

TNO-rapport**TNO 2019 R10825v2****Emissiefactoren wegverkeer -
Actualisatie 2019****Traffic & Transport**Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	25 juli 2019
Auteur(s)	N.E. Ligterink, R.N. van Gijlswijk, G. Kadijk, R.J. Vermeulen, A.P. Indrajana, M. Elstgeest, P. van Mensch, J.M. de Ruiter, R.P. Verbeek, J.H.J. Hulskotte, G. Geilenkirchen (PBL), M. Traa (PBL)
Exemplaarnummer	2019-STL-RAP-100321751
Aantal pagina's	54
Opdrachtgever	Cluster lucht en geluid Directie Duurzame Leefomgeving Circulaire Economie Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectnaam	Luchtkwaliteit 7
Projectnummer	060.37320

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Samenvatting

TNO actualiseert jaarlijks de emissiefactoren voor wegverkeer. Deze emissiefactoren worden gebruikt in de Emissieregistratie, onder meer ten behoeve van internationale emissierapportages, maar ook in verspreidingsmodellen ten behoeve van de berekening van concentraties van luchtverontreinigende stoffen.

In 2019 is een aantal emissiefactoren wegverkeer bijgesteld op basis van nieuwe inzichten uit recent onderzoek:

- Oudere benzineauto's hebben incidenteel problemen met de emissiecontroletechnologie, wat een grote toename in gemiddelde NO_x emissies tot gevolg heeft.
- De modernste Euro VI vrachtwagens functioneren minder goed bij lage snelheden met als gevolg hogere NO_x emissies in de stad.
- Daarnaast is er een inschatting gemaakt van het effect van het (op beperkte schaal) verwijderen van roetfilters op fijnstof (PM) en EC emissies van moderne diesel personenauto's en bestelauto's.
- Verder zijn de NH₃ emissiefactoren aangepast om zo de geobserveerde slip van ammonia uit de katalysator in Euro VI vrachtwagens goed te reflecteren.

Op verschillende details zijn de wagenparkontwikkelingen aangepast voor 2020. Voor andere zichtjaren zijn er geen veranderingen in het wagenpark doorgevoerd. Voor 2014 en 2030 is er geen verandering in het wagenpark verondersteld ten opzichte van eerdere inzichten, omdat er geen nieuwe gegevens beschikbaar zijn. Voor milieuzones vrachtverkeer in de stad wordt dit jaar uitgegaan van 10% overtredingen en ontheffingen, ten opzichte van de eerdere inschatting van 25%. Er zijn voor 2019 door PBL geen nieuwe ramingen gemaakt van de totale emissies van transport, die naast wegverkeer ook emissies van binnenvaart, bromfietsen, en mobiele werktuigen bevat. Het effect van veranderingen in de huidige emissies van transport zijn voor volledigheidshalve in dit rapport opgenomen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
1.1	Opdrachtgever	5
1.2	Emissiefactoren voor Standaard Rekenmethoden, Natura2000 (AERIUS) en Emissieregistratie	5
1.3	Meetprogramma's en onderzoeken	6
1.4	Leeswijzer	6
2	Hogere NO_x emissies bij oude benzineauto's	8
2.1	Ontwikkeling emissies bij oudere benzineauto's met hogere kilometerstanden	8
2.2	Aantallen voertuigen en kilometrages per leeftijdscategorie	9
2.3	Emissiefactoren oude benzineauto's	10
3	Hogere PM en EC emissies bij een kleine groep auto's waar het roetfilter verwijderd is	12
3.1	Effecten op PM en EC apart, PM uitlaat in PM2.5 en PM10	12
3.2	Groeiend aandeel oude auto's met roetfilters	12
4	Hogere NO_x emissies Euro-VI vrachtwagens in de stad	13
4.1	Ontwikkeling emissiefactor NO _x voor zware Euro VI bedrijfswagens	13
4.2	Alle zware gewichtscategorieën, dekking monitoringsprogramma	16
4.3	Verdeling van emissies naar wegtypes op basis van snelheid en snelweg	18
4.4	Relatief betere prestatie bussen	18
5	Hogere NH₃ emissies Euro-VI vrachtwagens	19
5.1	NH ₃ sensor, kalibratie issues, en validatiemetingen	19
5.2	Incidentele hoge emissies, mogelijk verband met dynamiek	21
5.3	Onvoldoende statistiek voor differentiatie over voertuigen of wegtypen	22
6	Samenstelling wegverkeer	24
6.1	Update ramingen voertuigkilometrages 2020	24
6.2	Methodiek	24
6.3	Resultaten voor licht verkeer	26
6.4	Resultaten voor middelzwaar en zwaar verkeer	30
6.5	Onzekerheden	31
7	Milieuzone vrachtverkeer	33
8	Actualisatie emissiefactoren andere mobiele bronnen	35
8.1	Veranderingen emissiefactoren binnenvaart	35
8.2	Hogere emissies NRMM nog niet verwerkt in emissiefactoren	44
8.3	Dieseltreinen	44
8.4	Updates brommers	45
9	Doorkijk en aandachtspunten	49
9.1	Verwachte effect van APK test in 2021	49
9.2	NH ₃ van Euro-6d-TEMP en Euro-6d-FINAL	49
9.3	Tampering SCR, chiptuning, en andere manipulaties van voertuigen	49

9.4	Retrofit SCR systemen	49
9.5	Aankomende steps in Euro-VI wetgeving	50
9.6	Andere bronnen in de verschillen tussen metingen en prognoses	51
10	Literatuur	52
11	Ondertekening	54

1 Inleiding

TNO levert jaarlijks nieuwe emissiefactoren voor wegverkeer op basis van metingen en nieuwe inzichten. Deze emissiefactoren worden onder meer gebruikt in luchtkwaliteitsmodellen (standaardrekenmethoden), maar ook in de emissieregistratie voor internationale rapportages. Omdat het deels prognoses betreft voor toekomstige jaren, zijn de getallen mede gebaseerd op inschattingen van de effectiviteit van nieuwe wetgeving en technologieën, en op modellen voor de ontwikkeling van het wagenpark.

Dit rapport geeft een overzicht van het onderzoek van het afgelopen jaar wat verwerkt is in de emissiefactoren wegverkeer voor 2019, en wat er mogelijk nog aan wijzigingen aan komen voor volgende jaren gegeven lopend onderzoek en beleid in ontwikkeling.

1.1 Opdrachtgever

Emissiemetingen zijn veelal uitgevoerd in het kader van de steekproefprogramma's van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan voertuigen voor inzicht in effectiviteit van bronbeleid. Maar de emissiefactoren zelf, mede bepaald op basis van deze meetresultaten, worden gebruikt in het beleid rond luchtkwaliteit. Het Taakveld Leefomgeving, van de directie Duurzame Leefomgeving Circulaire Economie, binnen het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft opdracht gegeven voor deze rapportage om meer duiding te hebben aan de wijzigingen in de emissiefactoren voor wegverkeer.

Voor de methodiek van het vaststellen van emissiefactoren zijn twee rapporten beschikbaar. (Spreeen *et al.*, 2016) geeft aan hoe de metingen worden verwerkt tot emissiefactoren, het Methodierapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer van de Emissieregistratie (te vinden op www.emissieregistratie.nl) geeft jaarlijks de meer generieke onderbouwing van de cijfers. Veranderingen ten opzichte van die methodiek, zoals het gebruik van monitoringsdata voor emissiefactoren wat afgelopen jaar voor het eerst is toegepast, worden in dit rapport toegelicht.

1.2 Emissiefactoren voor Standaard Rekenmethoden, Natura2000 (AERIUS) en Emissieregistratie

In de Emissieregistratie (www.emissieregistratie.nl) worden jaarlijks de totale emissies van verkeer en vervoer berekend in voorbije jaren. Deze berekeningen zijn grotendeels gebaseerd op emissiefactoren van TNO en worden in meer detail beschreven in het methodiekrapport van de taakgroep verkeer en vervoer (Klein *et al.*, 2019). PBL raamt (twee)jaarlijks de toekomstige uitstoot van verkeer en vervoer in Nederland. Deze ramingen zijn gebaseerd op dezelfde emissiefactoren als die in de emissieregistratie worden gebruikt. De ramingen van PBL worden onder meer gebruikt voor de jaarlijkse berekening van concentratie- en depositiekaarten door RIVM (<https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten>). Deze kaarten geven een grootschalig beeld van de luchtkwaliteit en de depositie van stikstof in Nederland in voorbije jaren en in de toekomst. Om de concentraties van luchtverontreinigende stoffen of de depositie nabij verkeerswegen te berekenen, worden door TNO en PBL specifieke emissiefactoren berekend.

De emissiefactoren geven voor een gemiddelde verkeersstroom de uitstoot per afgelegde voertuigkilometer van een aantal luchtverontreinigende stoffen. De emissiefactoren worden bepaald op basis van weging van een groot aantal onderliggende emissiefactoren voor allerlei typen voertuigen. Deze onderliggende emissiefactoren worden jaarlijks door TNO berekend, op basis van de laatste inzichten. De weging vindt plaats op basis van voertuigkilometrages afkomstig van CBS en PBL. De geaggregeerde emissiefactoren dienen als invoer voor verspreidingsmodellen waarmee de bijdrage kan worden berekend van het wegverkeer aan de concentraties van luchtverontreinigende stoffen nabij verkeerswegen. Conform de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 worden de emissiefactoren jaarlijks voor 15 maart openbaar gemaakt door de minister van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Deze rapportage beschrijft de emissiefactoren die in maart 2019 zijn gepubliceerd.

Voor luchtkwaliteit in SRM worden verschillende congestieclassen en snelheidslimieten onderscheiden. Een bijzondere emissiefactor is voor ammoniak, die alleen in verband met stikstofdepositie wordt vastgesteld en gebruikt in het AERIUS rekenmodel voor stikstofdepositie.

1.3 Meetprogramma's en onderzoeken

Het grootste deel van de metingen worden gedaan voor het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, in het kader van bronbeleid. Maar het RIVM sponsort ook metingen en ander onderzoek in verband met verbeteringen aan de Emissieregistratie en het vullen van de kennislacunes. Ook is een deel van het werk het resultaat van meetprogramma's die zijn uitgevoerd voor de Europese Commissie, en ook Connekt heeft een deel van het onderzoek gesponsord. Al deze onderzoeken zijn openbaar en in de literatuurlijst van dit rapport opgenomen.

Dit rapport is geeft alleen een overzicht van de recente wijzigingen in de emissiefactoren en de onderzoeken die daaraan ten grondslag hebben gelegen. Voor details wordt verwezen naar de onderliggende rapportages.

Ook wordt in dit rapport een voorschot genomen op lopend onderzoek en de verwachte effecten van nieuw beleid en regelgeving. Daarnaast worden een aantal kennislacunes geïdentificeerd die bijdragen aan de onzekerheden in de resultaten. In het bijzonder, buitenlandse voertuigen worden niet meegenomen in de onderzoeken. De samenstelling en de staat van dit groeiend aandeel in het verkeer op de Nederlandse wegen is grotendeels onbekend.

1.4 Leeswijzer

In de opeenvolgende hoofdstukken worden de belangrijke wijzigingen toegelicht:

- Hoofdstuk 2: Benzineauto's van Euro-3 tot Euro-5 die problemen ontwikkelen met hoge NO_x emissies tot gevolg.
- Hoofdstuk 3: De prevalentie van het verwijderen van roetfilters van diesel personen- en bestelauto's en het effect op de fijnstof- en elementaire koolstof emissies.

- Hoofdstuk 4: Hoge NO_x emissies bij moderne Euro-VI vrachtwagens bij lage snelheden, die buiten de huidige wetgeving vallen.
- Hoofdstuk 5: Hoge NH₃ emissies bij Euro-VI vrachtwagens, bij incidenten waar de regeling van de katalysator faalt.
- Hoofdstuk 6: Het veranderende wagenpark voor 2020, met de toename van bestelauto's en import, en de afname van dieselauto's.
- Hoofdstuk 7: De milieuzone voor zwaar wegverkeer.
- Hoofdstuk 8: Nieuwe inzichten voor andere mobiele bronnen.
- Hoofdstuk 9: Discussie en vooruitblik

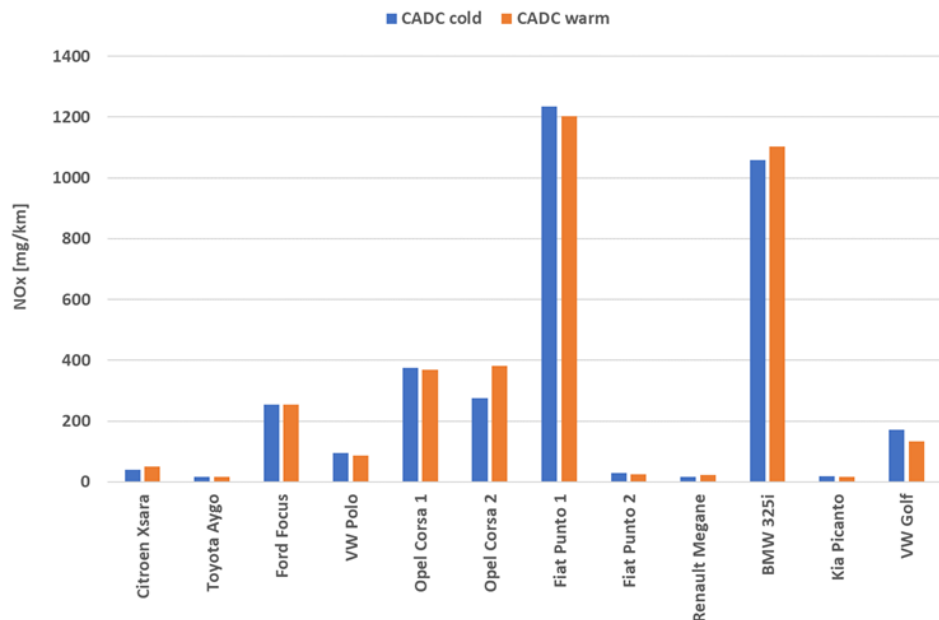
2 Hogere NO_x emissies bij oude benzineauto's

Oudere benzineauto's (Euro 3, 4 en 5) vormen een relatief groot aandeel van Nederlands wegverkeer, zeker binnenstedelijk. Oudere auto's worden relatief minder gebruikt, maar dat lijkt vooral betrekking te hebben op de lange afstand (Ligterink, 2017). De vraag was of oudere voertuigen nog goed presteren op het gebied van schadelijke emissies. In het verleden waren er namelijk aanwijzingen dat dat mogelijk niet het geval was, met grote stijgingen in de emissies tot gevolg (Zyl *et al.*, 2015).

2.1 Ontwikkeling emissies bij oudere benzineauto's met hogere kilometerstanden

In de periode 2017-2018 is een eerste beperkt en verkennend onderzoek uitgevoerd waarin twaalf oudere benzinevoertuigen met hoge kilometerstanden (ca. 150.000 tot 250.000 km) op de rollenbank zijn getest (Kadijk *et al.*, 2018). De NO_x emissie van deze groep voertuigen vertoont een grote spreiding, de overige emissies (CO, THC, PM) zijn overwegend goed en vormen nu geen aanleiding voor verder onderzoek.

Bij drie van de geteste voertuigen was echter sprake van verhoogde NO_x emissies (ca. 200 – 400 mg/km) en twee voertuigen hadden zelfs zeer hoge NO_x emissies (ca. 1050 – 1200 mg/km). Twee voertuigen hadden een NO_x emissie van ca. 100 – 200 mg/km en vijf voertuigen minder dan 50 mg/km (zie Figuur 1).



Figuur 1: Resultaten van de metingen aan 12 benzineauto's.

Op basis van deze resultaten is het aannemelijk dat oudere benzinevoertuigen gemiddeld een verhoogde NO_x emissie hebben (in de tijd oplopend naar ongeveer 300 mg/km).

Als dit beeld van twaalf voertuigen representatief is voor de Nederlandse vloot betekent dit dat de gemiddelde NO_x emissie van een gemiddeld ouder benzinevoertuig (> 10 jaar) sterk toeneemt en dit zou tot een sterke aanpassing van de huidige emissiefactoren leiden, deze steekproef is echter te klein. Om een representatief en statistisch verantwoord beeld te verkrijgen van de Nederlandse vloot van oudere benzinevoertuigen is een grotere steekproef van 60 testvoertuigen noodzakelijk; Het is de verwachting dat een vervolgonderzoek van 60 oudere benzinevoertuigen in 2019 wordt uitgevoerd.

2.2 Aantallen voertuigen en kilometrages per leeftijdscategorie

Het belang van de NO_x emissies van oudere benzinevoertuigen hangt uiteraard samen met het aandeel van deze voertuig categorieën in het wagenpark. In onderstaande tabellen zijn de jaarkilometrages naar voertuigleeftijd weergegeven.

Zoals te zien in Tabel 1 bestaat 19,1% van alle M1 en N1 voertuigen uit benzinevoertuigen met een leeftijd van 10 tot 15 jaar. Deze groep is verantwoordelijk voor 15,1% van de totale jaarkilometrage van alle M1 en N1 voertuigen met geldige kilometerregistratie (zie Tabel 2). Alle benzinevoertuigen van 10 jaar of ouder (42,7%) zijn tezamen verantwoordelijk voor 32,1% van de totale jaarkilometrage.

Tabel 1: Wagenpark M1 & N1 per leeftijdscategorie. Zichtdatum 18-01-2019. Bron: RDW-IV.

Voertuigleeftijd [jaar]	Alle brandstoffen		Benzine		
	Aantal [-]	Aandeel t.o.v. totaal	Aantal [-]	Aandeel t.o.v. totaal benzinevoertuigen	Aandeel t.o.v. totaal
0 - 5	1.471.308	17,8%	891.508	14,8%	10,8%
5 - 10	2.420.759	29,3%	1.606.395	26,7%	19,4%
10 - 15	2.073.985	25,1%	1.579.977	26,2%	19,1%
15 - 20	1.546.411	18,7%	1.299.758	21,6%	15,7%
>=20	762.498	9,2%	649.570	10,8%	7,8%
TOTAAL	8.274.961	100%	6.027.208	100%	72,8%

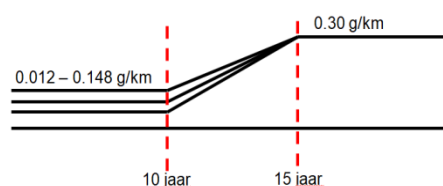
Tabel 2: Jaarkilometrage 2017-2018 M1 & N1 per leeftijdscategorie. Zichtdatum 18-01-2019. Bron: RDW-IV.

