

**TNO-rapport****TNO 2013 R10356****Richtlijn voor bepaling van praktijkemissies  
van vrachtwagens en stadsbussen****Behavioural and Societal  
Sciences**Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft[www.tno.nl](http://www.tno.nl)T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

Datum	17 oktober 2013
Auteur(s)	Gerrit Kadijk Robin Vermeulen
Exemplaarnummer	TNO-060-DTM-2013-00648
Aantal pagina's	23 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu DG Milieu en Internationale Coördinatie De heer H.L. Baarbé Postbus 20901 2500 EX DEN HAAG
Projectnaam	Maatwerk Verkeersemissies
Projectnummer	057.02134/01.08.18

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.

© 2013 TNO

## Samenvatting

De wettelijke limietwaarden voor uitlaatgasemissies van vrachtwagens en bussen en de bijbehorende testprocedures zijn vastgelegd in Europese wetgeving/richtlijnen. Ook worden de limietwaarden wel Euronormen genoemd. In de praktijk kunnen de emissieniveaus flink hoger liggen en deze overschrijden dan de limietwaarden, zie Figuur 1.

Uitlaatgasemissie niveaus van voertuigen worden door de wetgever gelimiteerd op basis van standaard testprocedures en condities. Praktijkcondities wijken, echter, af en praktijkemissies kunnen dat ook. Om lage praktijkemissies te realiseren zijn andere testprocedures nodig die praktijkcondities representeren. Op basis van deze situatie kwamen diverse belanghebbenden tot een gelijke vraagstelling. Deze luidt: welke criteria zijn nodig in een testprocedure waarin limieten worden gesteld aan uitlaatgasemissies van voertuigen in een bepaalde praktijksituatie?

Met deze procedure kunnen belanghebbenden specifieke richtlijnen opstellen die toegepast kunnen worden in hun praktijksituatie voor realisatie van een laag brandstofverbruik en lage emissies van vrachtwagens en bussen gedurende hun levensduur.

De richtlijn is speciaal bedoeld voor belanghebbenden die werkzaam zijn op één van de volgende gebieden:

- inkoop van schone en zuinige voertuigen,
- ontwikkeling en toepassing van 'groene' strategieën met betrekking tot vervoer,
- ontwikkeling en toepassing van lokaal of nationaal luchtkwaliteitsbeleid.

Deze richtlijn beschrijft de eisen waaraan testprocedures moeten voldoen die gevolgd moeten worden voor bepaling van betrouwbare emissieprestaties in de praktijk.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
1.1	Achtergrond .....	4
1.2	Potentiële risico's van hoge praktijkemissies voor verschillende technologieën .....	5
1.3	Doelstelling van deze richtlijn .....	6
1.4	Mogelijkheden voor aanvullende emissie-eisen in de praktijk .....	6
<b>2</b>	<b>Normstelling van praktijkemissies .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Meetmethodes voor bepaling van praktijkemissies .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Zekerstelling van emissieprestaties op de lange termijn.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>11</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Definition of real-world emission standards of a heavy-duty vehicle	
	B Real-world test methods	
	C Definition of results and conclusions	

# 1 Inleiding

Dit document is een richtlijn die kan worden gebruikt voor de zekerheidsstelling van een lage schadelijke uitstoot en brandstofverbruik van bedrijfsvoertuigen over hun levensduur.

Het is een richtlijn voor alle betrokken partijen die speciale interesse of belang hebben in het realiseren van lage praktijkemissies en die specifiek werkzaam zijn in één van de volgende werkgebieden:

- de inkoop van schone voertuigvloeden,
- de ontwikkeling van 'groene' strategieën voor bedrijven,
- de ontwikkeling van lokaal en nationaal luchtkwaliteitsbeleid.

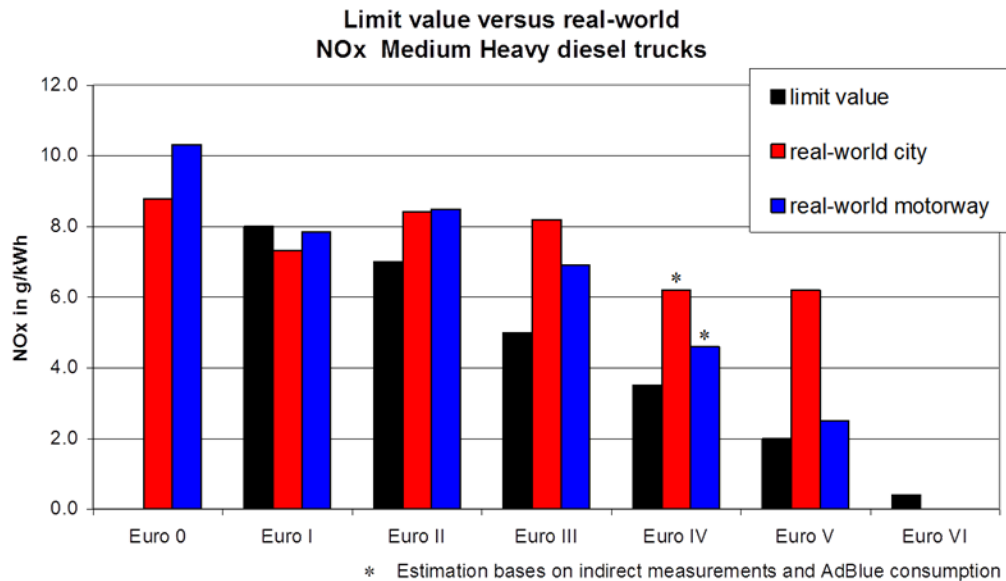
Deze richtlijn is primair van toepassing op zware bedrijfsvoertuigen, zoals vrachtwagens, vuilniswagens en bussen. Verder is deze van toepassing op conventionele aandrijflijnen, dat wil zeggen een verbrandingsmotor met handgeschakelde of automatische versnellingsbak, eventueel met een milde vorm van hybridisering. Volledig elektrische voertuigen en waterstofvoertuigen en voertuigen met een volledig hybride aandrijflijn worden niet behandeld in deze richtlijn. Overigens kunnen deze voertuigen wel op een soortgelijke manier beoordeeld worden.

