera aan de voorkant van het voertuig te plaatsen. Tevens is het aantal geslaagde snelheidsmetingen relatief gering. Dit kwam door een probleem in de opstelling dat in de loop van de meetsessie verholpen is. Dit resulteerde in een toename van het slagingspercentage van de snelheidsmetingen van 35% naar 85%.

Oorspronkelijk waren er twee meetsessies gepland, maar door weersomstandigheden en een verschuiving van prioriteiten is deze tweede meetsessie verplaatst naar het steekproefprogramma 2012. Door de opgedane ervaring tijdens de eerste meetsessie zal de detectiegraad op een volgende meetsessie significant beter uitvallen.

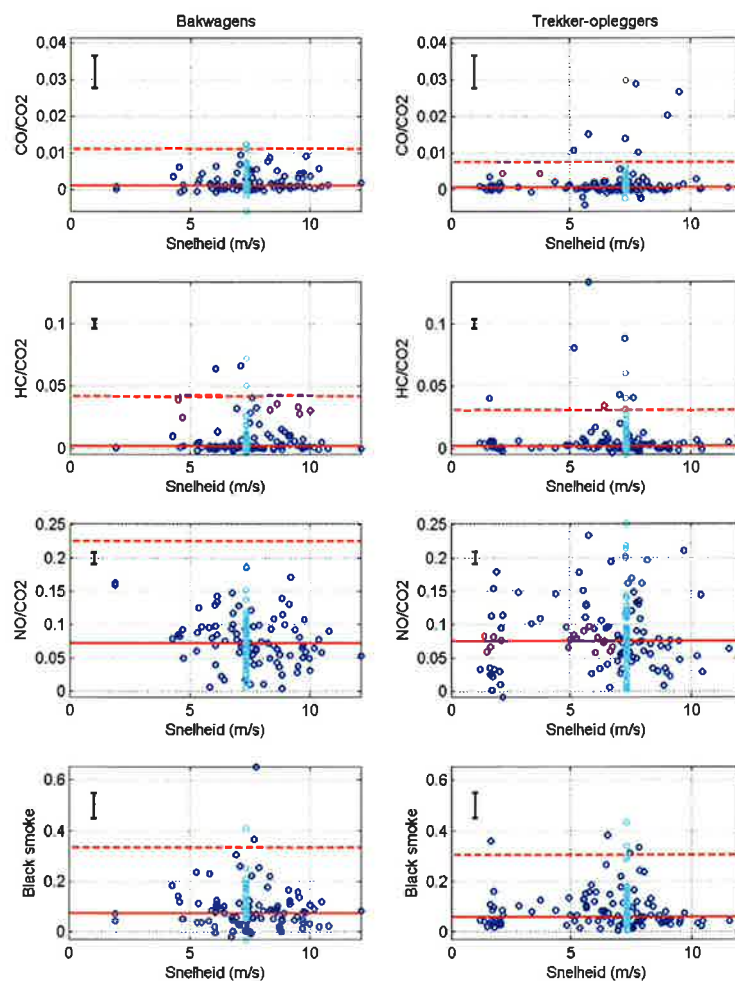
3.2 High emitters

De hoofdvraag is of RES gevoelig en nauwkeurig genoeg is om *high emitters* te identificeren. In de figuur hieronder worden alle geslaagde gasmetingen weergegeven voor de twee *heavy duty* voertuigklassen met het grootste aantal gemeten voertuigen: vrachtwagens en trekker-opleggers. De individuele punten representeren de meetgegevens en de doorgetrokken rode lijn de mediaan van de metingen. Voor de cyaan-kleurige datapunten was geen correcte snelheids-

versnellingsmeting aanwezig en is de snelheid gelijkgesteld aan de gemiddelde snelheid. Op basis van de spreiding van de metingen rond de mediaan kunnen we robuust *high emitters* identificeren. De grens hiervoor is genomen als zijnde 5 maal de standaard deviatie rond de mediaan en dit wordt aangegeven door de rode stippellijn. Tevens is de formele onzekerheid op de individuele metingen aangegeven in de linkerbovenhoek van elk paneel.

TNO Innovation
for life

High emitters

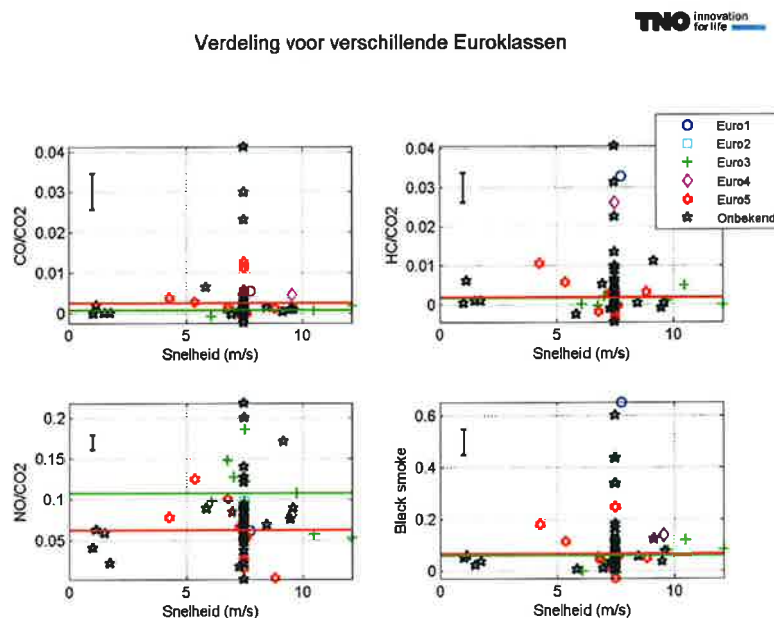


Figuur 2: Verschillende emissies voor alle visueel geïdentificeerde bakwagens en trekker-opleggers. Blauwe datapunten hebben een bijbehorende geldige snelheidsmeting, maar de cyaan-kleurige datapunten niet. Voor deze punten is de gemiddelde snelheid aangenomen. De rode doorgetrokken lijn geeft de mediaan van de metingen aan terwijl de rode stippellijn de ondergrens aangeeft voor het *high emitter* criterium.

Voor zowel CO, HC en, in mindere mate, de *black smoke factor* is de intrinsieke spreiding in de metingen klein ten opzichte van de formele onzekerheid. Hierdoor zijn er enkele duidelijke voorbeelden van *high emitters* te vinden, vooral bij de trekker-oplegger combinaties. Door het gebrek aan kentekeninformatie is het niet mogelijk om de Euroklasse van deze *high emitters* te bepalen.

