

Anna van Buerenplein 1  
2595 DA Den Haag  
Postbus 96800  
2509 JE Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 00 00

**TNO-rapport****TNO 2019 P12134****TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en  
Energieverkenning (KEV) 2019  
NRMM, Binnenvaart en Zeevaart**

Datum	14 Februari 2020
Editors	Hein de Wilde, Arjan Eijk
Auteurs	Emiel van Eijk, Maarten Verbeek, René van Gijlswijk, Jeroen Daey Ouwens, Ruud Verbeek, Jan Hulschotte, Hein de Wilde
Review	Norbert Ligterink

Aantal pagina's 87

Opdrachtgever	PBL
Projectnaam	PBL TRANSPORT 2019/2020
Projectnummer	060.38714 / 060.43097

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.

© 2020 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Ontwikkeling wagenparksamenstelling en verkeersprestaties .....</b>	<b>7</b>
2.1	Inleiding .....	7
2.2	Doel.....	7
2.3	Analyse RDW-data .....	7
2.4	Import en export van personenauto's .....	10
2.5	Import en export van bestelauto's .....	14
2.6	Verband tussen CO <sub>2</sub> -uitstoot en jaarkilometrage voor personenauto's .....	20
2.7	Ontwikkeling totale CO <sub>2</sub> -uitstoot personenauto's .....	22
2.8	Conclusies Wagenparksamenstelling.....	26
2.9	Aanbevelingen vervolgonderzoek Wagenparksamenstelling.....	26
<b>3</b>	<b>Inzet biobrandstoffen .....</b>	<b>28</b>
3.1	Inleiding .....	28
3.2	Doel.....	29
3.3	Uitgangspunten en aanpak.....	29
3.4	Bio-ethanol.....	29
3.5	Biodiesel .....	30
3.6	Groen gas en bio-LNG.....	32
3.7	Conclusie .....	33
<b>4</b>	<b>Non Road Mobile Machinery .....</b>	<b>35</b>
4.1	Inleiding .....	35
4.2	Doel.....	35
4.3	Update model emissies NRMM (MEPHISTO).....	35
4.4	Actualisatie emissiefactoren (NO <sub>x</sub> ) .....	36
4.5	Uitsplitsing emissiefactoren MEPHISTO naar lage en hoge motorlast .....	38
4.6	Trends in energiegebruik van mobiele werktuigen .....	40
4.7	Conclusies NRMM .....	47
<b>5</b>	<b>Binnenvaart .....</b>	<b>49</b>
5.1	Inleiding .....	49
5.2	Doel.....	49
5.3	Update model emissies binnenvaart (POTAMIS).....	49
5.4	Emissienormering binnenvaart .....	49
5.5	Ontwikkeling van motorefficiency .....	50
5.6	Verwachting voor toekomstige NO <sub>x</sub> -emissies.....	53
5.7	Effectschatting nieuwe technologie binnenvaartvloot richting 2030.....	56
5.8	Conclusies binnenvaart .....	62
5.9	Aanbevelingen vervolgonderzoek Binnenvaart .....	62
<b>6</b>	<b>Zeevaart .....</b>	<b>64</b>
6.1	Inleiding .....	64
6.2	Doel.....	64
6.3	Update model emissies zeescheepvaart (POSEIDON) .....	64
6.4	Invloed NO <sub>x</sub> -emissienormen op vlootverjonging .....	65
6.5	Real-world emissiefactoren .....	66
6.6	Trends in Vaarsnelheden .....	76

6.7	Impact SECA .....	77
6.8	Trend in schaalvergroting van schepen.....	79
6.9	Mogelijke scenario's voor introductie van LNG .....	80
6.10	Verwachtingen omtrent implementatie van walstroom.....	81
6.11	Conclusies zeevaart .....	81
6.12	Aanbevelingen vervolgonderzoek Zeevaart .....	82
<b>7</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>84</b>

# 1 Inleiding

In dit TNO-rapport, opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), beschrijven en duiden we de meest recente ontwikkelingen in de sector mobiliteit voor zes deelgebieden. Hierbij geven we per deelgebied een inschatting van de gevolgen van deze ontwikkelingen op de toekomstige uitstoot van CO<sub>2</sub>- en/of luchtverontreinigende stoffen.

Het eerste deel van dit rapport (de hoofdstukken 2 en 3) richt zich op de verwachte CO<sub>2</sub>-uitstoot door het wegverkeer en de inzet van biobrandstoffen tussen nu en 2030. Het PBL heeft deze inzichten en cijfers (mede) gebruikt ter onderbouwing van het hoofdstuk Mobiliteit in de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (KEV 2019; Schoots en Hammingh, 2019). De KEV-2019 geeft een projectie van het te verwachten energieverbruik en de emissies van broeikasgassen tot en met 2030 voor alle sectoren, waar mobiliteit er één van is.

Het tweede deel van dit rapport (de hoofdstukken 4, 5 en 6) richt zich vooral op de verwachte emissies van luchtverontreinigende stoffen door het niet-wegverkeer (NRMM<sup>1</sup>, Binnenvaart, Zeevaart). Voor ieder van deze drie laatstgenoemde subsectoren zijn ook de onderliggende modellen geactualiseerd die gebruikt worden om de (toekomstige) emissies van luchtverontreinigende stoffen te kwantificeren. Het PBL heeft deze inzichten, cijfers en geactualiseerde modellen (mede) gebruikt ter onderbouwing van het KEV onderdeel “Emissieramingen luchtverontreinigende stoffen”, dat in het voorjaar van 2020 wordt gepubliceerd.

De KEV 2019 is gebaseerd op de (beleids)situatie op 1 mei 2019. Ook in ons rapport hebben wij dit ijkpunt aangehouden. Dit betekent dat het Klimaatakkoord<sup>2</sup> van 28 juni 2019 en de lopende nationale doorvertaling van Herziene Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie (RED- II)<sup>3</sup>, niet zijn meegenomen in dit rapport (tenzij anders aangegeven in de tekst).

## Rollen voor de KEV

Bij het opstellen van het hoofdstuk mobiliteit in de KEV zijn de rollen als volgt. TNO levert op door PBL aangewezen deelgebieden kennis en data op basis van analyses van trends en ontwikkelingen in technologie, markt en beleid (nationaal en Europees). PBL maakt voor haar KEV projectie op het gebied van mobiliteit (mede) gebruik van bovengenoemde TNO kennis.

## Bredere context en vooruitblik

Voor alle KEV sectoren, behalve mobiliteit, speelt de TNO groep Energietransitie studies (voorheen ECN Beleidsstudies) al jaren een structurele rol. Tegelijkertijd werken de TNO groepen Sustainable Transport and Logistics en Climate Air and Sustainability al lang samen met PBL aan diverse mobiliteitsonderwerpen. Dit betreft onder andere de jaarlijkse update van emissiefactoren voor zowel wegverkeer als niet-wegverkeer, mede ter onderbouwing van de KEV. De TNO ondersteuning op het gebied van mobiliteit aan de KEV was de afgelopen jaren doorgaans ad-hoc van aard. Met ingang van de KEV-2019 is de TNO kennisinbreng op het gebied van mobiliteit nu meer structureel aangepakt en vastgelegd in dit

<sup>1</sup> Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een breed spectrum aan machines; deels overeenkomend met de Nederlandse naam “mobiele werktuigen”.

<sup>2</sup> Zie [www.klimaatakkoord.nl](http://www.klimaatakkoord.nl) en [www.klimaatakkoord.nl/mobiliteit](http://www.klimaatakkoord.nl/mobiliteit).

<sup>3</sup> EU Richtlijn 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking). Zie: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/nl/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>

rapport. Daarmee is dit rapport tevens een eerste versie van een “draaiboek” voor KEV ondersteuning op het gebied van mobiliteit in de komende jaren.

## **Leeswijzer**

De scope van elk hoofdstuk is verschillend. Het doel van ieder hoofdstuk wordt steeds aan het begin van het hoofdstuk toegelicht. Dit rapport is als volgt opgebouwd. Na de inleiding in hoofdstuk 1 volgen twee hoofdstukken over de CO<sub>2</sub>-uitstoot door het wegverkeer. Hoofdstuk 2 beschrijft de verwachte ontwikkeling van het Nederlandse wagenpark op basis van nieuwverkopen, sloop, import en export en laat zien wat dit betekent voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Hoofdstuk 3 geeft een inschatting van de hoeveelheden en de prijzen van de verschillende biobrandstoffen die naar verwachting tussen nu en 2030 zullen worden gebruikt in (weg)verkeer en scheepvaart.

Daarna volgen drie hoofdstukken over trends en nieuwe ontwikkelingen in het niet-wegverkeer en de invloed daarvan op het brandstofverbruik en de emissies van luchtverontreinigende stoffen. De nadruk ligt hierbij op stikstofoxides (NO<sub>x</sub>). Hoofdstuk 4 beschrijft dit voor het brede spectrum aan mobiele werktuigen, Hoofdstuk 5 voor de binnenvaart en Hoofdstuk 6 voor de zeevaart.

## **Geen samenvatting**

De verschillende hoofdstukken zijn gericht op het beantwoorden van de kennisvragen van PBL die niet (noodzakelijkerwijs) met elkaar samenhangen. Vanwege de diversiteit aan onderwerpen en het zelfstandige karakter van alle hoofdstukken (die op zichzelf staand gelezen kunnen worden) kent dit rapport geen samenvatting. Om snel een beeld te krijgen van het gehele rapport wordt in ieder hoofdstuk in het begin het ‘doel’ beschreven en eindigt ieder hoofdstuk met conclusies en aanbevelingen.

## **Verantwoording**

Deze rapportage is opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Hierbij hebben TNO en PBL samen bepaald welke analyses uitgevoerd zouden worden en met welke mate van diepgang, omdat het binnen beschikbare tijd en budget niet mogelijk was om alle gewenste onderwerpen (volledig) te behandelen. Deze inhoudelijke prioritering vormt de basis voor het rapport. Hierbij hebben we ook benoemd welke deelonderwerpen nu nog niet voldoende zijn onderzocht en daarom relevant zijn voor nader onderzoek in de KEV-2020 of latere versies.

Aan dit rapport hebben diverse TNO medewerkers bijgedragen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de auteur(s) van de verschillende hoofdstukken en de reviewers van deze hoofdstukken. De projectleiding en redactie was in handen van Hein de Wilde en Arjan Eijk. De lay-out van dit rapport is verzorgd door Manuela Loos. Vanuit PBL is het project begeleid door Gerben Geilenkirchen en Michel Traa. De inhoudelijke verantwoordelijkheid voor het voorliggende rapport ligt volledig bij TNO.

Hoofdstuk	Auteur(s)	Reviewer(s)
1. Inleiding	Hein de Wilde	Rianne Dröge
2. Ontwikkeling wagenparksamenstelling	Emiel van Eijk	Norbert Ligterink, Arjan Eijk
3. Inzet Biobrandstoffen	Jeroen Daey Ouwens	Ayla Uslu, Marc Londo
4. Non Road Mobile Machinery	Jan Hulskotte, Ruud Verbeek, Hein de Wilde	Norbert Ligterink
5. Binnenvaart	Jan Hulskotte, Ruud Verbeek, Hein de Wilde	Norbert Ligterink
6. Zeevaart	Jan Hulskotte, Ruud Verbeek, Hein de Wilde	Norbert Ligterink

## 2 Ontwikkeling wagenparksamenstelling en verkeersprestaties

### 2.1 Inleiding

De wagenparksamenstelling bepaalt in belangrijke mate de totale uitstoot van het verkeer. Bij het maken van prognoses van de wagenparksamenstelling in (nabij) toekomstige zichtjaren is het belangrijk om een nauwkeurig inzicht te hebben in de diverse te onderscheiden categorieën van gebruikers (lease, privé, en vele categorieën daarbinnen). Daarnaast spelen verschillen in inzet van de voertuigen door de diverse categorieën gebruikers ook een rol in de totale uitstoot. Vooral door recente ontwikkelingen, zoals de introductie van elektrische auto's (EV), worden deze inzichten steeds belangrijker. Het toepassen van deze inzichten is belangrijk om de betrouwbaarheid te vergroten van de prognoses over de wagenparksamenstellingen en de inzet daarvan.

### 2.2 Doel

Het doel van dit hoofdstuk en de uitgevoerde analyses is om meer inzicht te krijgen in historische trends in de samenstelling van het personenauto en bestelauto wagenpark in Nederland en de mate waarop dit effect heeft op de verkeersprestaties (gereden kilometers) en emissies van dit wagenpark. De focus voor de wagenparkontwikkeling ligt hierbij op de import en export van voertuigen in vergelijking met de nieuwverkoop en sloop. In de prognosemodellen is het namelijk niet altijd mogelijk onderscheid te maken tussen deze twee posten van in- en uitstroom. Bij de emissieberekening ligt de focus op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van voertuigen en dan met name op de vraag of zuinige voertuigen minder kilometers maken dan onzuinige voertuigen, ongeacht de leeftijd van het voertuig. In de prognosemodellen van het PBL zijn zowel de emissies (in gram per kilometer) en de jaarkilometrages afhankelijk van de leeftijd en brandstof van het voertuig.

### 2.3 Analyse RDW-data

In Nederland is de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) verantwoordelijk voor de toelating van voertuigen op de weg en de registratie van deze voertuigen en hun eigenaren. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een combinatie van basisregistratie voertuigen, eigenaarschap, voertuigstatus en NAP-data, zoals hieronder verder toegelicht. Zie ook (Elstgeest, Heijne, & Ligterink, 2018) en (Heijne, Ligterink, & Cuelenaere, 2017).

#### 2.3.1 Datasets

- De RDW **basisregistratie voertuigen** bevat alle kenmerken van gekentekende voertuigen. Voor de huidige studie zijn vooral emissie-verklarende eigenschappen als gewicht, euroklasse en brandstof van belang. Deze data is vrij beschikbaar voor actieve voertuigen. Voor voertuigen die niet meer op de weg rijden is de data alleen te benaderen op aanvraag.
- Het **eigenaarschap** van voertuigen wordt voor een periode van 9 jaar bewaard. Deze data is op te vragen als mutatiegegevens bij de RDW. Per kenteken wordt het soort eigenaar (natuurlijk persoon, rechtspersoon of bedrijfsvoorraad), de

contactgegevens van de eigenaar en start- en einddatum van de registratie geleverd.

- De **voertuigstatus** wordt ook voor een periode van 9 jaar bewaard en registreert voertuigen die niet (meer) actief zijn in het wagenpark. Dit betreft voertuigen die door sloop of export uit het wagenpark zijn verdwenen maar ook voertuigen die door diefstal of schorsing buiten normale registratie zijn geplaatst.
- Sinds 1991 worden in Nederland de kilometerstanden van personenauto's geregistreerd. In eerste instantie werd dit gedaan door de stichting Nationale Autopas en later is dit overgenomen door de RDW (RDW, 2020). De **NAP-data** bevat alle geregistreerde kilometerstanden voor personenauto's voor een periode van 5 jaar.

### 2.3.2 *Analysemethode import-export*

Op basis van de basisregistratie voertuigen is voor elk gekentekende voertuig de VERSIT+ voertuigklasse bepaald. De VERSIT+ klasse bevat de belangrijkste emissie-verklarende eigenschappen van een voertuig op basis waarvan emissiefactoren (emissies in g/km) voor het voertuig kunnen worden geschat (zie ook (Klein, et al., 2019)). De VERSIT+ klasse bestaat uit minimaal 8 karakters die als volgt zijn opgebouwd:

[Gewichtsklasse][Voertuigtype][Brandstof][Euroklasse][Toevoegingen]

De klasse LPADEUR4DPF betreft bijvoorbeeld een **Lichte PersonenAuto** die rijdt op **Diesel**, voldoet aan de **EURO-4** richtlijnen en daarbij beschikt over een roetfilter (**DieselPartikelFilter**). De verschillende (Versit+) voertuigklassen zijn onderscheidend in de typische technologie, uitstoot en brandstof van voertuigen. Er wordt geen onderscheid gemaakt naar marktsegmenten, omdat deze beperkt relevant zijn voor de uitstoot, sinds 1991.

Per VERSIT+ klasse kan nu de ontwikkeling van het wagenpark per jaar in kaart gebracht worden:

- Nieuwe registraties: Voertuigen die nieuw in Nederland verkocht worden hebben een Datum Eerste Toelating (DET) die gelijk is aan de Datum Eerste Inschrijving in Nederland (DEI).
- Import: Geïmporteerde voertuigen hebben een DET die eerder is dan de DEI omdat de voertuigen eerder zijn toegelaten op de weg dan dat ze zijn ingeschreven in Nederland. De importdatum is dus de DEI.
- Sloop: De sloop van voertuigen wordt geregistreerd in de voertuigstatus tabel.
- Export: De export van voertuigen wordt geregistreerd in de voertuigstatus tabel.

Voor 2019 zijn de resultaten geschat op basis van de eerste 4 maanden van het jaar.

### 2.3.3 *Analysemethode verkeersprestaties en CO<sub>2</sub>-uitstoot*

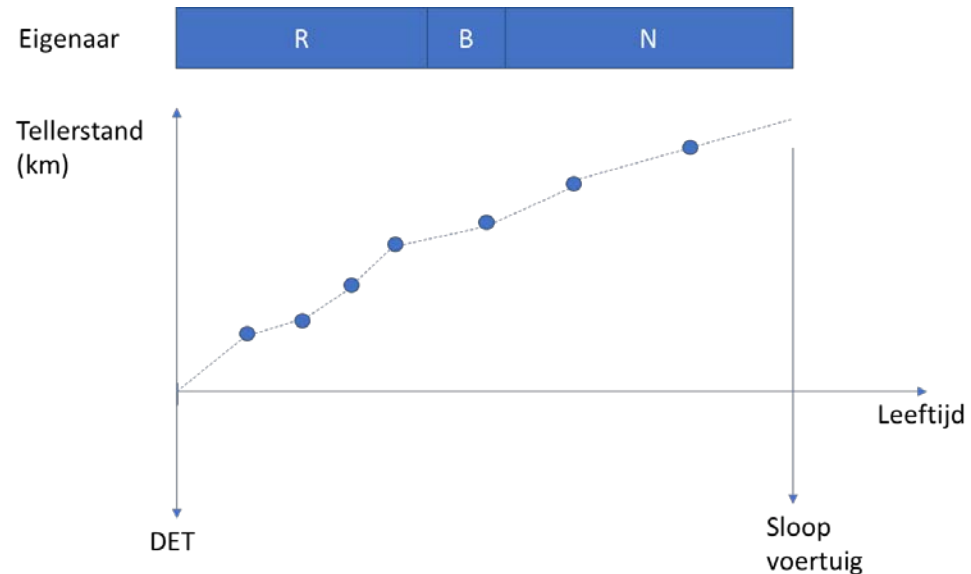
Om de verkeersprestaties te berekenen is gebruik gemaakt van een combinatie van alle hierboven genoemde datasets:

- Op basis van de basisregistratie voertuigen is een VERSIT+klasse aan het voertuig toebedeeld en bepaald vanaf wanneer het voertuig op de Nederlandse weg heeft gereden.
- Op basis van het eigenaarschap is voor elke periode in de levensloop van een voertuig het soort eigenaar toegevoegd.



- Op basis van de voertuigstatus is bepaald vanaf welk moment een voertuig niet meer op de weg reed.
- Op basis van de NAP-data is voor de perioden tussen opeenvolgende tellerstanden het gemiddeld dag kilometrage bepaald.

Op deze manier is de hele levensloop van een voertuig onderverdeeld in fasen, gekenmerkt door een VERSIT+-categorie (vast<sup>4</sup>), een eigenaar (variabel), de leeftijd van het voertuig (variabel) en een dag kilometrage (variabel). Onderstaande figuur laat een voorbeeld van zo'n levensloop zien:



Figuur 1 Levensloop van een voertuig. De bovenste balk laat het soort eigenaar zien. De blauwe bolletjes zijn registraties van de tellerstand in de NAP-database. Hierbij staat R voor Rechtspersoon (dus meestal bedrijf/leasemaatschappij, B voor bedrijfsvoorraad en N = Natuurlijk rechtspersoon ofwel privé eigenaar).

Zoals te zien is in de figuur zijn de tellerstanden aan het einde van de levensloop (laatste registratie tellerstand tot sloop voertuig) geëxtrapoleerd op basis van de op één na laatste periode. De tellerstand op de DET (Datum Eerste Toelating) is op 0 gesteld.

De totale verkeersprestatie van het voertuig is op basis van de verschillende fasen toe te wijzen aan verschillende voertuig categorieën, zoals "LPADEUR4HOF, zakelijke rijder, vijfde levensjaar". Door dit voor alle voertuigen te doen en te schalen naar het aantal dagen dat een voertuig in deze categorie heeft gereden kan de gemiddelde verkeersprestatie per jaar berekend worden voor elke groep door middel van onderstaande berekening:

$$JP_{VK,E,L} = \frac{\sum DP_{VK,E,L,v} \cdot d_{VK,E,L,v}}{\sum d_{VK,E,L,v}} * 365.25 \text{ [km/jaar]}$$

Waarbij JP de gemiddelde jaarprestatie voor een bepaalde categorie voertuig, eigenaar en leeftijd is, DP de gemiddelde dag prestatie voor een bepaald voertuig

<sup>4</sup> Hoewel de VERSIT-klasse gedurende de levensloop van een voertuig kan veranderen door bijvoorbeeld retrofitten van een roetfilter (HOF), zijn voor deze analyse alleen de laatste bekende VERSIT-klassen gebruikt.