Voertuigleeftijd [jaar]	Alle brandstoffen		Benzine		
	[*mln km]	Aandeel t.o.v. totale kilometrage	[*mln km]	Aandeel t.o.v. benzine kilometrage	Aandeel t.o.v. totale kilometrage
0 - 5	20.797,8	20,6%	9.561,6	15,0%	9,5%
5 - 10	35.429,7	35,0%	21.765,4	34,1%	21,5%
10 - 15	22.906,7	22,7%	15.280,5	23,9%	15,1%
15 - 20	15.780,2	15,6%	12.203,9	19,1%	12,1%
>=20	6.204,9	6,1%	4.991,6	7,8%	4,9%
TOTAAL	101.119,3	100%	63.803,0	100%	63,1%

Zoals te zien in Tabel 1 bestaat 19,1% van alle M1 en N1 voertuigen uit benzinevoertuigen met een leeftijd van 10 tot 15 jaar. Deze groep is verantwoordelijk voor 15,1% van de totale jaarkilometrage van alle M1 en N1 voertuigen met geldige kilometerregistratie (zie Tabel 2). Alle benzinevoertuigen van 10 jaar of ouder (42,7%) zijn tezamen verantwoordelijk voor 32,1% van de totale jaarkilometrage.

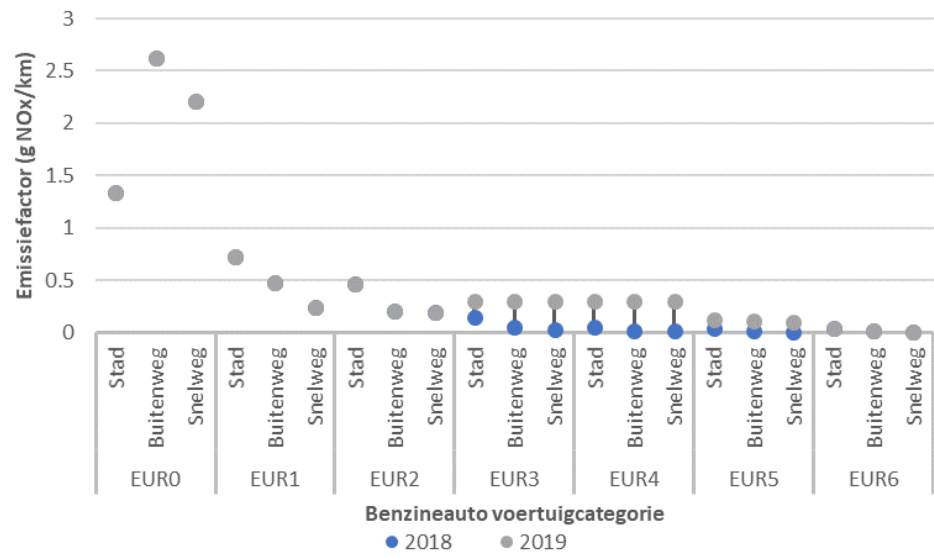
2.3 Emissiefactoren oude benzineauto's

In afwachting van verder onderzoek kan al gesteld worden dat oudere benzinevoertuigen substantieel hogere NO_x emissies hebben dan eerder aangenomen. In de emissiefactoren is nu meegenomen dat vanaf 10 jaar tot 15 jaar de NO_x emissies van Euro-3 tot Euro-5 benzineauto's toenemen van de oorspronkelijke waarde, zoals in 2018 gebruikt, naar 300 mg/km. Na 15 jaar, de laatste paar jaren voor de sloop of export, blijft de waarde constant op 300 mg/km. Verder onderzoek moet een meer gedetailleerdere differentiatie geven. Maar met de huidige informatie is dit een goede inschatting van het effect van de niet gedetecteerde problemen met de driewegkatalysator.



Figuur 2: Het verloop van de emissies, zoals nu aangenomen, op basis van het nieuwe meetprogramma. De gemiddelde leeftijd van benzineauto's is rond de 18 jaar, dus het hoge niveau geldt voor de laatste paar jaar van het voertuig.

Figuur 3 geeft de recente aanpassingen in NO_x emissiefactoren voor benzine voertuigen weer. De NO_x emissiefactoren voor Euro 3, 4 en 5 voertuigen zijn omhoog bijgesteld. De NO_x emissiefactoren voor benzine Euro 1, Euro 2 en Euro 6 zijn niet bijgesteld, omdat nog onvoldoende metingen aan deze voertuigen uitgevoerd zijn.



Figuur 3: Emissiefactoren van benzineauto's voor de uitstoot van stikstofoxides voor zichtjaar 2020, zo als gebruikt in SRM emissiefactoren 2018 en 2019 (zonder blauwe stip: geen aanpassing).

3 Hogere PM en EC emissies bij een kleine groep auto's waar het roetfilter verwijderd is

Dieselveertuigen, personenauto's en bestelauto's, waarvan het roetfilter verwijderd is stoten op massabasis 100-200 maal meer deeltjes uit en op deeltjesaantallen basis is dit 1000 – 10.000 maal. De deeltjesmeting is daarom geschikter om vast te stellen of er een roetfilter aanwezig is, maar voor de luchtkwaliteit heeft deze meting beperkte relevantie, omdat deeltjesaantallen veranderen in de buitenlucht. Daarom worden emissiefactoren uitgedrukt in gewicht: mg/km. Uit een verkennend onderzoek waarin door middel van interviews in het veld het verwijderen van roetfilters is onderzocht, blijkt sprake van een aandeel van verwijderde roetfilters van 1,6%. Daarnaast rijden ook voertuigen met defecte roetfilters op de weg. Er is dus sprake van een substantieel aantal dieselveertuigen met een sterk verhoogde deeltjesemissie die een wezenlijke invloed hebben op de parkgemiddelde emissiefactoren.

3.1 Effecten op PM en EC apart, PM uitlaat in PM2.5 en PM10

In het onderzoek naar verwijderde roetfilters (Staps *et al.*, 2018) is geconcludeerd dat tenminste 1,6% van de dieselauto's met oorspronkelijk een roetfilter, dit roetfilter verwijderd is. Voor de totale fijnstofemissies heeft dat een beperkt effect, maar voor de emissies uit de uitlaat van PM en EC van dieselauto's zijn de effecten navenant. Zeker de toename van EC emissies van deze groep auto's is groot, omdat het roetfilter vooral effectief is in het afvangen van roet. De toename van de fijnstof door het verwijderen van het roetfilter is naar verwachting gelijk aan het niveau van de laatste auto's zonder roetfilter.

- Stedelijk: van 0,5 mg/km naar 33 mg/km → gemiddeld 1,0 mg/km (op basis van 1,6% verwijderde roetfilters)
- Buitenweg/snelweg: van 2 mg/km naar 35 mg/km → gemiddeld 2,5 mg/km (op basis van 1,6% verwijderde roetfilters)

3.2 Groeiend aandeel oude auto's met roetfilters

Roetfilters onder diesel personenauto's zijn grofweg vanaf 2007 gemeengoed geworden, voor bestelauto's is dat drie jaar later geweest. Het gevolg is dat voertuigen met roetfilters nu over het algemeen nog jong zijn. In de toekomst kunnen er meer problemen optreden. Het effect van defecte roetfilters, die mogelijk tot een beperkte stijging van de fijnstof emissies leidt, is niet meegenomen in de emissiefactoren, omdat hier het beeld niet compleet is.

4 Hogere NO_x emissies Euro-VI vrachtwagens in de stad

4.1 Ontwikkeling emissiefactor NO_x voor zware Euro VI bedrijfswagens

Euro VI certificering en gevolgen voor de NO_x emissies

Sinds 2013 komen zware bedrijfswagens in de Nederlandse vloot die een Euro VI gecertificeerde motor hebben. De Euro VI standaard omvat tal van aanpassingen ten opzichte van de voorgaande Euro V en EEV standaarden. De belangrijkste aanpassingen hadden als doel het verlagen van de NO_x uitstoot. Daartoe zijn zowel de limiet als de motortest aangepast (van 2,0 g/kWh voor de ETC test naar 0,46 g/kWh voor de WHTC test), is een test op de openbare weg met Portable Emission measurement System (PEMS) voor het controleren van de conformiteit van in gebruik zijnde voertuigen een verplicht onderdeel van het typegoedkeuringsproces. Daarnaast zijn er aanvullende maatregelen voor boorddiagnose en NO_x maatregelen ingevoerd. Beide hebben als doel de werking van het emissiebeheersingssysteem te controleren. Genoemde maatregelen hadden naar verwachting een significante invloed op het niveau van de NO_x emissie. Inmiddels zijn binnen Euro VI in enkele stappen verdere verbeteringen en aanscherpingen aangebracht (Step A t/m E).

Euro VI certificering en gevolgen voor de fijnstofemissies

In de Euro VI certificering zijn nieuwe eisen opgenomen voor de emissie van deeltjesaantallen en is de limiet voor de uitstoot van de deeltjesmassa omlaag gebracht van 20 naar 10 mg/kWh. De deeltjesaantallen dienen te worden gemeten over de WHTC en WHSC motortesten. Deze nieuwe eis heeft er toe geleid dat fabrikanten voertuigen uitrusten met zogenaamde 'gesloten' roetfilters. Deze zijn zeer efficiënt en leiden tot een fors lagere fijnstofuitstoot ten opzichte van de voorgaande generatie motoren die meestal niet zijn uitgerust met een gesloten roetfilter. Monitoring met hulp van een deeltjesteller tijdens stationaire metingen laten geen uitbijters zien. De sample voertuigen is echter nog beperkt. Een meetcampagne van JRC, het onderzoekscentrum van de Europese Commissie, aan een viertal vrachtwagens met Euro VI motor bevestigt de lage uitstootwaarden van deeltjesaantallen. Een verhoogde uitstoot kan theoretisch optreden wanneer het roetfilter beschadigd raakt (thermische, mechanische belasting) en daardoor lek raakt of door onrechtmatig verwijderen van het filter. Er zijn geen aanwijzingen dat dit laatste op grote schaal plaatsvindt maar het verdient de aanbeveling om dit te monitoren.

Meetdata

Emissiefactoren voor Euro VI zijn tot op heden bij gebrek aan voldoende meetgegevens van de categorie bepaald aan de hand van de geldende limiet met een opslag voor de onzekerheid ten aanzien van de praktijkuitstoot. De eerste meet sessies aan trekkers zijn verricht met PEMS (Portable Emissions Measurement System) over een beperkt aantal vastgestelde testritten en met verschillende beladingsgraden variërend van 10 tot 100%. Al snel volgden testen met het SEMS (Smart Emission Measurement System) meetsysteem wat in staat is tijdens de daadwerkelijke inzet de NO_x emissies te meten.

(Vermeulen *et al.*, 2016) rapporteerde dat zware bedrijfswagens met een Euro VI gecertificeerde motor gemiddeld fors lagere NO_x emissies hebben maar dat in sommige toepassingen en met name bij lage snelheden NO_x emissies significant hoger lagen dan de waarde die geldt als limiet voor de motortest. Als gevolg daarvan zijn aanvullende metingen verricht aan voertuigen die vaak worden ingezet bij lagere gemiddelde snelheden zoals veel voorkomend in stedelijke inzet bij OV-bussen en vuilniswagens. Voor beide categorieën zijn rapporten verschenen (Vermeulen *et al.*, 2018a, 2018b), die rapporteren over de emissie van NO_x in de normale dagelijkse inzetpatronen. Beide rapporten laten zien dat de praktijkemissie van NO_x sterk varieert en afhangt van de voertuig inzet en dat de gemiddelde NO_x emissie voor elke categorie significant hoger ligt dan de initieel aangenomen waarden die zijn gebaseerd op de limietwaardes voor Euro VI motoren inclusief de opslag. Momenteel omvat de dataset zo'n 45 doorgemeten voertuigen met een Euro VI gecertificeerde motor van verschillende voertuig categorieën die zijn doorgemeten met PEMS, SEMS of beide, te weten trekker-opleggers voor de lange afstand, bakwagens voor de lange afstand en distributie, streek- en stadsbussen en vuilniswagens waarbij de SEMS data per voertuig weken tot maanden aan praktijkgegevens bevat.

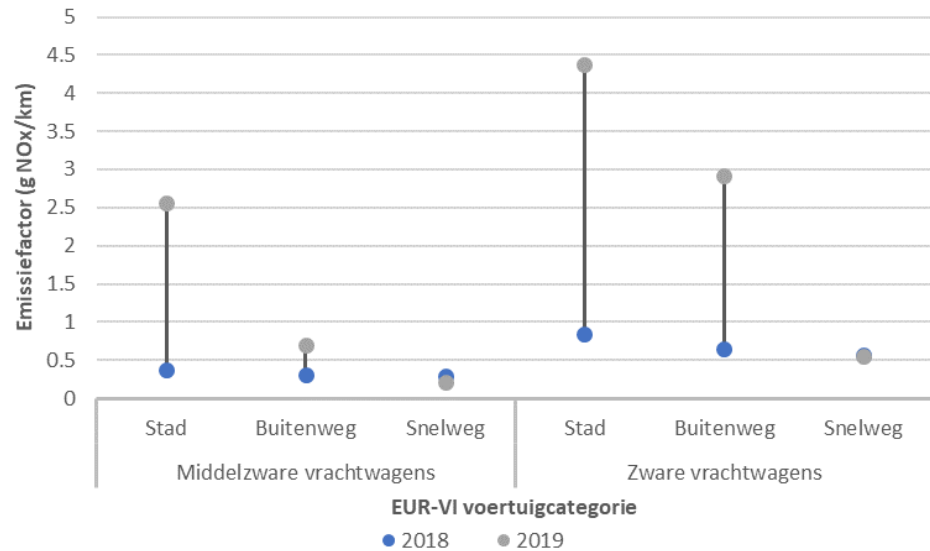
Er zijn een beperkt aantal metingen met PEMS gedaan, waarmee ook de directe NO₂ fractie bepaald kan worden. Voor de omstandigheden waar hoge NO_x emissies optreden zijn geen bijbehorende NO₂ metingen. Mogelijk blijft de NO₂ fractie gelijk, maar het is ook goed mogelijk dat de systemen richting de situatie van Euro-V gaan in die omstandigheden. De NO₂/NO_x fractie van Euro-V ligt rond de 10%, daar waar voor Euro-VI in omstandigheden waar het nabehandelingssysteem goed functioneert rond de 25% ligt.

NO_x emissies hangen sterk af van de praktijkinzet

De oorzaak van verhoogde NO_x emissies ligt bij de werking van het emissiebeheersingssysteem. De NO_x emissie van een dieselmotor wordt grotendeels gereduceerd door middel van Selectieve katalytische Reductie ook wel SCR genoemd. Dit systeem werkt alleen als de katalysator op werkteemperatuur is. De warme uitlaatgassen van de dieselmotor moeten de katalysator op die temperatuur brengen en houden. Tijdens normale inzet met lage snelheden en lage motorvermogens kan de uitlaatgastemperatuur dalen tot beneden de werkteemperatuur van de katalysator. Hierdoor koelt het uitlaatgas de katalysator effectief af. Na verloop van tijd kan de katalysator beneden zijn werkteemperatuur komen waardoor die de NO_x emissie uit de dieselmotor niet meer kan reduceren. Hierdoor zal de NO_x emissie oplopen. Omdat de meeste Euro VI motoren ook een uitlaatgasrecirculatiesysteem (EGR, Exhaust Gas Recirculation) hebben wordt de mate waarin de NO_x emissie oploopt enigszins beperkt. Het niveau van de NO_x uitstoot hangt dus sterk af van hoe met een voertuig wordt gereden. Daarnaast spelen andere factoren die een invloed hebben op het motorvermogen een rol, dit zijn het gebruik van hulpsystemen (aftak-as voor de aandrijving van het hydraulisch systeem bij een vuilniswagen), hybride aandrijfsystemen, ook de beladingsgraad is van belang. Op voertuigniveau kan ook het gekozen maximale motorvermogen in verhouding tot de inzet van invloed zijn. Bij voertuigen met grote motoren die (tijdelijk) met een lichte motorbelasting worden ingezet is de kans op verhoogde NO_x emissie groter.

Wat betekent dit voor de emissiefactoren van NO_x?

De meetdata laat zien dat de NO_x emissiefactoren zoals die initieel zijn aangenomen (2014) de praktijkemissies onderschatten. Met name voor de vrachtwagens in stadsinzet, bij snelheden lager dan 50 km/h liggen de NO_x emissies hoger. Op de snelweg, bij hogere gemiddelde snelheden ligt de NO_x emissie lager dan werd aangenomen.



Figuur 4: Illustratie van de aanpassing van de emissiefactoren voor de uitstoot van stikstofoxides voor vrachtwagens ten opzichte van 2018.

Andere invloedfactoren

De database bevat voertuigen met kilometerstanden die (voor vrachtverkeer) vrij laag zijn. Een enkel voertuig passeert de 400.000 km. De reden is dat de voertuigen pas sinds 2013/2014 op de markt zijn. Zware bedrijfswagens gaan doorgaans veel langer mee, rond 500.000 km voor de lichtste categorieën tot meer dan 1.300.000 km voor de zwaarste motoren.

Een SCR emissiebeheersysteem kan over zijn levensduur minder efficiënt gaan werken waardoor uiteindelijk de NO_x uitstoot toe kan nemen. Huidige Euro VI eisen zijn er op gericht om het maximale niveau van de conformiteitstest te garanderen tot een zekere levensduur of kilometer stand welke beide te laag zijn in vergelijking met de werkelijke levensduur en kilometrages die worden bereikt. In de huidige bijgestelde emissiefactor zit alleen de mogelijke impliciete effecten van veroudering van de relatief jonge vloot zoals doorgemeten. Eén voertuig wordt momenteel gevolgd om de mogelijke effecten van veroudering op de NO_x emissie te monitoren.

Factoren die een invloed hebben op het niveau van de NO_x uitstoot die niet zijn meegenomen:

- Storingen. In enkele gevallen zijn tijdens het meetprogramma storingen geconstateerd hebben geleid tot verhoogde emissieniveaus van NO_x:
 - Een lek uitlaatsysteem leidde bij een CNG (Aardgas) vuilniswagen waarschijnlijk tot een verschoven mengselregeling met als gevolg verhoogde NO_x emissies.

- Met kristallen vervuilde SCR katalysator bij een diesel vuilniswagen waardoor het SCR systeem grote delen van de tijd niet functioneert.
- EGR storing bij een trekker. Verhoogde NO_x emissies tot aan het verhelpen van de storing.
- Onrechtmatige aanpassingen van het emissiebeheersysteem door de gebruiker/eigenaar, met als oogmerk kosten van reparatie of verbruiksmiddelen (Adblue) te besparen. Hierdoor functioneert het emissiebeheersingssysteem niet of slechts deels met als gevolg een sterk verhoogde NO_x emissie (Vermeulen et al., 2017). In een aantal Europese lidstaten is een onderzoek gedaan naar dit verschijnsel. Het Duitse ZDF Zoom, ZDF Magazin Frontal 21 en Camion Pro rapporteerden in een documentaire aan de hand van metingen van Denis Pöhler van Universiteit Heidelberg/AIRYX dat 20% van alle vrachtwagens uit Oost-Europa sterk worden verdacht van manipulatie. DVSA (UK) rapporteerde dat 3,8% van de aangehouden en onderzochte voertuigen onrechtmatig waren aangepast. Het betrof met name Euro IV en V en paar Euro VI wagens. Een Zwitserse inspectie trof 1%, voornamelijk Euro IV/V. Het is bij gebrek aan gegevens onduidelijk hoeveel voertuigen die in Nederland rijden onrechtmatig zijn aangepast.