Voor NO is de spreiding in de data relatief groot ten opzichte van de formele onzekerheid zoals opgegeven door de fabrikant van het systeem. Dit geeft aan dat de spreiding niet veroorzaakt wordt door onzekerheid in de meting, maar dat het een intrinsieke spreiding is en dus dat de NO uitstoot sterk kan verschillen tussen verschillende *heavy duty* voertuigen. Deze grote spreiding maakt het ook lastig om *high emitters* te identificeren, omdat de grens vanaf waar een voertuig als *high emitter* wordt geïdentificeerd aanmerkelijk hoger ligt. We vinden in de huidige dataset dan ook geen voorbeelden van *high emitters* in NO. Met een significant grotere dataset is het hoogstwaarschijnlijk wel mogelijk om NO *high emitters* te identificeren.

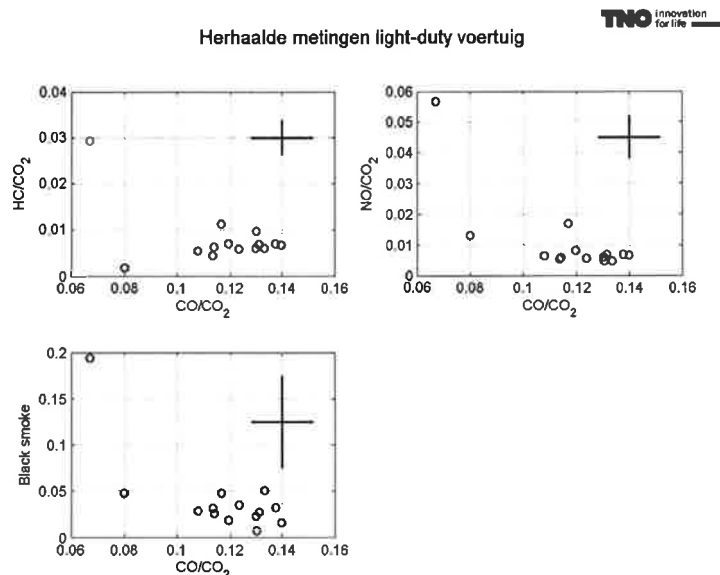
Verder kan een deel van de relatief hoge NO/CO₂ waarden worden veroorzaakt door lage lastcondities waaronder het gemeten voertuig passeerde. Bij een lagere last is de CO₂ emissie namelijk relatief laag ten opzichte van NO emissie, wat een hoge ratio tot gevolg heeft zonder dat hier sprake is van een hoge absolute NO emissie. Hier zijn echter weinig sterke aanwijzingen voor. Voor bakwagens zijn er wel 2 punten met lage snelheid en relatief hoge NO/CO₂, maar een dergelijke onderscheiding is niet terug te vinden voor de trekker-opleggers. Ook is er als functie van versnelling geen onderscheid te maken in gemiddelde NO/CO₂ voor hogere of lagere versnellingswaardes.



Figuur 3: Door RES gemeten emissies van *heavy duty* voertuigen uitgesplitst naar Euroklasse. De doorgetrokken horizontale lijnen geven het gemiddelde emissieniveau van de Euro-3 (groen) en Euro-5 (rood) weer.

Met behulp van de kentekengegevens is het mogelijk om de voertuigen verder onder te verdelen naar bijvoorbeeld Euroklasse. Dit is gedaan in de figuur hieronder waar de verschillende gasratio's en de *black smoke factor* zijn weergegeven voor alle voertuigen die volgens de Versit classificering onder *heavy duty* vallen. Doordat de kentekenregistratie voor *heavy duty* problematisch was is het aantal voertuigen in deze figuur significant lager dan in de voorgaande figuur. Inmiddels is het probleem opgelost, en zal de kentekenregistratie tijdens een volgende meting significant verbeterd zijn. Voor voertuigen zonder geldige snelheidsmeting is voor de analyse van deze specifieke gegevens de snelheid op de gemiddelde passagesnelheid gezet.

Door de slechte statistiek is het niet mogelijk om een robuust *high emitter* criterium voor deze data te formuleren. Het is echter wel mogelijk om naar systematische verschillen te zoeken tussen Euroklassen. De twee meest voorkomende Euroklassen onder *heavy duty* voertuigen zijn de Euro-3 en Euro-5 klassen. Er is ook een groot aantal voertuigen met een onbekende Euroklasse. Dit zijn de trekker-oplegger combinaties waarvoor het kenteken van de oplegger is geregistreerd. Als we de Euro-3 en Euro-5 klassen vergelijken in het paneel linksonder dan is er een indicatie dat de gemiddelde NO/CO₂ ratio voor Euro-3 *heavy duty* voertuigen hoger ligt dan het gemiddelde voor de Euro-5 klasse. De spreiding in de individuele meetwaarden is relatief groot en het aantal meetwaarden is klein, dus het is onduidelijk of dit verschil significant is. Echter een dergelijk verschil is wel de verwachting aangezien er striktere richtlijnen zijn wat betreft NO_x emissies voor Euro-5 voertuigen. Dit geeft aan dat RES, ondanks de zeer beperkte data, deze verschillen mogelijk toch waar kan nemen. Door meer data aan de RES database toe te voegen wordt dit verschil mogelijk nog duidelijker en kunnen ook andere Euroklassen in de vergelijking worden meegenomen. Tevens wordt het dan mogelijk om per Euroklasse het aantal *high emitters* te evalueren. Voor de andere onderzochte gasratio's en de *black smoke factor* in de overige panelen worden geen significante verschillen gevonden tussen de Euro-3 en Euro-5 klassen.



Figuur 4: Verzameling emissiemetingen van één personenauto die de opstelling meerdere malen heeft gepasseerd.

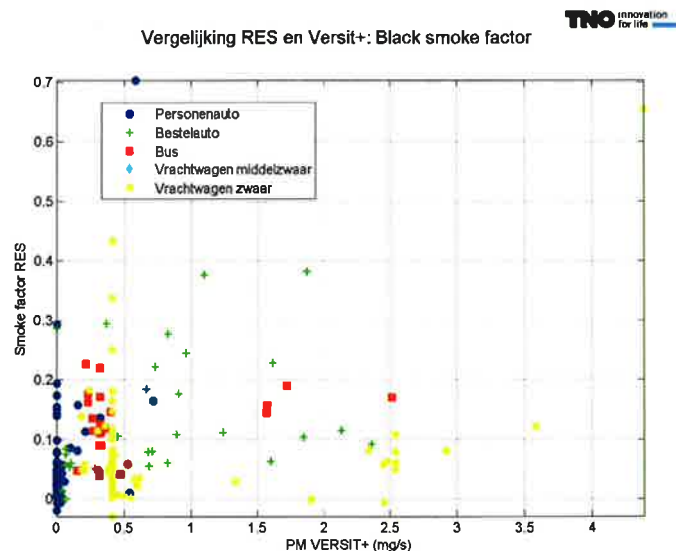
Eén van de kwesties die duidelijkheid kunnen geven over de onzekerheden van RES is de reproduceerbaarheid van de metingen. Om dit te onderzoeken is tijdens de meetsessie een *light duty* voertuig van TNO meerdere malen langs de opstelling gereden. De resultaten betreffende de gasratios en de *black smoke factor* zijn in figuur 4 weergegeven. Ook is de formele onzekerheid weergegeven in de rechterbovenhoek van ieder paneel.