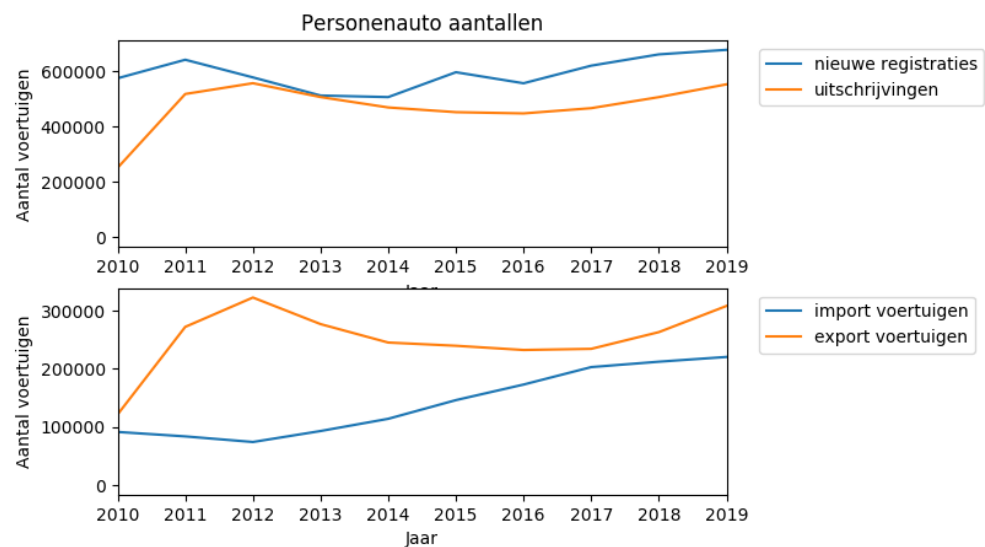
in deze categorie en d het aantal dagen dat het voertuig in deze categorie heeft verbleven. De indices V, K, E, L, en v verwijzen naar respectievelijk VoertuigKlasse, Eigenaarschap, Leeftijd, en individueel voertuig.

De CO<sub>2</sub>-uitstoot (in gram per kilometer) is op twee manieren bepaald. Ten eerste is de typekeur waarde uit de basisregistratie voertuigen overgenomen. Dit is de officieel geregistreerde waarde op basis waarvan bijvoorbeeld de BPM bepaald wordt. Uit onderzoek van TNO (Gijlswijk & Ligterink, 2018) blijkt echter op basis van het brandstofverbruik dat het praktijkverbruik hoger ligt. Op basis van deze studie is de RWCO<sub>2</sub> (Real-world CO<sub>2</sub>) waarde bepaald door de geregistreerde CO<sub>2</sub>-waarde op te hogen. De waarde waarmee de CO<sub>2</sub>-waarde is opgehoogd is afhankelijk van de brandstof, het bouwjaar en de geregistreerde uitstoot van het voertuig.

De totale CO<sub>2</sub>-waarden zijn berekend door de gemiddelde verkeersprestatie per voertuig per jaar te vermenigvuldigen met de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per kilometer en het aantal geregistreerde voertuigen.

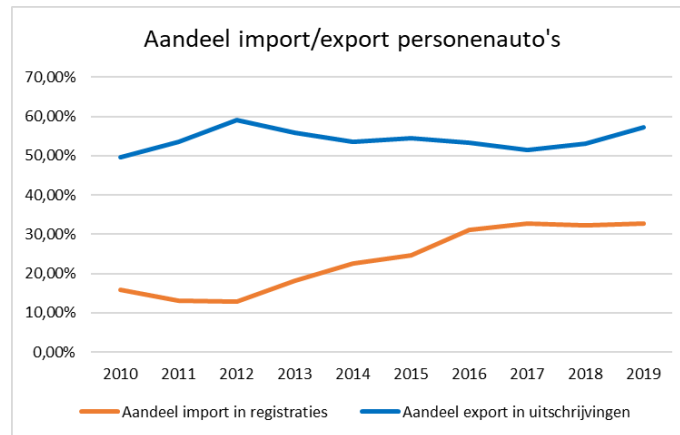
## 2.4 Import en export van personenauto's

Voor personenauto's zijn voor verschillende brandstofsoorten figuren gemaakt met de wagenparkontwikkeling ten gevolge van nieuwverkoop, sloop, import en export. De belangrijkste trends worden in deze paragraaf besproken.

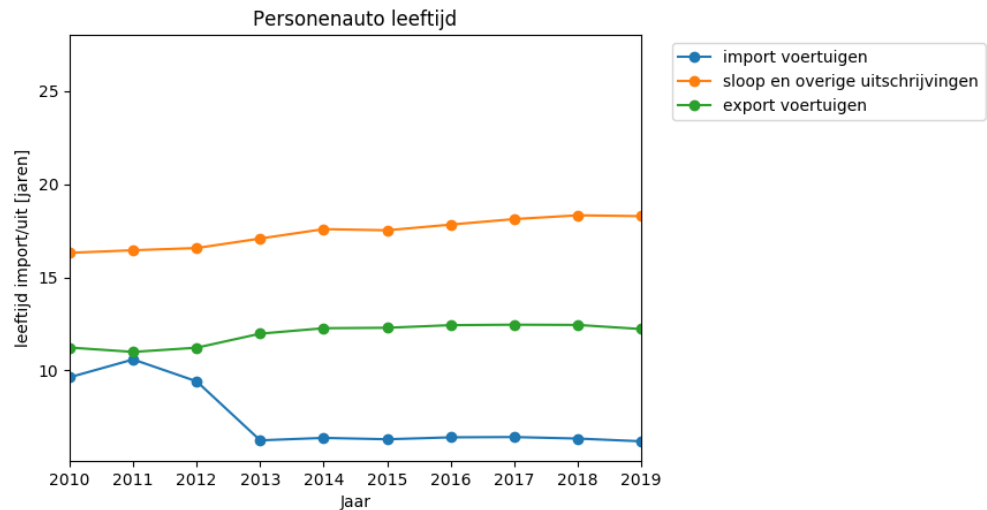


Figuur 2 Ontwikkeling van het personenauto wagenpark. De bovenste figuur laat het totaal van nieuwe registraties (nieuwverkoop + import) en uitschrijvingen (sloop + export) zien en de onderste figuur laat de import en export per jaar zien. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

In Figuur 2 is de ontwikkeling van het totale personenauto wagenpark te zien. Wat opvalt is dat het totale wagenpark continue groeit, met alleen rond 2013 een korte stagnatie. Daarnaast is te zien dat import de laatste jaren een steeds dominantere rol is gaan spelen in de nieuw geregistreerde voertuigen waar de export een vast aandeel van de uitschrijvingen is. In Figuur 3 is te zien dat het aandeel import bijna 20 procentpunt gestegen is tussen 2011 en 2019 terwijl het aandeel export schommelt tussen de 50 en 60 procent.



Figuur 3 Aandeel import in registraties en export in uitschrijvingen voor personenauto's. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

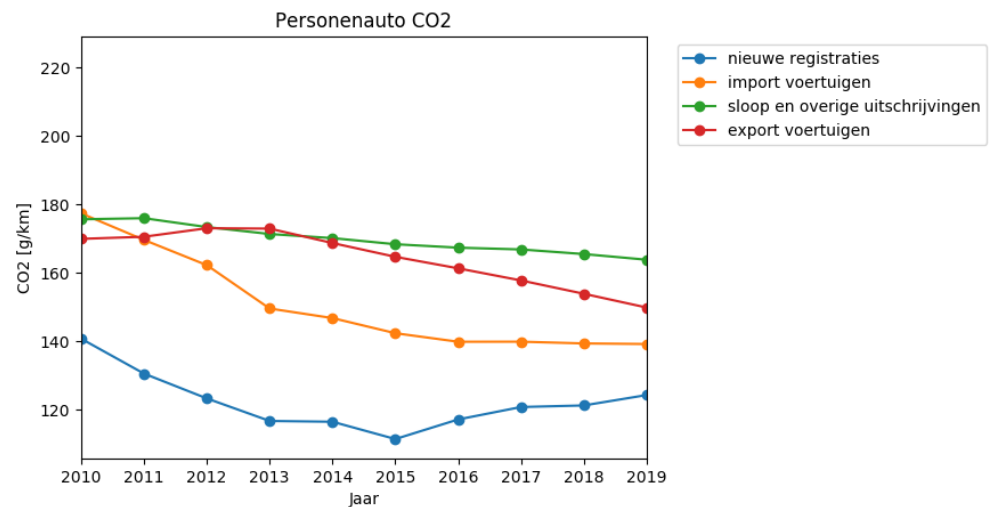


Figuur 4 Ontwikkeling van de leeftijd van personenauto's bij import, export en sloop. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Figuur 4 laat zien dat tussen 2010 en 2013 de gemiddelde importleeftijd gedaald is van 10 naar 3 jaar. Aan de andere kant is voor de leeftijd bij sloop en export juist een stijgende trend te zien wat betekent dat auto's langer in het Nederlandse park actief blijven. Na 2017 lijkt de leeftijd bij export te stabiliseren en licht te dalen.

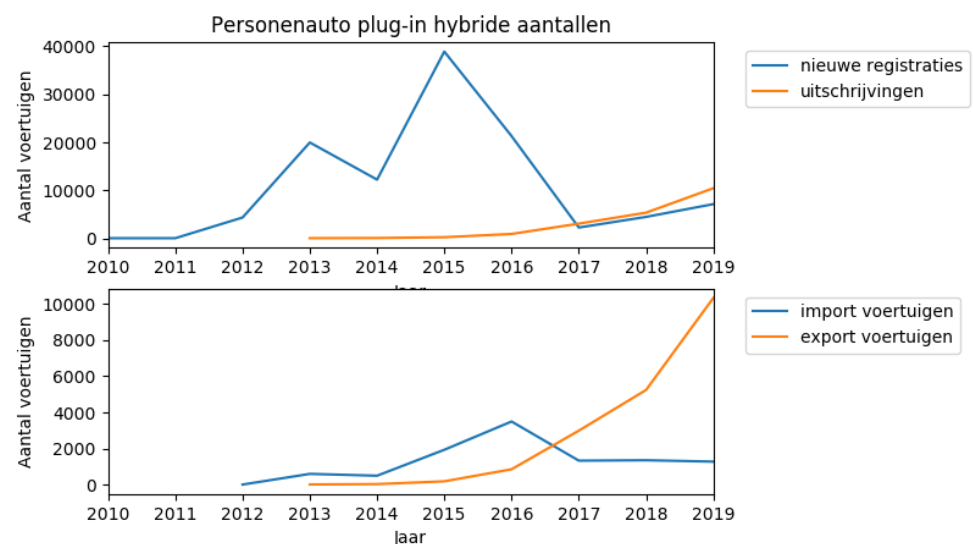
De verlaging van de gemiddelde import leeftijd heeft verschillende oorzaken die met elkaar interfereren. De versoering van speciale regelingen vanaf 2012 voor oldtimers en youngtimers heeft ervoor gezorgd dat er minder oude voertuigen geïmporteerd worden. Simuleringsmaatregelen, rond 2010, in het buitenland hebben relatief jonge auto's gunstig beschikbaar gemaakt voor import. Strengere milieuzones, actueel en aangekondigd, in het buitenland heeft daar de waarde van deze voertuigen verlaagd. De verschuiving van de leasemarkt in lagere segmenten naar meer dieselauto's in de periode 2012-2016 heeft de beschikbaarheid van

benzineauto's in dit marktsegment onder druk gezet, zodat import noodzakelijk was om aan de vraag te voldoen.



Figuur 5 Ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-waarde (volgens typekeuring) bij nieuwe registraties (inclusief import), import, export en sloop. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Figuur 5 laat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot zien voor personenauto's. Over het algemeen hebben nieuwe voertuigen een lagere (typekeur) CO<sub>2</sub>-uitstoot dan oudere voertuigen. Dit verklaart deels de hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot van import voertuigen, aangezien import-voertuigen altijd ouder zijn dan nieuw verkochte voertuigen (zie Figuur 4). Wat opvalt is dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van nieuwe registraties sinds 2015 weer toeneemt wat kan wijzen op de aankoop van zwaardere voertuigen. De trend start bij het einde van de 14% bijtellingsregeling, en voor de introductie van WLTP<sup>5</sup> voertuigen. Voor import, export en sloop is nog een dalende trend te zien.

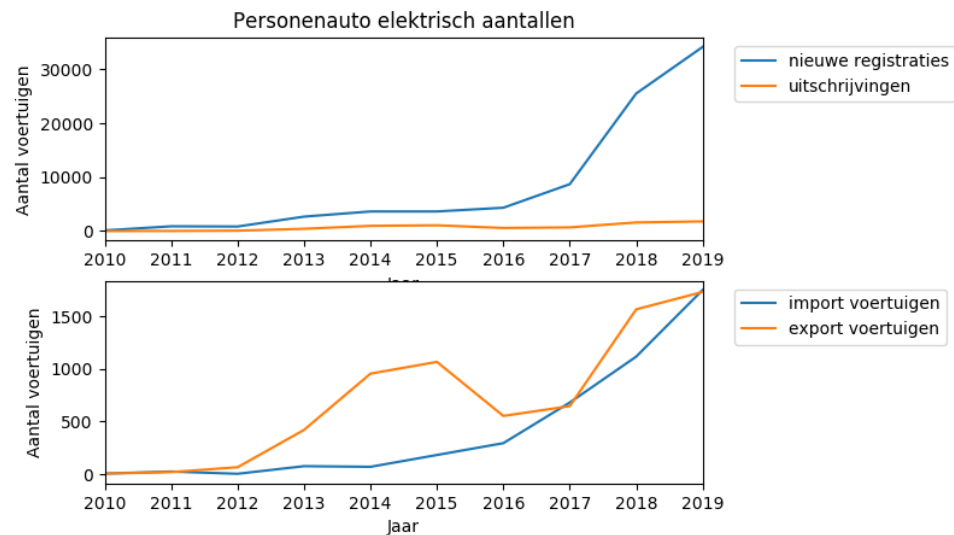


Figuur 6 Ontwikkeling van het plug-in hybride wagenpark. De bovenste figuur laat het totaal van nieuwe registraties (nieuwverkoop + import) en uitschrijvingen (sloop + export)

<sup>5</sup> WLTP = Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure. Zie ook de uitleg over de WLTP aan het begin van Hoofdstuk 3.

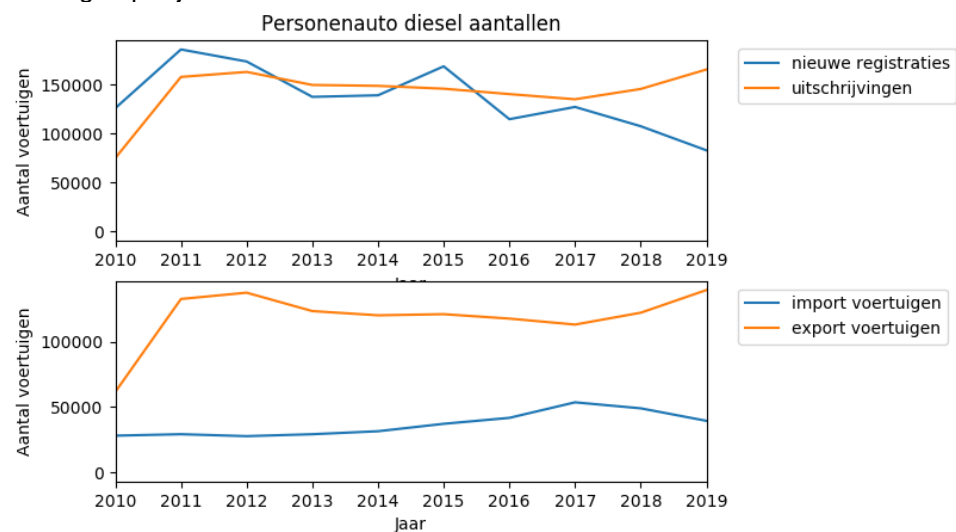
zien en de onderste figuur laat de import en export per jaar zien. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

In Figuur 6 is te zien dat het aantal plug-in hybride personenauto's tussen 2011 en 2017 vooral is toegenomen maar met het wegvallen van fiscale voordelen afneemt (uitschrijvingen hoger dan nieuwe registraties). Vanaf dat jaar is de export van plug-in hybride personenauto's ook fors hoger dan de import. Het lijkt of de aankooppiek van 2015 met 4 jaar vertraging (veel voorkomende leaseperiode) terug te zien is in de export.



Figuur 7 Ontwikkeling van het elektrische personenauto wagenpark. De bovenste figuur laat het totaal van nieuwe registraties (nieuwverkoop + import) en uitschrijvingen (sloop + export) zien en de onderste figuur laat de import en export per jaar zien. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

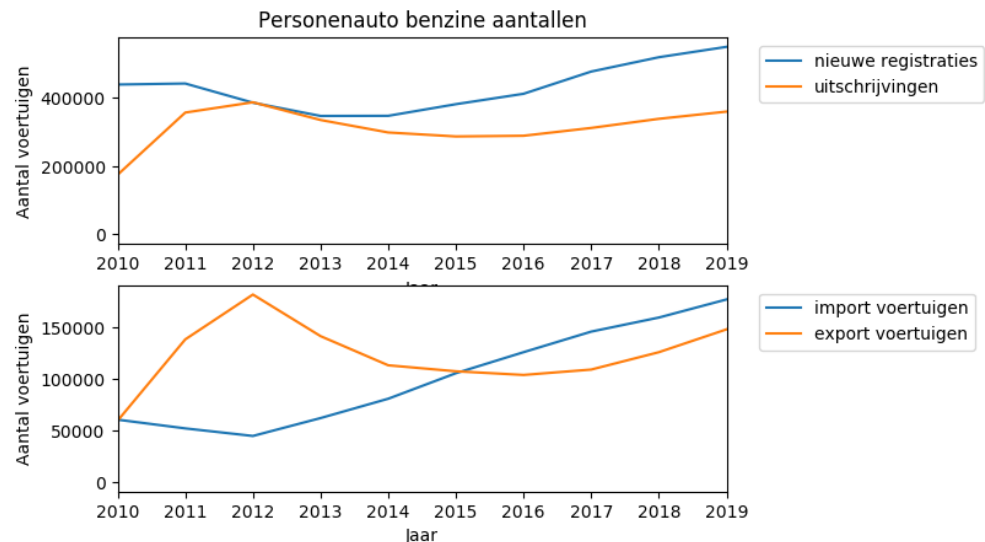
De ontwikkeling van het elektrische personenauto wagenpark is te zien in Figuur 7. Te zien is dat de markt voor elektrische personenauto's de laatste 3 jaar pas echt op gang komt met een toename tot 25000 voertuigen per jaar in 2018. De export van elektrische auto's is onverwacht al eerder op gang gekomen met 1000 voertuigen per jaar in 2014 en 2015.



Figuur 8 Ontwikkeling van het diesel personenauto wagenpark. De bovenste figuur laat het totaal van nieuwe registraties (nieuwverkoop + import) en uitschrijvingen (sloop +

export) zien en de onderste figuur laat de import en export per jaar zien. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

In Figuur 8 is te zien dat de populariteit van diesel personenauto's de afgelopen jaren is afgenomen en de uitschrijvingen hebben de inschrijvingen gepasseerd in 2016. De import nam tot 2017 nog wel toe maar ook daar is een dalende trend ingezet. De export van dieselveertuigen is altijd al groter geweest dan de import.