TNO onderzoekt permanent nieuwe manieren om nieuwe technologieën te beoordelen. Sinds meer dan 20 jaar is TNO betrokken in programma's waarin steekproefsgewijs voertuigen worden gecontroleerd op emissieprestaties in de praktijk en waarin de toekomstige emissienormen worden ontwikkeld. Deze richtlijn is gebaseerd op de langdurige en uitgebreide ervaringen die in deze programma's zijn opgebouwd.

## 1.1 Achtergrond

In Europese emissiewetgeving voor vrachtwagens en bussen is beschreven welke testprocedures en limietwaarden van toepassing zijn voor een typekeuring. De limietwaarden worden ook wel 'Euronormen' genoemd, deze worden periodiek aangescherpt. In 2013 gaan de Euro VI normen van kracht.

In de afgelopen jaren is, echter, gebleken dat praktijkemissies sterk af kunnen wijken van emissies in de typegoedkeuringstest. In Figuur 1 is een overzicht weergegeven van de historische limietwaarden, de huidige limietwaarden en de gemeten praktijkemissies van NO<sub>x</sub> (stikstofdioxide). Uit deze gegevens blijkt dat de NO<sub>x</sub> praktijkemissies van de laatste generaties voertuigen gemiddeld sterk afwijken van de limietwaarden. Voor individuele voertuigtypen kan de afwijking nog veel groter zijn, zowel in positieve als in negatieve zin.



Figuur 1: limietwaarden en praktijkwaarden van NO<sub>x</sub> emissies voor vrachtwagens en bussen over de Euroklassen (van 1988 tot 2013). Vooral in stedelijk verkeer is de gemiddelde uitstoot van NO<sub>x</sub> maar mondjesmaat afgenomen.

Typegoedkeuringsemissies van vrachtwagenmotoren worden volgens Europese verordeningen vastgesteld op een motorproefstand in een laboratorium. Deze hoogwaardige testmethode is nodig voor bepaling van reproduceerbare en betrouwbare resultaten tegen relatief lage kosten en een korte doorlooptijd. Praktijkemissies worden, echter, gemeten op de weg met een Portable Emission Measuring System (PEMS) en deze emissieniveaus zijn vaak hoger dan in de typegoedkeuringstest, omdat een praktijktest en praktijkomstandigheden verschillen van een typegoedkeuringstest. Voor realisatie van acceptabele praktijk emissies moeten de typegoedkeuringseisen worden uitgebreid met eisen voor praktijkemissies per gebruikssituatie.

## 1.2 Potentiële risico's van hoge praktijkemissies voor verschillende technologieën

In de afgelopen decennia heeft TNO diverse verschillende voertuigen getest om mogelijke problemen op het gebied van emissies in kaart te brengen. Deze ervaringen zijn verzameld en de aandachtspunten, potentiële risico's en belangrijke zaken voor elke technologie zijn in Tabel 1 opgesomd.

Tabel 1: technologieën en potentiële risico's.

Soorten voertuigen en risico	Risico
Diesel Euro V met SCR	Potentiële hoge NO <sub>x</sub> emissies: Veroorzaakt door beperkte werking van SCR-systeem in bedrijfstoestanden, in het bijzonder bij lage voertuigsnelheden en lage motorbelastingen zoals die veel voorkomen in stedelijk verkeer. Potentieel verhoogde roetuitstoot: Slijtage van verstuivers.
Dual fuel LPG	Potentieel verhoogde NO <sub>x</sub> emissies.
Dual fuel CNG/LNG	Potentieel verhoogde NO <sub>x</sub> en CH <sub>4</sub> emissies.
Diesel met roetfilter	Potentieel verhoogde roetuitstoot: Afnemend rendement roetfilters op langere termijn
Brandstofverbruik conventionele en alternatieve aandrijflijnen	Potentieel tegenvallend brandstofverbruik: Mogelijke verschillen met de opgaven van leveranciers/fabrikanten.
Aardgasvoertuigen	Potentieel verhoogde NO <sub>x</sub> en CH <sub>4</sub> emissies: voor CH <sub>4</sub> voor de lange termijn door katalysatorveroudering.