Uit de figuur blijkt dat bijna alle HC, NO en *black smoke factor* meetwaarden consistent met elkaar zijn ten opzichte van de onzekerheid. De CO meetwaarden vertonen iets meer spreiding die niet geheel verklaard kan worden door de formele meetonzekerheid. Dit kan mogelijk toe te schrijven zijn aan variaties in de snelheid of versnelling tijdens de verschillende passages. Helaas zijn deze metingen voor dit voertuig niet gelukt, dus kunnen we er geen sterke uitspraken over doen.

Hoewel dit geen *heavy duty* voertuig betreft is het wel bemoedigend dat de RES meetwaarden voor een *light duty* voertuig goed reproduceerbaar zijn. Dit geeft aan dat aan de instrumentzijde reproduceerbaarheid geen problemen oplevert. Verdere metingen zijn nodig om dit ook voor de *heavy duty* voertuigen te bevestigen.

3.3 Black smoke factor

De *black smoke factor* gemeten door RES is mogelijk een indicatie voor de fijnstofemissie. Echter het is nog onduidelijk of dit daadwerkelijk het geval is. Er is onderzocht of er een correlatie is tussen de *black smoke factor* en de verwachte PM₁₀ emissie op basis van het Versit+ model. Dit is weergegeven in onderstaande figuur. De metingen zijn onderverdeeld naar verschillende voertuigklassen, elk weergegeven met een ander symbool.



Figuur 5: Vergelijking van RES meetwaarden van de *black smoke factor* en PM₁₀ emissie zoals voorspeld door Versit+. Verschillende symbolen geven verschillende voertuigklassen aan, zoals aangegeven in de legenda.

Uit de figuur blijkt dat er geen duidelijk verband is tussen de gemeten *black smoke factor* en de modelverwachtingen van Versit+. Ook als we de resultaten voor de *black smoke factor* vergelijken met de andere gemeten gasratio's dan is er weinig aanwijzing voor een correlatie. Uit de onderste panelen van figuur 2 blijkt echter wel dat voor *heavy duty* voertuigen *high emitters* in *black smoke factor* te identificeren zijn. Hoe dit relateert tot fijnstofemissie blijft echter onduidelijk.

Mogelijk is er wel een goede correlatie tussen de APK opaciteitstest en de *black smoke factor*. Dit is niet onderzocht in dit meetprogramma, maar zou zeer nuttig zijn om te onderzoeken in een vervolgprogramma.

3.4 Vergelijking met Versit+

Een directe vergelijking tussen de RES meetwaarden en het TNO emissiemodel Versit+ blijkt moeilijk. Versit+ is ontwikkeld om voorspellingen te doen op vlootniveau en is niet zozeer geschikt voor vergelijkingen met individuele voertuigen. Daar komt bij dat het aantal voertuigen dat zowel een kenteken heeft als een bruikbare meting van de snelheid en de versnelling zeer beperkt is. Dit maakt een algemene vergelijking van gemiddelde waarden zeer onzeker.

4 Discussie

4.1 Beantwoording van de onderzoeksvragen

Uit het meetprogramma is naar voren gekomen, dat voor CO, HC en de *black smoke factor* er meerdere *heavy duty* voertuigen geïdentificeerd kunnen worden die significant meer uitstoten dan wat er gemiddeld wordt waargenomen. Dus ondanks een gebrekkige hoeveelheid data zijn *high emitters* in een vloot goed te onderscheiden. Voor de meest relevante gasratio, NO/CO₂, blijkt er echter een significante intrinsieke spreiding aan emissies te zijn welke mede wordt veroorzaakt door de spreiding van Euroklassen van voertuigen in de vloot. Dit bemoeilijkt de definitie van wat een *high emitter* is. Er zijn dan ook geen *high emitters* gevonden voor NO. Een grotere dataset zou hier verandering in kunnen brengen.

Idealiter zouden we een dergelijke analyse doen per Euroklasse. Echter, het aantal *heavy duty* voertuigen waarvan het kenteken is geregistreerd tijdens de meetsessie is zeer beperkt, en daarmee de uitgebreide voertuiginformatie. Er kan hierdoor geen *high emitter* criterium per Euroklasse worden vastgesteld. Wel is er een schijnbaar systematisch hogere NO emissie te zien voor de Euro-3 voertuigen vergeleken met de Euro-5 voertuigen. Dit is hoopgevend aangezien dit is wat we zouden verwachten. Wederom is meer data nodig om te onderzoeken of dit een significant verschil is of een gevolg van het gebrek aan data.

Zoals aangegeven kunnen met RES ook *high emitters* voor de *black smoke factor* geïdentificeerd worden, maar de interpretatie van deze resultaten zijn onduidelijk. Er is geen correlatie tussen PM10 emissie voorspeld door Versit+ en de gemeten *black smoke factor* en een vergelijking met een APK opaciteitstest is uitgesteld. Of de *black smoke high emitters* dus daadwerkelijk significant meer fijnstof uitstoten is niet vast te stellen.

4.2 RES in het buitenland

Het RES meetsysteem is een relatief nieuw instrument als het gaat om emissiemetingen in Nederland. In het buitenland wordt echter al jarenlang gewerkt met RES systemen. Er is ook veel literatuur beschikbaar over studies uit andere landen die gebruik maken van RES om de praktijkemissies van voertuigen te bestuderen. (zie Appendix A)

TNO heeft het RES systeem RSD4600 van de firma ESP aangeschaft. Dit systeem is ontwikkeld aan de universiteit van Denver. Al eind jaren '80 was een eerste versie van het systeem beschikbaar (FEAT systeem) en werden meetprogramma's uitgevoerd. Na deze succesvolle introductie is dit systeem verder ontwikkeld en wordt het door het bedrijf ESP op de markt gebracht.

In Amerika, Mexico en Canada worden tientallen RES systemen ingezet om de emissies van het wagenpark te meten. In Amerika worden in veel staten door de lokale overheden met het RES systeem inspecties uitgevoerd. Voertuigen worden op geschikte locaties onder bepaalde omstandigheden (voldoende snelheid en acceleratie) gemeten. Blijven de door RES geregistreerde emissiewaarden (CO/CO₂, HC/CO₂, NO/CO₂) onder bepaalde limieten, hoeft het betreffende voertuig voorlopig niet naar een periodieke inspectie in de garage.