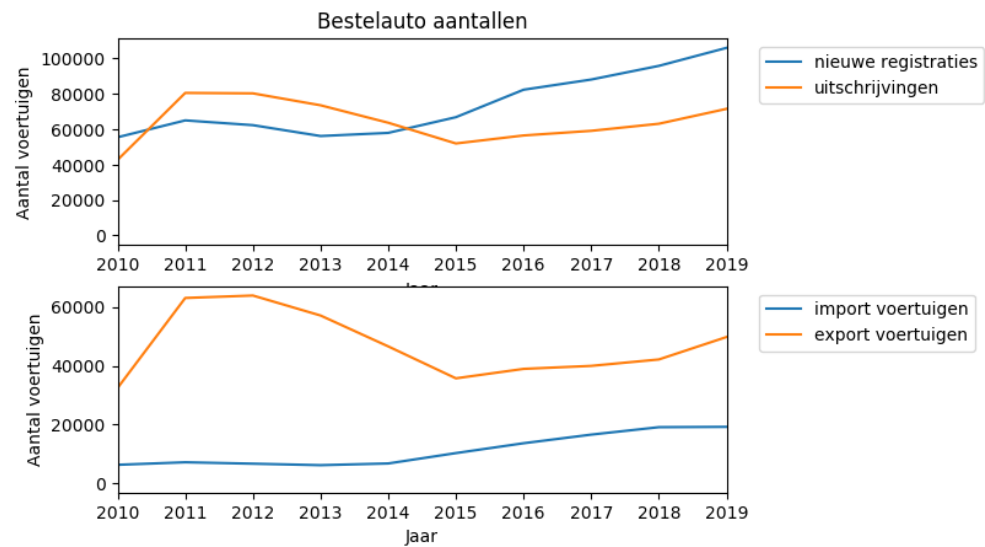


Figuur 9 Ontwikkeling van het benzine personenauto wagenpark. De bovenste figuur laat het totaal van nieuwe registraties (nieuwverkoop + import) en uitschrijvingen (sloop + export) zien en de onderste figuur laat de import en export per jaar zien. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Figuur 9 laat de ontwikkeling van het benzine personenauto wagenpark zien. De totale nieuwe registraties en uitschrijvingen waren net als het totale personenauto wagenpark in Figuur 2 tegen het einde van de economische crisis in 2012 gelijk. Daarna is voor benzine personenauto's het verschil tussen in-en uitschrijvingen elk jaar groter geworden. Voor het totale personenauto wagenpark wordt dit gecompenseerd door een afname in de verkoop van diesel personenauto's. De import van benzine personenauto's neemt elk jaar toe en is sinds 2015 weer groter dan de export.

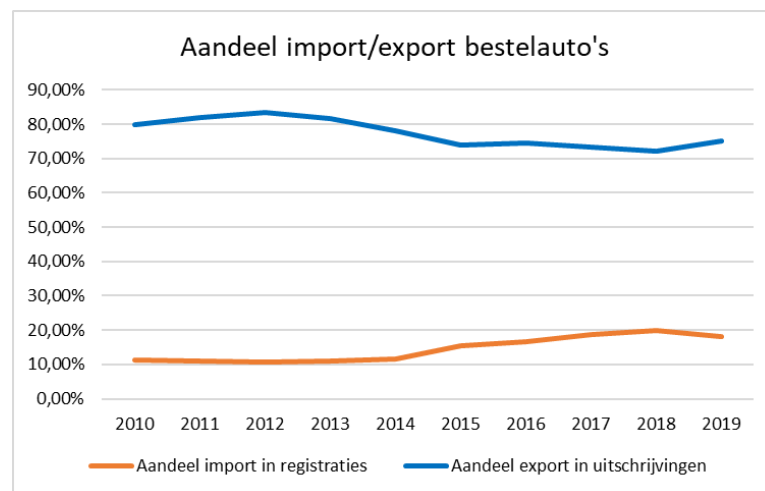
## 2.5 Import en export van bestelauto's

Voor bestelauto's zijn voor alle brandstofsoorten figuren gemaakt met de wagenparkontwikkeling ten gevolge van nieuwverkoop, sloop, import en export. De belangrijkste trends worden in deze paragraaf besproken.

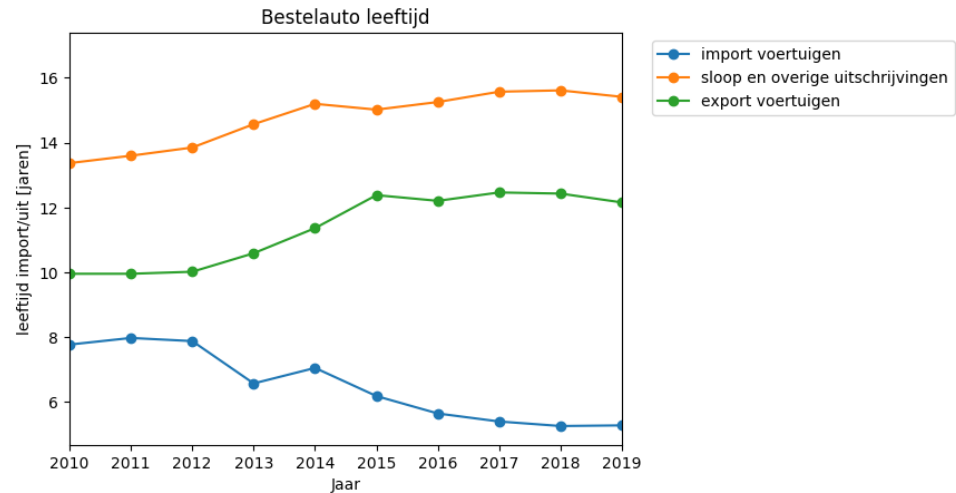


Figuur 10 Ontwikkeling van het bestelauto wagenpark met boven nieuwe registraties (inclusief import) en uitschrijvingen (inclusief export) en onder import en export apart. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

In Figuur 10 is te zien dat er na een dip tijdens de economische crisis weer een groei waarneembaar is van het bestelauto wagenpark. In de onderste grafiek is daarnaast te zien dat zowel de import als de export van bestelauto's is toegenomen in recente jaren. In Figuur 11 is te zien dat de import ook relatief ten opzichte van de totale inschrijvingen is toegenomen naar bijna 20% terwijl het aandeel export in de uitschrijvingen juist iets is afgenomen tussen 2011 en 2015 om daarna stabiel te blijven rond de 73%.

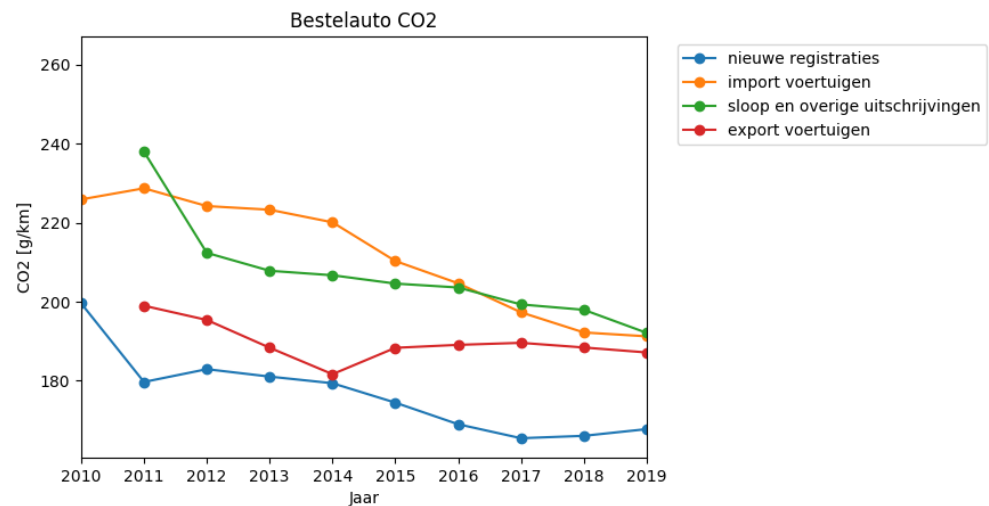


Figuur 11 Aandeel import/export in registraties en uitschrijvingen van bestelauto's. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.



Figuur 12 Ontwikkeling van de leeftijd van bestelauto's bij import, export en sloop. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

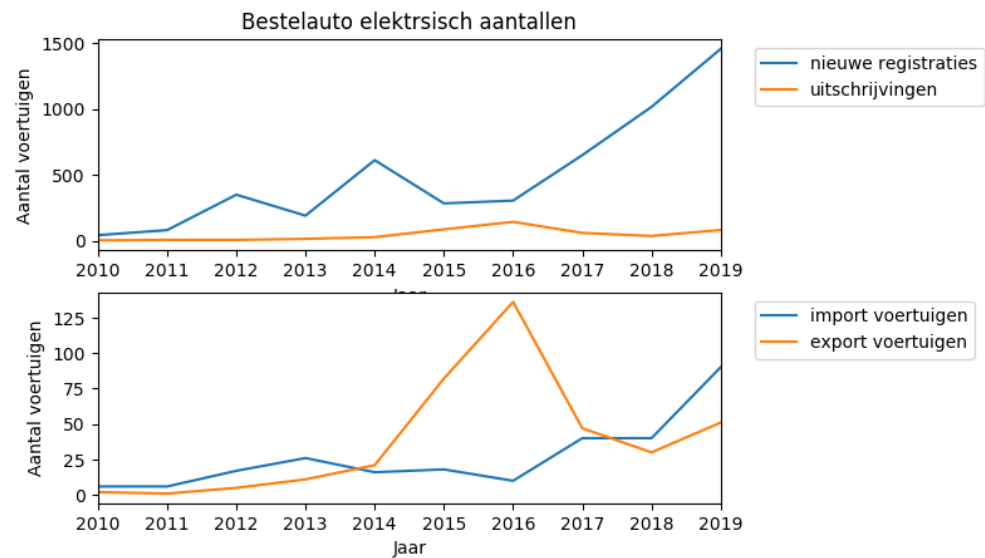
Figuur 12 laat zien dat bestelauto's steeds langer in het wagenpark actief blijven. Zowel de sloop als de export leeftijd is sinds 2010 met ongeveer 2 jaar toegenomen. Daar tegenover staat dat bestelauto's steeds op jongere leeftijd geïmporteerd worden.



Figuur 13 Ontwikkeling CO<sub>2</sub>-uitstoot (volgens typekeuring) van bestelauto's. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

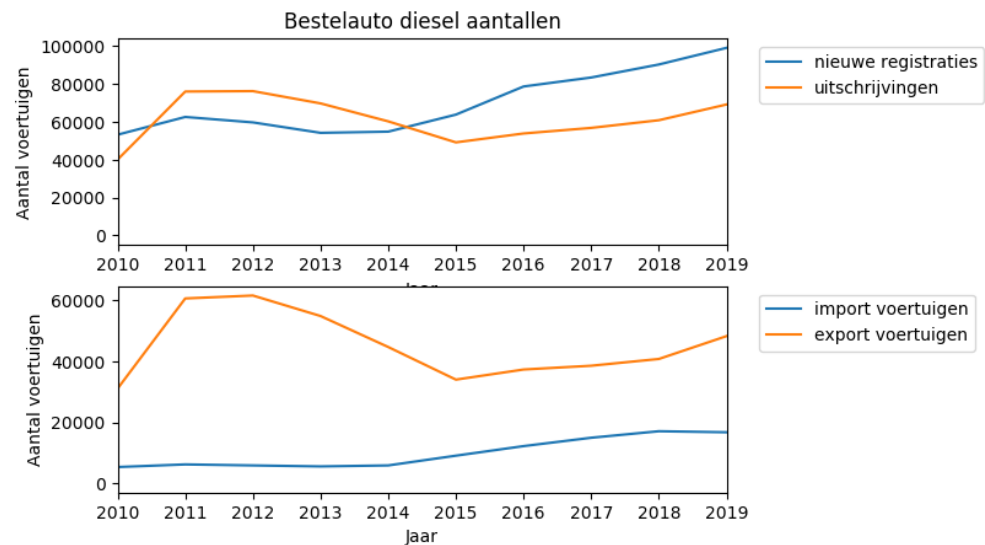
Figuur 13 laat zien dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van bestelauto's (volgens typekeuring) gestaag afneemt. Wat opvalt is dat het verschil tussen import, export en sloop afneemt. De CO<sub>2</sub>-waarde van nieuwe registraties stabiliseert en is in 2018 zelfs licht toegenomen.





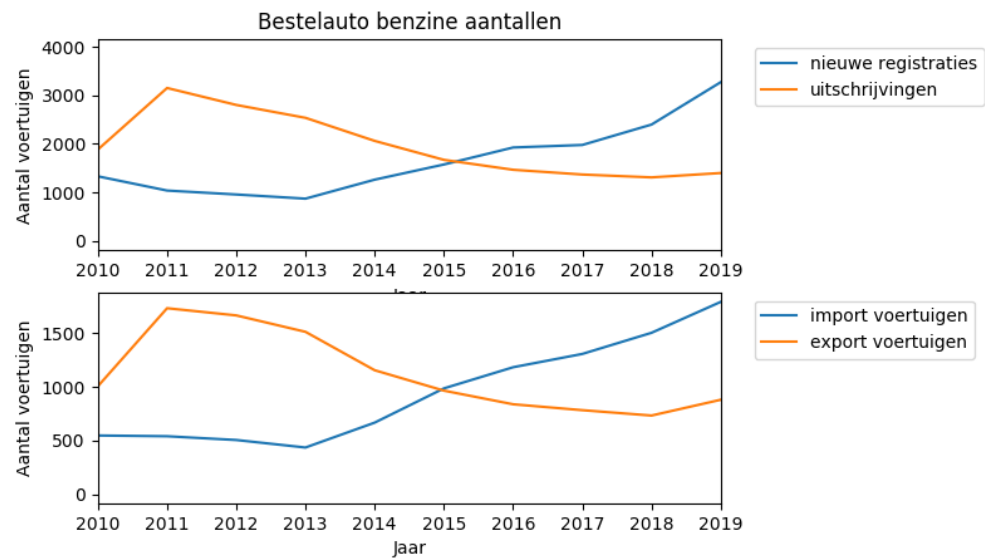
Figuur 14 Ontwikkeling van het elektrische bestelauto wagenpark met boven nieuwe registraties (inclusief import) en uitschrijvingen (inclusief export) en onder import en export apart. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Figuur 14 laat de ontwikkeling van het park van elektrische bestelauto's zien. Na een piek in 2014 is de verkoop iets afgenomen in 2015 en lijkt de verkoop sinds 2016 definitief op gang gekomen met een stijging naar 1000 voertuigen per jaar in 2018.



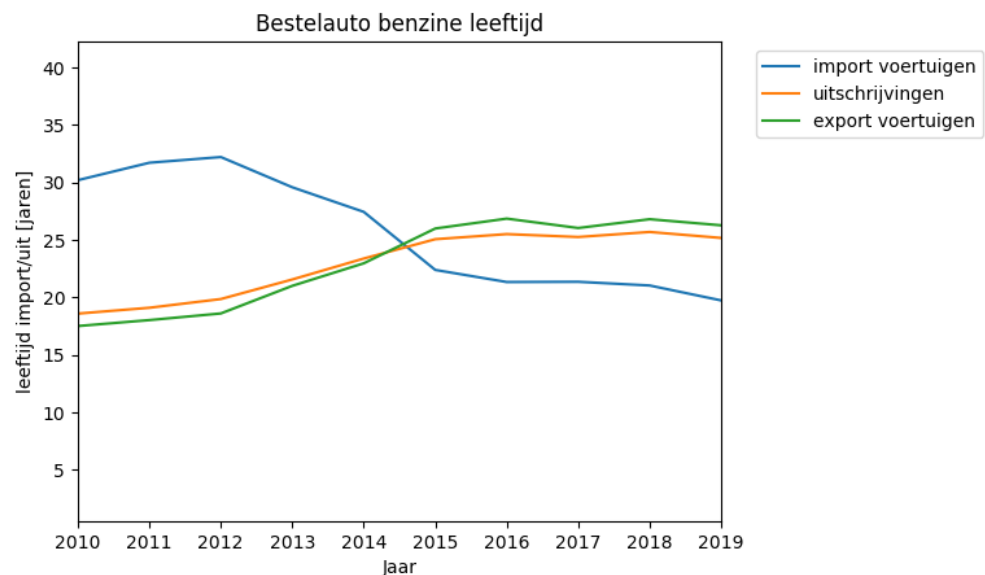
Figuur 15 Ontwikkeling van het diesel bestelauto wagenpark met boven nieuwe registraties (inclusief import) en uitschrijvingen (inclusief export) en onder import en export apart. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Zoals te zien in Figuur 15 is diesel nog veruit de dominante brandstof voor bestelauto's. De grafiek laat dan ook een zelfde verloop zien als het totaalplaatje in Figuur 10.

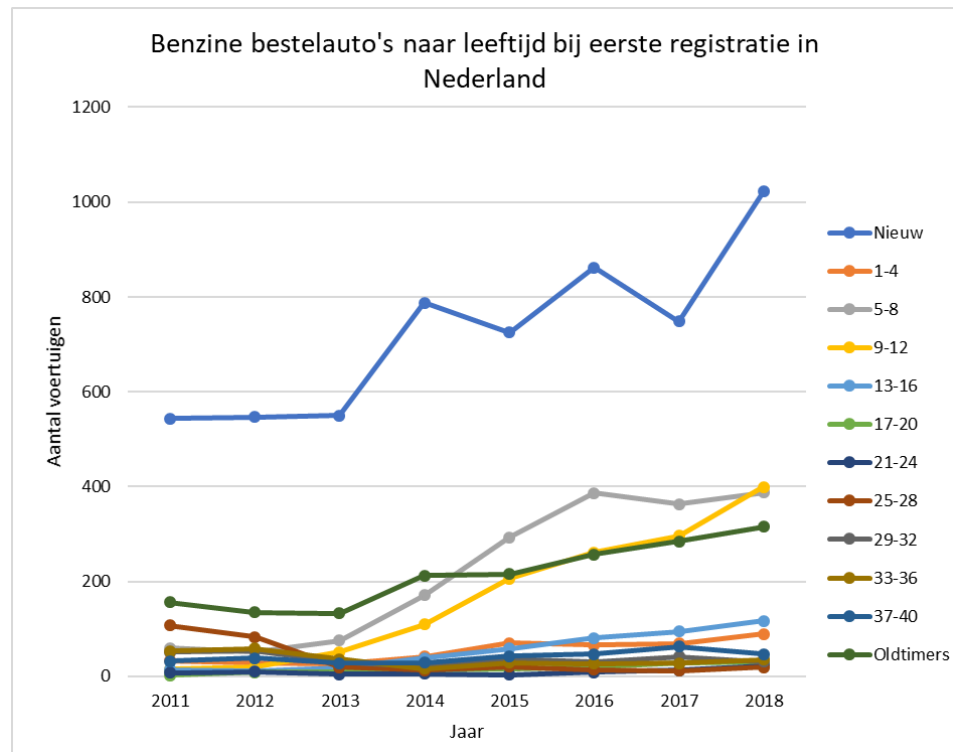


Figuur 16 Ontwikkeling van het benzine bestelauto wagenpark met boven nieuwe registraties (inclusief import) en uitschrijvingen (inclusief export) en onder import en export apart. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.

Figuur 16 laat een stijging zien van het aantal benzine bestelauto sinds 2015. Vooral de import is sinds 2013 sterk gestegen al is het totale aantal nog klein in vergelijking met de diesel bestelauto's. Wat wel opvalt is dat vooral erg oude benzine bestelauto's geïmporteerd worden (zie Figuur 17). De gemiddelde importleeftijd is iets gedaald maar met 20 jaar nog steeds erg hoog. Voor 2014 lag de importleeftijd zelfs boven de gemiddelde leeftijd van uitschrijvingen (zowel sloop als export).



Figuur 17 Ontwikkeling van de gemiddelde leeftijd van benzinebestelauto's bij import, export en sloop. 2019 op basis van de eerste 4 maanden.



Figuur 18: Leeftijd benzine bestelauto's bij eerste registratie in Nederland

Figuur 18 laat de leeftijdsverdeling van benzinebestelauto's bij eerste registratie in Nederland zien. Op basis van deze figuur kunnen drie groepen onderscheiden worden die de groei van het park in belangrijke mate verklaren:

- Nieuwe voertuigen
- Importvoertuigen tussen de 5 en 12 jaar oud.
- Oldtimers (ouder dan 40 jaar).

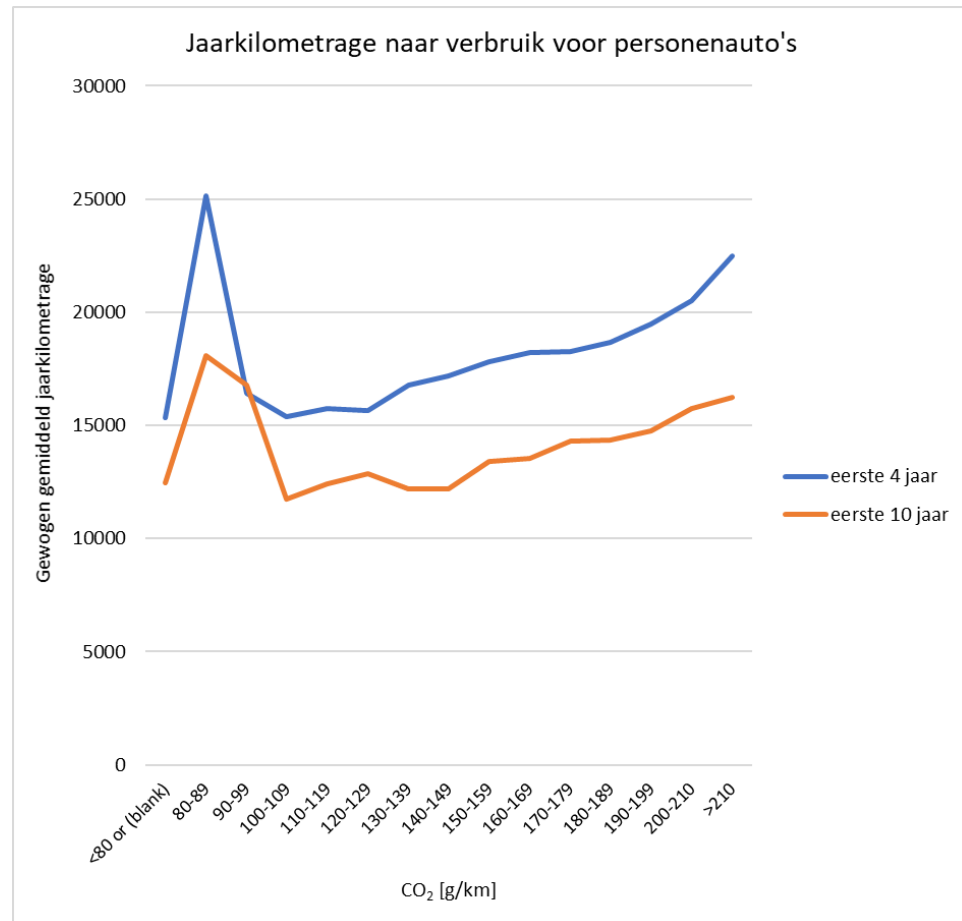
Voor deze groepen is een analyse gedaan op de meest voorkomende Merk-model combinaties in de RDW-data. Omdat hetzelfde merk-model soms op verschillende manieren in de RDW database staat, kan het dat sommige hierna genoemde aantallen in werkelijkheid nog iets hoger liggen. De nieuw verkochte voertuigen (1022 in 2018) bestaan vooral uit tweezitter als de Fiat Doblo (70), Fiat Fiorino (115), Volkswagen Caddy (86) en Ford Transit Connect en Courier (151). Daarnaast is ook een stijging te zien in de Amerikaanse pick-up trucks als de Ford F-serie (38) en de Dodge RAM 1500 (31).