### 1.3 Doelstelling van deze richtlijn

Deze richtlijn ondersteunt partijen in hun keuze voor een beoordelingsmethode waarmee kan worden getoetst of hun (toekomstige) vloot voldoet aan de door hun geselecteerde milieucriteria.

### 1.4 Mogelijkheden voor aanvullende emissie-eisen in de praktijk

Vanwege de mogelijk hoge praktijkemissies en de noodzaak tot verbetering van de lokale luchtkwaliteit kunnen lokale overheden of vlooteigenaren aanvullende eisen stellen aan voertuigen en dit opnemen in hun aanbestedingen.

Er zijn verschillende mogelijkheden om dit vorm te geven. Deze mogelijkheden zijn gebaseerd op alternatieve beoordelingsprocedures van voertuigemissies die praktisch goed uitvoerbaar en betrouwbaar zijn. Afhankelijk van de wensen van de aanbesteder kunnen eenvoudige of uitgebreidere methoden worden ingezet. De uiteindelijke screeningsprocedure dient aan een aantal algemene eisen te voldoen, te weten:

1. de beoordelingsprocedure en de bijbehorende criteria moeten voldoen aan de specifieke eisen en behoeften van de aanbesteder, maar moeten tegelijkertijd realistisch, uitvoerbaar en haalbaar zijn.
2. de testprocedure dient zodanig te zijn beschreven dat redelijke zekerheid wordt verkregen over de werking van voertuigen en hun technologieën in de praktijk.
3. de testprocedure dient eenduidig te zijn.

De volgende elementen moeten in de beoordelingsprocedure worden opgenomen:

- een beschrijving van de limietwaarden van deze emissies. De limietwaarden kunnen worden afgestemd op de wensen van de aanbesteder, maar dienen tegelijkertijd realistisch en haalbaar te zijn in combinatie met de gekozen methode.
- een methode voor het bepalen van de praktijkemissies van vrachtwagens of bussen. De methode kan worden gebaseerd op bestaande testmethodes. De exacte inrichting van de test, zoals de keuze van de praktijk testritten en testcondities, kan worden toegesneden op de specifieke wensen van de aanbesteder.
- een zekerstelling van lage emissies gedurende de levensduur van een voertuig. Aanvullend op een beoordelingstest kunnen maatregelen worden genomen om een lage praktijkuitstoot over de levensduur te waarborgen. Hierbij moet worden gedacht aan speciale aandacht voor onderhoud, periodieke keuring, het verhelpen van emissie gerelateerde storingen en het monitoren van emissierelevante parameters (bijv. brandstofverbruik, AdBlue-verbruik, roetopaciteit).

Euro VI voertuigen hebben meer ontwikkelde emissie-eisen die onder meer worden getoetst in de praktijk. Van deze voertuigen, die vanaf 2013 langzamerhand op de markt komen, wordt daarom een grote verbetering van praktijkemissies verwacht.

## 2 Normstelling van praktijkemissies

Het praktijkgebruik van voertuigen kan zeer verschillend van aard zijn en kan leiden tot zeer verschillende emissies van vrachtwagens en bussen. Dit heeft tot gevolg dat een voertuig per gebruikssituatie verschillend kan presteren. Daarom is het van belang dat eisen aan praktijkemissies worden gerelateerd aan de praktijkomstandigheden van de desbetreffende vervoerder en de inzet van het voertuig.

Praktijkemissies kunnen variëren ten gevolge van de volgende zaken:

- voertuigsnelheid en gemiddelde voertuigsnelheid,
- bedrijfstemperatuur (koude en warme motor),
- lengte van de rit,
- schakelgedrag,
- mate van acceleratie,
- aantal stops,
- tijdsduur stationair draaien motor,
- hoeveelheid belading voertuig,
- technische conditie van het voertuig, de motor en katalysatoren,
- omgevingstemperatuur.

In Bijlage A wordt in detail beschreven met welke procedures typegoedkeurings- en praktijkemissies bepaald kunnen worden en welke limietwaarden gehanteerd en gespecificeerd moeten worden.

In de meeste gevallen worden praktijkemissies (CO, THC, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> en PM10) in g/km gespecificeerd. Verder kan er sprake zijn van een specificatie van een maximaal brandstofverbruik, bijv. in liters per 100 km.

Bij de bepaling van de normstelling moet worden bekeken of de limietwaarden haalbaar zijn. Welke limietwaarde haalbaar is, hangt af van het technologische concept van het voertuig en de test die wordt gebruikt. In sommige gevallen is het wenselijk om uit te gaan van een goed vast gestelde baseline. Een voorbeeld van limiet waarden voor praktijkgebruik is in Tabel 2 weergegeven.

Tabel 2: voorbeeld van enkele normstellingen voor de praktijk.

Component	Limietwaarde of norm
NO <sub>x</sub>	4,5 g/km
NO <sub>2</sub>	1,5 g/km
Fijnstof of PM10	0,05 g/km
Brandstofverbruik	34 l/100km

Ook kunnen er eisen gesteld worden aan duurzaamheid door de definiëring van de minimale levensduur (bijv. minimaal 500.000 km) waarover de emissies gehandhaafd moeten worden, zie ook hoofdstuk 4.