4.2 Alle zware gewichtscategorieën, dekking monitoringsprogramma

In het steekproefprogramma zware voertuigen is van 26 Euro VI dieselvoertuigen in de zwaardere klassen de emissie van stikstofoxiden gemonitord.

De eigenschappen van deze voertuigen zijn opgenomen in Tabel 3. Daarbij is ook aangegeven hoeveel data verzameld is.

De voertuigselectie is gemaakt op basis van de volgende criteria:

- Emissienorm. Alle voertuigen voldoen aan Euro VI.
- Marktaandeel van een voertuigcategorie-motorcombinatie (jaarlijkse herijking met de verkoopcijfers)
- Inzet. Er is speciale aandacht uitgegaan naar voertuigen die onder lage last opereren: vuilniswagens en stadsbussen. Voor de gehele voertuigselectie geldt dat is gepoogd om spreiding aan te brengen in de inzet, bijvoorbeeld supermarktbelevering, lokale diensten en lange-afstandstransport naar het buitenland.

Vanwege het emissiegedrag van Euro VI-voertuigen, waarbij een groter deel van de emissies in een kleiner deel van de tijd plaatsvindt, is het nuttig om langdurig te meten, om zodoende meer van het gedrag van het voertuig te kunnen begrijpen. Door de gedurende het programma toegenomen automatiseringsgraad van de monitoring is het ook technisch mogelijk geworden om dit te doen. Aan de grote variatie in aantal uren data in onderstaande tabel is dit goed te zien.

Tabel 3: Dieselloertuigen steekproefprogramma met een verdeling in tijdsduur naar wegtype op basis van snelheid.

Merk	Type	Categorie	Versit-klasse	Type	Inzet	Data (uur)	Verdeling inzet									
							stad	buitenweg	snelweg	stad	buitenweg	snelweg	stad	buitenweg	snelweg	
DAF	CF 250	N3	MVADEU R6ZWA	Bakwagen		29										
DAF	CF 410 FT	N3	ZTRDEUR 6ZWA	Trekker-oplegger		1676										
DAF	CF 290 FAN	N3	N3_Waste Collection*	Huisvuilwagen	Huisvuil-ophaaldienst; plug-in hybride	254										
DAF	CF 290 FAG	N3	N3_Waste Collection*	Huisvuilwagen	Huisvuil-ophaaldienst	42										
DAF	CF 280	N3	MVADEU R6ZWA	Bakwagen	Verhuur	51										
DAF	CF 290 FAG	N3	N3_Waste Collection*	Huisvuilwagen	Huisvuil-ophaaldienst	71										
DAF	XF	N3	ZTRDEUR 6LCH	Trekker-oplegger		1107										
Ginaf	C6 3130 NF	N3	N3_Waste Collection*	Huisvuilwagen	Huisvuil-ophaaldienst	59										
Iveco	AT260SX/F P-D	N3	N3_Waste Collection*	Huisvuilwagen		53										
Iveco	EUROCAR GO	N3	MVADEU R6ZWA	Bakwagen		19										
MAN	TGX	N3	ZTRDEUR 6LCH	Trekker-oplegger	Lange-afstands-transport	26										
Mercedes-Benz	Actros	N3	ZTRDEUR 6LCH	Trekker-oplegger		1269										
Mercedes-Benz	Antos	N3	MVADEU R6ZWA	Trekker-oplegger		18										
Mercedes-Benz	Antos	N3	N3_Waste Collection*	Bakwagen		19										
Volvo	FE	N3	ZTRDEUR 6LCH	Huisvuilwagen		43										
Volvo	FH	N3	ZTRDEUR 6LCH	Trekker-oplegger		801										
DAF	LF 150A	N2	MVADEU R6LCH	Trekker-oplegger	Distributie	11										
DAF	LF 210	N2	MVADEU R6LCH	Bakwagen		12										
MAN	TGL	N2	MVADEU R6LCH	Bakwagen	Distributie	8										
Mercedes-Benz	Atego 1218	N2	MVADEU R6LCH	Bakwagen	Distributie	35										
Iveco	CBLE4/00	M3	BABDEUR 6	Bakwagen	Regionale busdienst	59										
Mercedes-Benz	CITARO G	M3	BABDEUR 6	Stadsbus	Stadsdienst	140										
VDL	CITEA LLE-120/255	M3	BABDEUR 6	Streekbus	Regio Den Bosch en Tilburg	226										
VDL	CITEA LLE-120/255	M3	BABDEUR 6	Stadsbus	Regionale busdienst	65										
VDL	SLFA-180/310	M3	BABDEUR 6	Stadsbus	Stadsdienst	97										

*) Voor huisvuilwagens is in VERSIT+ geen aparte klasse gedefinieerd. De aanduiding hier wordt alleen voor dit rapport gebruikt.

4.3 Verdeling van emissies naar wegtypes op basis van snelheid en snelweg

De emissies zijn vastgesteld voor elke VERSIT-klasse voor de volgende wegtypen/stagnatieniveaus, zie Tabel 4.

Tabel 4: Wegtypen en stagnatieniveaus waarvoor emissies vastgesteld zijn.

Wegtype	Beschrijving	Karakterisering
WS1	Stad – congestie	Gemiddelde snelheid <20 km/u
WM1	Stad – normaal	Gemiddelde snelheid 20-30 km/u
WF1	Stad – vrije doorstroming	Gemiddelde snelheid 30-50 km/u
WT2	Buitenweg	
WS3	Snelweg – congestie	Snelweg, Instantane snelheid <50 km/u
WF3	Snelweg – vrije doorstroming	Snelweg, Instantane snelheid \geq 50 km/u

Om het stagnatieniveau in een stad vast te stellen, is niet gekeken naar instantane snelheid (die immers nogal kan variëren), maar naar de gemiddelde snelheid over 1 kilometer, 500 meter voor en 500 m na het meetpunt. Congestie op de snelweg is wel vastgesteld met de instantane snelheid, conform de definitie van file voor snelwegen op basis van meetlussen.

4.4 Relatief betere prestatie bussen

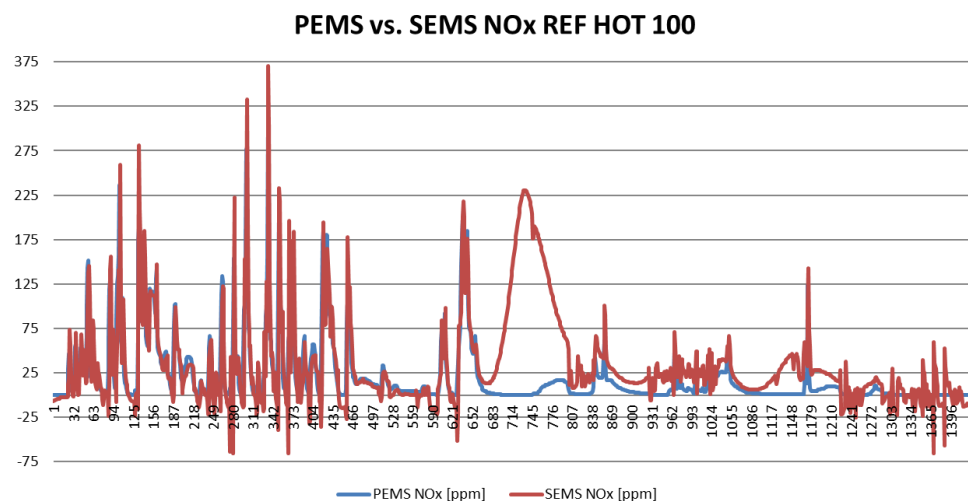
Voor lijnbussen ligt de NO_x uitstoot licht hoger dan voorheen werd aangenomen. De testeisen voor de emissies zijn voor bussen beter, er is namelijk een praktijkrit voor de PEMS test op de openbare weg, speciaal voor bussen. De dataset bevat veel bussen die op een buslijn rijden met een relatief hoge snelheid zoals streekbussenlijnen. Hierdoor kunnen de NO_x emissiefactoren voornamelijk voor de lagere snelheden lager uitpakken omdat die gegevens mogelijk ondervertegenwoordigd zijn in de dataset.

5 Hogere NH₃ emissies Euro-VI vrachtwagens

Ammoniak, NH₃, emissies zijn geen onderdeel van Standaard Rekenmethodes voor luchtkwaliteit. Maar in combinatie met NO_x en NO₂ emissiefactoren worden de NH₃ emissiefactoren wel gebruikt voor met modelleren van stikstofdepositie. Sinds enige jaren worden daarom NH₃ emissiefactoren beschikbaar gemaakt en gevalideerd in dit kader.

5.1 NH₃ sensor, kalibratie issues, en validatiemetingen

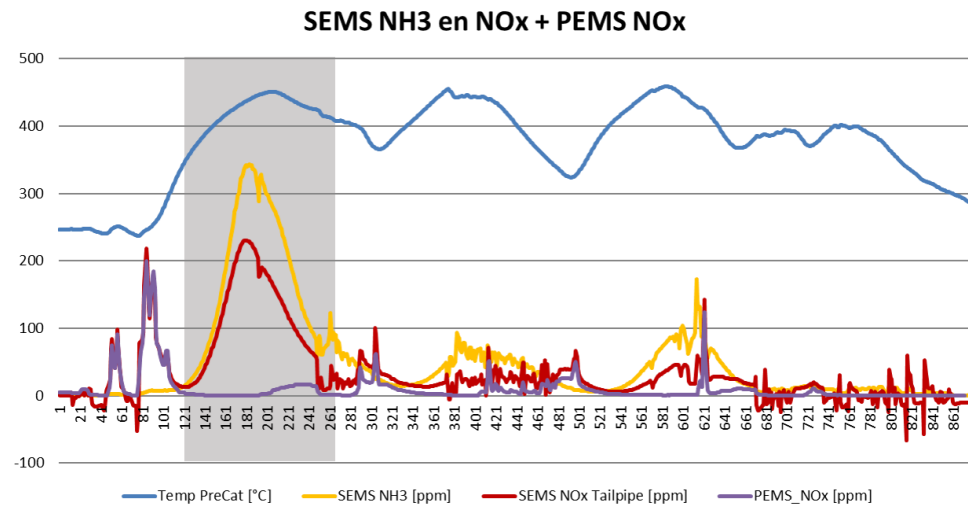
Euro VI vrachtwagens en veel personenauto's van de nieuwe generatie zijn voorzien van SCR (Selective Catalytic Reduction) technologie om stikstofdioxiden (NO_x) emissies te verminderen. Er wordt ammoniak (NH₃, in de vorm van de ureumoplossing AdBlue) in het uitlaatgasmengsel geïnjecteerd, welke in de katalysator zorgt voor het omzetten van NO_x naar N₂ en H₂O. Echter, kan bij een SCR Ammoniak-slip optreden als gevolg van een suboptimale AdBlue-doseringsstrategie. De NO_x-sensoren welke in combinatie met de SEMS geïnstalleerd worden zijn gevoelig voor ammoniak-slip, wat resulteert in een onnauwkeurige NO_x-emissiemeting. Een voorbeeld van het effect van ammoniak-slip op de SEMS NO_x-sensor wordt getoond in Figuur 5. Figuur 5 laat de NO_x-emissie van een MB Sprinter Euro VI gemeten door SEMS en PEMS zien. De PEMS is hierbij gebruikt ter referentie en vertegenwoordigt hoogwaardige meetapparatuur die niet wordt beïnvloed door NH₃-emissie. De SEMS NO_x sensor meet een hogere NO_x-emissie in vergelijking met de PEMS, als gevolg van overmaat ammoniak-slip.



Figuur 5: NO_x-emissie van een MB Sprinter Euro VI gemeten door SEMS (rood) en PEMS (blauw).

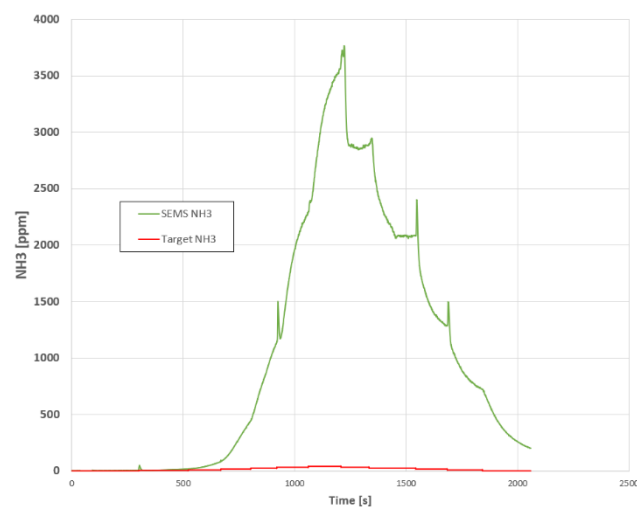
Om te corrigeren voor onnauwkeurigheid van de SEMS NO_x sensor bij de aanwezigheid van NH₃ wordt een NH₃ sensor geïnstalleerd om de aanwezigheid van NH₃ vast te stellen. Een voorbeeld van de NO_x en NH₃ sensor die in SEMS werken, wordt getoond in Figuur 6. In het gemarkeerde gebied meet de PEMS NO_x sensor een zeer lage NO_x emissie in vergelijking met SEMS NO_x sensor.

De geïnstalleerde SEMS NH₃ sensor meet de in het uitlaatgasmengsel aanwezige NH₃, die de hoge SEMS NO_x aflezing veroorzaakt.

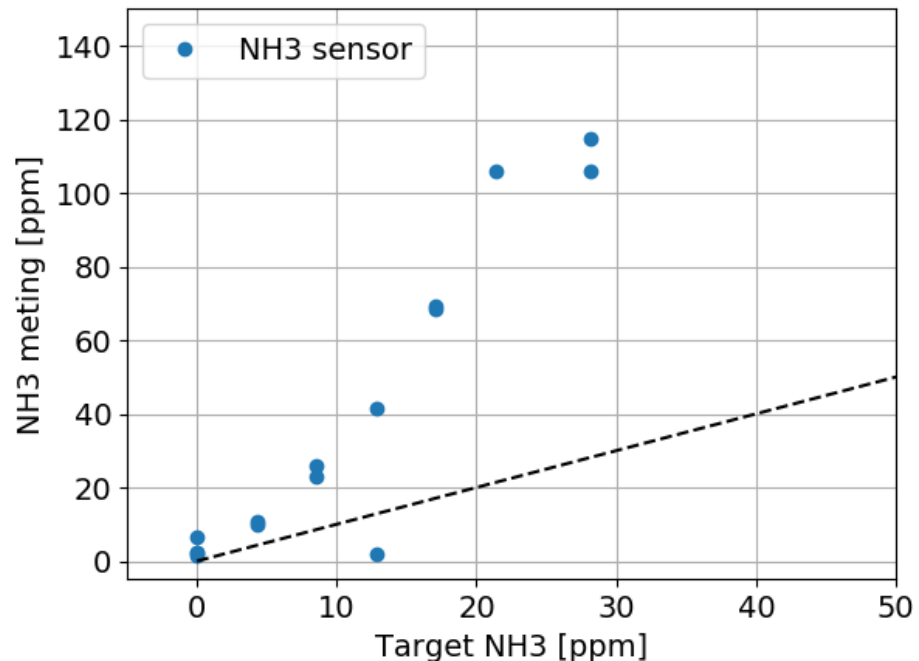


Figuur 6: NO_x- en NH₃-emissie gemeten door SEMS en PEMS.

Om de betrouwbaarheid van het SEMS NH₃ sensor signaal te bepalen zijn er experimentele kalibratiemetingen gedaan in laboratoriumomgeving. De eerste poging tot kalibratie met zuivere N₂ en gecontroleerde NH₃ toevoeging resulteerde in afwijkende sensormeting, zoals weergegeven in Figuur 7. De NH₃ sensor heeft volgens het werkingsprincipe namelijk zuurstof en waterdamp nodig. Een tweede poging om te kalibreren met synthetische lucht (80% N₂ en 20% O₂) en gecontroleerde NH₃ toevoeging resulteerde in niet-lineaire aflezing door NH₃ sensor, zoals weergegeven in Figuur 8. In Figuur 8 is aangetoond dat in aanwezigheid van zuurstof, de NH₃ sensor nog steeds een niet-lineair verband heeft ten opzichte van de referentie. De praktijkmetingen, zoals hierboven weergegeven, laten dat beeld niet zien tussen het NH₃ en NO_x signaal, dus lijkt de kalibratie nog steeds onvoldoende dekkend voor de praktijkcondities.



Figuur 7: Poging tot kalibratie met zuivere N₂ en gecontroleerde NH₃ toevoeging.



Figuur 8: Poging tot kalibratie met synthetische lucht (80% N₂ en 20% O₂) en gecontroleerde NH₃ toevoeging.

Er wordt verondersteld dat kalibratie van de NH₃-sensor een "uitlaatgas"-achtig gasmengsel vereist, waarbij CO₂, waterdamp en zuurstof in een bepaalde verhouding bestaan. (Wang *et al.*, 2008) licht toe dat er een emissiecorrectiekaart bestaat op basis van waterdamp en zuurstof in het uitlaatgas. De kalibratie in synthetische lucht kan hebben geleid tot een onverwachte correctie van de sensoraflezing op NH₃. Bovendien moet de gevoeligheid van de NH₃ sensor voor de variatie in temperatuur en druk tijdens kalibratie nog worden onderzocht.