In de tweede groep (import 5-12 jaar oud) is een sterke stijging te zien vanaf 2013. Mogelijk zijn dit ex-lease voertuigen. Deze groep (787 in 2018) bestaat bijna volledig uit tweezitters. De belangrijkste modellen (Citroën Nemo en Berlingo, Fiat Doblo en Fiorino, Opel Combo, Peugeot Partner, Renault Kangoo en VW Caddy) beslaan samen al 83 % van de totale import in deze groep.

De derde groep bevat vooral Amerikaanse Custom voertuigen en pick-up trucks (Chevrolet en Ford zijn beide goed voor ongeveer 1/3 van de totale import van oldtimer diesel bestelauto's).

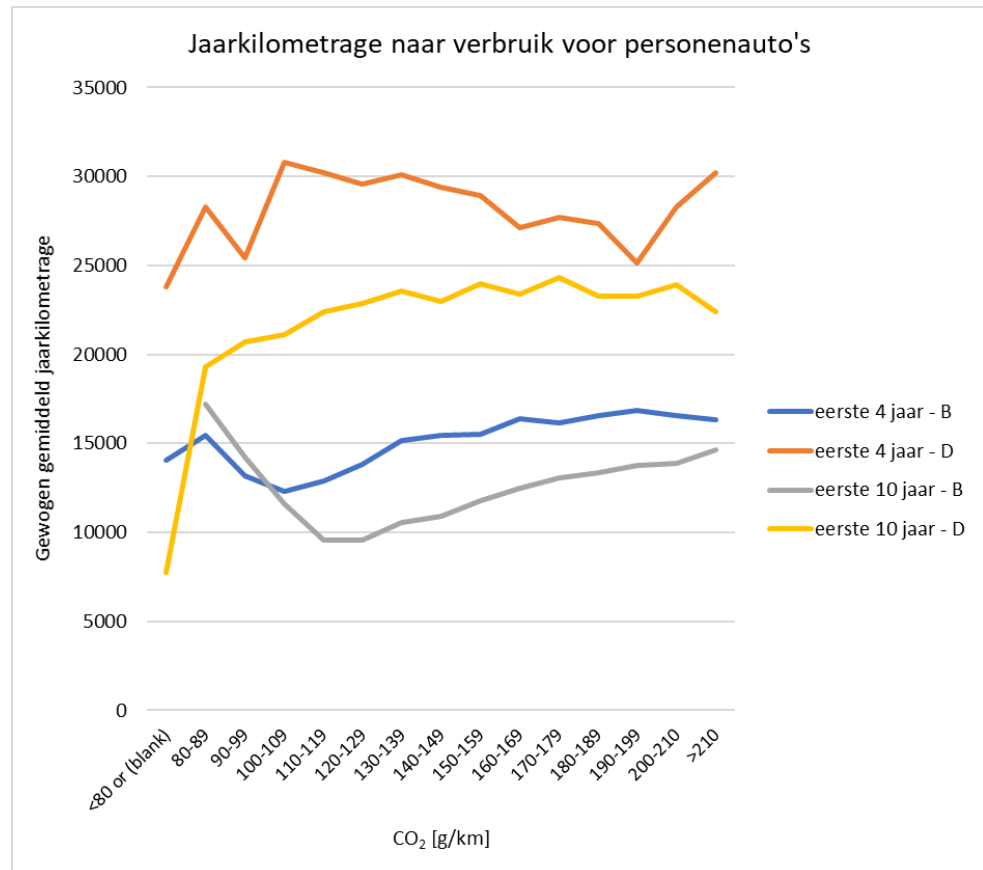
## 2.6 Verband tussen CO<sub>2</sub>-uitstoot en jaarkilometrage voor personenauto's

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar het verband tussen CO<sub>2</sub>-uitstoot en jaarkilometrage. De vraag die hieraan ten grondslag ligt is of onzuinige (veelal zwaardere) personenauto's ook hogere jaarkilometrages maken waarmee ze de totale emissies nog meer omhoog brengen.



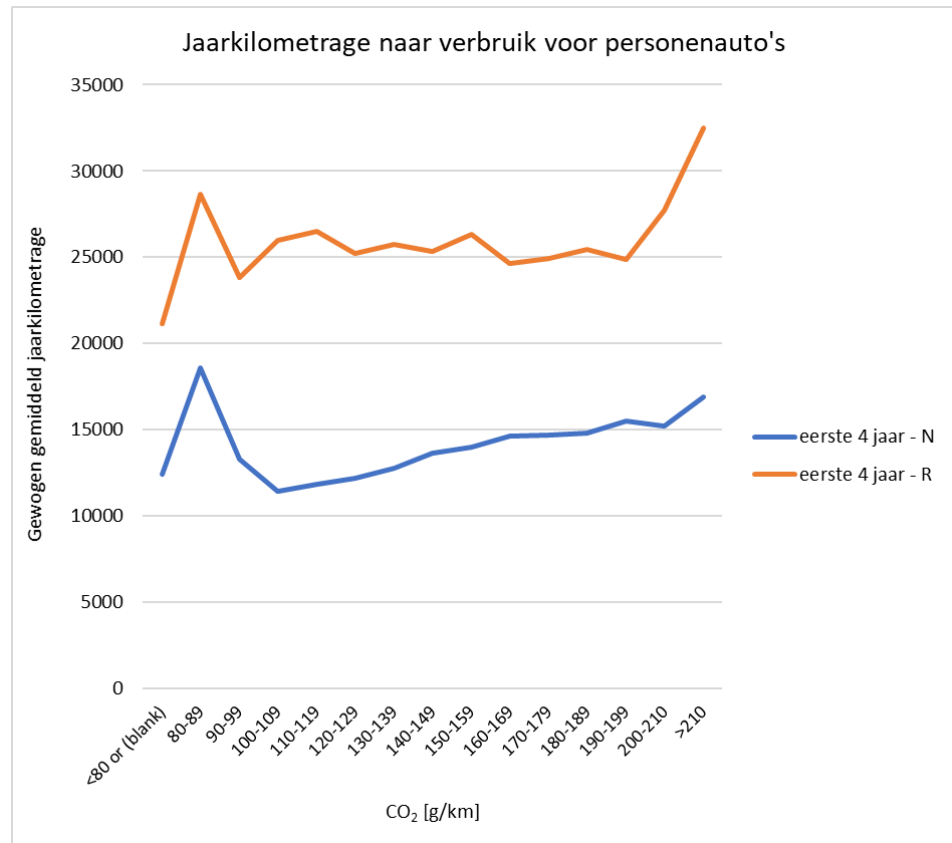
Figuur 19 Gemiddeld jaarkilometrage voor personenauto's in de eerste 4 en eerste 10 levensjaren naar CO<sub>2</sub>-uitstoot volgens typekeuring

Figuur 19 laat het verband zien tussen CO<sub>2</sub>-uitstoot en gemiddeld jaarkilometrage. Wat opvalt is dat zeer zuinige voertuigen (<90 g/km) de meeste kilometers maken, zowel in de eerste 4 levensjaren van het voertuig als in de eerste 10 levensjaren van het voertuig. Dit zijn waarschijnlijk plug-in hybride voertuigen die vooral in de zakelijke markt populair waren. Met uitzondering van deze voertuigen is er een duidelijk verband tussen een hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot en een hoger jaarkilometrage.



Figuur 20 Gemiddeld jaarkilometrage voor personenauto's in de eerste 4 en eerste 10 levensjaren naar CO<sub>2</sub>-uitstoot volgens typekeuring met onderscheid naar benzine- (B) en diesel- (D) voertuigen.

Figuur 20 laat zien dat dit verband voor benzine voor zowel de eerste 4 jaar als de eerste 10 jaar sterk aanwezig is. Voor diesel is het verband in de eerste 10 jaar wel zichtbaar maar in de eerste 4 jaar niet (het lijkt zelfs eerder omgekeerd te zijn met uitzondering van de hele zware voertuigen). Een verklaring hiervoor is dat dieselauto's in de eerste 4 jaar vooral in de leasemarkt gebruikt worden waarbinnen altijd veel gereden wordt. Na 4 jaar worden veel van deze voertuigen verkocht aan particulieren waar het verband tussen onzuinige (maar ook zware en dure) auto's en hogere jaarkilometrages duidelijker is.



Figuur 21 Gemiddeld jaarkilometrage door zakelijk, bedrijfseigendom (R) en particuliere (N) eigenaren in personenauto's in de eerste 4 levensjaren naar CO<sub>2</sub>-uitstoot volgens typekeuring

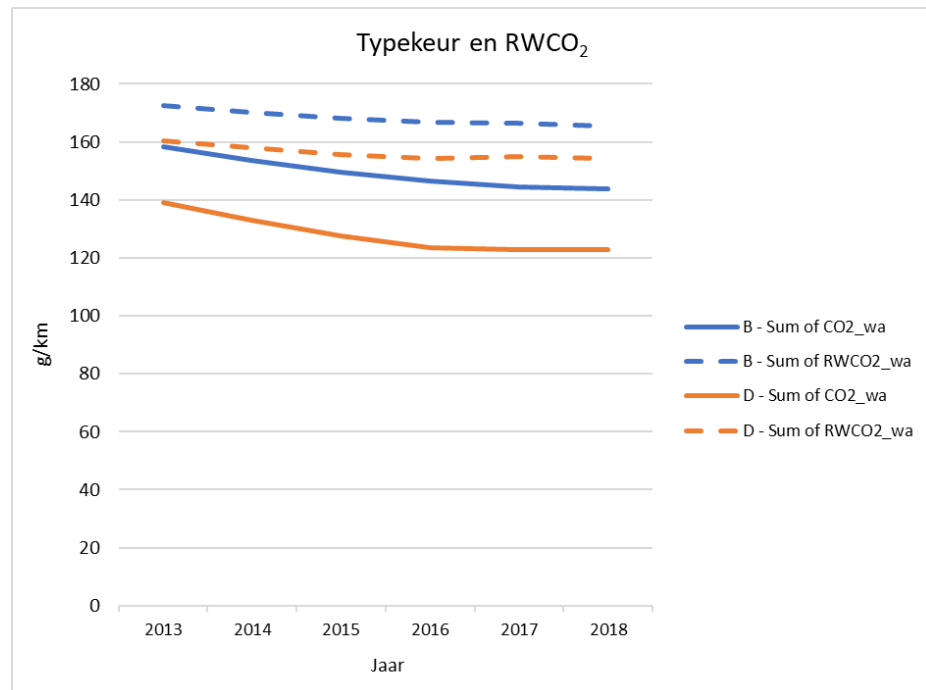
Figuur 21 laat dit verschil in kilometers zien voor zakelijke en particuliere autobezitters. Te zien is dat bij zakelijk autobezit, ongeacht de CO<sub>2</sub>-uitstoot, auto's ongeveer 25000 kilometer per jaar maken. Voor particulieren is een duidelijk verband te zien tussen jaarkilometrage en CO<sub>2</sub>-uitstoot.

## 2.7 Ontwikkeling totale CO<sub>2</sub>-uitstoot personenauto's

In deze paragraaf wordt gekeken naar het effect van de bevindingen uit het vorige hoofdstuk op de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van personenauto's.

### 2.7.1 CO<sub>2</sub> per kilometer

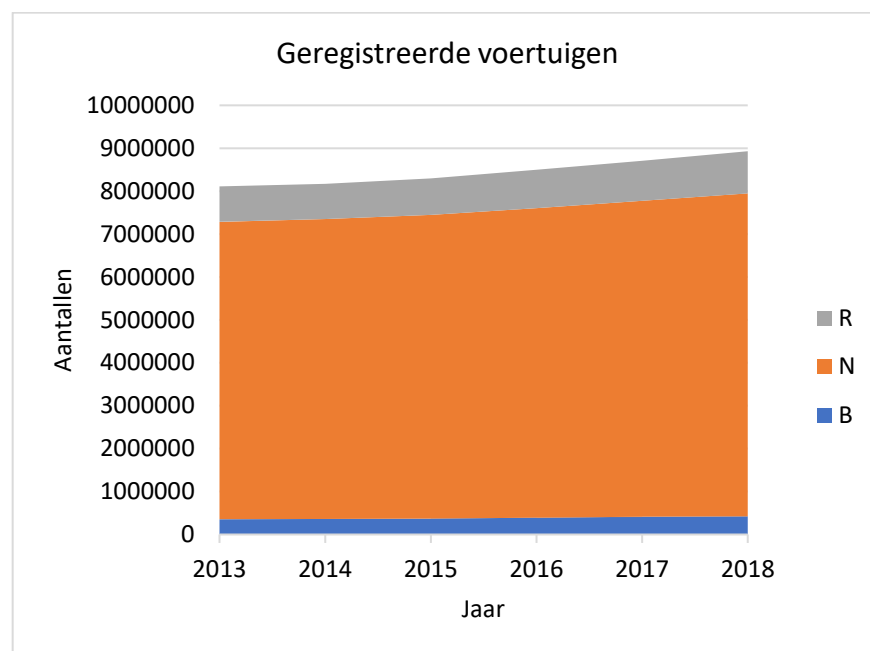
Eerst is gekeken naar de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per kilometer voor personenauto's. Figuur 22 laat de CO<sub>2</sub>-uitstoot zien volgens typekeuring en gecorrigeerd naar real-world emissies. Te zien is een lichte daling naar 142 g/km voor benzine en 120 g/km voor dieselauto's volgens typekeuring. De gestippelde lijnen laten de real-world emissies zien. Wat opvalt is ten eerste dat de daling minder groot is dan volgens de typekeurwaarden wordt verondersteld. De gemiddelde waarde voor benzine is de laatste jaren stabiel rond de 163 g/km en voor diesel iets lager rond de 155 g/km. Vooral voor diesel zit er een groot verschil (van 25 g/km) tussen de testwaarden en geobserveerde waarden. Hierdoor is het verschil in praktijkverbruik tussen benzine en diesel dus ook een stuk lager. Doordat de dieselauto's gemiddeld jonger zijn, is er daarin een groter aandeel met een lager normverbruik en daarom een grotere afwijking tussen norm en praktijk.



Figuur 22 Gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot (g/km) voor benzine (B) en diesel (D) personenauto's volgens typekeuring en gecorrigeerd naar real-world (RWCO<sub>2</sub>).

### 2.7.2 Geregistreerde voertuigen

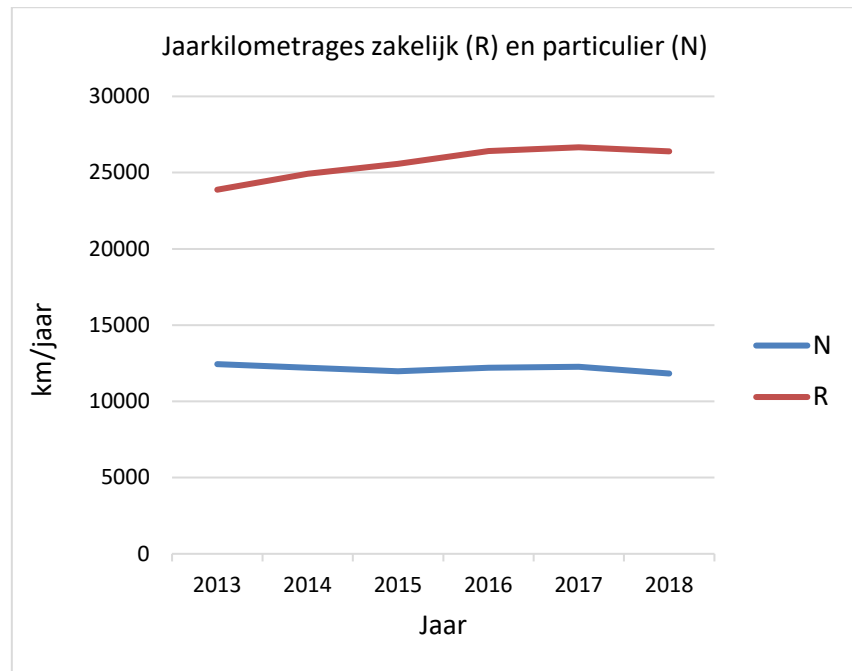
Figuur 23 laat het aantal geregistreerde voertuigen zien per jaar<sup>6</sup>. De grafiek laat een groei van 8 naar 9 miljoen voertuigen zien in 5 jaar (8.6 miljoen als de bedrijfsvoorraad niet wordt meegerekend). De grijze balk laat zien dat de groei bij zakelijk bezit het grootst was.



<sup>6</sup> Aantal is bepaald op basis van aantal dagen dat een voertuig geregistreerd is geweest. Een voertuig dat 10 dagen actief was is dus voor 10/365 of 10/366 meegerekend.

Figuur 23 Totaal aantal geregistreerde voertuigen op naam van particulieren (N=Natuurlijke rechtspersoon), zakelijk autobezit (R=Rechtspersoon) en in de bedrijfsvoorraad (B).

### 2.7.3 Jaarkilometrage



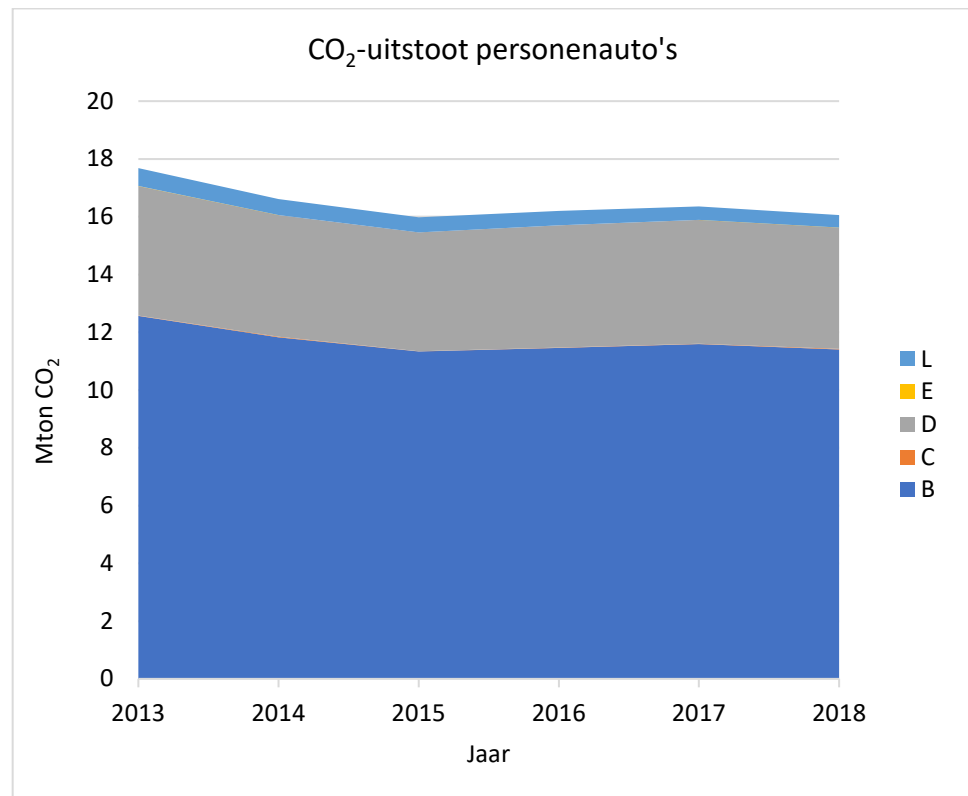
Figuur 24 Ontwikkeling gemiddeld jaarkilometrage voor personenauto's in zakelijk (R=Rechtspersoon) en particulier (N=Natuurlijke rechtspersoon) bezit

Figuur 24 bevestigt het beeld dat zakelijke automobilisten meer rijden dan particulieren. Daarnaast is een lichte stijging te zien in de jaarkilometrages van zakelijke rijders.