### 3 Meetmethodes voor bepaling van praktijkemissies

In Bijlage B is in detail gespecificeerd op welke wijzen praktijkemissies bepaald kunnen worden. Dit betreft een beschrijving van de bestaande testmethodieken en de wijze waarop meetdata geïnterpreteerd moet worden.

De mogelijkheden voor de bepaling van praktijkemissies zijn het doen van testen aan het hele voertuig, uit te voeren op de weg of een testcircuit. Dergelijke testen kunnen worden uitgevoerd met verschillende soorten meetapparatuur. Welke apparatuur het beste geschikt is, hangt af van de meetdoelen.

In principe zijn beschikbaar:

1. PEMS meetapparatuur, dit is Portable Emission Measurement Equipment. Dit systeem is redelijk nauwkeurig en meet een reeks emissies en kan daarnaast het brandstofverbruik redelijk nauwkeurig uitrekenen.
2. SEMS meetapparatuur, dit is een Simple Emission Measurement System. Dit systeem is wat minder nauwkeurig, maar kan gemakkelijk over lange termijn meten. Vooralsnog kan alleen de NO<sub>x</sub> uitstoot worden gemeten.
3. Een brandstofdebietmeter is redelijk nauwkeurig en in principe alleen geschikt om redelijk nauwkeurig het brandstofverbruik en de CO<sub>2</sub> uitstoot te meten.

Voor bovengenoemde testen zullen de volgende zaken gespecificeerd moeten worden:

- test route(s),
- belading voertuig,
- procedure voor opwarming en conditionering,
- grenzen aan weersomstandigheden,
- brandstofsamenstelling,
- aantal testen en mate van herhaalbaarheid.

In Bijlage C worden de eisen vermeld die gesteld worden aan de oplevering van de resultaten, de conclusies en de kwaliteitscontrole van de resultaten.

## 4 Zekerstelling van emissieprestaties op de lange termijn

### Definitie van verouderingsfactoren:

Door gebruik van het voertuig is het de verwachting dat er verslechtering van de praktijkemissies optreedt. Door bepaling van de toegestane veroudering bij inzet van nieuwe voertuigen zijn de limietwaarden gedurende het gebruik van voertuigen gedefinieerd waardoor toetsing mogelijk wordt.

### Frequentie van controle emissies, steekproefgrootte:

Door vaststelling van de grootte van de steekproef voor controle van praktijk emissies wordt zeker gesteld dat een representatief beeld van de gehele voertuigvloot wordt verkregen. Door op gezette tijden te meten wordt inzicht verkregen in verouderingsgedrag.

### Eisen leverancier praktijktesten en kwaliteitscontrole:

De kwaliteit van de gebruikte meetapparatuur en het gebruik daarvan door meettechnici, alsmede de wijze van testen bepalen in hoge mate de kwaliteit van de resultaten. Onervaren personeel is meestal niet in staat een verantwoord resultaat op te leveren. Dit betekent dat ervaring, kennis en kunde in de uitvoering van testen aan minimum eisen moet voldoen.

### Wat te doen als voertuigen niet voldoen aan de gestelde emissie-eisen?

Indien een voertuig niet voldoet aan de gestelde emissie-eisen zal een vervolg van de meetprocedure nodig zijn. Het aantal voertuigen en nadere emissie-eisen bepalen dan de herziene grootte van de steekproef. Ook dient te worden beschreven op welke termijn defecten verholpen moeten zijn.

### Registratie van brandstof- en AdBlueverbruik in de praktijk:

Indien de concessie eisen bevat omtrent maximaal brandstofverbruik in de praktijk is het aan te bevelen de tankbeurten registratie van brandstof en AdBlue, incl. de kilometerstanden, te registreren.

### Definitie en frequentie rapportage:

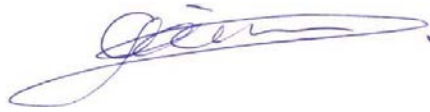
Een goede monitoring is gebaseerd op een rapportage die periodiek plaatsvindt. Voor monitoring van voertuigemissies zou een tweejaarlijkse rapportage moeten volstaan. Dat betekent in geval van een 8-jarige concessie dat na 2, 4 en 6 jaar een emissiemeting wordt uitgevoerd en gerapporteerd.

### Meldingsplicht wijziging voertuigconfiguraties:

Gedurende de levensduur kunnen modificaties aan voertuigen worden uitgevoerd. Deze dienen te allen tijde te worden gerapporteerd en een inschatting dient te worden gemaakt van de mogelijke gevolgen op emissieprestaties.

## 5 Ondertekening

Delft, 17 oktober 2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gerben Passier', with a long horizontal flourish extending to the right.

Gerben Passier  
Research Manager

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gerrit Kadijk', with a long horizontal flourish extending to the right.

Gerrit Kadijk  
Auteur

## A Definition of real-world emission standards of a heavy-duty vehicle

This chapter describes:

- the European emission standards,
- the methods for determination of type approval emissions,
- the methods to determine real-world emissions of heavy-duty vehicles.

In tenders a required level of real-world emission performance of a fleet could be demonstrated according either one of these methods.

