

# Memo

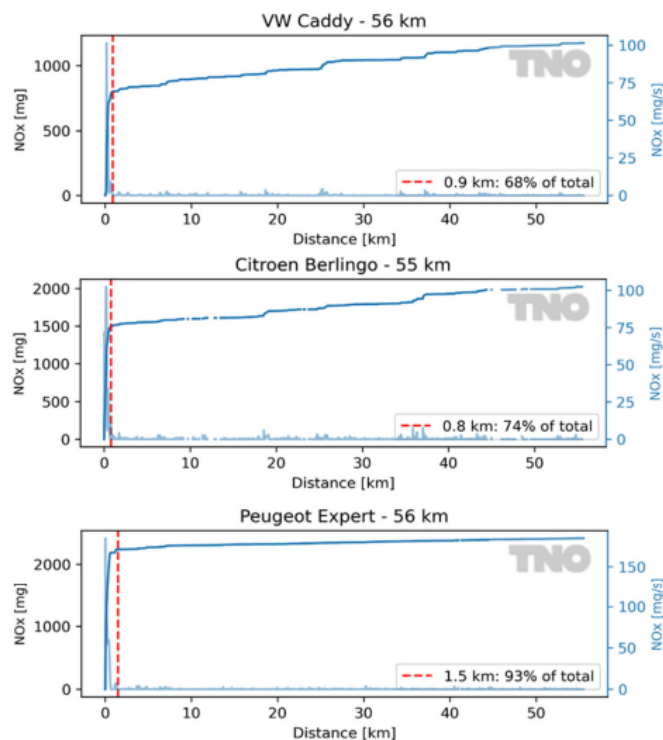
Aan RIVM/AERIUS  
 Van Norbert Ligterink  
 Onderwerp warmte-inhoud van uitlaatgas tijdens de koude start

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)  
 emiel.vaneijk@tno.nl  
 +31615216586

Datum  
 5 juli 2024  
 Onze referentie  
 060.60394/03

## 1. Inleiding

Met de groeiende toepassing van katalysatoren voor het reduceren van de uitstoot van NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, en andere stoffen, typisch met 95% of meer, zijn de koude start emissies van wegverkeer een steeds belangrijkere bron. Tijdens de start van de motor, na een periode van 2 uur of langer parkeren, is de katalysator nog koud en functioneert daarom nog niet. Door het warme gas uit de motor warmt de katalysator op. Het uitlaatgas uit het einde van de uitlaat zelf is pas later warm, omdat ook de leiding en demper moeten opwarmen. Deze situatie is beperkt veranderd voor benzinevoertuigen sinds 2000 met katalysatortechnologie en katalysatorregeling voor Euro-3. Voor lichte dieselveertuigen, die sinds bouwjaar 2019 (Euro-6d-temp) veel schoner zijn op de weg, is dit het grootste overblijvende probleem met schadelijke emissies voor deze voertuigen. In de eerste minuut worden er meer emissies uitgestoten dan in de 50 kilometer rijden erna.<sup>1</sup>



Figuur 1 Uit TNO rapport R10365, de nieuwe situatie voor dieselveertuigen, de piek in emissies (lichtblauwe lijn, en rechter schaal) hebben na enkele seconden, en de koude start emissies zijn volledig verdwenen in 800 meter tot 1,5 kilometer. In dit geval zijn de auto's onmiddellijk na de start hard weggereden.

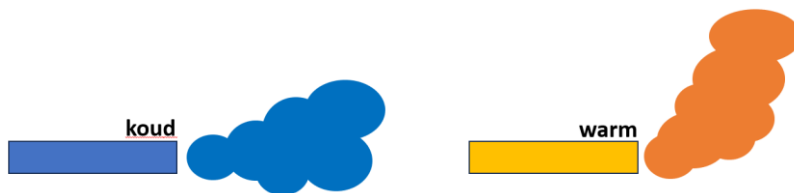
<sup>1</sup> Dutch In-service Emissions Measurement Programme for Light-Duty Vehicles 2021 and status of in-vehicle NO<sub>x</sub> monitoring, TNO rapport R10365.

De pieken in NO<sub>x</sub> emissies voor lichte dieselvoertuigen liggen tussen 100 en 150 mg/s. In die enkele seconden direct na de start van de motor, zijn er per seconde meer emissies dan met een warme motor over 5 tot 10 kilometer. Voor oudere voertuigen is de verhouding anders, en defecten en tampering leiden tot een verdere verhoging van warme emissies. Koude start emissies worden steeds belangrijker door de uitstroom van oudere voertuigen en aanscherping van duurzaamheids-eisen met Euro-7 voor nieuwe voertuigen.<sup>2</sup>

Om deze reden zijn vanaf 2024 de emissiefactoren voor koude start afzonderlijk beschikbaar gesteld. Om hier een berekening mee te kunnen doen voor luchtkwaliteit (bijvoorbeeld voor GCN-kaarten) of depositie (met bijvoorbeeld AERIUS Calculator), zijn naast de emissiefactoren ook de bronkarakteristieken voor koude start nodig. De bronkarakteristieken voor rijdend wegverkeer zijn volgens de beschrijving<sup>3</sup> niet goed toepasbaar voor koude start situaties. Voor koude start zijn daarom specifieke bronkarakteristieken afgeleid, welke in deze notitie worden beschreven.

## 2. Achtergrond

De verspreiding van uitlaatgas is afhankelijk van meerdere bronkarakteristieken. Dit zijn onder andere de bronhoogte, de verticale spreiding, de uittreedsnelheid van het gas, de uitstroomrichting, en vooral de warmte-inhoud van het gas. Warm gas stijgt op, en verspreidt daarom verder en sneller. Koud gas blijft meer bij de grond en verhoogt daarmee concentraties in de buurt van de bron, ten opzichte van warm gas, zie Figuur 2.