### 2.7.4 Totale CO<sub>2</sub>-uitstoot

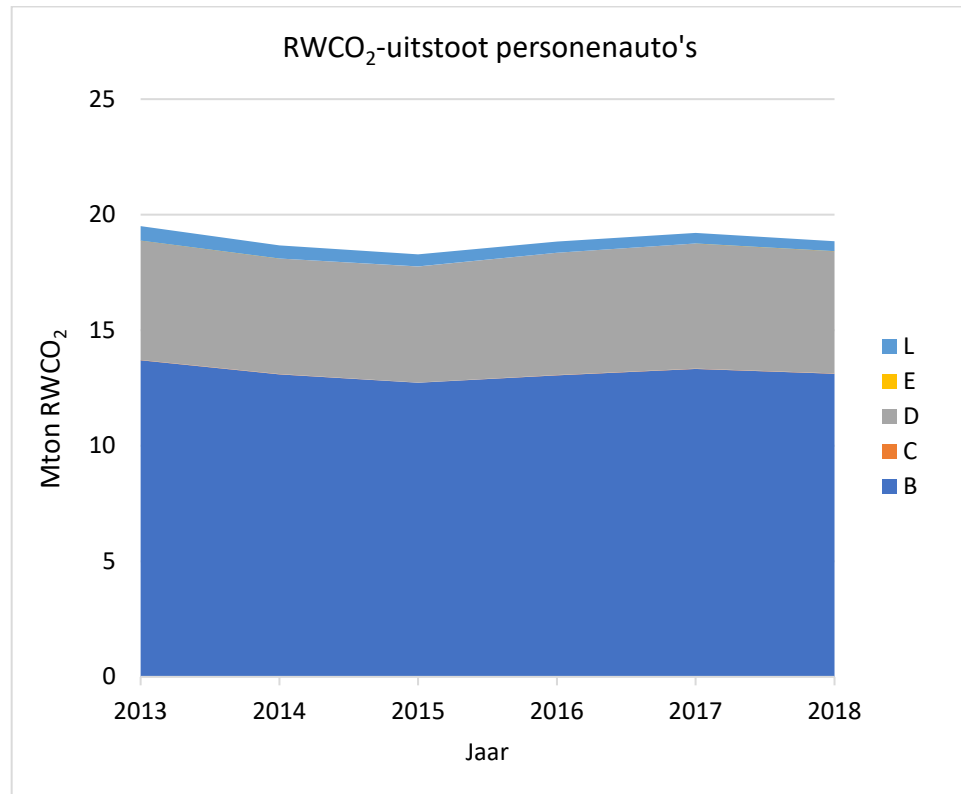
In de vorige paragrafen is uitgelegd dat enerzijds de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot de laatste jaren afnam, maar dat anderzijds zowel het aantal voertuigen als het gemiddeld jaarkilometrage toenam. Het netto effect van deze tegengestelde ontwikkelingen is geraamd door de CO<sub>2</sub>-uitstoot (in g/km, volgens typekeur, zonder correctie voor biobrandstoffen) per voertuig te vermenigvuldigen met het aantal voertuigen en het gemiddeld jaarkilometrage per voertuig. De resulterende totale CO<sub>2</sub>-uitstoot is sinds 2015 stabiel gebleven op een waarde van iets boven de 15 megaton, zoals te zien in Figuur 25. De daling tussen 2013 en 2015 kan vooral verklaard worden door een afname van benzinekilometers.





Figuur 25 Totale CO<sub>2</sub>-uitstoot (volgens typekeuring) voor personenauto's naar brandstof (L = LPG, E = Elektrisch, D = Diesel, C = CNG/LNG, B = Benzine)

Figuur 26 laat dezelfde berekening zien voor de werkelijke (real-world) CO<sub>2</sub>-emissies. Te zien is dat de werkelijke CO<sub>2</sub>-emissies hoger liggen (rond de 19 megaton) en daarbij juist weer zijn toegenomen tussen 2015 en 2017.



Figuur 26 Totale real-world CO<sub>2</sub>-uitstoot voor personenauto's naar brandstof (L = LPG, E = Elektrisch, D = Diesel, C = CNG/LNG, B = Benzine)

## 2.8 Conclusies Wagenparksamenstelling

- Voor personenauto's maakt import een steeds groter wordend deel uit van alle nieuwe registraties.
- Zowel voor personenauto's als bestelauto's worden voertuigen gemiddeld steeds jonger geïmporteerd.
- Zowel personenauto's als bestelauto's blijven steeds langer actief in het wagenpark. Per jaar neemt de gemiddelde sloopleeftijd de afgelopen tien jaar met drie maanden toe.
- Er is een sterke stijging te zien in de import van oudere benzinebestelauto's.
- De verkoop van elektrische personen- en bestelauto's heeft de afgelopen jaren een vlucht genomen, terwijl de verkoop van plug-in hybride voertuigen stagneert.
- Onzuinige auto's maken meer kilometers per jaar.
- De toename van het aantal voertuigen en het aantal zakelijke kilometers zorgt ervoor dat de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van personenauto's op zijn best stabiel is ondanks de zuinigere voertuigen en de daling in (typekeur) CO<sub>2</sub>- uitstoot per kilometer.

## 2.9 Aanbevelingen vervolgonderzoek Wagenparksamenstelling

- De piek van gestimuleerde verkoop van plug-in hybride personenauto's wordt duidelijk gevolgd door een piek in export van deze voertuigen. De vraag is of hetzelfde beeld de komende jaren ook te zien zal zijn voor elektrische

voertuigen, wat betreft de verkooppiek najaar 2019, voorafgaand aan de versoering van bijtellingsvoordelen voor elektrische auto's.

- De komende jaren wordt het effect van WLTP wetgeving zichtbaar. Typekeur CO<sub>2</sub>-waarden zouden hiermee meer in lijn moeten liggen met de werkelijke uitstoot. Vraag is of en hoe snel het effect van de ingroei van WLTP geteste voertuigen zichtbaar zal zijn in de CO<sub>2</sub>-waarden en de daarmee berekende totale CO<sub>2</sub>-uitstoot.
- Op basis van de beschikbare datasets kunnen nadere analyses gedaan worden die inzicht geven in:
  - Mogelijke patronen in het aanschafgedrag van (type) auto's door huishoudens.
  - Welke huishoudens kopen en gebruiken welke voertuigen?
  - Welke voertuigen vervangen welke voertuigen, en door welke factoren wordt dat bepaald?
  - Welke factoren beïnvloeden de jaarkilometrages van voertuigen nog meer?

## 3 Inzet biobrandstoffen

### 3.1 Inleiding

De inzet van biobrandstoffen is een belangrijke optie voor CO<sub>2</sub>-reductie in mobiliteit. De inzet van biobrandstoffen wordt onder andere gestimuleerd door een wettelijke verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in vervoer, oplopend tot 16,4% in 2020. De biobrandstoffenmarkt is dynamisch en beleid en regulering op dit gebied worden regelmatig bijgesteld. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de beleidscontext in juni 2019.

Biobrandstoffen dragen bij aan de 2020 doelstellingen, te weten de algemene 14% hernieuwbare energiedoelstelling van het Energieakkoord, de 10% hernieuwbare energiedoelstelling in transport van de Richtlijn hernieuwbare energie (RED) en de 6% broeikasgasemissiereductiedoelstelling van de Richtlijn brandstofkwaliteit (FQD). Eerdere implementatiescenario's zijn zo ingevuld dat deze doelstellingen gehaald worden met een verplichte inzet van 10% hernieuwbare energie in transport en komen uit op een inzet van biobrandstoffen van 36 PJ. Deze 36 PJ is afkomstig uit het Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen dat in 2010 is opgesteld om invulling te geven aan de 14% algemene hernieuwbare energiedoelstelling uit de Richtlijn hernieuwbare energie.

De RED richtlijn beschrijft dat bepaalde biobrandstoffen, op basis van afval, residuen, non-food cellulosemateriaal en lignocellulosemateriaal dubbel kunnen tellen met het oog op de naleving van de aan het bedrijfsleven opgelegde verplichtingen en voor het behalen van de nationale doelstelling. Dubbeltelling van bepaalde biobrandstoffen heeft als doel om de inzet van voedselgewassen te beperken, de CO<sub>2</sub>-prestatie van de brandstofmix te verhogen en de ontwikkeling van meer geavanceerde biobrandstoffen te stimuleren. Omdat dubbeltelling alleen geldt voor het behalen van de 10% hernieuwbare energie doelstelling in transport, maar niet voor de andere doelstellingen, moet bij het bepalen van de jaarverplichting rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat deze volledig wordt ingevuld met dubbeltellende biobrandstoffen. Dit leidt tot een percentage van 16,4% in 2020.<sup>7</sup>(IenW, 2017a, 2017b)

Naast biobrandstoffen kunnen andere vormen van hernieuwbare energie bijdragen aan het halen van de doelstellingen, waaronder groen gas en elektrisch vervoer dat (gedeeltelijk) op hernieuwbare elektriciteit rijdt. Het speelveld in de periode na 2020 zal in sterke mate bepaald worden door de herziene richtlijn hernieuwbare energie (REDII; EU, 2018) die in december 2018 in werking trad. Deze REDII, die uiterlijk in 2021 door de lidstaten in nationale wetgeving moet zijn geïmplementeerd, kent nieuwe minimum -en maximumwaarden voor verschillende categorieën biobrandstoffen (zie EU, 2018) en zal daarmee aanzienlijke gevolgen hebben voor de inzet van hernieuwbare (bio)brandstoffen in Nederland. Op dit moment loopt het (voorbereidende) traject van doorvertaling van de REDII naar Nederlandse

---

<sup>7</sup> <https://zoek.officiëlebezoekingen.nl/kst-34717-23.html>

wetgeving<sup>8</sup>. Omdat dit hoofdstuk is gebaseerd op de beleidssituatie op 1 juni 2019, geeft het nog geen (volledig) beeld van de effecten van de Nederlandse doorvertaling van de REDII. De REDII is ook nog niet verwerkt in de KEV2019 omdat nog niet duidelijk is hoe die wordt geïmplementeerd in de Nederlandse wet- en regelgeving.

### 3.2 Doel

Inschatten van de hoeveelheden, de aard en de prijzen van de in te zetten biobrandstoffen in het nationale (weg)verkeer en de nationale scheepvaart in 2020, en indicatief ook voor 2030; op basis van de beleidssituatie op 1 juni 2019.

### 3.3 Uitgangspunten en aanpak

Voor het bepalen van de bijdrage van biobrandstoffen aan de diverse doelstellingen op het gebied van (hernieuwbare) energie en CO<sub>2</sub> is de CBS-methodiek gebruikt (CBS, 2018). De biobrandstoffen zijn uitgesplitst naar ethanol, biodiesel, biomethaan en bio-LNG. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen conventionele biobrandstoffen (geproduceerd uit voedselgewassen) en geavanceerde biobrandstoffen<sup>9</sup>.

De meest recente data van het CBS zijn geëxtrapoleerd op basis van lange-termijn trends. Als gevolg van de groei van de verkeersintensiteit is het energieverbruik in het wegverkeer de afgelopen jaren toegenomen. Voor 2020 is uitgegaan van een brandstofinzet van ongeveer 487 PJ (benzine en diesel). Daarnaast verbruiken mobiele werktuigen op diesel, in vooral de sectoren landbouw en bouw, jaarlijks ongeveer 32 PJ. Deze brandstofinzet in 2020 is een schatting en wijkt iets af van het in de KEV2019 geraamde energiegebruik door mobiliteit in 2020. De resultaten van de KEV2019 waren bij het maken van de analyse nog niet beschikbaar, daarom is een trendanalyse gebruikt.

Historisch gezien wordt er in Nederland en Europa in het wegverkeer meer diesel verbruikt dan benzine. Het dieselverbruik komt nu overeen met ca. 62% maar kent een dalende trend. LPG lijkt binnen enkele jaren te verdwijnen uit het Nederlandse wagenpark. Tenslotte is er nog een beperkt aandeel van aardgas en LNG (1,9 PJ).

### 3.4 Bio-ethanol

Biobrandstoffen die (tot een zeker maximum) met benzine gemengd kunnen worden zijn onder andere ethanol, butanol en methanol. In de praktijk wordt in Nederland en Europa alleen conventionele (eerste generatie) ethanol bijgemengd die wordt geproduceerd uit bijvoorbeeld graan, maïs of suikerbiet. Naar verwachting zal dit beeld de komende jaren niet substantieel veranderen omdat er momenteel

---

<sup>8</sup> Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is gestart met het traject om de herziene Richtlijn hernieuwbare energie (RED2) te implementeren. Uiterlijk 30 juni 2021 moet de RED2 in de Wet milieubeheer, het Besluit energie vervoer en de Regeling energie vervoer geïmplementeerd zijn (NeA, 2018).

<sup>9</sup> Geavanceerde biobrandstoffen worden gemaakt uit grondstoffen zoals genoemd in REDII Annex A. Indicatief betreft dit: (1) Cellulose- en lignocellulose houdende grondstoffen uit niet-voedselgewassen, (2) Grondstoffen ook geschikt voor biogas productie; en (3) oliehoudende grondstoffen.

alleen op beperkte schaal productiecapaciteit wordt gebouwd voor bijvoorbeeld geavanceerde ethanol uit houtachtige biomassa (lignocellulose). Gezien de lange 'lead time' van een dergelijk project, de zorgen over de duurzaamheid van biobrandstoffen en de grote aandacht voor elektrisch vervoer ligt het ook niet in de lijn der verwachting dat dit snel zal veranderen.

De inzet van ethanol wordt daarom vooral bepaald door de markttuitrol van E10<sup>10</sup> (geproduceerd uit conventionele grondstoffen). Het was bij het CBS niet bekend (status juli 2019) wat het aandeel E10 is binnen het spectrum E10/E5/E0<sup>11</sup>. Wel is bekend dat tankstations met twee of meer tankinstallaties voor benzine sinds het najaar van 2019 verplicht zijn om bij minimaal de helft van hun vulpistolen E10 aan te bieden.

De eerste inschatting voor inzet van ethanol in 2020, uitgedrukt in de verhoudingen E10/E5/E0 in 2020 is: 45%/50%/5%. Bij een verwacht totaal verbruik van benzine in 2020 van ongeveer 191 PJ correspondeert de bovengenoemde verhouding van E10/E5/E0 met een bovengrens<sup>12</sup> voor conventionele ethanol van ongeveer 8,8 PJ. Hier zou mogelijk nog additioneel 0,1 PJ bij kunnen komen via enige inzet van hogere blends zoals E85, waarmee de verwachting voor het totale verbruik uitkomt op 8,9 PJ (zie ook de samenvattende Tabel 1).

De eerste inschatting voor 2030 is dat dan ongeveer 13 PJ ( $\pm 6,4\%$ ) ethanol wordt bijgemengd. Deze inschatting gaat uit van de veronderstelling dat E10 tegen die tijd vrijwel volledig ( $>95\%$ ) zal zijn doorgedrongen tot de benzinemarkt (van dan ongeveer 200 PJ).

Dit aandeel ethanol komt richting 2030 mogelijk onder druk te staan door de cap op conventionele biobrandstoffen voor 2020 en hierna (EU, 2018). Hoewel ethanol wereldwijd gezien relatief goed beschikbaar is en de bovengenoemde redenering onzekerheden kent is de conclusie op basis van de nu (1 juni 2018) beschikbare informatie dat ethanol op middellange termijn maar beperkt bij kan dragen aan de verduurzaming van de transportsector in Nederland.

De kosten voor het jaar 2020 voor conventionele en geavanceerde ethanol begeven zich ongeveer tussen de 19-21 en 28-29 €/GJ, respectievelijk. Deze kosten zijn geraamd op basis van marktinformatie en vallen binnen de kostenbandbreedtes zoals gegeven in IEA (2020). Voor 2030 worden de kostenintervallen geschat op 19-20 en 23-26 €/GJ. Hiermee is geavanceerde ethanol ongeveer twee keer zo duur als ruwe olie.

### 3.5 Biodiesel

De inzet van biodiesel<sup>13</sup> in Nederland beperkt zich momenteel vrijwel uitsluitend tot conventionele brandstoffen geproduceerd uit (residuele) oliën, talg en vetten. Geavanceerde diesels geproduceerd via pyrolyse of Fischer-Tropsch uit duurzame

<sup>10</sup> E10 is een mengsel van fossiele benzine met maximaal 10 procent bio-ethanol bijgemengd

<sup>11</sup> E0 staat voor pure benzine (i.e. met 0% bio-ethanol bijmenging)

<sup>12</sup> Hierbij wordt er van uitgegaan dat brandstofleveranciers de blends E10 en E5 ook volledig zullen bijmengen tot de bovengrens van 10%, respectievelijk 5%, omdat dit noodzakelijk is om (nét) aan hun verplichting te kunnen voldoen.

<sup>13</sup> CBS geeft over 2018 een totaal verbruik van biodiesel in Nederland van 15.8 PJ

grondstoffen<sup>14</sup> zijn momenteel niet op enige marktschaal beschikbaar. De eerste indicatieve inschatting is dat dit ook niet gaat veranderen voor 2030, mogelijk met uitzondering van enkele nichemarkten. Opvallend is de recente groei van de inzet van biodiesel in de sector mobiele werktuigen, met een bijdrage van ongeveer 1,9 PJ in 2018 op een totaal dieselverbruik van circa 32 PJ. Sinds het afschaffen van rode diesel in Nederland in 2012 maken mobiele werktuigen gebruik van dezelfde (blanke) diesel als het wegverkeer, en gaat een deel van de bijgemengde biodiesel naar de mobiele werktuigen

Om aan de diverse doelstellingen te voldoen ligt het voor de hand om gebruik te maken van restoliën en (dierlijke) vetten (Used Cooking Oil, UCO). Deze restoliën en -vetten zijn op grote schaal verkrijgbaar en de hieruit gemaakte biodiesel telt bovendien dubbel in de huidige regelgeving. Op basis hiervan lijkt het aannemelijk dat grondstoffen als palm-, lijnzaad-, koolzaad- of sojaolie in 2020 niet of nauwelijks zullen worden ingezet voor de productie van in Nederland afgezette biodiesel. Hierbij speelt ook dat biodiesel gemaakt uit deze grondstoffen niet dubbeltelt en daarom een duurdere optie wordt om de doelstelling mee te halen.

Het dominant ingezette type biodiesel is FAME (Fatty Acid Methyl Esther). In 2018 was FAME met 97% veruit de grootste biobrandstof binnen de groep van dieselvervangers (NeA, 2019). FAME kan worden bijgemengd met fossiele diesel tot maximaal 7% op volume basis. Deze zogenaamde 'blend wall' van 7% betreft de grens die de automobielfabrikanten motorteknisch verantwoord achten (zie bijvoorbeeld RVO, 2016). De eerste inschatting is dat (op korte termijn) vrijwel alle biodiesel gedistribueerd zal worden in de vorm van B7<sup>15</sup>. De grondslag hiervoor is dat biodiesel duurder is dan fossiele diesel, en dat separate levering van blends hoger dan B7 aan hierop aangepaste voertuigen duurder zal zijn en daarmee minder aantrekkelijk voor (de meeste) afnemers. Daarnaast is er "drop in" biodiesel HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). HVO kan wel in veel hogere percentages dan 7% worden bijgemengd, maar is aanzienlijk duurder dan FAME biodiesel. De meerkosten van HVO bedragen ongeveer 4-5 €/GJ ten opzichte van 18-22 €/GJ voor FAME gemaakt uit UCO. Deze kosten zijn geraamd op basis van marktinformatie en vallen binnen de kostenbandbreedtes zoals gegeven in IEA (2020). Uit de jaarlijkse gegevens van de Nederlandse Emissieautoriteit NEA<sup>16</sup> blijkt ook dat er in Nederland weinig HVO wordt ingezet voor het wegtransport, terwijl het wel in Nederland geproduceerd wordt.

De eerste inschatting voor biodieselinzet is gebaseerd op een jaarlijks dieselverbruik in 2020 van 296 PJ (wegverkeer), 32 PJ (mobiele werktuigen), 49 PJ (binnenvaart) en 13 PJ (zeevaart). De afzet van diesel in deze 4 deelmarkten correspondeert met een energetische bijdrage van biodiesel hieraan van 25,4<sup>17</sup> PJ in 2020. Mogelijk komt daar nog een paar tiende PJ bij via de distributie van HVO

<sup>14</sup> Duurzame grondstoffen zijn grondstoffen die kwalificeren voor de productie van geavanceerde biobrandstoffen volgens lijst A van bijlage IX van de Richtlijn hernieuwbare energie. Hieronder vallen o.a. hout- en grasachtige stromen.

<sup>15</sup> B7 is een mengsel van fossiele diesel met maximaal 7 procent biodiesel bijgemengd.