Indien in dergelijke meetcampagnes vastgesteld wordt dat bepaalde voertuigen veel meer uitstoten dan verwacht, ontvangen de eigenaren van de betreffende voertuigen een uitnodiging om hun voertuigen in de garage te laten inspecteren (vrijwillig).

Ook in Europa wordt het RES systeem van de firma ESP in een aantal landen toegepast. Landen die zover bekend met een remote emissie meetsysteem werken zijn Zweden, Zwitserland (EMPA), Engeland en Nederland. Ook JRC onderzoekt de mogelijkheden van *remote emission sensing*.

In Zweden worden sinds ca. 1999 emissiemetingen met RES uitgevoerd. Met name Ake Sjodin heeft de afgelopen 10 jaar veel papers geschreven. De resultaten van de tienduizenden gemeten voertuigen zijn o.a. gebruikt voor:

- Detectie van high emitters (CO, HC en NO).
- Onderzoeken van trends in emissies van het wagenpark over de jaren heen.
- Vergelijking van Copert en HBEFA emissiefactoren ten opzichte van RES metingen.
- Onderzoek naar de directe NO₂ uitstoot van verschillende euroklassen diesel voertuigen.

Interessant is de meetcampagne in Zweden waar naast NO ook direct NO₂ uitstoot gemeten werd. Vanuit Amerika (universiteit Denver) is een prototype systeem overgevlogen om deze NO₂ te meten. De resultaten van deze metingen gaven aan dat hogere Euroklasse diesel voertuigen een aanzienlijk hogere directe NO₂ uitstoot hebben, zoals ook vastgesteld in lab metingen. Het optisch detecteren van NO₂ door het RES systeem is erg lastig omdat de detectie van NO₂ plaatsvindt in een bandbreedte waarin ook diverse andere stoffen licht absorberen. Momenteel is het meten van NO₂ nog niet mogelijk met de standaard RSD 4600.

De resultaten van de vele papers laten zien dat het RES systeem succesvol ingezet kan worden voor bovengenoemde doelen.

In Zwitserland wordt het RES systeem van de firma ESP door EMPA (Martin Weilemann) toegepast. Het systeem wordt ca. 2 maal per jaar in meetcampagnes ingezet om emissies van personenwagens te meten. Het doel van dergelijke meetcampagnes is het registeren van high emitters en het valideren van emissiefactoren. De ervaringen met het systeem zijn wisselend. Voertuigen die soms als high emitter gedetecteerd werden, bleken in laboratorium testen toch te voldoen aan de geldende Euro norm. Helaas worden in de Zwitserse studies geen rekening gehouden met voertuig snelheden en acceleraties.

In Engeland wordt het RES systeem door diverse partijen toegepast. Een interessant recent rapport is "Trends in NO_x en NO₂ emissions and ambient measurements in the UK", David Carlslaw (Kings College), James Tate, University of Leeds, 18 July 2008. In dit rapport worden de resultaten van RES metingen vergeleken met HBEFA emissiefactoren, UK emissiefactoren, Copert en met trends in de luchtkwaliteit. De resultaten laten zien dat de RES meetresultaten van de emissies van voertuig categorieën redelijk overeen komen met de genoemde emissie factoren. Voor meer recente voertuigcategorieën wijken de RES resultaten af van de genoemde emissiefactoren en laten een relatief hogere emissie van

bijvoorbeeld NO zien. De RES metingen lijken goed overeen te komen met trends die in luchtkwaliteitsmetingen waargenomen worden.

JRC heeft eind 2011 een vergadering gehouden over het meten met een RES systeem. JRC heeft in dit overleg de ervaringen van de diverse Europese landen geïnventariseerd. Waarschijnlijk zal JRC zelf ook met RES metingen starten.

In Australië hebben Smit & Bluett (2011) onderzoek gedaan naar het aandeel van *high emitters* in emissiefactoren. Door laboratorium en *remote sensing* data van soortgelijke voertuigen te vergelijken werd geconcludeerd dat de *remote sensing* data systematisch hogere emissiewaarden oplevert. Waarschijnlijk is de oorzaak hiervan dat high emitters niet worden meegenomen in de Australische emissiefactoren. Deze zijn namelijk alleen op laboratorium data gebaseerd.

Samengevat:

In Amerika wordt het RES systeem op grote schaal toegepast. Daar wordt met het RES systeem het emissiegedrag van individuele voertuigen beoordeeld. Wel moeten de metingen aan voertuigen aan randvoorwaarden voldoen. Eén van de belangrijkste is dat de motoren van de voertuigen op bedrijfstemperatuur moeten zijn en een redelijke belasting moeten ondervinden. Vaak worden metingen daarom op hellingen uitgevoerd.

In Europa worden door diverse landen RES metingen uitgevoerd. De resultaten zijn gebruikt om high emitters te detecteren en vooral ook om de gemiddelde emissie per voertuig of Euro categorie te meten. Ook zijn de resultaten (gemiddelden per voertuigcategorie) vergeleken met emissiefactoren uit Copert, HBEFA of land specifieke emissiefactoren (UK). De resultaten van de RES metingen liggen dicht bij deze emissiefactoren en volgen over het algemeen dezelfde trends. Voor bepaalde voertuigklassen (met name nieuwere) liggen de gemeten RES emissies gemiddeld wat hoger dan bijvoorbeeld HBEFA/Copert emissiefactoren.

Algemeen mag geconcludeerd worden dat de gemiddelde resultaten van grotere hoeveelheden metingen representatief zijn voor emissies van bepaalde categorieën voertuigen. Ook is het systeem geschikt voor het detecteren van high emitters. Het is echter onduidelijk of het systeem geschikt is om voor individuele voertuigen kleinere afwijkingen (order grootte tiental procenten) in emissies te detecteren.

4.3 Outlook

Eén van de beperkende factoren in de analyse zoals hier beschreven is het gebrek aan data. Oorspronkelijk waren er twee meetsessies gepland, maar door tegenvallende weersomstandigheden is er slechts één meetsessie uitgevoerd. In het beschreven project zijn de tools voor dataverwerking ontwikkeld voor het geautomatiseerd verwerken van RES meetdata. Een eventueel vervolg op deze uitgevoerde meetsessie zou een significante hoeveelheid aanvullende data opleveren die relatief snel en gemakkelijk kan worden geanalyseerd met de bestaande tools.

Tevens kan de kennis van de eerste meetsessie worden gebruikt om problemen te omzeilen die in de eerste meetsessie zijn geïdentificeerd. Dit betekent dat in een vervolgonderzoek een significant betere uitsplitsing naar Euroklasse kan worden

gemaakt en daadwerkelijk kwantitatieve conclusies kunnen worden getrokken op dat gebied.