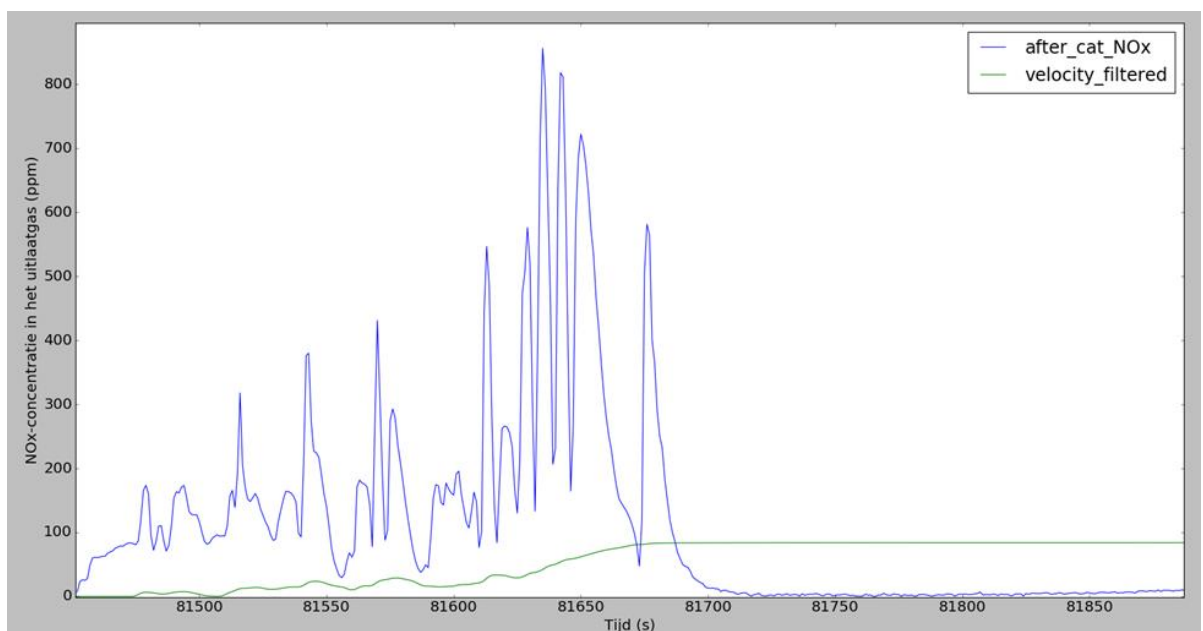
Om het gedrag van de NH₃ sensor gedurende praktijkinzet beter in kaart te brengen wordt er een meetopstelling opgezet waarbij de sensor een representatief uitlaatgasmengsel gepresenteerd krijgt. In de uitlaat van een vrachtwagen welke is voorzien van een SEMS, wordt tussen de SCR-katalysator en de NH₃ sensor een instelbaar injectiepunt gemaakt waar puur NH₃ gas kan worden geïnjecteerd. Het uitlaatgasmengsel wordt dus met NH₃ verrijkt alvorens het de SEMS NH₃ sensor bereikt. De eerdergenoemde QCL (Quantum Cascade laser) analysator is tevens in de meetopstelling opgenomen en dient als referentie voor de NH₃ concentratie in het uitlaatgas. Op deze manier krijgt de SEMS NH₃ sensor een voor de praktijk representatief uitlaatgasmengsel voorgeschoteld qua gastemperatuur, vochtgehalte en de aanwezigheid van andere gascomponenten.

5.2 Incidentele hoge emissies, mogelijk verband met dynamiek

Zoals eerder beschreven, vindt bij Euro VI-voertuigen, behoudens laag belaste voertuigen, het grootste deel van de emissie plaats in een beperkt deel van de tijd. In grote lijnen zijn de emissies hoger bij lagere snelheden. Wanneer we nader kijken, zijn er ook momenten dat de emissies pieken.

Deze pieken treden bij een deel van de voertuigen op, op het moment dat deze voertuigen nadat ze enige tijd op lage snelheid hebben gereden plotseling zwaar belast worden, bijvoorbeeld bij het oprijden van de snelweg. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 9.

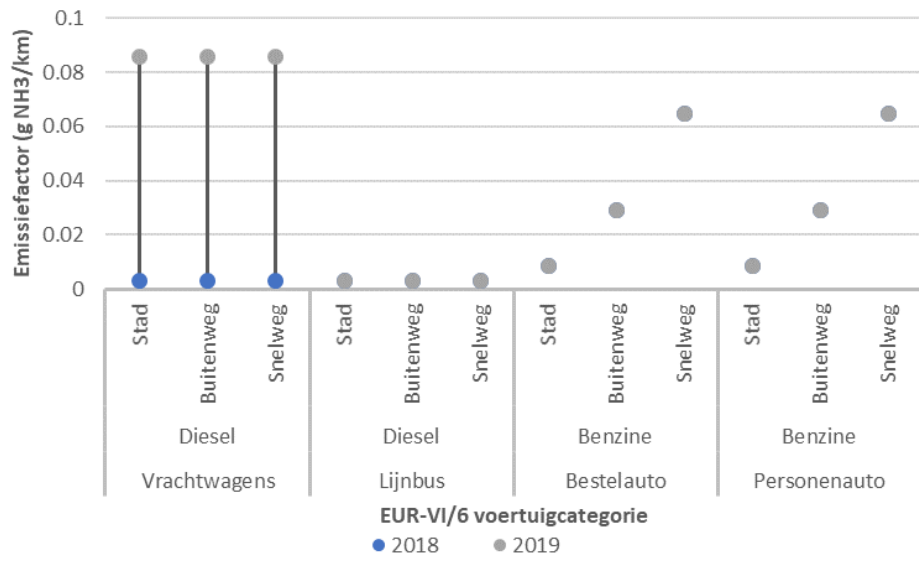
Het voorbeeld is afkomstig van een trekker-opleggercombinatie die wordt gebruikt om winkels te beleveren. Vanaf seconde 81620 rijdt het voertuig de stad uit waarbij de snelheid (groene lijn) geleidelijk toeneemt tot snelwegtempo, en volgen de pieken in NO_x-concentratie elkaar op, waarna vervolgens de emissies vrijwel naar nul terugzakken. Dit gedrag kan worden verklaard door het feit dat het emissiebestrijdingssysteem niet snel genoeg kan reageren op wisselende aanvoer van stikstofoxiden. Bij het de snelweg opdraaien nemen niet alleen de concentraties toe, maar ook de uitlaatgashoeveelheid. Nadat weer een stabiele situatie is bereikt (constant vermogen en toerental), is de emissiebestrijding zeer effectief.



Figuur 9: Incidentele hoge emissies: voorbeeld van een trekker-oplegger die voor beleving van detailhandel wordt gebruikt.

5.3 Onvoldoende statistiek voor differentiatie over voertuigen of wegtypen

De emissieniveaus van voertuigen van één motorfamilie of één merk/type zijn, kunnen variëren van voertuig tot voertuig, zelfs bij gelijke omgevingscondities en inzet, door variatie onder de voertuigen en hun exacte uitvoering. Het is niet mogelijk om de grootte van deze variatie in te schatten. Om zeker ervan te zijn dat een gemeten emissiewaarde representatief is voor het merk en (motor)type van het voertuig, zou een meetcampagne minimaal drie identieke voertuigen moeten omvatten, en zou onder controleerbare omstandigheden gemeten moeten zijn. Gezien het doel van de steekproef is echter gekozen voor spreiding over de vloot en inzet. De consequentie is dat emissiecijfers niet gedifferentieerd kunnen worden naar merk, type of motorfamilie. Mogelijk kan in de toekomst, wanneer van grotere aantallen voertuigen de emissies gemonitord worden, wel voldoende statistische basis bereikt worden voor een dergelijke uitsplitsing.



Figuur 10: NH₃ emissiefactoren voor Euro-VI/6 voertuigcategorieën voor zichtjaar 2020, berekend in 2018 en 2019. De emissiefactoren van vrachtwagens zijn voor alle wegtypes gelijkgesteld op 86 mg/km.

6 Samenstelling wegverkeer

De SRM-emissiefactoren voor wegverkeer worden jaarlijks door TNO en PBL berekend op basis van weging van detailemissiefactoren voor ruim 300 verschillende typen voertuigen. Deze onderliggende emissiefactoren worden door TNO berekend op basis van meetprogramma's. De weging vindt plaats op basis van voertuigkilometrages afkomstig van CBS en PBL. Deze kilometrages geven een beeld van de gemiddelde samenstelling van het wegverkeer in Nederland. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste wijzingen beschreven in de voertuigkilometrages die zijn gebruikt voor de SRM2019 ten opzichte van die in 2018 zijn gebruikt. Voor een algemene beschrijving van de voertuigklassen en snelheidsregimes die in de SRM worden onderscheiden wordt verwezen naar de SRM-rapportage uit 2013 (Hensema *et al.*, 2013).

Paragraaf 6.1 beschrijft kort de nieuwe ramingen voor voertuigkilometers die PBL begin 2019 heeft uitgebracht voor 2020. Vervolgens beschrijft paragraaf 6.2 op hoofdlijnen de methodiek om de kilometrages te ramen. In paragraaf 6.3 en 6.4 komen achtereenvolgens de belangrijkste wijzigingen aan bod in de kilometrages voor licht wegverkeer en voor (middel)zwaar wegverkeer. De focus ligt daarbij op de wijzigingen die van wezenlijke invloed zijn op de emissiefactoren voor stadswegen en snelwegen die worden toegepast in de standaardrekenmethoden voor luchtkwaliteit (SRM factoren). Paragraaf 6.5 beschrijft tenslotte een aantal onzekerheden waarmee de geraamde kilometrages zijn omgeven.

6.1 Update ramingen voertuigkilometrages 2020

PBL heeft in januari 2019 actuele ramingen uitgebracht van de uitstoot van broeikasgassen door verkeer en vervoer in Nederland in het jaar 2020 (Hammingh *et al.*, 2019). Ten behoeve van die studie zijn recente trends en ontwikkelingen in de omvang, de samenstelling en het gebruik van het Nederlandse wagenpark vertaald naar prognoses voor het wagenpark en de voertuigkilometrages in 2020. Deze prognoses zijn in het kader van de SRM2019 gebruikt voor de update van de SRM-emissiefactoren voor zichtjaar 2020. PBL heeft alleen nieuwe prognoses gemaakt voor zichtjaar 2020. De prognoses voor 2025 en 2030 zijn niet gewijzigd. Voor die zichtjaren zijn voor de actualisatie van de SRM emissiefactoren in 2019 (SRM2019) dezelfde voertuigkilometrages gebruikt als in de actualisatie in 2018 (SRM2018). Deze ramingen voor 2025 en 2030 zijn afkomstig uit de Nationale Energieverkenning 2017 (Schoots *et al.*, 2017).

De voertuigkilometrages voor het basisjaar worden door PBL aangeleverd aan TNO en zijn gebaseerd op statistieken van CBS. Voor licht wegverkeer zijn kilometrages door PBL aangeleverd voor het jaar 2014 en voor middelzwaar en zwaar wegverkeer voor 2015. In 2017 zijn daaruit voor het referentiejaar 2014 de voertuigkilometrages afgeleid. Voor het referentiejaar 2014 zijn deze voertuigkilometrages van SRM2017 gebruikt.

6.2 Methodiek

De categorie licht wegverkeer bestaat uit personenauto's, bestelauto's en motorfietsen. Personenauto's zijn veruit dominant in de voertuigkilometrages van

deze groep. De ramingen van de voertuigkilometrages voor licht wegverkeer worden door PBL gemaakt met behulp van verschillende modellen. Dit wordt beschreven in (Geilenkirchen *et al.*, 2016). De belangrijkste modellen voor de SRM zijn het LMS en Koterpa. Het LMS raamt de groei van de verkeervolumes op het Nederlandse wegennet naar voertuigtype (personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's). Koterpa raamt de samenstelling van het personenautopark en het bijbehorende kilometrage naar leeftijd en brandstof (Traa *et al.*, 2017). In deze wagenparkmodellering worden recente trends in de in- en uitstroom van voertuigen uit het wagenpark vertaald naar toekomstige wagenparken. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar leeftijd en brandstofsoort. Voor bestelauto's wordt een vergelijkbare aanpak gebruikt. Dit wordt toegelicht in (Geilenkirchen *et al.*, 2016).

Het middelzware wegverkeer bestaat uit alle vrachtvoertuigen met een gewicht volle wagen van maximaal 20 ton, typisch met twee assen. Zwaardere voertuigen behoren tot het zware wegverkeer. De autobussen in de verkeersstroom op snelwegen worden niet apart onderscheiden omdat het aandeel van autobussen daar over het algemeen gering is. De autobussen zijn daarom voor snelwegsituaties opgenomen in het middelzware wegverkeer. De groei van het vrachtverkeer in Nederland wordt door PBL geraamd met behulp van de modellen Basgoed, LMS en Treva. Basgoed raamt de toekomstige goederenstromen in en door Nederland en LMS vertaalt die naar vrachtautokilometers op het Nederlandse wegennet. Treva is in opzet vergelijkbaar met het hiervoor beschreven Koterpa en raamt de omvang, de samenstelling (naar leeftijd) en de kilometrages van lichte, middelzware en zware vrachtauto's en van trekker-opleggers (Traa, 2015). Voor een toelichting op deze modellen wordt verwezen naar de technische documentatie van de modellen.

Met behulp van deze modelanalyses worden de totale kilometrages geraamd van personen-, bestel- en vrachtauto's in Nederland naar leeftijd en brandstof¹. Vervolgens worden deze leeftijdsafhankelijke kilometrages uitgesplitst naar drie wegtypen: stadswegen, buitenwegen en snelwegen. Deze uitsplitsing is gebaseerd op kentekenonderzoek van TNO op deze drie wegtypen (Ligterink, 2017). Uit dit kentekenonderzoek ontstaat een beeld van de (verschillen in de) samenstelling van het verkeer naar wegtypen. Dit kentekenonderzoek is vertaald naar wegtypeverdelingen per leeftijd. Bijvoorbeeld: een twee jaar oude dieselauto rijdt gemiddeld 14% van zijn kilometers op stadswegen en 55% op snelwegen. Voor een 11 jaar oude benzineauto liggen de aandelen stad en snelweg respectievelijk op 30% en 38%. In algemene zin geldt per brandstofsoort dat hoe ouder de auto, hoe lager zijn jaarkilometrage en hoe hoger het aandeel stad in zijn jaarkilometrage.

De parkmodellen voor vracht-, bestelauto's en personenauto's ramen het aantal voertuigen en de bijbehorende kilometrages naar leeftijd (cq. bouwjaar). Voor het bepalen van de SRM-emissiefactoren worden aan ieder bouwjaar aandelen gekoppeld van de euroklassen. Bijvoorbeeld: van alle dieselbestelauto's met bouwjaar 2015 is 95% een Euro-5 voertuig en 5% Euro-6.

Op die manier worden de leeftijdsafhankelijke kilometrages uit de parkmodellen vertaald naar Euroklasse afhankelijke kilometrages die kunnen worden gekoppeld aan de detailemissiefactoren per Euroklasse. Ten behoeve van de SRM2019 heeft TNO op basis van actuele data van de RDW (november 2018) nieuwe verdelingen

¹ De totale kilometrages van vrachtauto's worden alleen naar leeftijd geraamd omdat vrachtauto's vrijwel allemaal op diesel rijden.

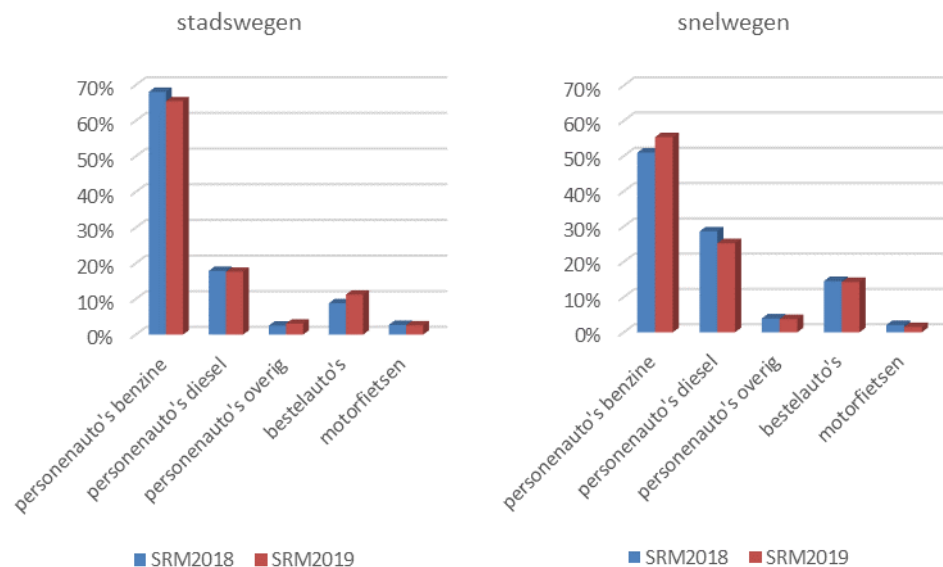
aangeleverd van de aandelen Euroklassen per bouwjaar voor personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's.

6.3 Resultaten voor licht verkeer

Figuur 11 geeft de aandelen van verschillende typen lichte voertuigen in de (gemiddelde) verkeersstroom op stadswegen en snelwegen zoals die voor de SRM2019 en SRM2018 zijn geraamd voor het zichtjaar 2020. Voor personenauto's is onderscheid gemaakt naar brandstofsoort. Het bestelautoverkeer bestaat grotendeels (>95%) uit dieselveertuigen en is daarom niet verder uitgesplitst.

Uit de figuur blijkt dat:

- Benzinepersonenauto's zijn op beide wegtypen dominant in de voertuigkilometrages.
- Het aandeel dieselpersonenauto's ligt op de snelweg wezenlijk hoger dan in de stad. Bij benzinepersonenauto's is het precies omgekeerd.
- Het aandeel bestelauto's is iets hoger op de snelweg dan op stadswegen.



Figuur 11: Samenstelling licht wegverkeer naar voertuigtype en brandstofsoort in 2020.

Ten opzichte van de SRM2018 is in de SRM2019 het aandeel van bestelauto's in het stadsverkeer iets hoger geraamd (2 procentpunten) en valt het aandeel van benzinepersonenauto's lager uit. Op de snelweg is het aandeel benzinepersonenauto's juist hoger geraamd en valt het aandeel dieselpersonenauto's wat lager uit. Dit is het gevolg van een verbeterde modellering van de groei van het personenautoverkeer naar wegtype. De modelanalyses met het LMS laten zien dat de verwachte groei van het wegverkeer op snelwegen groter is dan op stadswegen.

In de oude methodiek kwam dit onvoldoende tot uiting omdat de verdeling van het verkeer over wegtypen daarin enkel afhankelijk was van de leeftijd van het voertuig. Hoe ouder het voertuig, hoe lager het aandeel snelweg in zijn totale kilometrage. Omdat het wagenpark gemiddeld steeds wat ouder wordt leidde dit ertoe dat de

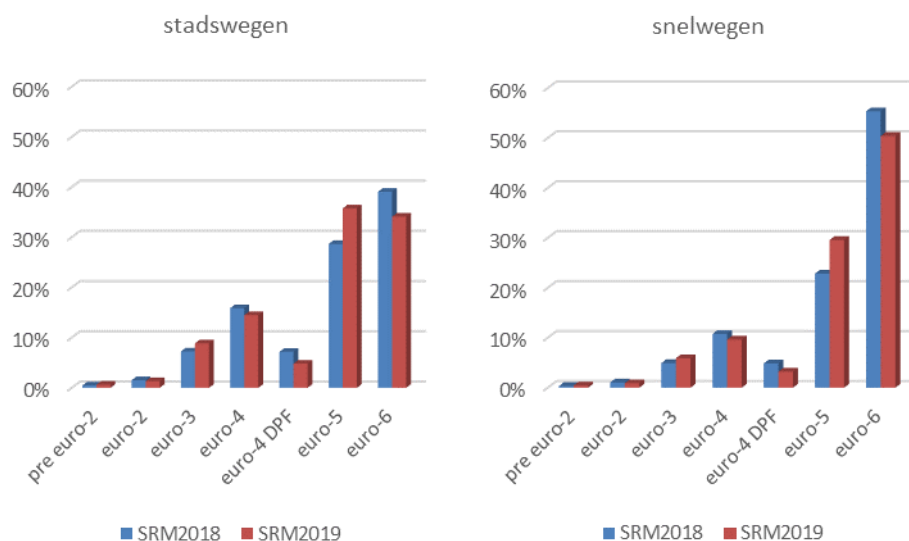
groei van het personenautoverkeer meer dan gemiddeld in de stad werd gemodelleerd. Dit is voor de SRM2019 aangepast door een generieke correctie op de wegtypeverdelingen toe te passen dusdanig dat de totale groei van het verkeer op snelwegen en stadswegen in lijn is met de LMS-resultaten. Het resultaat hiervan is dat het aandeel personenauto's op het snelwegverkeer is toegenomen en op stadswegen juist afgenomen.