<sup>16</sup> [www.emissieautoriteit.nl](http://www.emissieautoriteit.nl)

<sup>17</sup> Dit getal is gebaseerd op 7% *volume*-inzet van biodiesel (B7) gecorrigeerd naar de *energie*-inzet van deze hoeveelheid, die iets lager ligt vanwege de wat lagere energiedichtheid van biodiesel t.o.v. fossiele diesel.

en hogere blends. Hiermee komt de verwachting voor het totale verbruik uitkomt op ca. 25,7 PJ (zie ook de samenvattende Tabel 1).

De grootste onzekerheid bedraagt de inzet van biobrandstoffen in de scheepvaart waar nog geen formele gegevens over bekend zijn<sup>18 19</sup>.

De eerste inschatting is dat de biodieselmkt na 2020 niet sterk zal veranderen. De onzekerheden zijn echter groot<sup>20</sup>. Hier speelt onder andere dat veel afhangt van de (toekomstige) interpretatie en beleidskeuzes rond UCO: al dan niet met de status geavanceerde biobrandstof en/of biobrandstof met een lage CO<sub>2</sub>-intensiteit. Verder zou de 7% 'blend wall' voor FAME biodiesel in de toekomst mogelijk kunnen worden verhoogd naar 8%, maar vooralsnog ontbreekt gericht beleid hiertoe (RVO, 2016). Inzet van HVO zou kunnen groeien met een paar PJ, met name door inzet in zwaar vrachtverkeer.

### 3.6 Groen gas en bio-LNG

Het aandeel geavanceerde biobrandstoffen kan worden vergroot door de inzet in de transportsector van groen gas<sup>21</sup> of bio-LNG geproduceerd uit reststromen. Dit vereist echter ten eerste dat groen gas aantoonbaar één-op-één de inzet van aardgas in transport vervangt. En ten tweede dat bovendien niet al SDE+/++ subsidie is verkregen voor de productie van het groen gas<sup>22</sup>. Deze randvoorwaarden beperken de inzet van groen gas tot ongeveer 1,0 PJ in 2020 (2,1 PJ bij dubbeltelling); zie ook de samenvattende Tabel 1.

Na 2020 zouden groen gas producenten geleidelijk steeds meer voor inzet in transport kunnen kiezen en hun SDE+/++ subsidie uitfasen, waardoor geleidelijk al het in transport ingezette aardgas (één-op-één) wordt vervangen. Echter de maximale bijdrage van groen gas en bio-LNG wordt dan nog steeds gelimiteerd tot de inzet van het aardgas/LNG in de transportsector dat vervangen wordt. Stel dat het gasverbruik in transport meer dan verdubbelt, dan zou de gecombineerde inzet van groen gas en bio-LNG fysiek kunnen oplopen tot ongeveer 5 PJ in 2030. Ook hier geldt dat de getallen voor 2030 onzeker zijn. Groen Gas Nederland die organisaties in de biogasbranche vertegenwoordigt, noemt een potentieel voor bio LNG van meer dan 20PJ in 2030, maar dat lijkt zeer optimistisch.<sup>23</sup> Anderzijds valt

<sup>18</sup> Deze inzet voor scheepvaart is ambitieus maar niet onmogelijk. Zie ook de SER-studies (Deelrapport Brandstof Tafel Scheepvaart, mei 2014). Bovendien zijn er biobrandstofbedrijven ontstaan die zich specifiek richten op de scheepvaart zoals Good Fuels: <https://nl.goodfuels.com/>

<sup>19</sup> Vooral op de langere termijn (2030) zal de inzet van biobrandstoffen in scheepvaart worden beïnvloed door twee factoren die vanwege het ijkpunt 1 juni 2019 niet zijn meegenomen in onze analyse: (1) de uitvoering van het Klimaatakkoord (gepresenteerd op 28 juni, 2018); en (2) de nog lopende doorvertaling in nationale wetgeving van de Europese REDII.

<sup>20</sup> In het op 28 juni 2019 gepresenteerde Klimaatakkoord ([www.klimaatakkoord.nl](http://www.klimaatakkoord.nl)) wordt in het hoofdstuk Mobiliteit genoemd: 27PJ additioneel hernieuwbare brandstoffen in het wegvervoer (t.o.v. NEV 2017) en minimum van 5 PJ extra in de binnenvaart in 2030.

<sup>21</sup> Groen gas is naar aardgaskwaliteit opgewerkt biogas, geproduceerd uit biomassa.

<sup>22</sup> SDE+/++ -groen gas ingezet in transport telt wel mee voor de RED, maar het levert geen HBE's op.

<sup>23</sup> <https://groengas.nl/documenten/factsheet-productie-van-bio-lng-in-een-opkomende-lng-markt.pdf>



een zekere groei van groen gas in transport wel te verwachten<sup>24</sup> omdat het één van de weinige geavanceerde biobrandstoffen betreft die ook op korte termijn kan worden geproduceerd en toegepast.

Een ander voordeel van groen gas is de relatief lage kostprijs van ongeveer 12-20 €/GJ. Deze kosten zijn geraamd op basis van marktinformatie en vallen binnen de kostenbandbreedtes zoals gegeven in IEA (2020). Daarnaast speelt ook dat groen gas uit reststromen dubbeltelt, met de kanttekening dat er veel discussie is over de cosubstraten bij mestvergisting zoals maïs, glycerine en levensmiddelen over de datum (EZK, 2019). Het blijkt in de praktijk moeilijk te controleren voor accountants of de verhouding aan biomassaproducten die producenten inzetten in hun co-vergistingsinstallaties volgens de richtlijnen meststoffenwetgeving is.

### 3.7 Conclusie

Op basis van bovenstaande analyse volgt dat de distributie van de biobrandstoffen in 2020 voor het overgrote deel plaatsvindt via dubbeltellende B7 (geproduceerd uit UCO). En in mindere mate via enkeltellende E5/E10 (geproduceerd uit conventionele grondstoffen). Aangevuld met een kleine hoeveelheid groen gas is dit waarschijnlijk (net) voldoende om te voldoen aan de 36 PJ doelstelling voor 2020. De verdeling biodiesel/ethanol/groen gas zou bijvoorbeeld kunnen liggen in de orde 70/25/5%. Zie ook Tabel 1 voor een volledig overzicht van alle getallen.

De onzekerheid betreft vooral de inzet van biodiesel in de scheepvaart alsmede het groeipad hiervan en de mate waarin de bijdrage van deze biodiesel voor scheepvaart specifiek aan Nederland kan worden toegekend<sup>25</sup>. Tenslotte zou door 'carry-over' van HBE certificaten<sup>26</sup> de fysieke bijdrage in 2019 wat hoger en in 2020 wat lager kunnen uitvallen.

De inschatting voor de periode na 2020 is een matige<sup>27</sup> groei van de inzet van biobrandstoffen in transport. Het speelveld in de periode na 2020 zal in sterke mate bepaald worden door de herziene richtlijn hernieuwbare energie (REDII) die in december 2018 in werking trad. Implementatie van de REDII richtlijn vanaf 2021 zal een belangrijke rol spelen in de toekomstige ontwikkeling van biobrandstoffen in Nederland. De inschatting voor de korte en middellange termijn in Nederland is

<sup>24</sup> Een van de belangrijkste factoren voor de verwachting dat groen gas en bio-LNG meer zullen worden gebruikt in de transportsector is de introductie in de REDII van een oplopende subdoelstelling voor geavanceerde biobrandstoffen, waaronder groen gas.

<sup>25</sup> Alle brandstof voor de internationale scheepvaart wordt tot de bunkerbrandstoffen gerekend. De emissies van deze bunkerbrandstoffen voor internationaal gebruik moeten apart worden gerapporteerd bij de UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate), maar tellen niet mee voor de totale nationale emissies (<https://unfccc.int/news/ipcc-updates-methodology-for-greenhouse-gas-inventories>).

<sup>26</sup> Een HBE staat voor 1 gigajoule (GJ) hernieuwbare energie die is geleverd aan de Nederlandse vervoersmarkt. HBE's worden gecreëerd bij het inboeken van hernieuwbare energie in het Register Energie voor Vervoer (REV). Bedrijven hebben een rekening in het REV nodig om HBE's te houden en te verhandelen. Als bedrijven na het afschrijven van Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's) voor hun verplichtingen een overschot HBE's op hun rekening hebben, kunnen zij op 1 april een hoeveelheid HBE's meenemen naar het volgende jaar. Dit is het spaarsaldo. Het spaarsaldo is gelimiteerd. Het aantal HBE's boven de spaarlimiet vervalt.

<sup>27</sup> Deze matige groei is gebaseerd op de afgesproken context van de beleidssituatie op 1 juni 2019. De toekomstige ontwikkelingen zullen in belangrijke mate bepaald worden door de uitvoering van het Klimaatakkoord (gepresenteerd op 28 juni, 2018) en van de nog lopende doorvertaling in nationale wetgeving van de Europese REDII.

eveneens een beperkte inzet van hogere biobrandstof-blends, met name voor HVO, bio-LNG of FT-diesels. De belangrijkste grondslag hiervoor is dat de kostprijs van deze biobrandstoffen naar verwachting slechts langzaam zal dalen.

Tabel 1 Samenvatting van de verwachte inzet van biobrandstoffen in 2020 en (indicatief) 2030. De getallen zijn bepaald op basis van extrapolatie van CBS en NEA data, aangevuld met specifieke marktkennis. De getallen voor de benzine en dieselmakten zijn inclusief de bijgemengde biobrandstoffen.

Brandstof	Deelmarkt en blend	PJ 2020 enkelvoud	PJ 2020 dubbeltellend	PJ 2030 indicatief
Benzine	Wegverkeer	191		200
Diesel	Wegverkeer	296		300
	Mobiele werktuigen	32		35
	Binnenvaart	49		54
	Zeevaart	13		14
Bio-ethanol	Wegverkeer E5	3,1	3,1	-
	Wegverkeer E10	5,7	5,7	12,9
	Wegverkeer E10+ <sup>28</sup>	0,1	0,1	0,1
	<b>Subtotaal bio-ethanol</b>	<b>8,9</b>	<b>8,9</b>	<b>13</b>
Biodiesel	Wegverkeer inclusief rail B7	19,3	38,6	19,6
	Mobiele werktuigen B7	2,1	4,2	2,3
	Binnenvaart B7	3,2	6,4	3,5
	Zeevaart <sup>29</sup> B7	0,8	1,7	0,9
	HVO en B7+ <sup>30</sup>	0,3	0,6	3,0
	<b>Subtotaal biodiesel</b>	<b>25,7</b>	<b>51,4</b>	<b>29</b>
Groen gas <sup>31</sup>	Distributie via het aardgasnetwerk	1,0	2,1	5,0
	<b>Totaal biobrandstoffen</b>	<b>36</b>	<b>62</b>	<b>47</b>

<sup>28</sup> E10+ omvat alle blends boven E10, met name E85.

<sup>29</sup> Het is (nog) niet bekend welk deel van de (internationale) zeevaart bijdraagt aan de Nederlandse doelstellingen. Ik ga daarom uit van een marktomvang van 10-15 PJ in 2020 met name visserij, diensten tussen de Nederlandse havens, de eilanden, werkzaamheden offshore en dergelijke.

<sup>30</sup> B7+ omvat alle FAME blends boven B7, met name B30 en B100 en PPO. Sommige HVO en B7+ biobrandstoffen worden mogelijk vervaardigd uit eerste generatie grondstoffen als palmolie, koolzaadolie, zonnebloemolie of sojaolie indien wettelijk toegestaan.

<sup>31</sup> Inclusief bio-LNG.

## 4 Non Road Mobile Machinery

### 4.1 Inleiding

Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines die in beginsel geen gebruikmaken van de openbare weg (EU, 2020). In het Nederlands worden deze machines “mobiele werktuigen” genoemd. Het gaat hierbij onder meer om landbouwtrekkers, vorkheftrucks, graafmachines en andere bouwmachines, en daarnaast om motoren gebruikt in de binnenvaart en transport op het spoor. In dit hoofdstuk wordt met NRMM met name bedoeld op machines in de landbouw, de bouw en de grondverzet en weg en waterbouwsector. De verbrandingsmotoren die zijn geïnstalleerd in NRMM dragen aanzienlijk bij aan luchtvervuiling door uitstoot van koolstofmonoxide (CO), koolwaterstoffen (HC), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijn stof (PM) (Ligterink et al. 2017, Ligterink et al., 2018; EC, 2020). Door zowel autonome ontwikkelingen als door wetgeving en convenanten zullen de emissies en het brandstofverbruik van NRMM de komende jaren veranderen. Belangrijke trends hierbij zijn: instroom van schonere motoren als gevolg van wetgeving, efficiëntieverbetering van zowel motor als aandrijflijn, en verschillende vormen van hybridisering en elektrificatie van de machines.

Dit hoofdstuk is gebaseerd op de inzichten volgend uit een TNO-interne expert workshop. Deze inzichten zijn vervolgens aangevuld en verdiept op basis van literatuurstudie en gesprekken tussen PBL en TNO experts.

### 4.2 Doel

Het doel van dit hoofdstuk betreft het duiden van de belangrijkste trends en inzichten in de sector NRMM en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen en brandstofbesparing. Dit hoofdstuk vormt hiermee ook de onderbouwing voor de emissiefactoren van luchtverontreinigende stoffen door NRMM zoals door TNO zijn aangeleverd voor de KEV2019. Voor NRMM is extra aandacht besteed aan het ramen van de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijn stof (PM<sub>2,5</sub>) in de periode tussen nu en 2030. In de nu volgende paragrafen worden de verschillende trends kort besproken gekoppeld aan een analyse van de invloed op de emissies van NRMM.

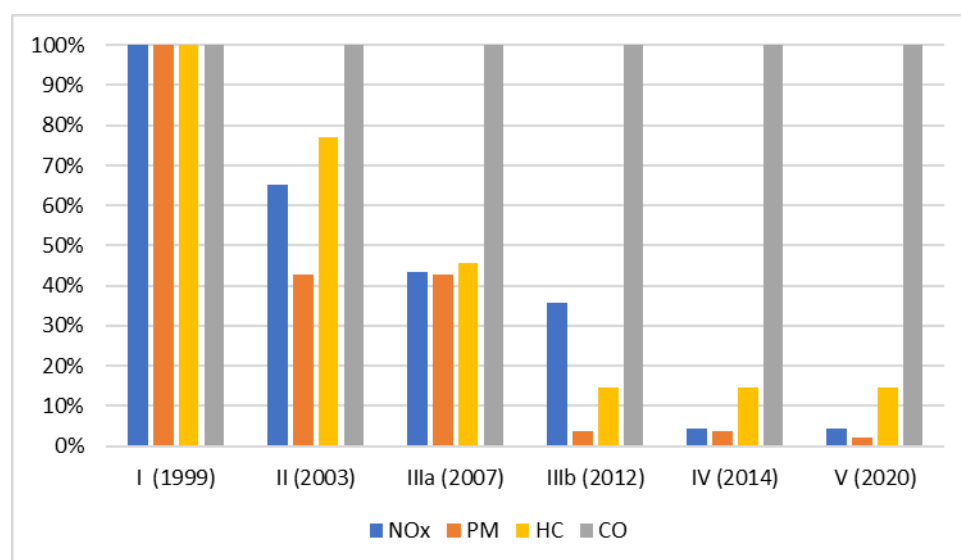
### 4.3 Update model emissies NRMM (MEPHISTO)

Om het (cumulatieve) effect van de verschillende ontwikkelingen op de uitstoot door NRMM te bepalen voor luchtverontreinigende stoffen wordt voor de KEV2019 gebruik gemaakt van het model MEPHISTO. Dit model is bedoeld om prognoses te maken van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door NRMM. Het MEPHISTO-model is ontwikkeld door TNO. Zie voor meer informatie onder andere Hulskotte en Dellaert (2018). In het kader van de 2019 TNO-ondersteuning aan PBL op het gebied van mobiliteit is een verfijning uitgevoerd van het MEPHISTO model. Deze verfijning betrof onder andere een actualisatie van de emissiefactoren voor NO<sub>x</sub>, PM en HC (zie paragraaf 4.4 en 4.5). Daarnaast zijn de emissiefactoren nu ook uitgesplitst naar hoge en lage motorbelasting (zie paragraaf 4.6). Dit is

relevant omdat de specifieke emissies variëren, afhankelijk van de mate van motorbelasting.

#### 4.4 Emissienormen

De Europese Commissie werkt al bijna twee decennia aan het geleidelijk schoner maken van het NRMM park. Daartoe introduceerde zij geleidelijk strenger wordende emissienormen: de zogenaamde “Stage” I, II, III, IV en V-normen. De Stage normen beogen om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door NRMM geleidelijk te verminderen en de machines met de meest vervuilende motoren geleidelijk uit te faseren (EC, 2030; Dieselnets, 2020). Voor de KEV is het relevant om te weten welke praktijkemissies er optreden bij de machines die zijn gecertificeerd volgens de verschillende Stage-normen. In de volgende paragrafen wordt hier nader op ingegaan.



Noot: De emissies van Stage II tot en met Stage V worden relatief t.o.v Stage I uitgedrukt, waarbij de emissies van Stage I als 100% gelden.

Figuur 27 Reductie van NO<sub>x</sub>, PM, Koolwaterstoffen (HC) en CO volgens EU NRMM richtlijnen (vermogenscategorie 75 ≤ P < 130 (I, II, IIIa, IIIb) en 56 ≤ P < 130 (IV, V))

Figuur 27 laat zien dat de emissiereductie beoogd door het beleid vooral op de stoffen NO<sub>x</sub> en PM zijn gericht geweest en iets mindere mate ook op koolwaterstoffen. Als gevolg van de richtlijnen zijn echter ook de emissies van CO gereduceerd, ondanks dat daarvoor de limietwaarden niet aangescherpt zijn.

#### 4.5 Actualisatie emissiefactoren (NO<sub>x</sub>)

TNO heeft in 2018 een meetprogramma uitgevoerd aan vier machines in de praktijk, waarbij de NO<sub>x</sub>-uitstoot continu gemonitord is. Zie Ligterink et.al. 2018. Het ging om twee graafmachines (Stage IIIb en Stage IV), een laadschop (Stage IIIb) en een tractor (Stage IV). Uit het meetprogramma bleek dat de specifieke NO<sub>x</sub>-emissie min of meer lineair stijgt naarmate de motorbelasting daalt. Dit volgt enerzijds vanuit de testcyclus, waarin lage motorbelastingen niet worden beoordeeld. Daarnaast kan dit ook verklaard worden door technische redenen, zoals het te koud worden van de NO<sub>x</sub> katalysator (SCR), of vervuilingrisico's bij

EGR. Vandaar dat het belangrijk is om zowel de gemiddelde belasting als het aandeel van stationair draaien beiden goed te monitoren. En de geraamde NO<sub>x</sub>-uitstoot daarvoor te corrigeren. Ook kwam uit dit meetprogramma aan de vier machines naar voren dat bij Stage IV motoren de NO<sub>x</sub>-uitstoot in de praktijk flink hoger kan zijn dan de limietwaarde van de typekeurtest. Dit varieerde van 25% tot 350% boven de limiet waarde voor Stage IV; en 40% tot 48% boven de limietwaarde voor Stage IIIB. Voor Stage IIIB zijn dit acceptabele waarden<sup>32</sup>, maar het is zeker wenselijk om meer Stage IIIB machines te meten om na te gaan of dit een algemeen beeld is.

Bovenstaande resultaten zijn vergelijkbaar met die van wegtransport. Bij wegtransport worden emissies in de praktijk formeel gemeten en aangeduid met RDE (real driving emissions) bij personenauto's en met ISC (In Service Conformity) bij HD voertuigen. Voor beiden categorieën wordt dit gemeten met een mobiel meetsysteem dat op het voertuig gemonteerd wordt (PEMS; Portable Emissions Measurement System). Daarbij mogen de emissies in de praktijk 50% tot 110% boven de limietwaarde van de laboratoriumtest liggen. Hierbij wordt dan rekening gehouden met de moeilijkere omstandigheden in de praktijk en ook met meetnauwkeurigheden. Voor personenauto's is deze test ingevoerd na het diesel schandaal. In de praktijk waren de emissies van dieselpersonenauto's 5 tot 10 keer hoger dan de limietwaarde.

Voor NRMM is er nog geen praktijktest met limietwaarden. Wel is er een ISC monitoring ingevoerd vanaf Stage V voor de land-gebonden NRMM (exclusief binnenvaart en rail). De fabrikanten zijn hierbij verplicht om binnen enkele jaren nadat een nieuw type motor geleverd wordt, de emissies in de praktijk te meten met een PEMS methode die qua berekening lijkt op die van de HD voertuigen. Deze methode heeft zijn beperkingen, die nu voor vrachtwagens geadresseerd worden in post-Euro-VI wetgeving. Deze monitoring heeft dus (nog) geen limietwaarde, en kan daarmee geen consequenties hebben voor reeds geleverde machines. Een belangrijk verschil is daarnaast, dat de perioden van stationair draaien en lage motorlasten, via een vrij ingewikkeld algoritme, verwijderd worden uit de data waarmee het eindresultaat berekend wordt. Uit de eerder genoemde SEMS (Smart Emissions Measurement Systems) metingen aan de vier machines blijkt dat de NO<sub>x</sub>-emissie tijdens stationair draaien een bijdrage van 10% tot 50% levert aan het praktijkgemiddelde. Dit komt omdat NO<sub>x</sub>-emissiecontrole systemen tijdens stationair draaien (en lage belasting) minder effectief zijn of uitgeschakeld worden. Het is daarom de vraag of deze monitoring verplichting voldoende effectief is om de praktijkemissies omlaag te krijgen. Waarschijnlijk zal het een redelijke bijdrage leveren, omdat er toch een praktijktest wordt toegevoegd en de fabrikanten op hun product beoordeeld worden. Het mogen uitzonderen van stationair draaien is echter een risico.