Met een significant grotere dataset zou het dan ook mogelijk worden concrete kwantitatieve informatie te verkrijgen over het aantal *high emitters* binnen de Nederlandse vloot. Dit kan vervolgens gebruikt worden voor het updaten van de landelijke emissiefactoren.

Naast het beschreven meetprogramma, zou het de moeite waard zijn om extra meetinstrumenten in te schakelen om een beter beeld te krijgen van de NO₂ uitstoot van HD voertuigen. Met het huidige RES instrument is enkel NO meetbaar en kan op basis van aannames de NO₂ uitstoot geschat worden. Aangezien NO₂ voor luchtkwaliteit zeer relevant is, is het mogelijk nuttig om met behulp van een extra instrument de NO/NO₂ verhouding te bepalen. Dit zou dan een realistischer beeld geven van de NO₂ uitstoot.

5 Conclusies en aanbevelingen

Om te onderzoeken of *high emitters* onder *heavy duty* voertuigen te identificeren zijn is een onderzoek uitgevoerd met het Remote Emission Sensing meetsysteem. Hiermee zijn op de bloemenveiling te Aalsmeer praktijkemissies gemeten van circa 750 voertuigen waaronder een significante fractie *heavy duty* voertuigen. Op basis van deze metingen en de daaropvolgende analyse concluderen wij het volgende:

1. RES kan *high emitters* identificeren voor de uitlaatgascomponenten CO, HC en de *black smoke factor*, hoewel voor de laatste de interpretatie onduidelijk blijft. Voor NO is de intrinsieke spreiding in de huidige dataset te groot om robuust *high emitters* te vinden, een uitbreiding van de dataset met meer metingen biedt hiervoor waarschijnlijk de oplossing.
2. De huidige dataset is te klein om *high emitters* per Euroklasse te onderscheiden.
3. Analyse van significant meer data kan een eerste realistische schatting van het aandeel *high emitters* per Euroklasse in de Nederlandse vloot realiseren. Het wordt aanbevolen om de dataset uit te breiden met meerdere meetsessies. Deze informatie zou vervolgens gebruikt kunnen worden om de landelijke emissiefactoren te corrigeren voor het aandeel van de *high emitters*. Het wordt aanbevolen om voor dergelijke meetsessies te onderzoeken of deze kunnen worden gecombineerd met extra meetinstrumenten die de NO/NO₂ verhouding bepalen.
4. De keuze om de bloemenveiling in Aalsmeer als locatie te gebruiken blijkt zeer geschikt te zijn gezien de speciale eisen voor goede RES metingen.

6 Ondertekening

Delft, 18 juni 2012

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Willar Vonk', written over a horizontal line.

Willar Vonk
Project Manager

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ernst Kuiper', written over a horizontal line.

Ernst Kuiper
Auteur

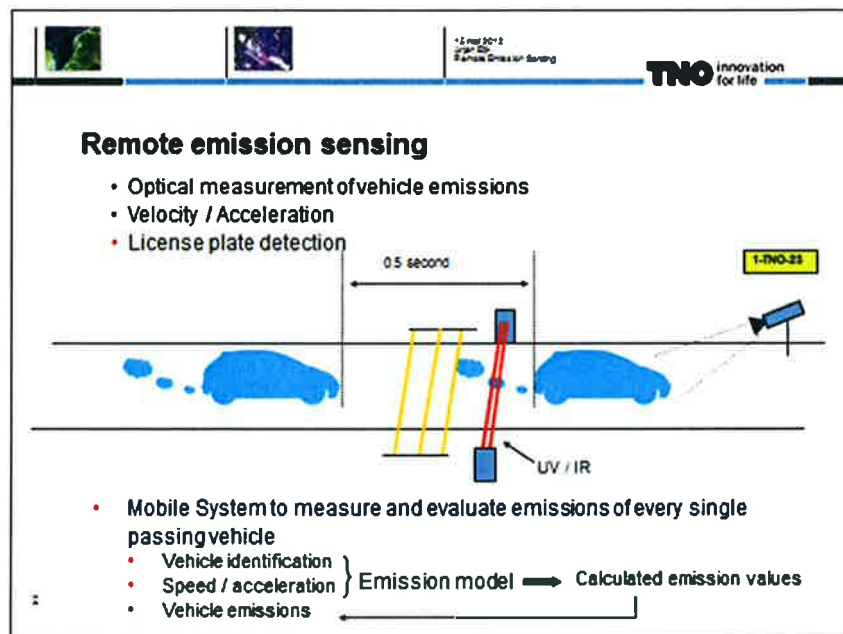
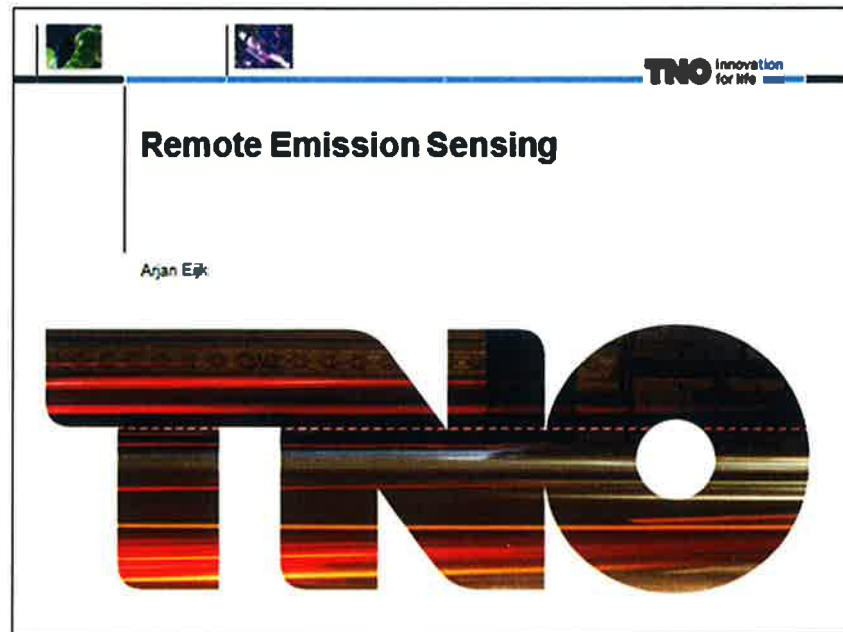
A Literatuurlijst