Specifiek voor personenauto's is het aandeel diesel in het kilometrage in 2020 in de SRM2019 lager geraamd dan in de SRM2018. Dit is primair het gevolg van het lagere aandeel diesel in de nieuwverkopen in de jaren 2017-2020 (zie Tabel 5). In 2017 lag het werkelijke aandeel diesel in de nieuwverkopen van personenauto's in Nederland op 17%, zo blijkt uit cijfers van de RDW. Dit aandeel was voor de SRM2018 (NEV2017) geraamd op 19%. Het aandeel diesel in 2018 is voor de SRM2019 geraamd op 14%. Deze raming is mede gebaseerd op verkoopcijfers van ACEA voor de eerste helft van 2018. In de SRM2018 was een aanzienlijk hoger aandeel diesel geraamd voor het jaar 2018. Het aandeel van 14% is constant verondersteld tot 2020. De lage verkoopaantallen van dieselauto's zijn mede het gevolg van de toegenomen instroom van jong gebruikte dieselauto's (Elstgeest *et al.*, 2018)). Het aantal geïmporteerde voertuigen is inmiddels vergelijkbaar met het aantal nieuwverkopen. De verjonging van het wagenpark gaat hierdoor minder snel dan eerder was geraamd. Dit is meegenomen in de nieuwe versie van Koterpa die is gebruikt voor de SRM2019.

Tabel 5: Aandeel dieselauto's in nieuwverkopen personenauto's in Nederland.

	2017	2018	2019	2020
SRM2018	19%	21%	19%	16%
SRM2019	17%	14%	14%	14%

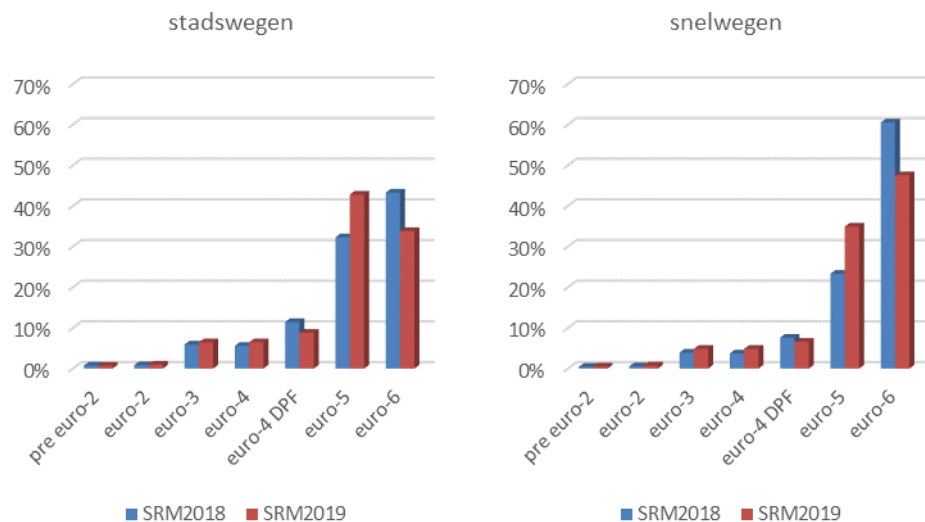
Het hoger geraamde aandeel van bestelverkeer in de stad in 2020 betekent c.p. een hogere emissiefactor voor NO_x en NO₂ en een lagere emissiefactor voor NH₃. De invloed op PM en EC is gering. Het hogere aandeel benzinepersonenauto's op snelwegen leidt c.p. juist tot lagere emissiefactoren voor NO_x en NO₂ en hogere emissiefactoren voor NH₃.



Figuur 12: Aandelen Euroklassen in dieselbestelautoverkeer in 2020.

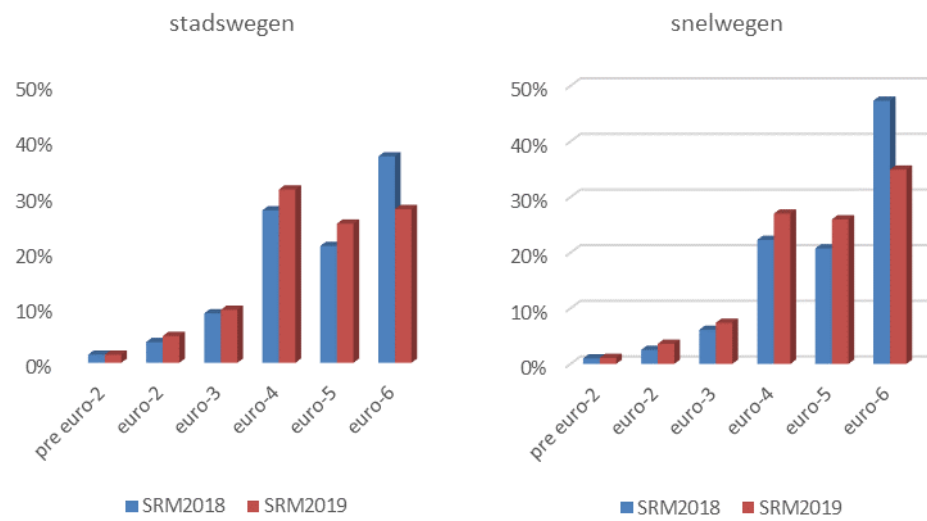
De geraamde leeftijdsopbouw van het bestelautopark in 2020 is nauwelijks gewijzigd in de SRM2019. Wel zijn de aandelen van de Euroklassen in het kilometrage op de weg licht aangepast op basis van recente data van de RDW (zie ook paragraaf 6.2). Uit die data blijkt dat de verkopen van Euro-6 bestelauto's later op gang zijn gekomen dan eerder was geraamd. Dit resulteert in 2020 in een hoger aandeel Euro-5 bestelauto's in het voertuigkilometrage en een iets lager aandeel Euro-6 (Figuur 12). De figuur laat ook duidelijk zien dat nieuwe voertuigen meer dan gemiddeld op de snelweg rijden. Op de snelweg is Euro-6 dominant in het bestelautoverkeer, terwijl in de stad het aandeel Euro-6 en Euro-5 vergelijkbaar is. Het hogere aandeel Euro-5 voertuigen resulteert c.p. in hogere SRM-emissiefactoren voor NO_x en NO₂.

Ook voor de dieselpersonenauto's geldt dat het aandeel Euro-6 in 2020 lager is geraamd in de SRM2019 dan in de SRM2018 (Figuur 13). Dit is primair het gevolg van het lager geraamde marktaandeel van dieselauto's in de nieuwverkopen en de hogere parallelimport van jong gebruikte dieselauto's zoals dat hiervoor is toegelicht. Omdat alle dieselauto's in de jaren 2017-2020 voldoen aan de Euro-6 norm, vertaalt het lagere marktaandeel in de nieuwverkopen zich in minder euro-6 dieselauto's in het wagenpark en op de weg in 2020.



Figuur 13: Aandelen euroklassen in dieselpersonenautoverkeer in 2020.

Tenslotte toont Figuur 14 voor benzinepersonenauto's de aandelen van de Euroklassen in het kilometrage op stadswegen en snelwegen in 2020. Ook hier valt op dat het aandeel Euro-6 lager is geraamd in de SRM2019. Dit komt hoofdzakelijk door de hoge import van jong gebruikte auto's in recente jaren (Elstgeest *et al.*, 2018). Ook voor benzineauto's geldt dat de verjonging van het wagenpark hierdoor minder snel gaat dan eerder was geraamd. De implicaties van deze wijziging voor de SRM-emissiefactoren zijn echter klein omdat de emissiefactoren voor zowel Euro-5 als Euro-6 benzineauto's voor alle luchtverontreinigende stoffen laag zijn.



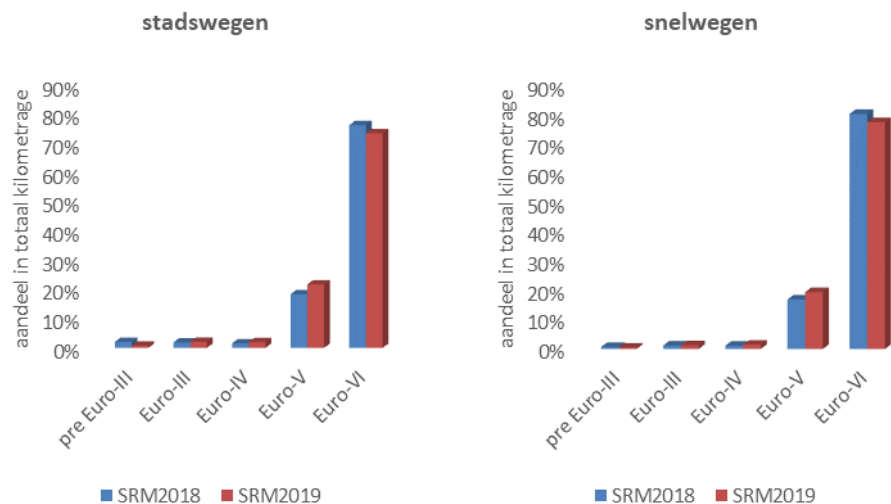
Figuur 14: Aandelen Euroklassen in benzinepersonenautoverkeer in 2020.

6.4 Resultaten voor middelzwaar en zwaar verkeer

De veranderingen in de voertuigkilometrages voor middelzwaar en zwaar wegverkeer zijn hoofdzakelijk het gevolg van:

1. Het verwerken van de recente statistieken over omvang, samenstelling en gebruik van de verschillende wagenparken.
2. Een hoger geraamde economische groei voor de periode t/m 2020.
3. Verbeterde modellering van de in- en uitstroom van vrachtauto's in het wagenpark.

De omvang, samenstelling en het gebruik van de verschillende vrachtautoparken worden door PBL geraamd met het model Treva (Traa, 2015). Treva is in 2018 geactualiseerd, waarbij onder meer het basisjaar van het model is geüpdatet van (voorheen) 2013 naar 2016. Bij deze update van het basisjaar bleek dat de werkelijke verkopen in de jaren 2014-2016 lager waren dan eerder was geraamd voor die jaren. Dat lag voor het jaar 2014 onder meer aan de eind 2013 aflopende subsidieregeling voor Euro-VI vrachtauto's. Die aflopende regeling heeft ertoe geleid dat een deel van de verkopen die normaal gesproken in 2014 zouden plaatsvinden naar voren zijn gehaald. De nieuwe modelversie heeft 2016 als basisjaar en de modelparameters zijn herijkt op de periode inclusief de recente jaren met lagere verkopen. Als gevolg hiervan zouden ook de verkopen voor de jaren 2017-2020 iets lager zijn geraamd bij dezelfde verwachte economische groei. Dit effect is echter deels weer gecompenseerd doordat de verwachte economische groei tot 2020 hoger uitvalt in de recente update van de 2020-raming.



Figuur 15: Aandeel van de Euroklassen in het totale kilometerage van zwaar wegverkeer in 2020.

Het bovenstaande resulteert in een iets lager aandeel Euro-VI vrachtauto's in het wagenpark in 2020 dan in de oude raming. Figuur 15 illustreert dit voor het zware wegverkeer op stadswegen en snelwegen. In 2020 bestaat het merendeel van het wagenpark uit Euro-VI voertuigen. Omdat die voertuigen gemiddeld ook meer kilometers maken op jaarbasis dan oude(re) voertuigen, is Euro-VI dominant in de voertuigkilometrages op de weg. Op beide wegtypen ligt het aandeel Euro-VI in 2020 gemiddeld tussen de 70 en 80%.

In de nieuwe raming zoals die is gebruikt voor de SRM2019 ligt dit aandeel echter een paar procentpunten lager dan in de oude raming. Het aandeel van Euro-V voertuigen stijgt navenant.

De impact van de nieuwe verkeersprestaties op de SRM-factoren varieert afhankelijk van de stof. Voor NH₃ en NO_x zijn de emissiefactoren voor Euro-VI voertuigen wezenlijk anders dan die voor Euro-V. Dat maakt dat voor die stoffen de nieuwe kilometrages van invloed zijn op de SRM-emissiefactoren. De NO_x-emissiefactoren voor zwaar wegverkeer liggen bijvoorbeeld als gevolg van deze wijziging zo'n 5 tot 10 procent hoger (de mate waarin verschilt per wegtype). Voor andere stoffen is de invloed gering (maximaal een paar procent verschil).

6.5 Onzekerheden

De ramingen van de toekomstige omvang, de samenstelling en het gebruik van de verschillende wagenparken zijn inherent omgeven met onzekerheid. Hieronder worden een paar belangrijke factoren kort toegelicht.

Emissiefactoren gebaseerd op huidig beleid

De ramingen zijn gebaseerd op het vastgestelde en voorgenomen beleid zoals dat bekend was bij het opstellen van die ramingen. Voor de ramingen van de wagenparken in 2020 betekent dit dat het beleid is meegenomen zoals dat per 1 mei 2018 gold. Voor de geraamde wagenparken in 2030 is het beleid meegenomen zoals dat per 1 mei 2017 gold en zoals dat is meegenomen in de Nationale Energieverkenning 2017. De voorstellen uit het Ontwerp Klimaatakkoord, dat in december 2018 is gesloten, zijn bijvoorbeeld niet verwerkt in de prognoses voor de wagenparksamenstelling in 2030. Deze voorstellen kunnen van grote invloed zijn op de toekomstige wagenparksamenstelling (PBL, 2019). Maar ook recente Europese (voorstellen voor) beleidsinitiatieven zoals de aanscherping van de CO₂-normen voor personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's per 2030 en het nieuwe beleidskader voor hernieuwbare energie in (onder meer) vervoer voor 2030 zijn niet verwerkt in de ramingen voor omvang en samenstelling van het wagenpark in 2030.

Onzekerheden nemen toe richting 2030

De SRM-emissiefactoren geven de gemiddelde uitstoot van een verkeersstroom. Ze zijn gebaseerd op berekeningen van de (toekomstige) samenstelling van het wagenpark in Nederland. Die ramingen zijn weer gebaseerd op ramingen van de groei van de verkeersvolumes, het aantal nieuwverkopen van de verschillende voertuigtypen, de in- en uitstroom van bestaande voertuigen uit het wagenpark, de jaarkilometrages van verschillende typen voertuigen en de verdeling van het verkeer over de verschillende wegtypen (stadswegen, provinciale wegen en snelwegen). Deze ramingen over verkopen, in- en uitstroom, jaarkilometrages en wegtypeverdelingen variëren per type voertuig (naar leeftijd en brandstof) en zijn gebaseerd op analyse en beargumenteerd doortrekken (met behulp van modellen) van historische trends. Hoe verder vooruit wordt gekeken, hoe groter de onzekerheden worden. Ter illustratie: in recente jaren is de import van jong gebruikte personenauto's relatief snel toegenomen. Dit zijn gemiddeld minder zuinige auto's dan in Nederland nieuw zijn verkocht. Deze recente trend is in de ramingen voor 2020 verondersteld te continueren op het niveau zoals in recente

jaren is waargenomen. Dat is een onzekere inschatting. Voor de ramingen van het wagenpark in 2020 is de invloed van die aanname niet groot omdat het overgrote deel van het wagenpark in 2020 nu al rondrijdt, maar voor het zichtjaar 2030 zijn dergelijke onzekere aannames wel van wezenlijke invloed op de resulterende raming van de wagenparksamenstelling.

Kilometrages beschrijven gemiddelde verkeersstroom

Naast deze onzekerheden rond het bepalen van de gemiddelde samenstelling van het wegverkeer in Nederland geldt dat de werkelijke samenstelling van stad tot stad en van straat tot straat zal variëren. Ook de verkeersafwikkeling zal niet identiek zijn aan de ritpatronen die zijn gebruikt voor het berekenen van de gedetailleerde emissiefactoren. Uit kentekenonderzoek dat TNO heeft uitgevoerd in verschillende steden komt een zekere variatie in de opbouw van het wegverkeer naar brandstofsoort en leeftijd naar voren. Naarmate de afwijking ten opzichte van het gemiddelde groter is, zal ook de emissie van de verkeersstroom verder afwijken van de SRM-emissiefactoren. Dit is in (Hensema *et al.*, 2013) verder uitgewerkt aan de hand van een gevoeligheidsanalyse.

7 Milieuzone vrachtverkeer

De schalingsfactoren voor de milieuzone vrachtverkeer worden bepaald aan de hand van de regels die voor deze landelijk zones zijn vastgesteld. Een aantal steden heeft deze milieuzone, waar oude vrachtwagens niet in mogen, ingevoerd. In het verleden, vooraf aan de inwerkingtreding, is vastgesteld dat er 25% ontheffingen en overtredingen zouden zijn. Maar dit jaar, na tien jaar ervaring met de handhaving van deze milieuzone, is dit percentage op 10% gesteld voor de generieke milieuzone. Als er cijfers beschikbaar zijn, kunnen gemeentes een alternatieve berekening doen.

De vrachtverkeer milieuzone heeft alleen betrekking op voertuigen zwaarder dan 3.5 ton. Het effect wordt bepaald op basis van het scenario dat de geweerde voertuigen worden vervangen door toegelaten voertuigen naar rato van hun aandeel op de weg. Bijvoorbeeld als 10% van de voertuigen geweerd wordt, worden de aandelen van de toegelaten voertuigen allemaal 10% hoger dan de zonder milieuzone.

De regels van de milieuzone, zoals beschreven op www.milieuzones.nl/toegang-op-basis-het-milieuzonebord gelden vanaf 1 juli 2013 de regels dat een vrachtwagen met een Euro-IV dieselmotor of later de milieuzone in mag. Deze voertuigen met Euro-IV motoren zijn vanaf 2007 gangbaar, gelijk met Euro-V en EEV, met het einde van de toelating op de weg onder de Euro-III typekeuring.

Gezien het feit dat de meeste vrachtwagens relatief snel uit het park verdwijnen. Is de groep van Euro-III vrachtwagens en ouder klein. Er rijden ongeveer 50.000 van deze voertuigen rond.

Tabel 6: De schalingsfactoren 2019 voor milieuzone vrachtverkeer.

		2014					2020					2030				
jaar																
wegtype		voertuigklasse														
stad stagnerend	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	90%	45%	44%	68%	138%	92%	57%	51%	82%	108%	93%	67%	67%	74%	106%
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	84%	58%	52%	72%	120%	93%	89%	77%	93%	102%	97%	93%	89%	98%	101%
stad normaal	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	92%	51%	34%	64%	138%	92%	65%	41%	81%	108%	90%	76%	57%	79%	106%
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	88%	63%	41%	74%	120%	96%	91%	68%	94%	102%	99%	95%	84%	99%	101%
stad doorstromed	Middelzwaar wegverkeer [3.5-20 ton]	91%	59%	29%	63%	138%	91%	73%	35%	84%	108%	89%	82%	48%	86%	106%
	Zwaar wegverkeer [> 20 ton]	89%	68%	34%	75%	120%	97%	93%	60%	95%	102%	99%	96%	77%	98%	101%

8 Actualisatie emissiefactoren andere mobiele bronnen

Naast de aanpassingen in de emissiefactoren voor wegverkeer, zijn er ook aanpassingen doorgevoerd in de emissiefactoren voor binnenvaarschepen, mobiele werktuigen, dieseltreinen en brommers.