### The EU standard; type approval for emissions

The basis for the control of real-world emissions of a vehicle are the type approval procedures. Unfortunately, due to the variety of heavy-duty vehicles it is practically not possible to test all vehicle types. Consequently, engine testing is required instead of vehicle testing. The engine emissions are measured in an engine test bed with an engine dynamometer and dedicated emission test equipment over a normalised engine test cycle, see Figure 2. This very accurate test method is needed to be able to measure reproducible and reliable results at an acceptable price level and lead time. In this engine dynamometer test the engine's performance (in kW based on speed and load) and emission mass flow rates (in g/h) are measured. The emissions are expressed against the work the engine delivers over a test cycle [g/kWh]. This, in principle, means that vehicles with a large engine and a high power output are allowed to emit more than smaller engines with a lower power output.



Figure 2: engine test bed for heavy duty testing.

The more commonly known term of European emission limit values is 'Euro standards'.

In Table 3 the limit values for the emissions are given for the most recent Euro standards.

Table 3: impression of heavy-duty 'Euro standards'.

European emission limit values heavy duty engines				
	Euro III	Euro IV	Euro V and Euro V EEV	Euro VI
Date of first registration	01-10-2001	01-10-2006	01-10-1009	31-12-2013
Test cycle	ESC	ESC	ESC+ETC	WHSC / WHTC
	[g/kWh]			
CO	2.1	1.5	1.5 / 4.0	1.5 / 4.0
THC	0.66	0.46	0.46 / -	0.13 / 0.16
NO <sub>x</sub>	5.0	3.5	2.0 / 2.0	0.40 / 0.46
PM	0.1	0.02	0.02 / 0.03	0.010 / 0.010

It is especially important to note that within the average of these groups, vehicles exist which do emit at levels comparable with the requirement while at the same time vehicles exist which have very high real-world emissions, which deviate strongly from the requirements. This fact makes it worthwhile to subject vehicles to a real-world emissions test and even to set real-world emission performance criteria.

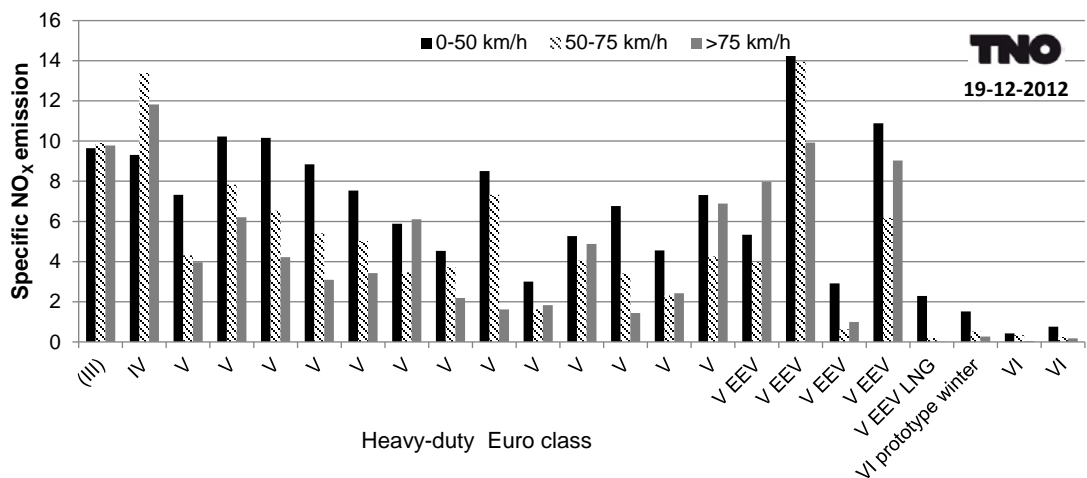


Figure 3: real-world NOx emissions of a range of heavy-duty vehicles over the same trip and with the same percentage of payload (55%).

A large scatter exists in NOx emissions within vehicles from the same emission class. Note that EEV vehicles (diesel) are not necessarily cleaner than Euro V vehicles. The CO<sub>2</sub> specific NOx emissions are presented to make vehicles comparable.

CO<sub>2</sub> emission limit values are not defined in heavy duty emission legislation. If one has a specific wish to reduce or ascertain a level of CO<sub>2</sub> emission or fuel consumption a procedure can be designed for this specific purpose to check for instance if a certain target level is achieved. Such a target level can also be of value in an evaluation of the TCO (Total Costs of Ownership).

### Theoretical relationship type approval and real-world emissions

Calculation of real-world emissions which are based on type approval emissions is possible. However, the conditions of real-world operation deviate from type approval conditions and this may be a cause for a different real-world emission behaviour.

The transfer of engine test bed results in g/kWh into real-world emissions in g/km is possible if the distance based energy consumption in kWh/km is known or the vehicle speed and engine performance. The two following calculations show a possible relationship of type approval and real-world emissions.