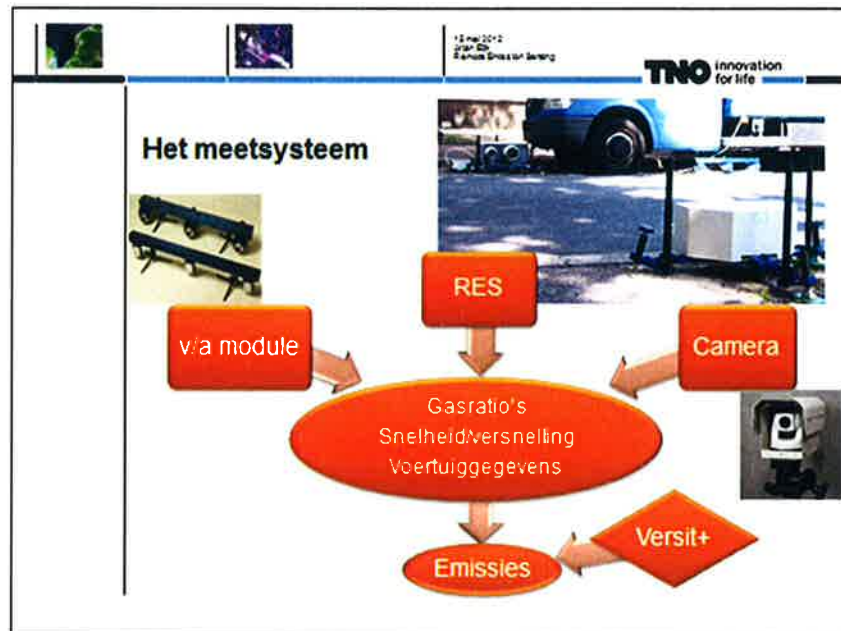
Inmiddels zijn tientallen papers over de toepassing van Remote Emission Sensing systemen geschreven. Deze lijst geeft een globaal overzicht van verschenen papers, maar is zeker geen compleet overzicht.

- Aguilar, 2008, Mobile Source Emission Estimates using Remote Sensing Data from Mexican Cities.
- Bishop & Stedman, 2008, A Decade of On-road Emissions Measurements, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 1651–1656.
- Bishop & Stedman, 2008, Emissions of Nitrogen Dioxide from Modern Diesel Vehicles.
- Bishop et al., 2009, Heavy-duty diesel truck emission measurements in the South Coast Air Basin.
- Bishop et al., 2009, Remote Measurements of On-Road Emissions from Heavy-Duty Diesel Vehicles in California, Year 1.
- Burgard et al., 2006, Remote Sensing of Ammonia and Sulfur Dioxide from On-Road Light Duty Vehicles, *Environ. Sci. Technol.*, 40, 7018-7022.
- Burgard et al., 2006, Remote Sensing of In-Use Heavy-Duty Diesel Trucks.
- Carslaw et al., 2011, Recent evidence concerning higher NOx emissions from passenger cars and light duty vehicles, *Atmospheric Environment*, 45, 7053-7063.
- Chan & Ning, 2005, On-road remote sensing of diesel vehicle emissions measurement and emission factors estimation in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 39, 6843–6856.
- EPA, 1993, Remote Sensing, A Supplemental Tool for Vehicle Emission Control.
- ESP, 2010, Smoke factor measurements with remote sensing device technology, Recommended practice.
- ESP, 2010, The Colorado Remote Sensing Program January – December 2009.
- Ekstrom et al., 2004, Evaluation of the COPERT III emission model with on-road optical remote sensing measurements, *Atmospheric Environment*, 38, 6631–6641.
- Ekstrom et al., 2005, On-road optical remote sensing measurements of in-use bus emissions.
- Guo et al., 2007, Evaluation of the International Vehicle Emission (IVE) model with on-road remote sensing measurements, *Journal of Environmental Sciences*, 19, 818–826.
- Guo et al., 2007, On-road remote sensing measurements and fuel-based motor vehicle emission inventory in Hangzhou, China, *Atmospheric Environment*, 41, 3095–3107.
- Jerksjö et al., 2007, On-road optical remote sensing in Göteborg summer 2007.
- Jimenez et al., 1999, Vehicle Specific Power, A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies.
- Ko & Cho, 2006, Characterisation large fleets of vehicle exhaust emissions in middle Taiwan by remote sensing, *Science of the Total Environment*, 354, 75– 82.
- McCrae et al., 2000, Remote sensing and vehicle emission inspection and maintenance programmes.

- Ning & Chan, 2007, On-road remote sensing of liquefied petroleum gas (LPG) vehicle emissions measurement and emission factors estimation, *Atmospheric Environment*, 41, 9099–9110.
- Rakha et al., 2010, Solutions for Enhancing Remote Sensing High Emitter Vehicle Screening Procedures.
- Ropkins, 2008, Evaluation of a remote sensing system 'dirty emitter' measurement.
- Sjodin, 1994, Potential of a remote sensing technique in roadside inspections - Experiences from a pilot study in Sweden.
- Sjodin et al., 1997, Identification of high-emitting catalyst cars on the road by means of remote sensing.
- Sjodin et al., 1997, Multi-year repeat remote sensing measurements of on-road emissions from cars.
- Sjodin & Adréasson, 2000, Multi-year remote-sensing measurements of gasoline light-duty vehicle emissions on a freeway ramp, *Atmospheric Environment*, 34, 4657-4665.
- Sjodin et al., 2005, On-road optical remote emission sensing for driver information and awareness raising.
- Sjodin et al., 2006, Implementation and Evaluation of the ARTEMIS Road Model for Swedens International Reporting Obligations on Air Emissions.
- Sjodin & Jerksjö, 2008, Evaluation of European road transport emission models against on-road emission data as measured by optical remote sensing.
- Smit et al., 2010, Validation of road vehicle and traffic emission models, A review and meta-analysis, *Atmospheric Environment*, 44, 2943-2953.
- Smit & Bluett, 2011, A new method to compare vehicle emissions measured by remote sensing and laboratory testing, High-emitters and potential implications for emission inventories, *Science of the Total Environment*, 409, 2626–2634.
- Swayne, 1999, Infrared remote sensing of on-road motor vehicle emissions in Washington State.
- Tate, 2010, The on-road emission characteristics of UK passenger cars, The application of a remote sensing vehicle emission measurement.
- Thoma et al., 2008, Characterization of Near-Road Pollutant Gradients Using Path-Integrated Optical Remote Sensing.
- Unal et al., 1999, Simultaneous Measurement of On-Road Vehicle Emissions and Traffic Flow Using Remote Sensing and an Area-Wide Detector.
- Unal, 2007, Chocolate vehicle emissions measurements on Mexico-US border cities, Data collection protocol.
- Zhang et al., 1995, Worldwide on-road vehicle exhaust emissions study by remote sensing, *Environmental Science and Technology*, 29, 2286-2294.