Deze wijzigingen zijn meegenomen in het project Emissieregistratie bij het bepalen van de nationale emissies. Deze emissies worden gebruikt bij het bepalen van de grootschalige achtergrondconcentraties (GCN kaarten) die worden toegepast in luchtkwaliteitsmodellen. Dit hoofdstuk beschrijft voor elk van de genoemde broncategorieën de doorgevoerde aanpassingen.

8.1 Veranderingen emissiefactoren binnenvaart

Deze paragraaf beoogt een toelichting te geven op de aanpassingen aan de emissiereeks voor beroepsbinnenvaartschepen.

Met ingang van 2018 is een aangepaste emissiereeks gepubliceerd in het kader van Emissieregistratie. Er zijn diverse wijzigingen aangebracht in de berekening van emissies van beroepsbinnenschepen. Dit is aanleiding geweest om een nieuw protocol voor de berekening van emissies op te stellen (Hulskotte, 2018). De aanleiding voor de wijzigingen waren signalen afkomstig vanuit het PROMINENT project dat de belasting van de binnenvaartmotoren die met het bestaande protocol werden gehanteerd veel te hoog werden ingeschat. Het gevolg hiervan zou vooral kunnen zijn dat de toekomstige effecten van de nieuwe emissienormen (Stage V) op de uitstoot van NO_x veel te gunstig zouden worden ingeschat. Hierdoor zou op een later tijdstip ongewenste aanpassing van de emissiereeks noodzakelijk worden.

Daarnaast waren er andere signalen dat de vernieuwing van het motorenpark te optimistisch werden ingeschat met de gehanteerde modelparameters. Dit zou eveneens leiden tot een te lage schatting van de toekomstige emissies.

Modelaanpassingen

De modelaanpassingen die zijn aangebracht bevatten de volgende elementen:

- Snelheden van binnenvaartschepen zijn afgeleid uit AIS-data (RWS/CBS) in plaats van het gebruik van (verouderde) inschattingen door deskundigen, (Pouwels *et al.*, 2017);
- Diepgang van geladen schepen zijn aangepast aan gemeten beladingsgraad, (CBS, 2018);
- De verkeerssamenstelling van de verschillende scheepstypen op de verschillende vaarwegen (i.c. het BIVAS-netwerk) is overgenomen uit het BIVAS-model geladen met data over 2016;
- De modelparameters die worden gebruikt om de vernieuwing van het motorenpark te modelleren is aangepast waarbij de levensduur van de motoren langer is geworden;

- Er worden (net zoals bij de berekening van emissies van zeeschepen) voortaan per stof correctiefactoren op de emissiefactoren van de motoren gebruikt die het effect van verschillen in motorbelasting (in afhankelijkheid van de (scheepstype, vaarwegtype, belading en snelheid op het BIVAS-netwerk) reflecteren.

Leeftijdsafhankelijke emissiefactoren

Het bouwjaar van een motor is een belangrijke parameter die van invloed is op de emissiefactor. Dit heeft te maken met (1) de verandering van de voorkeur voor langzaam- naar snel draaiende motoren en (2) de voortschrijdende vordering van de techniek, waardoor het emissiepatroon van motoren is veranderd.

In (Onk *et al.*, 2003) staat de methodiek beschreven voor de afleiding van leeftijdsafhankelijke emissiefactoren alsmede het gemiddelde specifieke brandstofgebruik van de scheepsmotoren. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 7. Voor de stof NO_x zijn hierin echter wijzigingen aangebracht op grond van TNO-onderzoek (Duyzer *et al.*, 2007) waarbij een groot aantal metingen werden uitgevoerd in scheepspluimen.

De emissiefactoren van NO_x voor CCR2-motoren werden gewijzigd ten opzichte van de vorige versie en overgenomen uit (Knörr *et al.*, 2013). De emissiefactoren van Stage V zijn gebaseerd op inschatting van TNO op grond van de normwaarden en metingen aan schepen met retrofit afgasnabehandeling in opdracht van de provincie Zuid-Holland (Verbeek *et al.*, 2015), alsmede op basis van de flexibiliteit die typekeuringstest biedt en verschillen in belastingpatroon tussen praktijk en typekeuringstest

Tabel 7: Emissiefactoren voor dieselmotoren in binnenvaartschepen (g/kWh) L1 komt overeen met IWP/IWA-v/c-3, L2 en L3 komen overeen met IWP/IWA-v/c-4.

Bouwjaarklasse	Gewichtsklasse	NO _x	PM	PM2,5	CO	VOS	Brandstofgebruik
1900 - 1974	L1 t/m L3	10,8	0,6	0,57	4,5	1,2	235
1975 - 1979	L1 t/m L3	10,6	0,6	0,57	3,7	0,8	230
1980 - 1984	L1 t/m L3	10,4	0,6	0,57	3,1	0,7	225
1985 - 1989	L1 t/m L3	10,1	0,5	0,475	2,6	0,6	220
1990 - 1994	L1 t/m L3	10,1	0,4	0,38	2,2	0,5	220
1995 - 2002	L1 t/m L3	9,4	0,3	0,285	1,8	0,4	205
2003 - 2007 CCR-1	L1 t/m L3	9,2	0,3	0,285	1,5	0,3	200
2008 - 2018 CCR-2	L1 t/m L3	7	0,2	0,19	1,3	0,2	200
2019 - 2019 CCR-2	L2 en L3	7	0,2	0,19	1,3	0,2	200
2019 – 20xx stage V	L1	2,9	0,1	0,09	1	0,2	205
2020 – 20xx stage V	L2 en L3	2,4	0,015	0,0143	0,5	0,2	190

De gemiddelde emissiefactor wordt bepaald door een verdeling van de scheepsmotoren over de verschillende bouwjaarklassen waaraan emissiefactoren zijn gekoppeld. Deze verdeling wordt berekend middels een Weibull-functie.

De algemene vorm van de Weibull-functie is deze:

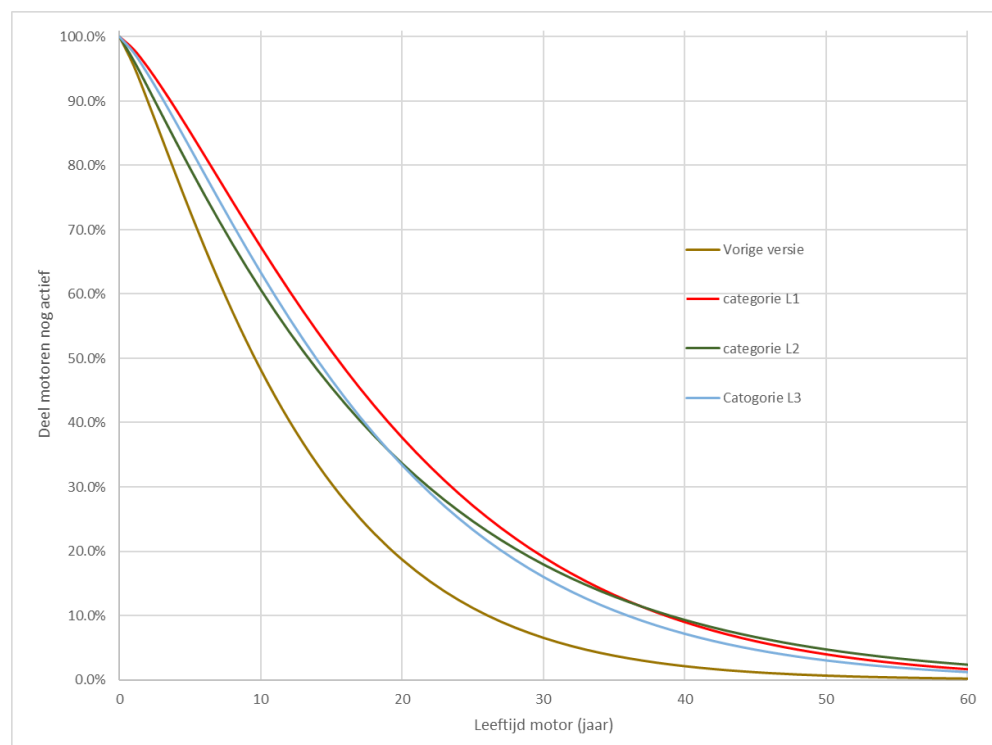
$$f(x; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

De waarde van de Weibull-parameters (k en λ) is afgeleid uit een telefonische steekproef door TNO (Duyzer *et al.*, 2007) onder de schippers van 146 varende binnenvaartschepen waarbij gevraagd is naar de leeftijd van het schip en de leeftijd van de scheepsmotor. In de berekeningen is voor de variabele x in de formule is de leeftijd/10 genomen en is x gevarieerd tussen 1 en 7. Door middel van een kleinste kwadratenschatting zijn de optimale waarden van k en λ bepaald op respectievelijk 1,2 en 1,3.

De mediane leeftijd (de leeftijd waarbij 50% vervangen is) is te berekenen met de formule:

$$\lambda \ln(2)^{1/k}$$

De uitkomst moet vervolgens nog met 10 worden vermenigvuldigd omdat x als leeftijd/10 is ingevoerd in de formule. De mediane leeftijd van de schepen volgens de formule is dan 9,6 jaar. De mediane leeftijd van de motoren in de enquête was 9,0 jaar en de gemiddelde leeftijd was 14,9 jaar.



Figuur 16: Overlevingsfuncties van scheepsmotoren.

Recent is in het kader van werkzaamheden voor taakgroep Verkeer en vervoer nieuw onderzoek gedaan naar de leeftijd van de scheepsmotoren waaruit bleek dat de levensduur van de motoren langer is dan eerder werd berekend. In Figuur 1 staan de nieuwe functies weergegeven voor de drie gewichtsklassen (L1, L2 en L3) alsmede de overlevingsfunctie die in de vorige versie van het emissiemodel werd gebruikt.

De leeftijd waarbij de helft van de motoren was vervangen was 9,6 jaar en is nu rond de 15 jaar. Volgens de nieuwe functies is na 30 jaar nog 15 tot 20% van de motoren in gebruik. In de vorige versie van het model was ongeveer 7,5%. De gegevens over de leeftijden van de scheepsmotoren is gebaseerd op een selectie van de IVR-schependatabase (Wijnbelt, 2014). Uitsluitend schepen die beschikten over een AIS-transponder werden beschouwd als actief varende schepen.

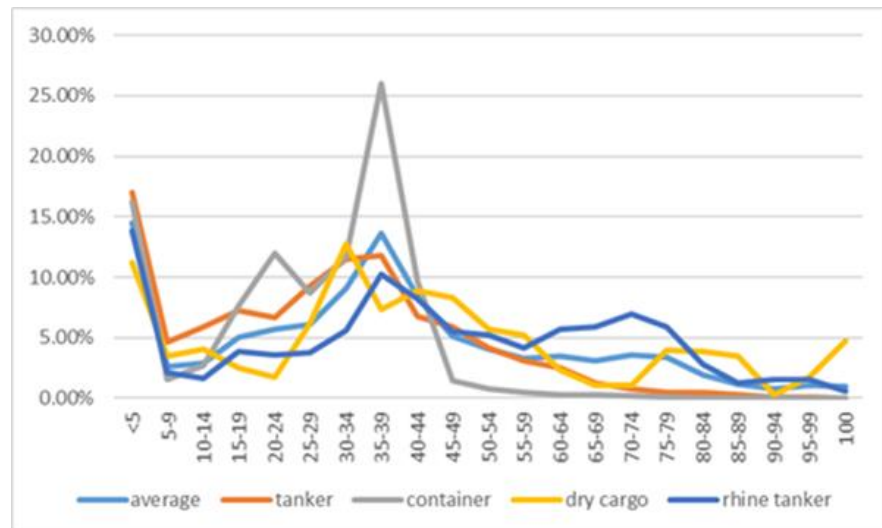
Het resultaat van de berekeningen werden vergeleken met de resultaten van een enquête onder 350 beroepsschippers (Koninklijke BLN - Schuttevaer, 2017). Hieruit bleek dat de uitkomsten van de enquête goed overeenkwamen met de antwoorden van de schippers omtrent de geplande vervanging van motoren.

Tabel 8: Weibull parameters voor vervangingsfunctie en mediane levensduur van scheepsmotoren.

Motor vervangings profiel	λ_i	κ_i	Mediane levensduur (jaar)
L1	20,4	1,30	15,4
L2	18,5	1,12	13,4
L3	18,6	1,26	13,9
M (eerder profiel)	13,0	1,2	9,6

De data waarop de functies zijn gebaseerd is een combinatie van gegevens. De gegevens betreffen een selectie van het IVR schepen-bestand (Wijnbelt, 2014). Alleen schepen die nog in gebruik waren (omdat deze schepen over een AIS-transponder beschikten) op de datum dat het bestand werd uitgegeven werden geselecteerd.

Aanpassing emissiefactoren aan motorbelasting



Figuur 17: Voorbeeld van belasting van binnenvaartmotoren (aandeel in de tijd tegen percentage motorbelasting). Bron (TNO *et al.*, 2018).

Tot en met de voorlaatste versie van het EMS-emissiemodel (Hulskotte *et al.*, 2012) voor binnenschepen werden geen correctiefactoren op emissiefactoren toegepast die afhangen van de motorbelasting omdat er werd uitgegaan van een gemiddelde genomen hoge belasting van de motoren.

Uit de recente dataverzameling en on-board monitoring resultaten van het PROMINENT project) (TNO *et al.*, 2017, 2018) blijkt dat de belasting van de binnenvaart motoren momenteel gemiddeld genomen relatief laag is (25% tot 50%, zie ook Figuur 17).

Daarom is het noodzakelijk om correctiefactoren op de emissiefactoren in rekening te brengen (Tabel 9). Deze correctiefactoren werden eerder niet in het model meegenomen. De correctiefactoren voor emissiefactoren zijn merendeels overgenomen van de emissieberekening van zeeschepen (4-takt motoren) . De correctiefactoren voor NO_x betreffende CCR2/Stage IIIa, IWP/IWA-v/c-3 en IWP/IWA-v/c-4 zijn inschattingen van TNO die deels zijn gebaseerd op de resultaten van het PROMINENT-project (TNO *et al.*, 2017, 2018) en de ervaring met HD motoren.

Tabel 9: Correctiefactoren voor emissiefactoren afhankelijk van motorbelasting (CEF).

Stof	NO _x				Dieselolie, CO ₂ , SO ₂ , metalen	PM ₁₀	VOS en methaan	CO	
	Toepassing	<= CCR1	CCR2/ Stage IIIa	IWP/IWA-v/c-3					IWP/IWA-v/c-4
Motor-belasting%	5	1,83	2,02	3,99	4,79	1,25	2,44	8,00	4,00
	10	1,34	1,42	2,63	3,07	1,21	1,63	4,46	5,22
	15	1,17	1,27	2,12	2,42	1,18	1,32	2,74	3,51
	20	1,10	1,19	1,85	2,08	1,15	1,19	2,02	2,66
	25	1,06	1,15	1,69	1,88	1,13	1,12	1,65	2,14
	30	1,04	1,13	1,58	1,73	1,11	1,08	1,42	1,80
	35	1,03	1,11	1,50	1,63	1,09	1,05	1,27	1,56
	40	1,02	1,09	1,44	1,56	1,07	1,03	1,16	1,38
	45	1,01	1,08	1,39	1,50	1,05	1,01	1,09	1,23
	50	1,00	1,07	1,35	1,45	1,04	1,01	1,03	1,12
	55	1,00	1,07	1,32	1,41	1,03	1,00	1,00	1,06
	60	0,99	1,06	1,29	1,37	1,02	1,00	0,98	1,00
	65	0,99	1,06	1,27	1,35	1,01	0,99	0,95	0,94
	70	0,98	1,05	1,25	1,32	1,01	0,99	0,92	0,88
	75	0,98	1,05	1,24	1,30	1,00	0,98	0,89	0,82
	80	0,97	1,05	1,22	1,28	1,00	0,98	0,87	0,76
	85	0,97	1,04	1,21	1,27	1,00	0,97	0,84	0,70
90	0,97	1,04	1,20	1,25	1,01	0,97	0,85	0,70	
95	0,97	1,04	1,19	1,24	1,02	0,97	0,86	0,70	
100	0,97	1,04	1,18	1,23	1,02	0,97	0,87	0,70	

Bepaling brandstofafhankelijke emissiefactoren

De emissiefactoren (in kg/kWh) voor koolstofdioxide en zwaveldioxide zijn eenvoudig te berekenen door de brandstofafhankelijke emissiefactor (in g/kg) te vermenigvuldigen met het gemiddelde brandstofverbruik (in kg/kWh). Bij de berekening van de brandstofafhankelijke emissiefactoren wordt gebruik gemaakt van het koolstofgehalte en het zwavelgehalte van de brandstof (in dit geval gasolie).

De emissiefactoren (zie Tabel 11) kunnen worden berekend door het specifieke brandstofgebruik per scheepsklasse te vermenigvuldigen met het gehalte en de stoichiometrische factoren uit Tabel 11. De stoichiometrische factoren hebben betrekking op de omzetting van koolstof en zwavel naar respectievelijk koolstofdioxide en zwaveldioxide.

Tabel 10: Koolstofgehalte en zwavelgehalte van gasolie.

Component	Jaren	Gehalte (g/kg)	Stoichiometrische factor
Koolstof	1990 en later	865,4	44/12
Zwavel	1990 t/m 2007	1,7	48/16
	2008 t/m 2009	1,0	
	2010	0,5	
	2011 en later	0,01	

Tabel 11: Emissiefactoren voor CO₂ en SO₂, NH₃ en N₂O in g/kg brandstof.

Component	Jaren	Emissie (g/kg)
CO₂	1990 - nu	3173
SO₂	1990 t/m 2007	3,4
	2008 t/m 2009	2,0
	2010	1,0
	2011 en later	0,02
NH₃	1990 - nu	0,01
N₂O	1990 - nu	0,08

Invloed van zwavelgehalte op de PM-emissiefactor

De invloed van een lager zwavelgehalte in de dieselbrandstof wordt met behulp van onderstaande formule (Hulskotte, 2018) in de emissiefactoren van PM₁₀ verrekend:

$$EF_{PM}(S) = EF_{PM}(Ref) + \frac{0.157 \times FC \times (S - Ref)}{1\ 000\ 000}$$

Waarbij:

EF_{PM}(S) = Emissiefactor van PM bij het actuele zwavelgehalte

EF_{PM}(Ref) = Emissiefactor van PM bij het referentie zwavelgehalte

Ref= het referentie zwavelgehalte (voor rode diesel 1700 mg/kg en voor EN590 50 mg/kg)

S = actuele zwavelgehalte in mg/kg

FC = Het specifieke brandstofgebruik van de motor in g/kWh

Tijdreeks emissiefactoren 2009 tot 2017

In Tabel 12 staan de middels Weibull-model berekende jaargemiddelde parkgewogen emissiefactoren weergegeven, die worden toegepast in de emissieberekeningen op alle scheepstypen vanaf het registratiejaar 2009. Deze parkemissiefactoren worden gecorrigeerd voor de motorbelasting die optreedt ten gevolge van de snelheid en de belading van de schepen op een bepaald vaartraject.