Figuur 2 Warm uitlaatgas is lichter dan de buitenlucht en stijgt daarom op. Koud uitlaatgas verspreidt meer horizontaal. Het molair gewicht van uitlaatgas is nagenoeg gelijk aan buitenlucht en de gassenstelling draagt daarom niet bij aan stijging.

## 3. Resultaten

Tijdens recente koude start emissiemetingen van personenauto's, de grootste bron van koude start emissies in Nederland, blijft de temperatuur van uitlaatgas na enkele minuten nog steeds onder de 60° C bij een buitentemperatuur van 15° tot 20° C. Deze metingen worden nog verwerkt in een verdere onderbouwing en toekomstige aanpassingen van de koude start emissies. Een uitgebreide publicatie volgt dan. In de eerste seconden tot minuut, waar de meeste koude start emissies optreden is de temperatuur nauwelijks verhoogd ten opzichte van de buitentemperatuur. Voor vrachtwagens duurt het nu nog langer dat de katalysator opgewarmd is, maar omdat dezelfde katalysatortechnologie wordt gebruikt is de verwachting dat het beeld hetzelfde is. De aanscherping van Euro-VI wetgeving, met Step E,<sup>4</sup> die koude start testen op de weg onderdeel maken van de wettelijke eisen, zal de duur van de koude start verder beperken. Moderne dieselvoertuigen, vanaf ongeveer 2014, hebben een zogenaamde closed-coupled katalysator, direct achter de motor, die snel opwarmt en actief wordt, voordat de rest van de uitlaat warmer wordt, en het uitlaatgas warm uit de uitlaat komt. De koude start

<sup>2</sup> Europese wetgeving EU/2024/1257

<sup>3</sup> Dröge et al. 2022, Update Emissiekarakteristieken GCN/GDN 2022, TNO 2022 R11734,

<sup>4</sup> Europese wetgeving EC/2019/1939 stelt vanaf 2022 strengere eisen aan koude start emissies. De effecten in de praktijk zijn nog niet breed onderzocht.

emissies zijn daarom alleen direct na de start van de motor, terwijl het uitlaatgas nog afkoelt in de uitlaat.

Voor de koude start emissies (de eerste seconden, uitlopend tot maximaal een minuut) zijn de bronkarakteristieken als volgt

1. De temperatuur van het uitlaatgas bij verhoogde concentraties ligt tussen 0 en 20 graden boven de buitentemperatuur.
2. De gemiddelde uitlaat-diameter is 4 cm voor licht voertuigen en 10 cm voor zware voertuigen.
3. De massastroom is gemiddeld 3 g/s voor lichte voertuigen, en 20 g/s voor zware voertuigen.
4. De warmte-inhoud, bij verhoogde emissies, ligt hiermee tussen 0 en 100 Watt en is gemiddeld 30 Watt (0.00003 MW)
5. De snelheid van uitlaatgas tijdens de koude start is 4 m/s voor alle voertuigen.
6. De initiële spreiding, veroorzaakt door de scherpe randen van de uitlaat, is in de orde van een factor 8 van de oppervlakte van de uitlaat.
7. De uitlaten zijn over het algemeen horizontaal gemonteerd, en de uitworp is daardoor zijwaarts. De hoogte van de uitlaat is voor voertuigen 0.30 m boven de grond. Voor de meeste vrachtwagens vindt de uitstoot onder het voertuig plaats. Uitlaten hoger op zware voertuigen komen wel voor, bijvoorbeeld bij bussen, maar zijn niet maatgevend.

De initiële spreiding (en vertraging) van de gasstroom van een factor 8 in van de oppervlakte van de uitlaat vertaalt naar:

- › Lichte voertuigen: 6 cm diameter
- › Zware voertuigen: 14 cm diameter

In de praktijk zal een voertuig in de eerste minuut na de koude start niet ver rijden (opstarten, gordel om doen, uitparkeren, garage/wijk uitrijden) en kan koude start als stilstandende bron worden beschouwd.

## 4. Toepassing in AERIUS Calculator

De volgende tabel geeft het overzicht van de bovengenoemde bronkarakteristieken zoals deze toegepast worden in AERIUS Calculator. De warmte-inhoud wordt als nihil beschouwd. In OPS-berekening die door AERIUS Calculator uitgevoerd wordt is deze na afronding ook daadwerkelijk 0 MW. De spreiding wordt in OPS op 1 decimaal afgerond, waardoor deze voor alle categorieën 0,1 m is. De temporele variatie en deeltjesgrootteverdeling zijn ook onderdeel van de bronkenmerken, maar niet afgeleid door TNO. Deze zijn opgenomen in het actualisatierapport bij AERIUS-Calculator.

De bronkarakteristieken die OPS toepast zijn daarmee de volgende voertuigcategorie	Warmte-inhoud [MW]	Bronhoogte [m]	Spreiding [m]
Licht verkeer	0.00	0.3	0.1
Middelzwaar verkeer	0.00	0.3	0.1
Zwaar verkeer	0.00	0.3	0.1
Bussen	0.00	0.3	0.1

Deze karakteristieken zijn geldig voor voertuigen langs een straat of parkeerplaats op maaiveld. Voor speciale gevallen zoals parkeergelegenheid ondergronds of onderdeel van een gebouw, zoals parkeergarages, zijn niet zinnig generieke cijfers af te leiden. Hiervoor is kennis van de specifieke omstandigheden nodig, zoals de aard van de luchtverversing in de ruimte, vergelijkbaar met tunnels voor rijdend verkeer.