B Presentatie Remote Emission Sensing








Relevantie van RES

- › Quick scan tool
 - Momentopnames van grote aantallen voertuigen
 - Aanvulling op andere methodes zoals rollenbank en PEMS
 - Alle voertuigen in het wagenpark worden gemeten, niet enkel geselecteerde voertuigen
- › Vlootsamenstelling
- › Vaststellen globale trends in het wagenpark
 - › EF voor subklassen van het wagenpark voor specifieke snelheid/versnellingsregimes
 - › Vaststellen van trends door de jaren heen
- › Identificatie van high emitters:




15 mei 2012
 13:00 uur
 Rijkswaterstaat Snelweg





innovation
 for life


TNO meetsessies en resultaten

- Proef metingen Stieltjesweg, N470 Berkel - Delft
- Den Haag (juni 2010)
- Helmond (augustus 2010)
- Aalsmeer (januari 2012)



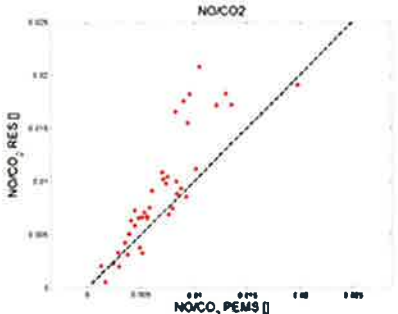
12 mei 2012
 13:00 uur
 Rijkswaterstaat Snelweg

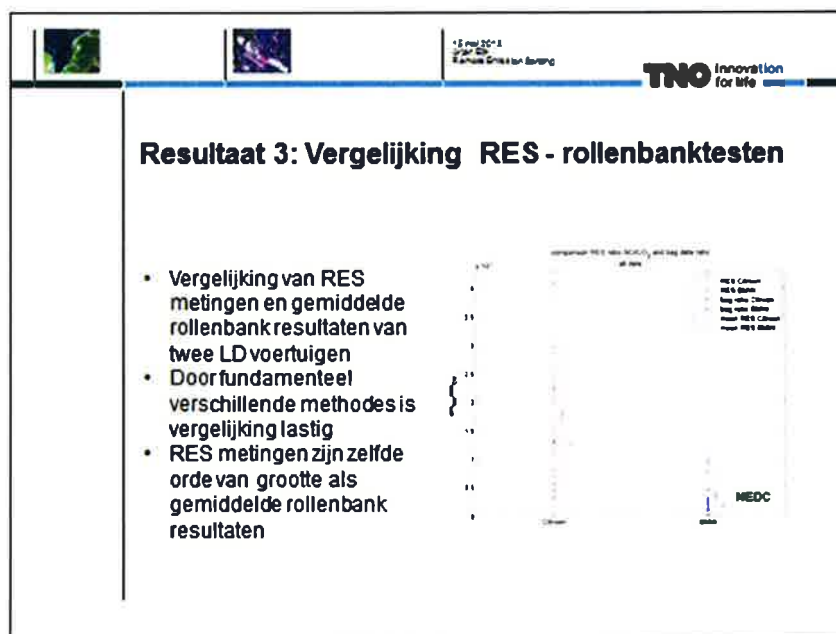
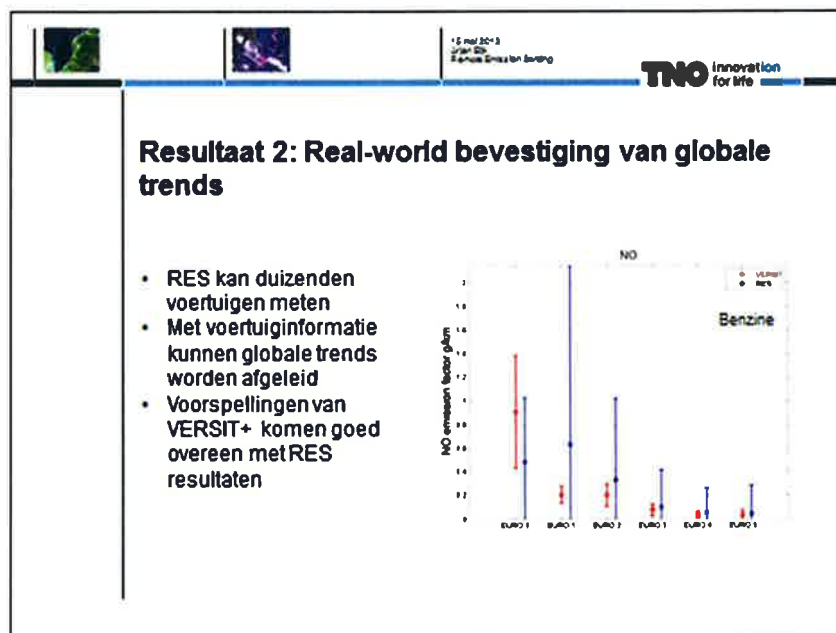




innovation
 for life

Resultaat 1: RES in vergelijking met PEMS


- Twee HD voertuigen zowel met RES als PEMS gemeten
- RES metingen komen goed overeen met tijdsopgeloste PEMS metingen





15 mei 2012
 10:00-12:00
 Rijkswaterstaat en Boreng


 innovation
for life

Resultaten tot dusver

- Ontwikkeling tools voor automatische processing en linken van databronnen
- PEMS – RES vergelijking (Heavy duty)
- Rollenbank – RES vergelijking (light duty)
- Globale Emissie Factoren vergelijking en trends (Light duty)
- Resultaten laten zien dat RES metingen behoorlijke resultaten oplevert
- De uitgevoerde meetsessies hebben tot dusver een beperkte dataset opgeleverd
 - Wat betreft aantallen metingen (per categorie)
 - Wat betreft omstandigheden (motorbelasting)