Tabel 12: Jaargemiddelde parkemissiefactoren bij 100 procent motorbelasting, (g/kWh).

Jaar	Tonnagecategorie	NO _x	PM	CO ₂	CO	VOS	SO ₂	N ₂ O	NH ₃
2009	L1	9,5	0,38	696,0	1,73	0,50	0,439	0,0176	0,0022
2009	L2	9,5	0,37	691,8	1,68	0,48	0,436	0,0174	0,0022
2009	L3	9,5	0,37	691,9	1,66	0,47	0,436	0,0174	0,0022
2010	L1	9,5	0,36	693,3	1,69	0,48	0,219	0,0175	0,0022
2010	L2	9,4	0,34	689,3	1,64	0,46	0,217	0,0174	0,0022
2010	L3	9,4	0,34	689,1	1,62	0,46	0,217	0,0174	0,0022
2011	L1	9,4	0,33	690,6	1,65	0,47	0,004	0,0174	0,0022
2011	L2	9,2	0,32	686,9	1,59	0,45	0,004	0,0173	0,0022
2011	L3	9,3	0,32	686,5	1,57	0,44	0,004	0,0173	0,0022
2012	L1	9,3	0,32	688,1	1,60	0,45	0,004	0,0174	0,0022
2012	L2	9,1	0,31	684,6	1,56	0,43	0,004	0,0173	0,0022
2012	L3	9,2	0,31	684,0	1,53	0,42	0,004	0,0172	0,0022
2013	L1	9,2	0,31	685,7	1,56	0,43	0,004	0,0173	0,0022
2013	L2	9,0	0,30	682,4	1,52	0,42	0,004	0,0172	0,0022
2013	L3	9,1	0,30	681,7	1,49	0,41	0,004	0,0172	0,0021
2014	L1	9,1	0,30	683,4	1,52	0,42	0,004	0,0172	0,0022
2014	L2	9,0	0,29	680,3	1,48	0,40	0,004	0,0172	0,0021
2014	L3	9,0	0,29	679,4	1,46	0,39	0,004	0,0171	0,0021
2015	L1	9,0	0,29	681,2	1,49	0,41	0,004	0,0172	0,0021
2015	L2	8,9	0,28	678,4	1,45	0,39	0,004	0,0171	0,0021
2015	L3	8,9	0,28	677,3	1,42	0,38	0,004	0,0171	0,0021
2016	L1	8,9	0,29	679,1	1,45	0,39	0,004	0,0171	0,0021
2016	L2	8,8	0,27	676,5	1,42	0,38	0,004	0,0171	0,0021
2016	L3	8,8	0,27	675,3	1,39	0,37	0,004	0,0170	0,0021
2017	L1	8,8	0,28	677,1	1,42	0,38	0,004	0,0171	0,0021
2017	L2	8,7	0,27	674,8	1,39	0,37	0,004	0,0170	0,0021
2017	L3	8,7	0,26	673,4	1,36	0,36	0,004	0,0170	0,0021

De emissiefactoren die optreden bij 25 procent motorbelasting (Tabel 13) zijn typisch voor de periode na 2008 toen de snelheden van binnenschepen werden verlaagd om brandstof te besparen.

De te verwachten verschillen in de toekomst zijn echter nog groter. Het verschil in de emissiefactor van L3 in 2017 is $9,6/8,7 = 1,1$ (een verhoging van ongeveer 10%). De stap van CCR2 naar Stage V zou een reductie van 66% ($1 - 2,4/7$) hebben betekend ingeval er geen correctiefactoren van toepassing zouden zijn. Door de toepassing van de correctiefactor (25% motorbelasting) komt de reductie op de lange termijn (ongeveer 30 jaar) echter uit op 36% ($1 - 4,5/7$) emissiereductie.

Aanvullende maatregelen zullen moeten volgen om te zorgen dat de beoogde emissiereductie daadwerkelijk wordt gerealiseerd.

Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan praktijkemissie-eisen als onderdeel van de typekeuring, en/of aan inbouwvoorschriften waarbij de gemiddelde motorbelasting toeneemt (bijvoorbeeld kleinere motor, hybride, etc.).

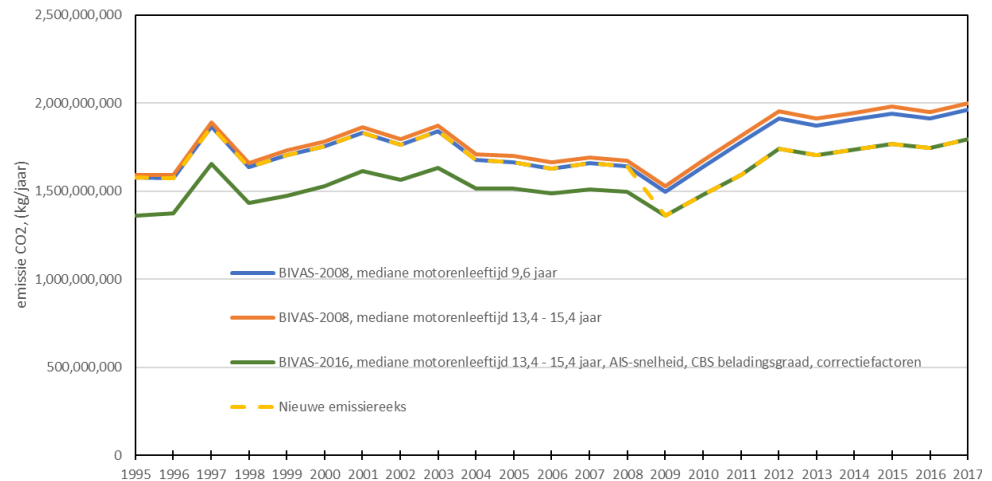
Tabel 13: Jaargemiddelde parkemissiefactoren bij 25 procent motorbelasting, (g/kWh).

Jaar	Tonnagecategorie	NOx	PM	CO ₂	CO	VOS	SO ₂	N ₂ O	NH ₃
2009	L1	10,4	0,44	771,1	5,30	0,95	0,486	0,0194	0,0024
2009	L2	10,3	0,43	766,4	5,13	0,91	0,483	0,0193	0,0024
2009	L3	10,4	0,43	766,5	5,08	0,90	0,483	0,0193	0,0024
2010	L1	10,3	0,41	768,0	5,16	0,91	0,242	0,0194	0,0024
2010	L2	10,2	0,40	763,6	5,00	0,88	0,241	0,0193	0,0024
2010	L3	10,3	0,40	763,5	4,95	0,87	0,241	0,0193	0,0024
2011	L1	10,2	0,38	765,1	5,03	0,88	0,005	0,0193	0,0024
2011	L2	10,1	0,37	760,9	4,87	0,85	0,005	0,0192	0,0024
2011	L3	10,2	0,37	760,6	4,81	0,84	0,005	0,0192	0,0024
2012	L1	10,2	0,37	762,3	4,90	0,85	0,005	0,0192	0,0024
2012	L2	10,0	0,36	758,4	4,75	0,82	0,005	0,0191	0,0024
2012	L3	10,1	0,36	757,8	4,69	0,81	0,005	0,0191	0,0024
2013	L1	10,1	0,36	759,6	4,78	0,82	0,005	0,0192	0,0024
2013	L2	9,9	0,34	756,0	4,64	0,79	0,005	0,0191	0,0024
2013	L3	9,9	0,34	755,2	4,57	0,78	0,005	0,0190	0,0024
2014	L1	10,0	0,35	757,1	4,66	0,80	0,005	0,0191	0,0024
2014	L2	9,8	0,33	753,7	4,53	0,77	0,005	0,0190	0,0024
2014	L3	9,8	0,33	752,7	4,45	0,75	0,005	0,0190	0,0024
2015	L1	9,9	0,34	754,6	4,55	0,77	0,005	0,0190	0,0024
2015	L2	9,7	0,33	751,5	4,43	0,74	0,005	0,0190	0,0024
2015	L3	9,7	0,32	750,3	4,34	0,72	0,005	0,0189	0,0024
2016	L1	9,8	0,33	752,3	4,44	0,74	0,005	0,0190	0,0024
2016	L2	9,6	0,32	749,5	4,33	0,72	0,005	0,0189	0,0024
2016	L3	9,7	0,31	748,1	4,24	0,70	0,005	0,0189	0,0024
2017	L1	9,7	0,32	750,1	4,33	0,72	0,005	0,0189	0,0024
2017	L2	9,5	0,31	747,5	4,24	0,69	0,005	0,0188	0,0024
2017	L3	9,6	0,30	746,0	4,14	0,67	0,005	0,0188	0,0024

Nieuwe emissie tijdreeks als gevolg van modelaanpassingen

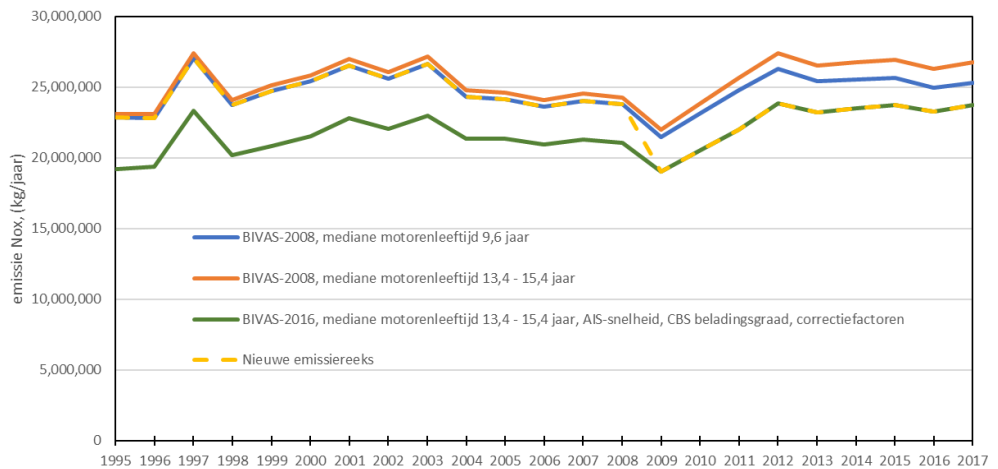
Voor veel van de ingevoerde modelaanpassingen is geen complete tijdreeks beschikbaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor de snelheden van de schepen en de beladingsgraad.

Dit maakt het noodzakelijk om een keuze te maken voor een tijdstip waarop de uitkomsten van de modelaanpassingen in de emissiereeks worden overgenomen. Het is bekend uit waarnemingen aan snelheden van zeeschepen dat met ingang van het jaar 2009 de snelheden drastisch zijn gedaald door zowel overcapaciteit als het oogmerk om zuinig te varen vanwege hoge brandstofprijzen. Er zijn signalen dat soortgelijke maatregelen in de binnenvaart zijn genomen. De vermoedelijke trendbreuk in 2009 rechtvaardigt de keuze om de modelaanpassingen vanaf 2009 in te laten gaan.



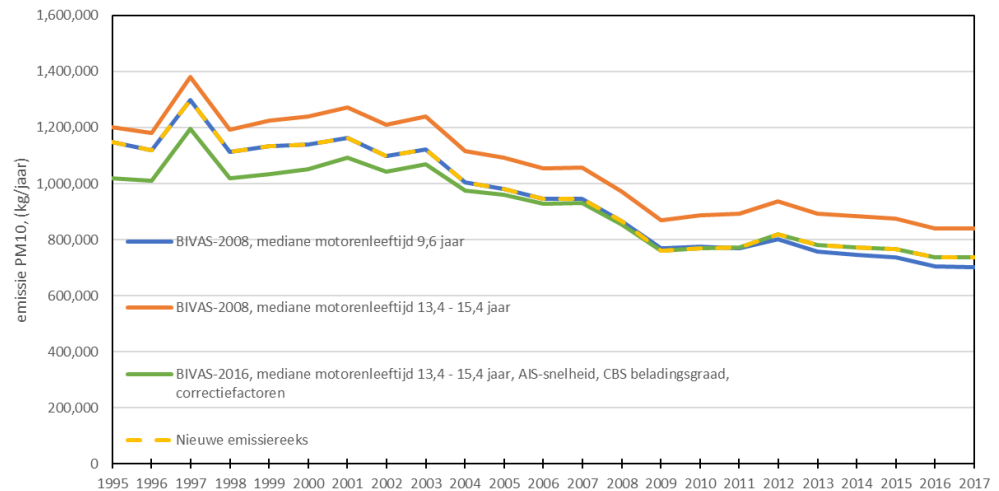
Figuur 18: Huidige en nieuwe emissie tijdreeks voor CO₂-emissie (Nederlands grondgebied).

De blauwe lijn in Figuur 18 toont de emissiereeks van CO₂ volgens het tot nu gebruikte model. De groene lijn toont de uitkomsten van het model met alle modelaanpassingen. De oranje lijn toont het effect van uitsluitend de aanpassing van de motorleeftijd. De gele stippellijn toont de voorgestelde nieuwe emissiereeks. De afname van de CO₂-emissie in 2017 is 8.5%.



Figuur 19: Huidige en nieuwe emissie tijdreeks voor NO_x-emissie.

De blauwe lijn in Figuur 19 toont de emissiereeks van NO_x volgens het tot nu gebruikte model. De groene lijn toont de uitkomsten van het model met alle modelaanpassingen. De oranje lijn toont het effect van uitsluitend de aanpassing van de motorleeftijd. De gele stippellijn toont de voorgestelde nieuwe emissiereeks. De afname van de NO_x-emissie in 2017 is 6.3%.



Figuur 20: Huidige en nieuwe emissie tijdreeks voor PM₁₀-emissie.

De blauwe lijn in Figuur 20 toont de emissiereeks van PM₁₀ volgens het tot nu gebruikte model. De groene lijn toont de uitkomsten van het model met alle modelaanpassingen. De oranje lijn toont het effect van uitsluitend de aanpassing van de motorleeftijd. De gele stippellijn toont de voorgestelde nieuwe emissiereeks. De toename van de PM₁₀-emissie in 2017 is 4.9%. De toename ten opzichte van de huidige cijfers is bij PM₁₀ vooral het gevolg van het hanteren van hogere leeftijden van scheepsmotoren. Dit compenseert voor de lager ingeschatte motorbelasting.

In bovenstaande Figuur 18 - Figuur 20 worden de bestaande en de nieuw voorgestelde emissiereeksen van CO₂, NO_x en PM₁₀ gepresenteerd. De daling van de emissies in 2009 wordt deels veroorzaakt door het verminderde vervoersprestatie tijdens de economische recessie. Daarna wordt de daling gecontinueerd met name door een lagere beladingsgraad van de schepen. Dit overtreft de toename door hogere emissiefactoren veroorzaakt door de hogere leeftijd van de motoren en de introductie van correctiefactoren op de emissiefactoren.

8.2 Hogere emissies NRMM nog niet verwerkt in emissiefactoren

Metingen aan moderne mobiele werktuigen geven aan dat de verschillen tussen de limieten voor NO_x emissies en praktijkemissies groeien. TNO Rapport R10465 (2018). In het bijzonder, bij lage motorbelasting zijn de NO_x emissies altijd relatief hoog, maar soms ook absoluut hoog. De inzet van mobiele werktuigen, met een groot aandeel lage motorbelasting, en zelfs hele periodes stationair draaien, hebben negatieve effecten op de NO_x emissies. Gemiddelde emissies zijn veelal 50% tot 100% hoger dan de limiet voor Stage-IIIb en Stage IV. Voor Stage V, die nu langzamerhand op de markt komen, is hetzelfde effect van een verschil tussen de emissielimieten en de praktijk meegenomen in de NO_x emissiefactoren.

8.3 Dieseltreinen

Metingen aan dieseltreinen (Ligterink *et al.*, 2017) laten voor dieseltreinen hetzelfde beeld zien als voor mobiele werktuigen. Ook deze voertuigen staan veel stil terwijl de motor stationair draait.

In deze tijd worden wagons vaak geïnspecteerd of gekoppeld. In deze omstandigheden zijn de NO_x emissies relatief hoog. Deze groep is een kleine bron in de totale emissies, maar proportioneel met het energieverbruik zijn de NO_x emissies hoog. De oude emissiefactoren voor dieseltreinen zijn daarmee nog steeds actueel, en licht naar boven bijgesteld naar 68 g NO_x per ton dieselbrandstof.

8.4 Updates brommers

Snor- en bromfietsen zijn met een aantal van ruim 1,2 miljoen de meest vertegenwoordigde gemotoriseerde tweewielers in de Nederlandse L-categorie vloot (zie Tabel 14 in 'Relevante Tabellen' voor de definitie van de verschillende L-categorie voertuigen). Motorfietsen volgen daarna met een aandeel van ruim 765.000 voertuigen.² In Tabel 15 is een verdere uitsplitsing van de geregistreerde aantallen naar provincie geschetst. In de provincies Zuid-Holland en Noord-Holland zijn de meeste brom-, snor- en motorfietsen geregistreerd.

Update emissiefactoren

De meest recente emissiefactoren voor snor- en bromfietsen dateren uit 2014. Deze factoren zijn beschreven in het TNO-rapport 'Update emission model for two-wheeled mopeds (Zyl *et al.*, 2014)'. Eind 2017 is er een TNO-rapport gepubliceerd waarin de meetresultaten van 15 verschillende brommers zijn beschreven (Eijk *et al.*, 2017). De selectie bestaat voornamelijk uit Euro 2 en enkele Euro 3 brommers, brommers met carburateur en brommers met elektronische brandstofinjectie, met 2-takt en 4-takt motoren en uit snor- en bromfietsen. Een belangrijk doel van het meetprogramma is om inzicht te verkrijgen in de emissieprestaties van een flink aantal voor het Nederlands brommerpark representatieve brommers. De meeste brommers zijn gebruikte exemplaren met uiteenlopende kilometerstanden.

Na Euro 3 is de emissiewetgeving volledig herzien voor de complete L-categorie in EU Richtlijn 168/2013/EU en gedelegeerde verordening 134/2014/EU. De vernieuwde wetgeving introduceert Euro 4 emissielimieten en -procedures in 2016/2017 en Euro 5 in 2020. Zie

Tabel 16 voor een overzicht van de emissielimieten van de verschillende Euroklassen. Samen met enkele internationale partners heeft TNO deze vernieuwde wetgeving geëvalueerd (Ntziachristos *et al.*, 2017). Onderdeel van de evaluatie was een omvangrijk testprogramma waarbij in totaal bijna 50 voertuigen uit de L-categorie zijn getest. Ten tijde van dit onderzoek waren er nog maar een beperkt aantal Euro 4 modellen op de markt. Om de emissies van (gebruikte) Euro 4 voertuigen in kaart te brengen zijn er binnen de ERMES groep (The European Research for Mobile Emission Sources), waar TNO onderdeel van uitmaakt, diverse Euro 4 brommers en motorfietsen gemeten.