Voor Stage IV en V zijn de risico's op sterke overschrijding van de limietwaarde in de praktijk groter, vooral omdat de NO<sub>x</sub> limiet strenger is. En daarnaast vanwege de eerder genoemde grote bijdrage van het stationair draaien aan de NO<sub>x</sub>-emissie. De twee metingen die door TNO zijn verricht aan Stage IV machines bevestigen dit beeld. Het is dus van groot belang de praktijkemissies van deze machines meer

---

<sup>32</sup> Acceptabel is hier afgeleid van de gehanteerde limietwaarden voor In-Service-Conformity eisen voor vrachtwagens. Die was oorspronkelijk 2,1 (110% boven de limiet), later verlaagd naar 1,5 (50% boven de limiet). Voor NRMM gelden deze eisen nog niet.

intensief te monitoren (door zelf te meten en/of door officiële monitoring data op te vragen bij de Europese Commissie).

Tabel 2 Resultaten TNO meetprogramma NRMM NO<sub>x</sub> in de praktijk

Type	Graafmachine	Laadschop	Graafmachine	Tractor
Stage klasse	IV	IIIB	IIIB	IV
NO <sub>x</sub> limiet	0,4	3,3	2,0	0,4
NO <sub>x</sub> in praktijk	0,5	4,9	2,8	1,8
NO <sub>x</sub> verhoging t.o.v. limiet	25%	48%	40%	350%

De emissiefactoren voor NRMM zijn ingeschat op basis van de resultaten uit bovenstaande Tabel 2 in combinatie met de ervaring opgedaan bij HD voertuigen over de relatie tussen laboratorium en praktijkemissies (bij vergelijkbare NO<sub>x</sub> limieten). Deze is als volgt voor de belangrijkste categorieën (37 – 560 kW):

- Stage IIIA en IIIB: NO<sub>x</sub> (+HC) limiet van 2 tot 4 g/kWh: de praktijkemissiefactor is een factor 1,5 tot 1,7 hoger dan de limietwaarde
- Stage IV en V, limietwaarde 0,4 g/kWh: de praktijkemissiefactor is 0,9 g/kWh (factor 2,3).

Deze waarden zijn geïmplementeerd in het model MEPHISTO (versie 1.3 en 1.4) en vormen daarmee dus ook de grondslag voor de in de KEV2019 gepubliceerde emissies.

#### 4.6 Uitsplitsing emissiefactoren MEPHISTO naar lage en hoge motorlast

De emissiefactoren in het model MEPHISTO (versie 1.3 en 1.4) zijn in de update nu ook uitgesplitst naar hoge en lage last. Dit is relevant omdat de specifieke emissies afhankelijk zijn van de mate van motorbelasting (zie uitleg in paragraaf 4.5). In de vorige versie van het model werd nog gerekend met één gemiddelde emissiefactor. Het gaat bij de update nu om de volgende aanpassingen:

- Er is nu voor 30% van de tijd stationair lopen (Engels: idling) aangenomen als eerste inschatting. Als verdere verfijning zou dit in een volgende update per type machine gespecificeerd kunnen worden.
- Voor het resterende deel waarbij de machines niet-stationair lopen is nu uitgegaan van een gemiddelde belasting die per type machine verschillend is.
- Opmerking: Via de importeurs van machines kunnen misschien motorbelasting-profielen worden opgevraagd van de belangrijkste machines. De meeste machines bevatten dergelijke data die tijdens servicebeurten worden gedownload. Er zijn mogelijk ook enkele rapportages beschikbaar over real-world emissiemetingen, die hiervoor gebruikt zouden kunnen worden.

Het apart modelleren van stationair draaien (Idling) is reeds opgenomen in de laatste modelupdates van MEPHISTO 1.3 en 1.4.

De Idle-emissiefactoren<sup>33</sup> zijn afgeleid van metingen aan 32 machines (Tabel 3) gemeten door Durbin et al. (2013) en Russel et al. (2014) en uitgedrukt in gram per liter cilinderinhoud per uur. In de VS zijn de zogenaamde “Tier” emissiestandaarden van kracht voor NRMM die deels afwijken van de Europese “Stage” normen. Zie bijvoorbeeld Dieselnet, 2020<sup>34</sup>.

Tabel 3 Resultaten van metingen in de VS aan 32 machines (gram/Liter.uur)

Tier	Aantal machines	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	THC	CO
2	7	1080,3	13,9	0,12	1,0	4,9
3	18	1039,7	14,2	0,10	0,7	4,2
4i	7	991,7	10,0	0,002	0,2	0,9

De gebruikte emissiefactoren voor stationair draaien in MEPHISTO staan in Tabel 4. Er waren niet genoeg Europese metingen beschikbaar met onderscheid naar stationair draaien om het model mee te voeden. Daarom zijn de emissiefactoren zoals gebruikt in MEPHISTO (zie Tabel 4) deels afgeleid van de Amerikaanse meetwaarden (zie Tabel 3) zoals gepubliceerd door Durbin (2013) en Russel (2014). De representativiteit van de idle-emissiefactoren is getoetst op basis van een vergelijking met de resultaten van Ligterink et al (2018).

Een belangrijk aandachtspunt is dat de metingen in de studies van Durbin et al. (2013) en Russel et al. (2014) zijn uitgevoerd volgens de Amerikaanse regels voor testen en toezicht. Het is daarom momenteel nog onduidelijk in hoeverre deze Amerikaanse meetgegevens representatief zijn voor Europese machines. De verwachting is dat de verschillen tussen Amerikaanse en Europese machines vooral zullen optreden tijdens lagere belasting en in mindere mate tijdens volledige belasting en niet of beperkt tijdens idle, omdat de emissiecontrole dan uitgeschakeld is. Het is daarom belangrijk om in de toekomst te onderzoeken in hoeverre de resultaten in Tabel 4 daadwerkelijk voldoen voor de Europese machines. Meer metingen in de EU zijn hiervoor noodzakelijk.

Tabel 4 Emissiefactoren tijdens stationair draaien van diesel-werktuigen (gram/Liter.uur\*)

Stage	Brandstof	NO <sub>x</sub>	PM	VOS	CO
<= 1980	341	13,9	0,12	1	4,9
1981-1990	341	13,9	0,12	1	4,9
1991-STAGE I	341	13,9	0,12	1	4,9
STAGE I	341	13,9	0,12	1	4,9
STAGE II	341	13,9	0,12	1	4,9
STAGE IIIa	328	14,2	0,1	0,7	4,2
STAGE IIIb	328	14,2	0,1	0,7	4,2
STAGE IV	313	10	0,01	0,2	0,9
STAGE V	313	10	0,01	0,2	0,9

\* In Mephisto is aangenomen dat een vermogen van 20 kW gelijk staat aan 1 liter cilinder-inhoud

<sup>33</sup> De representativiteit van deze idle-emissiefactoren is getoetst op basis van een vergelijking met de resultaten van Ligterink et al (2018).

<sup>34</sup> Dieselnet (2020) mentions: “EU Stage I/II limits were in part harmonized with US regulations. EU Stage III/IV requirements were harmonized to a large degree with the US Tier 3/4 standards. However, at EU Stage V the harmonization has been largely lost—the Stage V PN limits require diesel particulate filters (DPF) on all affected engines, while the US Tier 4 standards can be met without filters.”

Naast de introductie van idle-emissiefactoren zijn er ook aanpassingen aangebracht aan emissiefactoren van dieselwerktuigen die onder belasting werkzaam zijn.

Tabel 5 Resultaten van metingen in de VS aan 32 machines (gram/mg)/kW.uur)

Tier	Aantal machines	CO	NO <sub>x</sub>	THC	mg PM
2	7	0,8	1,7	0,14	56,6
3	18	0,8	1,4	0,09	82,5
4i	7	0,3	0,9	0,04	31,5

De aanpassingen die in emissiefactoren van dieselwerktuigen onder belasting werden aangebracht op grond van de resultaten van de Amerikaanse metingen van Durbin et al. (2013) en Russel et al. (2014) (Tabel 5) staan weergegeven in Tabel 6.

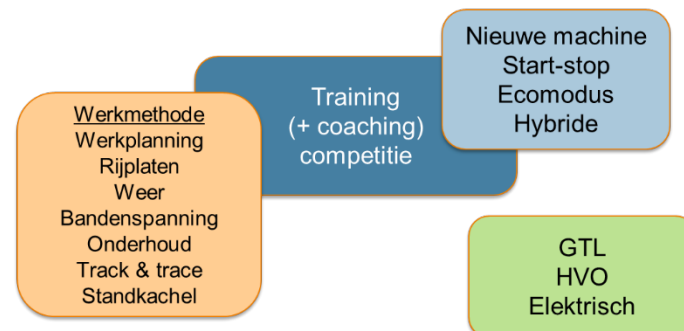
Tabel 6 Aanpassingen aan emissiefactoren van zware dieselmotoren

EU-norm (130-560 kW)	CO (g/kWh)		NO <sub>x</sub> (g/kWh)		VOS (g/kWh)		PM (mg/kWh)	
	Oud	Nieuw	Oud	Nieuw	Oud	Nieuw	Oud	Nieuw
Stage II	0,75	0,8			0,25	0,15	180	80
Stage IIIa	0,075	0,8			0,014	0,1	180	80
Stage IIIb	0,075	0,75			0,014	0,1	25	25
Stage IV	0,075	0,3	0,4	0,9	0,014	0,05	25	30

#### 4.7 Trends in energieverbruik van mobiele werktuigen

##### 4.7.1 Potentieelschattingen uit Het Nieuwe Draaien (HND)

- In 2016 is de Green Deal *Het Nieuwe Draaien* (HND) gesloten (zie: [www.greendealhetnieuwedraaien.nl](http://www.greendealhetnieuwedraaien.nl)), met als doel om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van mobiele werktuigen in de bouw en de landbouw in Nederland met 10 procent te reduceren in 2020, ten opzichte van 2017. Deelnemers aan deze green deal beslaan de gehele keten van opdrachtgevers (met name steden), uitvoerders (bouwbedrijven), machineleveranciers en brancheorganisaties. HND omvat verschillende typen maatregelen om met name de emissies van CO<sub>2</sub> en luchtverontreinigende stoffen te reduceren. Het gaat hierbij om: gedrags-/bedieningsmaatregelen, technische verbeteringen aan de machines en de inzet van alternatieve brandstoffen. Zie Figuur 28, waarin de potentiële verbeteringen in kaart zijn gebracht.



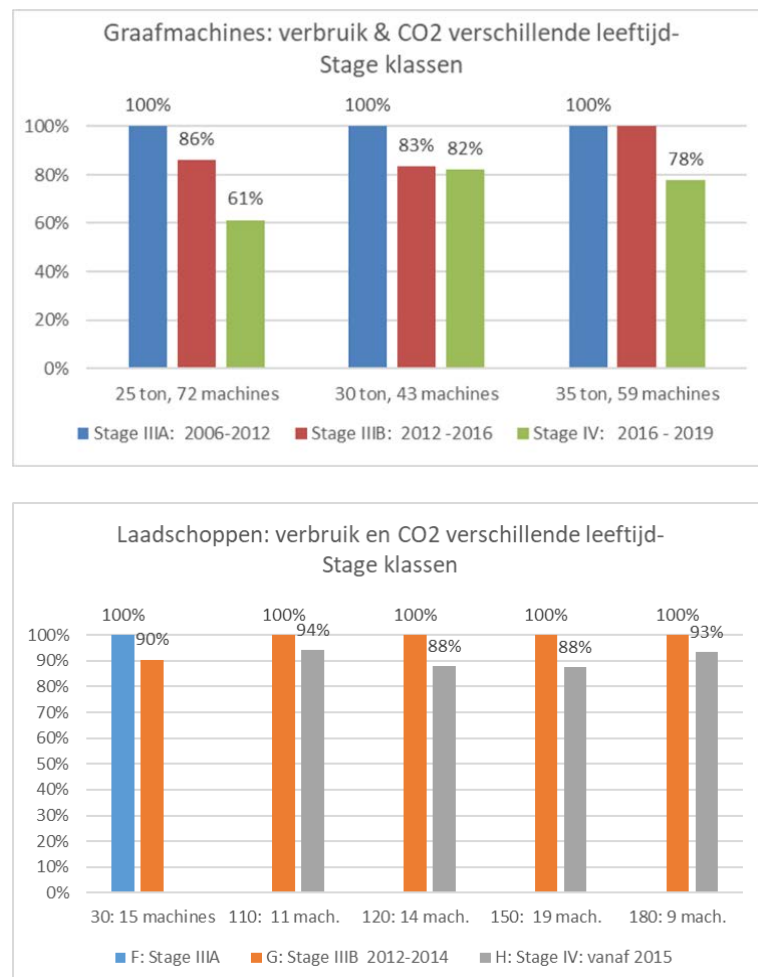
Figuur 28 Overzicht maatregelen binnen de Green Deal Het Nieuwe Draaien (HND). GTL = Gas-TO-Liquid (synthetisch diesel), HVO = Hydrotreated Vegetable Oil



In het kader van de Green Deal HND zijn in 2018 en 2019 diverse onderzoeken gedaan naar de mogelijke energie- en CO<sub>2</sub> besparingsmogelijkheden door het toepassen van de HND maatregelen. Zie Nouhuijs (2017) en Verbeek (2019). Dit bestond uit:

- Enquêtes onder eindgebruikers en machine leveranciers
- Verzamelen van *telematics* over verbruiksgegevens welke door de machines zelf gelogd worden en verzonden naar de databases van de leveranciers. Deze *telematics* data geeft vooral inzicht in brandstofverbruik, belasting en het aandeel stationair draaien. Daarnaast geeft het inzicht in de verschillen in brandstofverbruik tussen de verschillende emissieklassen, en het effect van machinevernieuwing.
- Verzamelen van rapportages van verbruikstesten door de eindgebruikers.

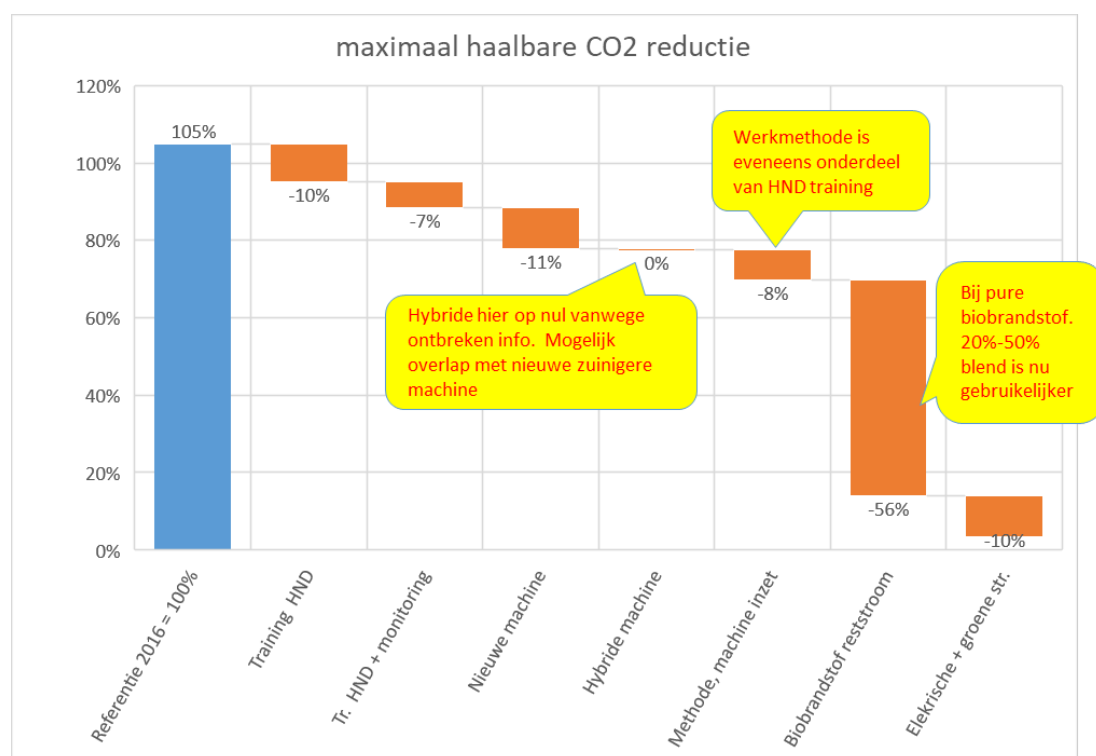
Het verzamelen van de telematics over verbruiksgegevens heeft concreet inzicht gegeven in het effect van nieuwere t.o.v. oudere graafmachines en laadschoppen. Zie Figuur 29.



Figuur 29 Efficiency verbetering van nieuwere t.o.v. oudere graafmachines (onder) en laadschoppen (boven). Bron: Verbeek (2019)

Uit de gegevens in blijkt dat voor elke nieuwe generatie machines het brandstofverbruik gemiddeld ca 10% lager is, door technische verbeteringen. Dit betekent elke 3-5 jaar 10% autonome verbetering (door vlootvernieuwing). Aan de hand van deze inzichten in graafmachines en laadschoppen (die samen ca. 35% beslaan van het totale NRMM energieverbruik, Type 3 machines, zie Tabel 10 in paragraaf 4.7.3) kunnen nog geen conclusies worden getrokken voor de rest van de NRMM vloot. In onderstaande Figuur 30 uit Verbeek (2019) is een overzicht gegeven van de **potentiële** CO<sub>2</sub>-reductie van alle maatregelen onder HND. De figuur laat zien via welke maatregelen, de CO<sub>2</sub>-emissie tot vrijwel nul gereduceerd zou kunnen worden. De figuur is vooral gebaseerd op informatie van graafmachines en laadschoppen.

De grootste categorie binnen NRMM zijn tractoren (45% energieverbruik aandeel). Door de sterk wisselende inzet van tractoren zal het waarschijnlijk moeilijker zijn om een vergelijkbare efficiency verbetering te realiseren als bij graafmachines en laadschoppen. Een eerste orde **aanname** voor alle NRMM - exclusief graafmachines en laadschoppen - is een gemiddelde efficiency verbetering van circa 5% per 3-5 jaar. Bij een pomp of aggregaat wordt geen effect verwacht van HND, tenzij HND eveneens effectief zou stimuleren tot stroom via netaansluiting en elektrisch aangedreven pompen.



Figuur 30 Potentieel CO<sub>2</sub>-reductie effect van maatregelen onder Het Nieuwe Draaien, op basis van telematics data, feedback van bouwbedrijven en TNO projectie. Bron: Verbeek (2019).

Het totale effect van de Green Deal HND, op nationaal niveau, is niet gemonitord. De GD draagt wel sterk bij aan het geven van inzicht in besparingsmogelijkheden, voor de GD deelnemers zelf en ook van de niet-deelnemers welke er kennis van

nemen. Het is mogelijk dat niet-deelnemers door de publiciteit (en kennis) eerder zullen overgaan tot aanschaf van een nieuwe machine of beslissen tot een HND training<sup>35</sup>. Het totale potentiële effect voor deze groep tot 2030 zou dan in orde van 10% tot 20% kunnen zijn. Gezien het feit dat er geen Europese normen voor de efficiëntie van degelijke machines, is het belangrijk deze verbeteringen te monitoren. Daarnaast kan het langer duren dat deze machines in het park komen. Dit is dan inclusief “laag hangend fruit”, zoals het sterk verminderen van stationair draaien (max 5-10% CO<sub>2</sub> reductie). In onderstaande tabel is een schatting gemaakt van het totale effect van autonome vernieuwing en het effect van HND. Volgens deze simpele schatting is het totale effect 17% tot ca 23% CO<sub>2</sub>-reductie (exclusief groei van het park en eventuele inzet van alternatieve brandstoffen). Het wordt aanbevolen om het aantal HND trainingen als ook het effect van de training te monitoren, omdat dit relatief veel effect op emissies en energieverbruik kan hebben.

Tabel 7 Inschatting efficiencyverbetering NRMM tussen 2020 en 2030, uitgesplitst naar autonome ontwikkeling en bijdrage van Het Nieuwe Draaien (HND). Exclusief mogelijk effect van inzet alternatieve brandstoffen en groei van het NRMM park.