Calculation 1: An operating Euro V engine with a NO<sub>x</sub> emission of 1,0 g/kWh and an average power of 100 kW @ 80 km/h emits theoretically 1,25 g/km NO<sub>x</sub>.

$$\begin{aligned} \text{NO}_x \text{ [g/km]} &= \text{NO}_x \text{ [g/kWh]} * \text{Power [kW]} / \text{Vehicle speed [km/h]} \\ 1,25 &= 1,0 * 100 / 80 \end{aligned}$$

Calculation 2: An Euro V engine with a Type Approval NO<sub>x</sub> emission of 1,85 g/kWh and an energy consumption of 1,1 kWh/km emits theoretically 2,14 g/km.

$$\begin{aligned} \text{NO}_x \text{ [g/km]} &= \text{NO}_x \text{ [g/kWh]} * \text{Energy consumption [kWh/km]} \\ 2,14 &= 1,85 * 1,1 \end{aligned}$$

Note: this theoretical calculation of emissions in g/km is based on engine test bed emissions. Real-world emissions of vehicles mostly differ strongly from type approval emissions because real-world engine (load) conditions deviate from type approval conditions.

### Real-world emission test methods

European Euro VI emission legislation EC 595/2009 & 582/2011 & 64/2012 (mandatory as of 31-12-2013) describe emission standards for the conformity of the emissions of vehicles in-service. This means that the emissions of an engine are checked when the engine is mounted in a vehicle and the vehicle drives a predefined test trip on the road. The emissions are checked with a Portable Emission Measurement System which is mounted on the vehicle. In Figure 4 a vehicle with a Portable Emission Measurement System (PEMS) is shown.

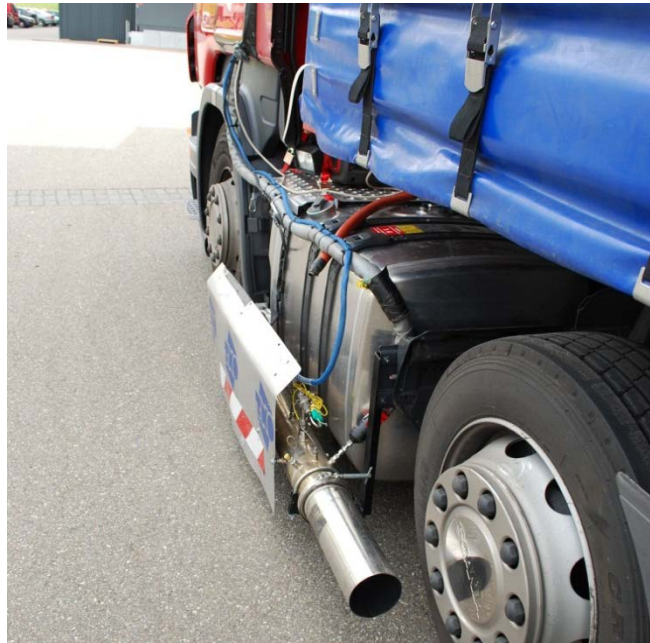


Figure 4: vehicle equipped with a Portable Emission Measurement System.

The basic requirements and considerations for this type of test which determines real-world emissions are:

1. test routes and vehicle operation must be representative and should include any representative variations in operation in a representative manner.
2. a single test is an indicator and inconclusive if it is not repeatable (within margins).
3. the more variables controlled the more conclusive a test.
4. all test procedures have limited accuracy.

Current equipment is able to measure CO, CO<sub>2</sub>, THC, NO and NO<sub>2</sub> emissions. It is expected that in the next years equipment for particulate matter measurements is available.

However, other possibilities for the control of PM emissions may be considered as well: For engines without a particle filter the PM emission level mainly depends on the engine condition, like wear of injectors, over the useful life of the vehicle.

For engines with a particle filter both the type of filter and the maintenance of this filter are important and may have a large impact on the emission level and even on the reliability of operation of the vehicle. Filter types exist with different levels of filtration efficiency and as such the choice for a certain type influences the real world PM emission level very much.

### Definition real-world emission limit values

The definition of real-world emissions depends on vehicle technology, application and goals of the entity with interest in good emission performance. The limit values should be:

- realistic and achievable for the given technology.
- designed for the purpose. Depending on the needs of a stakeholder a certain level of emission may be needed to achieve local air quality targets or operational targets (e.g. fuel costs).

The limit values must be connected to a defined test method and defined test conditions such as: test track configuration, fuel properties, vehicle pay load, vehicle condition and configuration.

An example of possible limit values of Euro V vehicles is shown in Table 4.

Table 4: example real-world test and emission limit values.

Component		Real-world limit Value
		[g/km]*
CO		1.65
CO <sub>2</sub>		850
THC		0.30
NOx		5.0
NO <sub>2</sub>		2.0
PM10		0.03
CH4		0.40
FC		210
Test cycle		SORT2
Average speed	[km/h]	18.6
Length	[m]	920
Vehicle load	[kg]	2500
Number of tests		4

\*Energy consumption 1.1 kWh/km

### Durability requirements

Emissions can strongly degrade over the useful life of a vehicle. In order to secure emissions over the vehicle lifetime it is needed to define practical criteria and procedures.

Periodic inspection and the strict execution of periodic maintenance and repair may keep emissions low. It is important to note that it is not always in the interest of the fleet operator to keep to strict maintenance and repair schedules. This to cut costs of operation. This may necessitate a clear specification of the level of maintenance



to secure that emission relevant problems are solved during the operational life time of a vehicle.