De meetresultaten uit de hierboven beschreven meetprogramma's zijn een goede basis geweest voor een update van de bestaande emissiefactoren.






² Noot: Gegevens CBS; Er kunnen verschillen voorkomen met andere cijfers ten gevolge van peildatum, en wel of niet meetellen van bepaalde voertuigsubtypes.

Resultaten

De update van de emissiefactoren voor Euro 2 brommers komen op hoofdlijnen redelijk overeen met de voorgaande emissiefactoren. Echter, voor 4-takt brommers zijn CO-emissies lager gebleken en de NO_x emissies hoger dan de voorgaande emissiefactoren. De meetresultaten voor koolwaterstoffen worden wat naar beneden bijgesteld voor 4-takt brommers. Voor 2-takt brommers zijn de PM emissiefactoren omhoog bijgesteld. Daarnaast zijn er Euro 3, 4 en 5 emissiefactoren bijgekomen. Euro 5 brommers zijn echter nog niet op de markt, dit is een inschatting op basis van de wetgeving en de ervaring met Euro 4 emissies. Euro 4 brommers laten op alle stoffen een verbetering van de emissies zien. Hetzelfde geldt voor de motorfietsen, Euro 4 presteert beter dan Euro 3. Van sommige categorieën, zoals de mini-car zijn nog geen Euro 4 varianten gemeten, hier zijn alleen nog Euro 2 resultaten beschikbaar. Bij de mini-car (L6e-B) zijn de NO_x en fijnstof emissies aan de hoge kant, dit zijn dan ook dieselveertuigen.

Relevante Tabellen

Tabel 14: Overzicht L-categorie voertuigen.

Vehicle categorisation	Typical Photos of Models			Key specifications
L1e- A Powered cycle				≤50 cc (PI), ≤25 km/h, ≤1 kW
L1e -B Two-wheel moped				≤50 cc (PI), ≤45 km/h, ≤4 kW
L2e Three-wheel moped	 L2e-P	 L2e-U		≤50 cc (PI) / ≤500 cc (CI), ≤45 km/h, <4 kW, ≤270 kg
L3e Two-wheel motorcycle	 L3e-A1	 L3e-A2	 L3e-A3	A1: ≤125 cc, ≤11 kW, ≤0.1 kW/kg A2: ≤35 kW, ≤0.2 kW/kg A3: >35 kW, >0.2 kW/kg
L4e Two-wheel motorcycle with side-car				Equivalent to the corresponding L3e
L5e-A Tricycle				3 wheels, ≤1000 kg, max 5 seats
L5e-B Commercial tricycle				3 wheels, ≤1000 kg, max 2 seats, loading volume ≥ 0.6m ³
L6e-A Light on-road quad				≤50 cc (PI) / ≤500 cc (CI), ≤45 km/h, ≤4 kW, ≤425 kg
L6e-B Light quadri-mobile	 L6e-BP	 L6e-BU		≤50 cc (PI) / ≤500 cc (CI), ≤45 km/h, ≤6 kW, ≤425 kg
L7e-A Heavy on-road quad	 L7e-A1	 L7e-A2		≤15kW, ≤450 kg
L7e-B Heavy all terrain quad	 L7e-B1	 L7e-B2		B1: ≤90 km/h, ≤450 kg B2: ≤15kW, ≤450 kg
L7e-C Heavy quadri-mobile	 L7e-CU	 L7e-CP		CU: ≤90 km/h, ≤15kW ≤600 kg CP: ≤90 km/h, ≤15kW ≤450 kg

Tabel 15: L-categorie voertuigenvloot Nederland 2017 Bron: CBS. Noot: Er kunnen verschillen voorkomen met andere cijfers ten gevolge van peildatum, en wel of niet meetellen van bepaalde subtypes.

Regio's	Aantal voertuigen			
	Snorfiets	Bromfiets	Brommobiel	Motorfiets
Groningen	18.195	15.308	945	25.550
Friesland	17.865	20.658	1.188	30.492
Drenthe	15.908	13.008	639	26.122
Overijssel	43.696	28.654	1.278	50.433
Flevoland	16.295	8.741	345	15.164
Gelderland	84.046	50.928	2.698	85.317
Utrecht	42.058	30.574	1.068	43.468
Noord-Holland	120.595	90.622	2.536	103.184
Zuid-Holland	152.267	106.981	3.003	110.892
Zeeland	12.537	13.228	565	17.495
Noord-Brabant	107.158	61.440	3.053	101.036
Limburg	49.943	32.943	1.862	46.838
Totaal Nederland	680.563	473.085	19.180	655.991

Tabel 16: Emissielimieten L-categorie voertuigen ten opzichte van M1 voertuigen.
Bron: Regulation (EU) No 168/2013 & (EC) No 715/2007 & (EC) No 2002/51/EC.

Stage	Categorie	Ingangsdatum	CO [mg/km]	HC [mg/km]	NO _x [mg/km]	HC + NO _x [mg/km]	PM [mg/km]	PN [#/km]
Euro 1	Brommers	1999	6.000	-	-	3.000	-	-
	Motorfietsen*	1999	13.000	3.000	300	-	-	-
Euro 2	Brommers	2002	1.000	-	-	1.200	-	-
	Motorfietsen**	2003	5.500	1000	300	-	-	-
Euro 3	Brommers	2014 ³	1.000	-	-	1.200	-	-
	Motorfietsen**	2006	2.000	300	150	-	-	-
Euro 4	Brommers	2017	1.000	630	170	-	-	-
	Motorfietsen***	2016	1.140	170	90	-	-	-
Euro 5	Hele L-categorie	2020	PI ⁴ : 1.000 CI ⁵ : 500	PI/CI: 100	PI: 60 CI: 90	-	PI****/CI: 4,5	-
Euro 6	Personenwagens	2014	PI: 1.000 CI: 500	PI: 100	PI: 60 CI: 80	CI: 170	PI****/CI: 4,5	PI/CI: 6,0*E11

* Viertakt motorfietsen.

** Motorfietsen met een cilinderinhoud van $\geq 150 \text{ cm}^3$.

*** Motorfietsen met een maximumsnelheid van $\geq 130 \text{ km/h}$.

**** Motoren met directe injectie.

³ De emissielimiet is gelijk aan die van Euro 2, bij Euro 3 worden echter ook de emissies bij koude start meegenomen.

⁴ PI: Positive Ignition, voornamelijk benzinemotoren.

⁵ CI: Compression Ignition, voornamelijk dieselmotoren.

9 Doorkijk en aandachtspunten

Een deel van het Europese en Nederlandse beleid, vooral na 2020, dat al in ontwikkeling is, heeft nog geen weerslag in de emissiefactoren voor toekomstige jaren. Deze effecten zijn nog niet verwerkt omdat er geen nieuwe ramingen zijn gemaakt door PBL.

9.1 Verwachte effect van APK test in 2021

De huidige APK emissiekeuring geschiedt d.m.v. de uitlezing van OBD informatie, er wordt niets gemeten. Door deze situatie is in de loop van jaren het aandeel voertuigen met defect of verwijderd roetfilter gegroeid. Het is de verwachting dat dieselveertuigen met roetfilter vanaf 2021 een deeltjestest in de APK moeten ondergaan. Invoering van deze APK-emissietest zal leiden tot detectie van defecte en verwijderde roetfilters en heeft waarschijnlijk om een aantal redenen een positief effect op de totale NL PM emissies van wegvoertuigen, deze zijn:

- a) Een deel van de eigenaren zal hun voertuig vanwege de reparatiekosten van de hand doen (de verwachting is dat deze defecte voertuigen grotendeels naar het buitenland verdwijnen).
- b) Een ander deel van de groep voertuigen met defecte roetfilters zal worden gerepareerd/vervangen.

9.2 NH₃ van Euro-6d-TEMP en Euro-6d-FINAL

Nieuwe diesel personenauto's die aan RDE eisen moeten voldoen (Euro-6d-TEMP en Euro-6d-FINAL) worden over het algemeen uitgevoerd met een SCR katalysator, om NO_x te reduceren met behulp van ammoniak, uit een ureumoplossing (AdBlue). Er zijn geen eisen, zoals bij vrachtwagens, aan de uitstoot van ammonia, uit dergelijke systemen. De kans is daarom groot dat om de NO_x uitstoot in alle gevallen onder de limiet te houden, sommige systemen meer ammonia dan nodig zullen injecteren en niet geconverteerd zullen uitstoten. Er zijn begin 2019 nog maar 10,000 Euro-6d-TEMP dieselveertuigen verkocht. In de komende tijd kan dit mogelijk onderzocht worden. Per 1 mei zijn er 20.000 dieselauto's Euro-6d-TEMP verkocht. Dat is een klein aandeel in de vloot.

9.3 Tampering SCR, chiptuning, en andere manipulaties van voertuigen

In het Europese onderzoeksprogramma Horizon 2020 wordt komende jaren onderzocht of voertuigen met verhoogde emissies langs de weg kunnen worden gedetecteerd en wordt een boordsysteem ontwikkeld met een verbeterde beveiliging tegen onrechtmatige aanpassingen, een maatregel waarmee alle nieuwe voertuigen in de EU in de toekomst zouden worden uitgerust. Dit project DIAS, waar TNO aan deel neemt, geeft zowel inzicht in de aard van het probleem als mogelijke oplossingen.

9.4 Retrofit SCR systemen

In het buitenland, in het bijzonder in Duitsland, wordt gewerkt aan retrofit systemen op voertuigen.

Zonder de medewerking van de fabrikanten is het zeer de vraag of deze systemen werken en blijven werken in de stedelijke omstandigheden waar het relevant is. In Nederland wordt hier geen onderzoek naar gedaan, en ook weinig positieve effecten verwacht.

9.5 Aankomende steps in Euro-VI wetgeving

De eisen ten aanzien van de emissies van schadelijke uitstoot en met name voor de uitstoot van NO_x zijn gedurende de afgelopen jaren een aantal keer bijgesteld. Deze stappen binnen Euro VI worden aangeduid met de letters A tot en met E, waarbij E naar verwachting de laatste wijziging is die rond 2020 van kracht zal gaan. Ten aanzien van de NO_x uitstoot zijn de belangrijkste wijzigingen die zijn doorgevoerd die voor de praktijktest voor de conformiteit van in gebruik zijnde voertuigen die ingaan met Step D. Voor deze step is een eis toegevoegd die voor N3 categorie betekend dat emissies exclusief in de stad onderdeel is van de test evaluatie. Ook is de onderste vermogensgrens voor gemiddeldenvesters verlaagd van 20 naar 10%. Dat betekent dat motoren bij een lager vermogen worden getest, wat ten aanzien van de werking van een SCR systeem en de NO_x conversie een kritisch gebied is. Met deze stap wordt ook de beladingsgraad aangepast waardoor een voertuig ook bij een lage belading en met een hoge belading moet voldoen. Genoemde maatregelen moeten er voor zorgen dat fabrikanten de werking van het SCR systeem verbeteren, met name bij lagere motorlasten.

Voertuigen met Step D motoren komen pas in september 2019 op de markt. Pas dan kunnen voertuigen worden getest om het emissieniveau van deze categorie te bepalen.

Er zijn nog geen specifieke eisen voor speciale voertuigen. Dit betekent dat motoren van vuilniswagens voorsnog in vrachtwagens worden getest op langeafstandsritten en niet in de, voor de NO_x emissie meer kritische, stadsinzet. Momenteel lopen in Brussel gesprekken over nut en noodzaak van de invoering van een nieuwe stap in de emissiewetgeving na Euro VI. Het is voorlopig nog onduidelijk wat die stap precies zal inhouden en daarmee is Step E van Euro VI voorlopig de laatste aanpassing in de wetgeving.

Tabel 17: Overzicht met stappen binnen Euro VI met de belangrijkste wijzigingen ten aanzien van de regulering van de NO_x emissies.

Euro VI 'step'	NO _x OBD threshold limiet	Aanvullende OBD monitors	PEMS Power threshold	PEMS Koude start	PEMS PN	PEMS evaluatie stad met name relevant voor N3	PEMS beladingsgraad	Implementatie datum alle voertuigen
A	1.5	N	20	N	N	n.b.	50-60%	31-12-2013
B	1.5	N	20	N	N	n.b.	50-60%	01-09-2015
C	1.2	J	20	N	N	n.b.	50-60%	31-12-2016
D	1.2	J	10	N	N	J	10-100%	01-09-2019
E	1.2	J	10	J	J	J	10-100%	t.b.d

9.6 Andere bronnen in de verschillen tussen metingen en prognoses

Er zijn machines die hoge NO_x en PM uitstoot hebben. Meetprogramma's in Nederland en elders zijn beperkt. Het blijft daarom essentieel om inzicht te houden in de missende bronnen door luchtkwaliteitsmetingen te koppelen aan de bekende bronnen.

10 Literatuur

- Duyzer, J. *et al.* (2007). *Onderzoek naar emissiefactoren voor fijnstof en stikstofoxiden voor de binnenscheepvaart (Eindrapport)* - TNO 2007-A-R0791/B.
- Eijk, A. R. A. *et al.* (2017). *Tailpipe emissions of mopeds in the Dutch fleet* - TNO 2017 R11495.
- Elstgeest, M. *et al.* (2018). *Nederlandse wagenparksamenstelling 2017* - TNO 2018 R10367.
- Geilenkirchen, G. P. *et al.* (2016). *Verkeer en vervoer in de Nationale Energieverkenning 2015*. Den Haag: PBL 101.
- Hammingh, P. *et al.* (2019). *Kortetermijnraming voor emissies en energie in 2020*. Den Haag: PBL 50.
- Hensema, A. *et al.* (2012). *Tail-pipe emissions and fuel consumption of standard and tampered mopeds* - TNO 2013 R10232.
- Hensema, A. *et al.* (2013). *VERSIT+ Emissiefactoren voor standaard rekenmethode 1 en 2 - 2013 update* - TNO 2013 R11083.
- Hulskotte, J. H. J. *et al.* (2012). *EMS-protocol Emissies door binnenvaart: verbrandingsmotoren, versie 4*.
- Hulskotte, J. H. J. (2018). *EMS-protocol Emissies door binnenvaart: verbrandingsmotoren, versie 5*.
- Kadijk, G. *et al.* (2015). *Roadworthiness test investigations of diesel particulate filters on vehicles* - TNO 2015 R10307.
- Kadijk, G. *et al.* (2016). *Investigation into a periodic technical inspection test method to check for presence and proper functioning of diesel particulate filters in light-duty diesel vehicles* - TNO 2016 R10735.
- Kadijk, G. *et al.* (2017). *Investigation into a Periodic Technical Inspection (PTI) test method to check for presence and proper functioning of diesel particulate filters in light-duty diesel vehicles. Part 2* - TNO 2017 R10530.
- Kadijk, G. *et al.* (2018a). *Emissions of six petrol vehicles with high mileages* - TNO 2018 R10657.
- Kadijk, G. *et al.* (2018b). *Emissions of twelve petrol vehicles with high mileages* - TNO 2018 R11114.
- Knörr, W. *et al.* (2013). *Aktualisierung der Emissionsberechnung für die Binnenschiffahrt und Übertragung der Daten in TREMOD (Endbericht)*.
- Koninklijke BLN - Schuttevaer (2017). *Resultaten enquête vergroening & duurzaamheid binnenvaart*.
- Ligterink, N. E. (2017). *The fleet composition on the Dutch roads relevant for vehicle emissions* - TNO 2017 R10517.
- Ligterink, N. E. *et al.* (2017). *Inzicht in het energieverbruik, de CO₂ uitstoot en de NO_x-uitstoot van het spoorgoederenvervoer* - TNO 2017 R11414.
- Ntziachristos, L. *et al.* (2017). *Effect study of the environmental step Euro 5 for L-category vehicles* - ET-04-17-619-EN-N.
- Oonk, J. *et al.* (2003). *Methodiek voor afleiding van emissiefactoren van binnenvaartschepen* - TNO MEP R2003/437.
- PBL (2019). *Effecten ontwerp klimaatakkoord*. Den Haag: PBL 135.
- Pouwels, M. *et al.* (2017). *Verbetering huidig en toekomstig vaarwegennet met behulp van AIS data*.
- Schoots, K. *et al.* (2017). *Nationale Energieverkenning 2017. Petten: ECN*.
- Spreen, J. S. *et al.* (2016). *Assessment of road vehicle emissions: methodology of the Dutch in-service testing programmes* - TNO 2016 R11178v2.
- Staps, J. *et al.* (2018). *Diesel particle filters* - TNO 2018 R11468.
- TNO *et al.* (2017). *D5.7 Technical evaluation of procedures for Certification, Monitoring & Enforcement* - Grant Agreement 633929.
- TNO *et al.* (2018). *D2.8 / D2.9 Standardized model and cost/benefit assessment for right-size engines and hybrid configurations* - Grant Agreement 633929.

- Traa, M. (2015). Trendextrapolatiemodel voor vrachtautoparken. *Den Haag: PBL*.
- Traa, M. *et al.* (2017). Koterpa 2.0: Ramingsmodel voor het personenautopark en zijn gebruik. *Den Haag: PBL* 54.
- Verbeek, R. P. *et al.* (2015). *Review voorstel voor Europese Emissienormering van de binnenscheepvaart* - TNO 2015 R10424.
- Vermeulen, R. J. *et al.* (2016). *The Netherlands in-service emissions testing programme for heavy-duty vehicles 2015-2016 - Annual report* - TNO 2016 R11270.
- Vermeulen, R. J. *et al.* (2017). *Mogelijkheden om manipulatie van AdBlue-systemen bij vrachtwagens vast te stellen en terug te dringen - eindrapport* - TNO 2017 R11421.
- Vermeulen, R. J. *et al.* (2018a). *Tail-pipe NOx emissions Euro VI buses in daily operation in the Netherlands* - TNO 2018 R11328.
- Vermeulen, R. J. *et al.* (2018b). *Tail-pipe NOx emissions of refuse collection vehicles with a Euro VI engine in daily operation in the Netherlands* - TNO 2018 R10313.
- Wang, D. Y. *et al.* (2008). Ammonia Sensor for Closed-Loop SCR Control. *SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst.* 1, 323–333.
- Wijnbelt, M. (2014). Output of IVR database: TNO-60028758.xlsx.
- Zyl, P. S. van *et al.* (2014). *Update emission model for two-wheeled mopeds* - TNO 2014 R11088.
- Zyl, P. S. van *et al.* (2015). *In-use compliance and deterioration of vehicle emissions* - TNO 2015 R11043.

11 Ondertekening

Den Haag, 25 juli 2019

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'AP', written over a light blue horizontal line.A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'NEL', written over a light blue horizontal line.

Arjan Plomp
Projectleider

N.E. Ligterink
Auteur