15 mei 2012
 10:00-12:00
 Rijkswaterstaat en Boreng

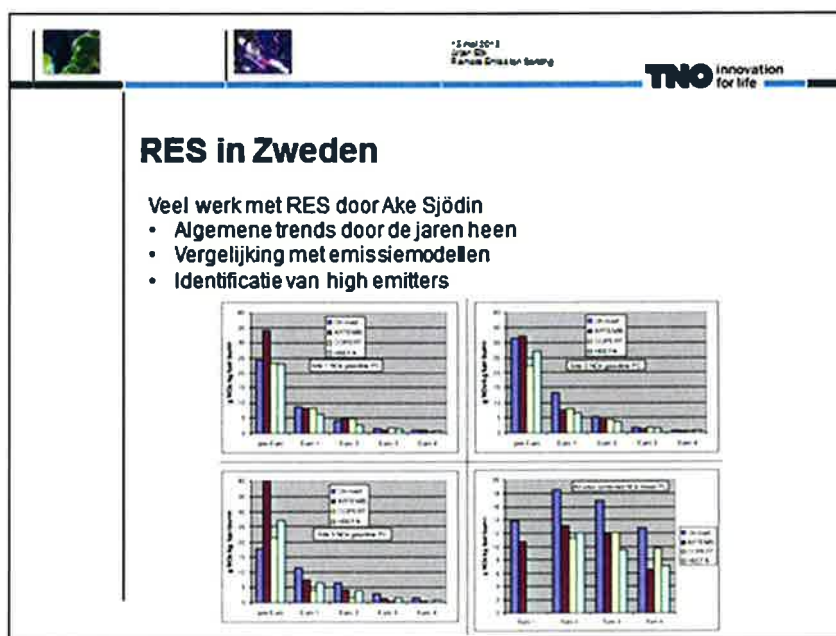
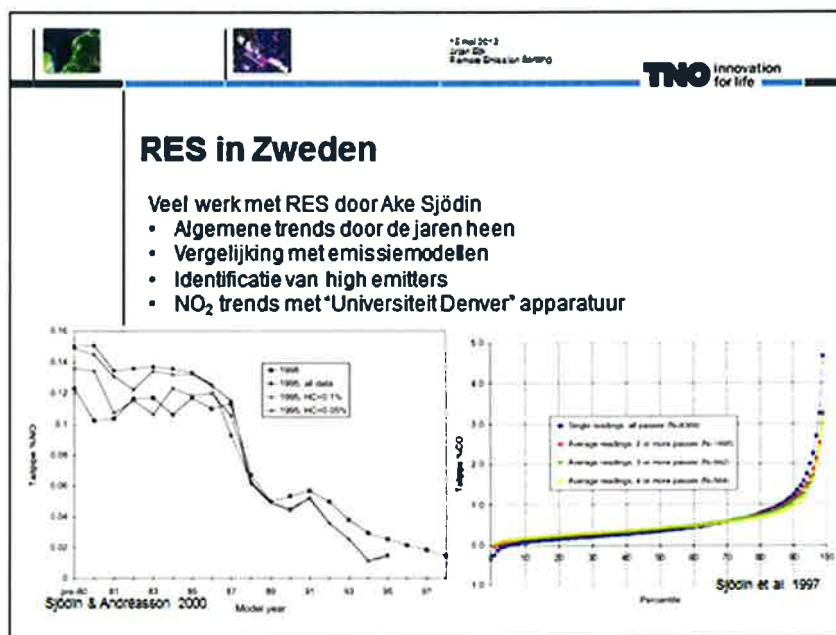

 innovation
for life

RES in de Verenigde Staten

- RES neemt prominente plaats in bij voertuiginspectie
- In verschillende staten worden voertuigemissies getest met RES
- Als de RES metingen te hoge uitstoot aangeven dan worden deze voertuigen doorverwezen naar een (vrijwillige) keuring
- Indien voertuigen goed presteren wordt ook uitstel van periodieke keuring verleend
- Tevens wordt RES veel ingezet bij onderzoek naar de emissie van het wagenpark in het geheel en de verschillende subklassen












* 5 mei 2012
17:00 uur
Klausuur Grondslag

TNO innovation
for life

RES in Zweden

Bewustwording van bestuurders met behulp van RES



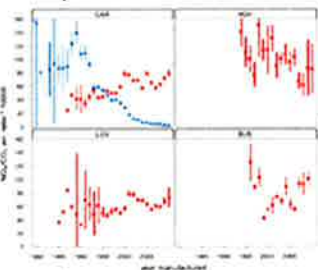
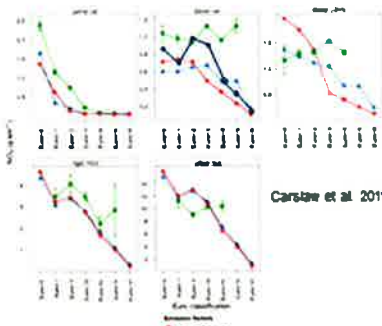




* 5 mei 2012
17:00 uur
Klausuur Grondslag

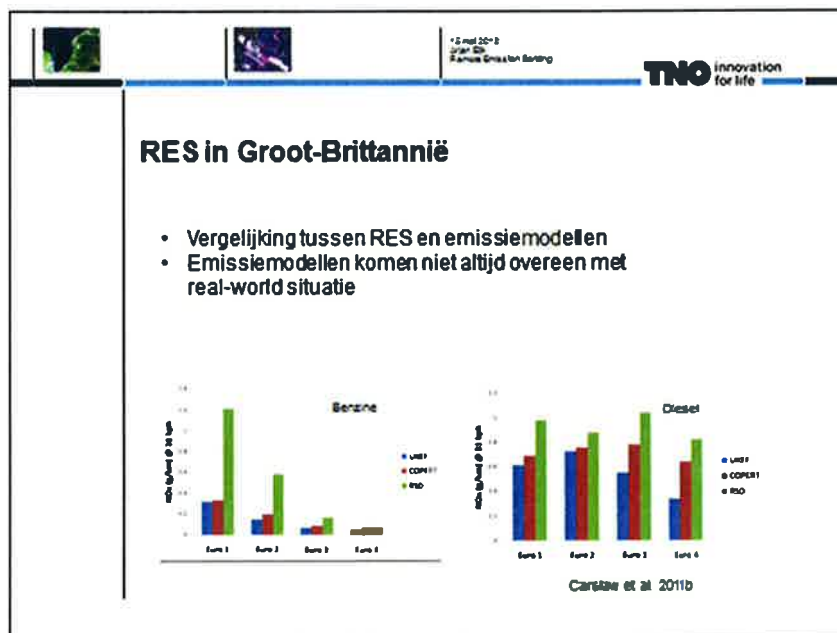
TNO innovation
for life



RES in Groot-Brittannië

- Vaststellen globale trends in Brits wagenpark
- Discrepantie tussen emissiefactoren en real-world situatie
- Mei 2012, NO₂ onderzoek

Carstow et al. 2011





* 5 mei 2012
TNO
Remote Emission Sensing

TNO innovation
for life

Conclusies

- › Remote emission sensing resultaten zijn goed vergelijkbaar met veel gebruikte meetmethodes (rollenbank, PEMS)
- › Remote emission sensing is niet een alternatief voor bestaande meetmethodes, maar een aanvulling daarop
- › RES metingen levert data van ALLE passerende voertuigen, niet afhankelijk van medewerking voertuigeigenaren
- › Het meten van grote aantallen (>>10k) voertuigen geeft een real-world schatting van de emissies van het gehele wagenpark en de subklassen daarvan
- › Met behulp van RES kunnen globale trends in het wagenpark worden vastgesteld, waaronder mogelijke discrepanties met bestaande emissiefactoren en identificatie van high emitters