To guarantee low emissions and durable emission performance over the useful life of a vehicle several items must be registered, these are:

- inspection and maintenance:
  - o OBD checks, emission related malfunctions,
  - o tyre conditions,
  - o condition of Diesel Particulate Filter,
  - o conditions of the brakes,
  - o engine condition.
- ECU software configuration,
- conformity of production (no parts may be removed or modified during the vehicle life time),
- monitoring and registration of fuel consumption,
- monitoring and registration of Adblue consumption,
- monitoring and registration of malfunctions,
- real-world test of emission performance (PEMS or SEMS).

These data are needed to judge the condition of the vehicles and the long term emission performance.

The frequency of data analysis and criteria for repair actions must be defined.

## B Real-world test methods

The type, quality and execution of a test method affect the test result. Except emission limit values it is needed to define test criteria. In this chapter the main test criteria are defined.

### Criteria of the service provider of emission tests

The criteria for the technical service which perform real-world emission tests are:

- ISO-certified (preferably ISO 17025)
- sufficient experience in the field of vehicle emission testing (> 3 years)
- a test team with sufficient test experience (one test engineer with more than five years of test experience)

### Criteria of quality of test results

The criteria of the emission test results are:

- the values of the test results must meet certain limit values,
- the accuracy of the test results must be defined (5% or less),
- the test must be representative for the application of the vehicles (test speeds and load patterns must cover real-world operation),
- at least two identical test results are needed to judge test repeatability.

Type approval test results cannot be used for determination of real-world emissions because the speed and load patterns may differ and the vehicle application might deviate from the application in the test bed which was only used for determination of the Type Approval emissions.

### Portable Emission Measurement System tests (PEMS)

The most developed test method for determination of real-world emissions is the so called PEMS test method, which is based on a Portable Emission Measurement System. Dedicated test equipment which is able to measure CO, CO<sub>2</sub>, THC, NO and NO<sub>2</sub> emissions (in g/km) is installed on a vehicle, see Figure 4. On the road, vehicle emissions can be measured under several conditions. Special attention must be paid on:

- the pay load of the vehicle,
- the warming up procedure,
- the applied fuel,
- the vehicle condition and,
- the type of road trips.

In the end the emission test results must cover representative real-world test conditions. After testing the processing of the data must be carried according to a defined test data protocol because this has influence on the overall result of the test.

### Sensor Emission Measurement System tests (SEMS)

A more simple method for determination of CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions is a Sensor Emission Measuring System (SEMS). This system is under development. The strength of this method is that it is a relatively cheap alternative for PEMS because the installation of the equipment is relatively easy. This means that for the same costs or less than PEMS more tests can be done or longer trips can be driven. When installed as an autonomous system the SEMS can easily log NO<sub>x</sub> emissions and vehicle activity data for several days. For the moment, the SEMS is limited to the measurement of NO<sub>x</sub> on diesel vehicles.

### Selection of a test route

For real-world testing the test route must be chosen carefully because a test must be repeatable (within certain boundaries) but preferably the test route should also be representative or cover the operating conditions which occur for the given application. The driver must be aware of the required test speeds and character of the test track. In European heavy-duty emission legislation for in-service conformity (Annex II, 582/2011/EC and amendments) there are requirements for the test routes. A segmentation is made for different legislative categories of vehicles, see Table 5. Also more detailed guidelines are put forward for the test routes characteristics like share of idling, acceleration, cruising etc. At the moment, a guideline for average speed per trip part is missing although this average speed is known as an important parameter to judge whether the test route was performed at realistic speeds. Besides the EU criteria which can be taken as a guideline, one can alternatively consider to drive a vehicle over its representative test route. For instance, a city bus could drive the bus line it is intended for or a garbage truck could drive its usual trip to collect garbage and transfer garbage to the central garbage collection site.

Table 5: EU requirements for trip composition for testing vehicles with a portable emission measurement system on the road.

Vehicle Category	Trip duration percentage ( $\pm 5\%$ )		
	Urban	Rural	Motorway
M1 and N1 (passenger cars)	45	25	30
N2 (heavy-duty truck, GVW 3,5-12 ton)	45	25	30
N3 (heavy-duty truck, GVW > 12 ton)	20	25	55
M2 / M3 (busses, coaches)	45	25	30
M2 / M3, M3 of Class I, II or Class A (city busses)	70	30	0

In Figure 5 an example of a Dutch test route is shown which includes most relevant Dutch driving conditions.



Figure 5: example test track for PEMS tests.

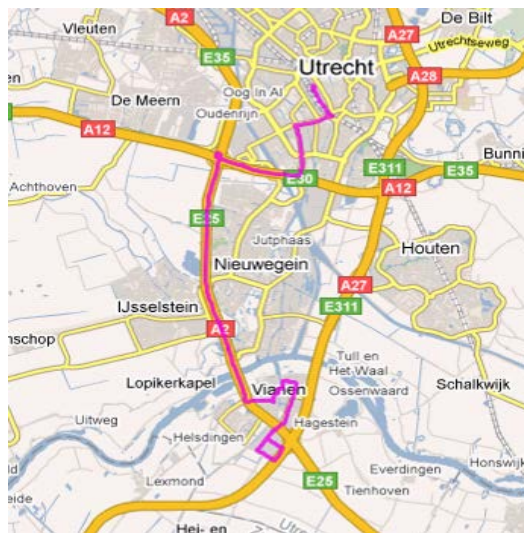


Figure 6: example of a trip for a bus line, in this case Connexxion bus line 63 Utrecht Centraal to Vianen.

### Test conditions real-world testing

#### *Ambient conditions*

These conditions must be registered and selected carefully because these conditions may have a big impact on the test results. The effect of air temperature on density is significant because a temperature difference of 27 °C results in an air density change and air drag of 10%. The wind force and also the wind direction have a relative big impact on air drag and a wet road surface (caused by rain) effects the vehicle resistance as well.

Furthermore, the ambient temperature influences some emission control systems. For instance, an SCR system to reduce NO<sub>x</sub> generally operates more efficient at higher ambient temperatures. When an emission limit is defined one could then consider to test under worse or worst case conditions.

The common advice is to test only if the ambient conditions fall within an acceptable margin from the representative conditions or to test an extreme if one wishes to test a certain specific system behaviour under worst case conditions.

Temperature: the average temperature in The Netherlands is about 9 °C. An acceptable band for screening emissions is 5-20 °C. Outside this band the effects on emissions may become more apparent.

Humidity of air must be registered.  
Maximum (average) wind speeds must be specified.

Other conditions:

Rain should be avoided but this often restricts the test schedule too much. light rain is acceptable for emission screening.

It is not recommended to test with snow and ice on the road unless a vehicles application is intended for such use.

#### *Vehicle pay load*

The test should be carried out with a defined pay load. A first recommendation is 50% of the maximum pay load.

#### *Vehicle conditions and preconditioning*

Before testing a fixed warming up procedure must be carried out. In general it takes a minimum of 30-45 minutes driving to reach a stable vehicle condition. The test should be started immediately after the warming up.

#### *Test fuels*

Test fuels must be specified. The highest quality standard is a reference fuel which is applied for Type Approval purposes. For real-world testing the representative fuel, for instance for diesel vehicles the standard market fuel EN590 diesel can be used.

#### *Test parameters to be measured and registered*

Temperatures: Ambient, coolant, lubricant, tail pipe and fuel.

Vehicle speed with a frequency of 5 Hz.

For determination of the emission performance in g/km the next parameters must be measured; Air and fuel mass flow or fuel flow and CO<sub>2</sub> emissions, and pollutant concentrations (CO, THC, NO and NO<sub>2</sub>).

#### *Repeatability of test results*

At least 2 test results are needed for judgement of the vehicle emission performance. A maximum bandwidth of the test results must be defined. In order to create an acceptable repeatability congestion in test trips must be avoided.

#### *Required number of tests*

A minimum of two test results is needed. In case of a certain deviation between both test results (i.e. > 5%) more test results are needed for determination of an average result.

*Specification of test cycle*

In order to have a representative test result which covers the use in the application the pay load, track conditions and length and average vehicle speed must be defined.

*Auxiliaries*

During testing the state and use of auxiliaries must be defined or registered/measured. Preferably the air conditioning must be switched off and the fan of the cooling system must operate in a fixed state. The state of charge of the batteries must be measured continuously over the test cycle duration.

**Data processing and calculation of test results**

The continuous registered data (mostly with a frequency of 1 Hz) must be checked and classified. Pass and fail criteria are needed to separate useful and useless data. I.e. data which are collected in an undefined traffic jam might be removed. The selected valid data are the basis of a speed dependent emission behaviour. The data processing method must be defined. Possible options for data processing are: Data binning, work based data processing  
Correction factors for NO<sub>x</sub> and particulates must be applied and results must be corrected to standard conditions.

## C Definition of results and conclusions

### Definition test report

The test report contains data of:

- the vehicle emission requirements (limit values),
- the vehicle application,
- vehicle specifications:
  - make and model,
  - model year,
  - type; tractor-semitrailer, city bus, ...,
  - odometer reading,
  - mass, length, width,
  - tyres (type and dimensions).
- engine specifications
  - engine code, model number,
  - European type approval number,
  - emission stage,
  - vehicle identification number,
  - rated power @ rpm,
  - maximum torque @ rpm,
  - list of emission relevant hardware.
- fuel specifications
  - type of fuel,
  - origin.
- Reagens specifications (i.e. AdBlue),
- test track specifications,
- test specifications and preparation activities, vehicle checks,
- specifications and handling of test equipment,
- protocol of data processing,
- logbook of activities,
- test results, including a statistical presentation of the measurement uncertainty or significance of the results,
- discussion and conclusion test results.

### Criteria and messages of the conclusions

The conclusions must contain statements about the vehicle emission compliance and the emission performance in the specific application.

### Quality of the test results

The measuring data and the test results must be qualified in terms of:

- representativeness: what is the result representative for?
  - repeatability (an absolute indication of the range of uncertainty caused by variation in test results due to variations of the test object, the test procedure and stability test equipment,
  - uncertainty (reference to standards).
- quality (certification of quality insurance of the test specialist performing the tests).