CO <sub>2</sub> -reductie %	Aandeel in CO <sub>2</sub> -uitstoot totale NRMM park	Autonoom	HND	Totaal
Graafmachines en laadschoppen	35%	25%	5%	29%
Overig	65%	12%	5%	16%
Totaal NRMM park		17%	5%	22%

In MEPHISTO is van bovenstaande analyse over HND geen gebruik gemaakt. Deze analyse dient (vooralsnog) dus alleen als additionele onderbouwing en validatie. In MEPHISTO wordt uitgegaan van een kleinere besparing, namelijk respectievelijk ca 3%, 4% en 13% voor groep 1, 2 en 3 machinetypen. Zie paragraaf 4.7.3 en speciaal Figuur 32.

#### 4.7.2 Landbouwtrekkers

Voor deze categorie binnen de NRMM zijn er gegevens bestudeerd van gestandaardiseerde tests uitgevoerd door de Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG; [www.dlg.org/de/](http://www.dlg.org/de/)). Voor 33 unieke machine-motor combinaties zijn gegevens overgenomen (zie Tabel 8 en Figuur 31).

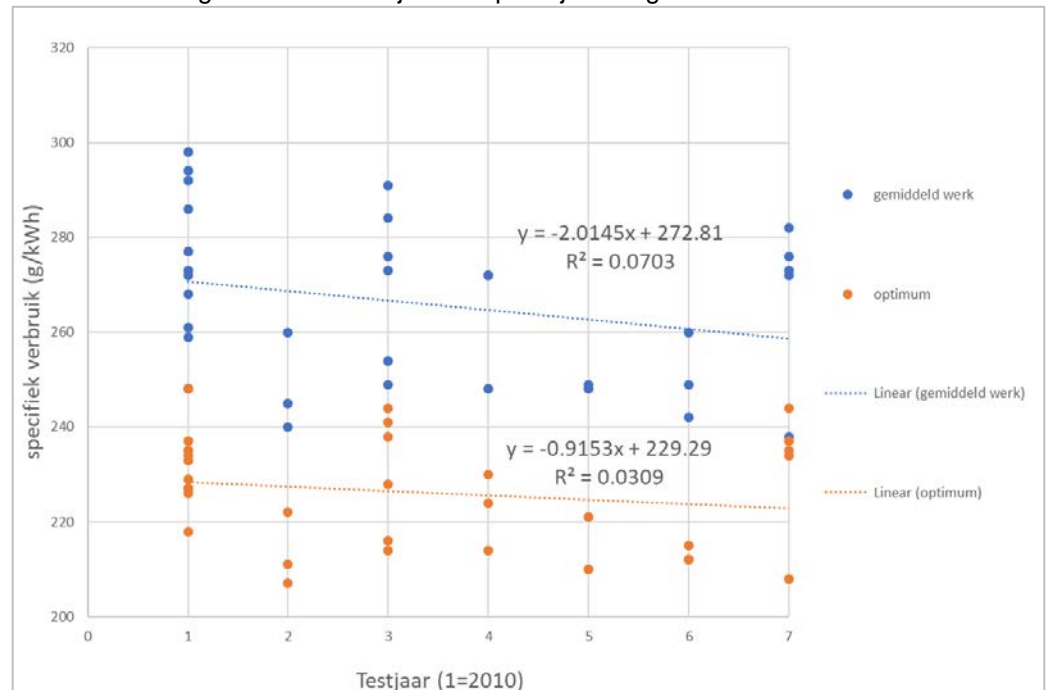
Tabel 8 Specifiek brandstofgebruik van landbouwtractoren in standaardtests

EU-norm Stage	Aantal Metingen	Gemiddeld tijdens werkzaamheden (g/kwh)	Gemiddeld Optimum (g/kwh)	Daling werkzaamheden (%)	Daling optimum (%)
IIIA	5	289	232		
IIIB	23	267	229	-7.3%	-1.1%
IV	15	259	223	-3.2%	-2.5%

Bron: Datenblätter DLG-PowerMix (<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/dlg-powermix-app/>)

<sup>35</sup> Het aantal deelnemers aan HND training is sterk gegroeid werd gemeld in een recente green deal meet-up.

De spreiding in de uitkomsten van de individuele tests is zeer groot. Dit is ook te verwachten aangezien het moeilijk is om praktijkmetingen te standaardiseren.



Figuur 31 Specifiek brandstofgebruik van landbouwtractoren in standaardtests (individuele uitkomsten en trendlijnen)

Uit de cijfers blijkt dat de daling van het specifieke brandstofverbruik bij het optimum lager is dan de daling van het brandstofverbruik bij werkzaamheden (Tabel 9) afgeleid uit de hellingen zoals te zien in Figuur 31).

Tabel 9 Gemiddelde daling van het specifiek gebruik per jaar

Type test	Daling specifiek verbruik per jaar
Gemiddelde werkzaamheden	0.7%
Nabij het optimum	0.4%

Uit Tabel 9 kan worden afgeleid dat de efficiency van de totale machine nog 0,3% per jaar toevoegt aan de stijging van de motorefficiency. Ter vergelijking in de huidige versie van MEPHISTO (1.4) is 0,3% per jaar verbetering van de motorefficiency verondersteld. De 0,3% jaarlijkse verbetering in MEPHISTO heeft alleen betrekking op het specifieke gebruik van de motoren (niet alleen bij landbouwtractoren). De 0,4% gemeten door DLG is wellicht grotendeels aan de verbetering van de motoren te danken. Dit maakt het aannemelijk dat MEPHISTO (1.4) ongeveer goed zit. Naast de verbetering aan de motoren is er ook nog een inschatting gemaakt van de verbetering van de aandrijflijn in MEPHISTO (1.4). Dit heeft niet alleen betrekking op de overige mobiele werktuigtypen maar is algemeen doorgevoerd met een onderscheid naar verschillende werktuigtypen: type 0, type 1 en type 3. Specifiek zijn landbouwtractoren in type 1 ingedeeld en daarvoor geldt nog ongeveer 0,4% per jaar extra. Dus samen 0,7% per jaar. Kortom MEPHISTO (1.4) is in lijn met de metingen van DLG.

#### 4.7.3 Overige mobiele werktuigen

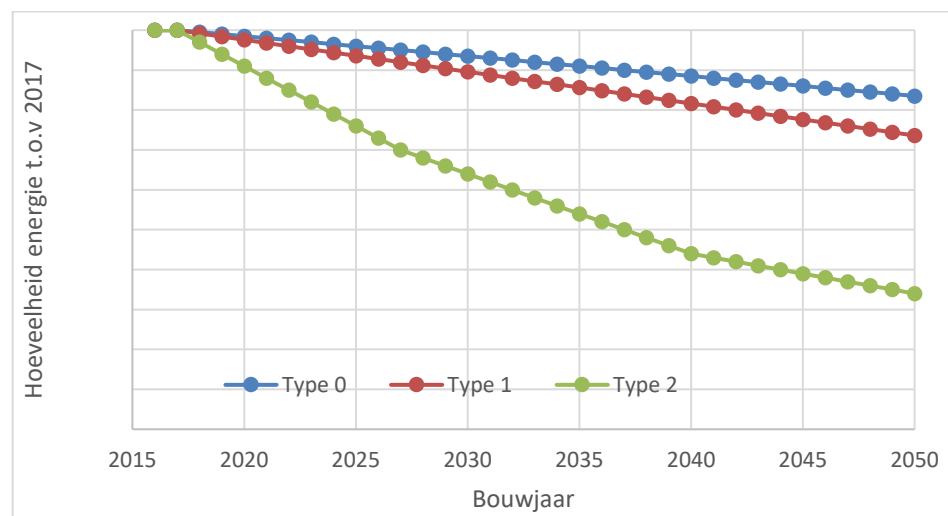
Over de autonome efficiencyverbetering in MEPHISTO (1.4) voor de categorie “overige mobiele werktuigen” kan op basis van beschikbare monitoringsdata het volgende worden gemeld.

Er zijn 3 verschillende efficiency verbeteringen te verwachten:

- 1) Motorefficiency, o.a. door downsizing (verkleinen van de motoren). Dit leidt tot winst van de motorefficiency van alle werktuigen. Downsizing wordt nu nog nauwelijks gezien, maar wordt wel verwacht in de toekomst.
- 2) Aandrijflijn- en machine-efficiency, zoals: betere hydrauliek, verlaging van de massa van hulpstukken (waardoor ook ladingcapaciteit hoger wordt); en verschillende vormen van hybridisering. Deze categorie van efficiency verbetering omvat ook systemen voor terugwinning van zwenkenergie en toepassing van accu's voor “piekschaven”; d.w.z. het opvangen van piekbelasting.
- 3) Efficiency verbetering door elektrificatie. Onder andere kleine graafmachines zullen waarschijnlijk geëlektrificeerd worden. Ze zijn al te koop, maar de vraag is nog hoe snel de marktpenetratie van deze machines echt relevant wordt.

Wat betreft de eerste categorie, verbetering van motorefficiency, is nu geen informatie beschikbaar die het mogelijk zou maken om een robuuste projectie voor de toekomst te maken. Wat betreft de efficiency verbetering van de tweede soort is in MEPHISTO (1.3 en 1.4) een eerste inschatting opgenomen. Per machinetype is daartoe een eerste inschatting gemaakt van het potentieel aan efficiencyverbetering náást het motorrendement (zie Figuur 32). De cijfers zijn mede geïnspireerd door Figuur 29.

Met de derde categorie van efficiency verbetering, Elektrificatie, is in Mephisto 1.3 en 1.4 nog geen rekening gehouden. Wel wordt in paragraaf 4.7.4 een eerste inschatting gegeven van de marktpenetratie van zowel hybride-elektrische als volledig elektrische machines.



Figuur 32 Inschatting van daling energiegebruik per hoeveelheid werk (niet motorrendement).

Er is in MEPHISTO 1.3 en 1.4 een voorlopige indeling gemaakt in drie groepen machines wat betreft de toekomstige mogelijkheden voor verdere efficiencyverbetering. De achterliggende gedachte bij deze indeling is een inschatting van de hoeveelheid arbeid die via hydromechanische transmissie wordt overgebracht, omdat dit medebepalend is voor de kans dat hybridisatie zinvol kan worden toegepast. Bij type 0 is dat ingeschat als zeer weinig bij type 1 als middelmatig en bij type 2 als substantieel. Voor de periode van 2020 tot 2030 is hierin een efficiency verbetering ingeschat. Voor groep 1, 2 en 3 is dat resp. 3%, 4% en 13%.

Machines van Type 0 laten weinig ruimte voor verbetering aan de aandrijflijn, Type 1 laat matige verbeteringen aan de aandrijflijn toe, terwijl Type 2 vanwege veelvuldig gebruik van hydrauliek en mogelijkheid tot hybridisering meer verbetering aan de aandrijflijn toe laat.

Tabel 10 Categorisering machines op basis van mogelijke efficiency verbetering

Type 0	Type 1	Type 2
Bladblazers	Aardappelrooiers	Asfalt afwerkinstallaties
Bosmaaiers	Bietenrooiers	Asfaltfreesmachines
Generatoren, bouw	Bronbemalingspompen	Betonstorters
Generatoren, HDO	Compacttrekkers	Bulldozers
Generatoren, industrie	Dumpers	Graaf-laadcombinaties
Grasmaaiers	Graders	Graafmachines
Heggenscharen	Hoogwerkers	Hijskranen
Kantenstekers professioneel	Landbouwtrekkers	Kiepbakken
Kettingzagen	Maishakselaars	Laadschoppen
Kettingzagen professioneel	Mestinjecteur	Maaidorsers
Strimmers	Sleuvenfrezen	Overslagmachines
Trilplaten	Spuitmachines	Reach stackers
Trilplaten/stampers	Veldhakselaars	Ruw terrein heftrucks
Verticuteermachines professioneel	Walsen	Vorkheftrucks
Zitmaaiers privé		
Zitmaaiers professioneel		

#### 4.7.4 Marktpenetratie van hybridisering en elektrificatie

Bij hybridisering gaat het om werktuigen waarbij energie van bepaalde bewegingen wordt teruggewonnen en wordt opgeslagen in een elektrische accu of in een hydraulisch systeem. Het is dan beschikbaar voor een volgende beweging. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om zwenkenergie. Daarnaast zijn er volledig accu-elektrisch aangedreven mobiele werktuigen. Deze werktuigen worden opgeladen of zijn voorzien van een systeem van wissel-accu's. Wat betreft de marktpenetratie van zowel hybride als volledig elektrische werktuigen speelt de vraag welke ontwikkelingen autonoom zijn te verwachten. En daarnaast wat de additionele impact zou kunnen zijn in het geval er nationaal stimuleringsbeleid zou komen.

- Eerste inschatting marktpenetratie hybride elektrische machines:  
Dit wordt vooral via autonome ontwikkeling ingevoerd en is al in volle gang. In

de onderlinge concurrentie, willen de leveranciers met zo zuinig mogelijk machines komen en hybride helpt daarbij.

- Eerste inschatting marktpenetratie hybride elektrische machines en volledig elektrische machines. We verwachten dat voor minder dan de 20% van het park elektrificatie mogelijk is in de komende 10 jaar, omdat er nu alleen voor de lichte categorie machines een zeer beperkt aanbod is, en er nog geen aanbod is voor de categorieën middelzware- en zware machines. Daarnaast speelt dat er ook een zware en ingewikkelde laadinfrastructuur op bouwlocaties georganiseerd moet worden. De mogelijkheid tot 20% elektrificatie in 2030 zal naar verwachting in de praktijk maar ten dele benut worden. Op basis van informatie van de leveranciers wordt verwacht dat verschillende vormen van elektrische- en hybride aandrijving geleidelijk op de markt zullen komen. Hierbij is wel gewoon een dieselmotor aanwezig. De introductie van deze vormen van hybridisatie zal gewoonlijk gelijktijdig plaatsvinden met de introductie van motoren welke voldoen aan de nieuwste emissieklasse. Kleine graafmachines zullen waarschijnlijk geëlektrificeerd worden. Ze zijn al te koop, maar de vraag is nog hoe snel de marktpenetratie van deze machines echt relevant wordt. Vooralsnog gaat het om zeer kleine aantallen. De marktpenetratie van volledig elektrische machines zit nog niet in het model MEPHISTO (1.4). Indien dit in de toekomst wel gewenst zou zijn, zou voor elke categorie mobiele werktuigen en haar type van inzet een aparte inschatting gemaakt moeten worden. Momenteel zijn hiervoor echter nog geen data beschikbaar. Wij stellen voor om eerst te bezien hoe de elektrificatie verloopt voor de NRMM categorie pompen, waarbij elektrificatie relatief makkelijk is. Voor andere categorieën machines zal elektrificatie pas nog later relevant worden.

#### 4.8 Conclusies NRMM

Voor Non Road Mobile Machinery zijn op basis van de in dit hoofdstuk verzamelde informatie en analyses de volgende bevindingen en conclusies geformuleerd:

- In MEPHISTO (1.4) (het model waarmee energieverbruik en uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door NRMM worden bepaald) wordt in de emissiemodellering nu onderscheid gemaakt tussen stationair draaien en draaien onder belasting. Dit is relevant omdat de specifieke emissies variëren, afhankelijk van de mate van motorbelasting.
- De emissiefactoren (zoals gebruikt in MEPHISTO (1.4)) zijn opnieuw bepaald op basis van metingen aan machines. De NO<sub>x</sub>-emissiefactoren liggen een factor 1,5 tot 2,2 boven de limietwaarde van de typekeuring.
- Het specifieke brandstofverbruik voor landbouwtrekkers is bepaald aan de hand van testgegevens van Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). Op basis van deze metingen is de daling van het specifiek brandstofverbruik ingeschat op ca 0,4% per jaar. In MEPHISTO (1.4) is een daling van 0,3% van het specifiek brandstofverbruik aangenomen.
- De daling van het brandstofverbruik per productie-eenheid (hoeveelheid werk) over de periode 2020-2030 varieert per machine groep binnen NRMM. Voor de 3 onderscheiden groepen machines is de daling van het brandstofverbruik tot 2030 ingeschat op respectievelijk 3%, 4% en 13%.
- Aanbevelingen vervolgonderzoek NRMM

- Nadere analyse van de onderstaande aspecten wordt aanbevolen om de toekomstige ontwikkelingen in de NRMM-sector nog specifieker en nauwkeuriger te kunnen kwantificeren:
- Het uitvoeren van SEMS NO<sub>x</sub> metingen en meting van het belastingpatroon met SEMS aan Stage V, Stage IV en Stage IIIB machines. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft hiervoor een opdracht gegeven. Dit onderzoek wordt in 2020 uitgevoerd.
- Er is nu voor 30% van de tijd stationair lopen (engels: idling) aangenomen als eerste inschatting. Als verdere verfijning zou dit in een volgende update per machinetype gespecificeerd kunnen worden.
- Voor het resterende deel waarbij de machines niet-stationair lopen is nu uitgegaan van een gemiddelde belasting.
- Opmerking: Via de importeurs van machines kunnen misschien motorbelasting-profielen worden opgevraagd van de belangrijkste machines, zoals eerder is gedaan in het kader van de green deal HND. Dit wordt automatisch via telematics gemonitord. De meeste machines bevatten dergelijke data die tijdens servicebeurten worden gedownload. Er zijn mogelijk ook enkele rapportages beschikbaar over real-world emissiemetingen, die hiervoor gebruikt zouden kunnen worden.
- Er zal in de toekomst wel moeten worden gekeken in hoeverre de resultaten in Tabel 4 daadwerkelijk voldoen voor de Europese machines: het is nodig om een gedetailleerde vergelijking te maken van Amerikaanse emissiefactoren, Nederlandse SEMS metingen en eventueel meetprogramma's van andere Europese landen.
- Ook kwam uit dit Nederlandse meetprogramma aan de vier machines naar voren dat bij Stage IV motoren de NO<sub>x</sub>-uitstoot in de praktijk flink hoger kan zijn dan de limietwaarde van de typekeurtest. Dit varieerde van 25% tot 350% boven de limiet waarde voor Stage IV; en 40% tot 48% boven de limietwaarde voor Stage IIIB. Voor Stage IIIB zijn dit acceptabele waarden, maar het is zeker wenselijk om meer Stage IIIB machines te meten om na te gaan of dit een algemeen beeld is.
- Momenteel zijn er verschillende verwachtingen over de effectiviteit van Stage V voor het reduceren van de praktijkemissies van NRMM. Met de beschikbaarheid van de eerste Stage V machines is het belangrijk om na te gaan op welke manier deze machines ingezet kunnen worden, zodat ze emissies hebben die vergelijkbaar zijn met de limieten; en daarnaast te bepalen wat de belangrijke tekortkomingen zijn van Stage V.



## 5 Binnenvaart

### 5.1 Inleiding

Binnenvaart is een relevante bron van de luchtverontreinigende stoffen, in het bijzonder voor stikstofoxiden en fijnstof. Hierbij speelt ook dat de uitstoot door binnenvaartschepen veel dichterbij de bewoning plaatsvindt dan bij de zeevaart. De steden langs de drukke waterwegen, zoals de Rijn, hebben soms te maken met verhoogde concentraties stikstofdioxide die mede door de binnenvaart worden veroorzaakt (IBO, 2019).

De Nederlandse vloot aan motorschepen bedraagt 3.566 schepen met in totaal 5,5 miljoen ton laadvermogen (Panteia, 2019). Door zowel autonome ontwikkelingen als door wetgeving en convenanten zal de uitstoot door de binnenvaart de komende jaren veranderen. Belangrijke trends hierbij zijn: verjonging van de vloot met een trend naar efficiëntere en grotere schepen en de komst van schonere motoren onder invloed van Europese emissiewetgeving.

### 5.2 Doel

Het doel van dit hoofdstuk betreft het in kaart brengen en analyseren van de belangrijkste trends en inzichten in de binnenvaart en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen. Deze analyse dient als onderbouwing voor de emissiefactoren van luchtverontreinigende stoffen door de binnenvaart zoals gebruikt in de KEV. Voor de KEV2019 ligt de nadruk in deze inbreng van TNO vooral op het ramen van de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en het inschatten van verbeteringen in de efficiëntie van het brandstofverbruik in de periode tussen nu en 2030.

In de nu volgende paragrafen worden de verschillende trends en hun drivers kort besproken. Hierbij wordt steeds een onderbouwde projectie gegeven van het te verwachten effect op de NO<sub>x</sub>-emissie en waar relevant ook wat betreft de efficiëntie van het brandstofverbruik.

### 5.3 Update model emissies binnenvaart (POTAMIS)

Voor de KEV wordt gebruik gemaakt van een model met de naam "POTAMIS" om prognoses te maken van zowel het energieverbruik als de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door de binnenvaart. Zie voor meer informatie bijvoorbeeld: Hulskotte (2014) en Ligterink et al. (2019). In het kader van de TNO-ondersteuning aan PBL op het gebied van mobiliteit in de KEV is een update uitgevoerd van POTAMIS (laatste versie 1.2b). Deze update betrof onder andere een actualisatie van de NO<sub>x</sub>-emissiefactoren en de efficiencyontwikkeling van motoren, aansluitend bij de verschillende trends, zoals beschreven in de onderstaande paragrafen.

### 5.4 Emissienormering binnenvaart

Nieuwe hoofd- en hulpmotoren voor een binnenvaartschip moeten op dit moment voldoen aan emissienormen voor Non-Road Mobile Machinery (NRMM) óf aan de

normen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). Actuele normen voor de binnenvaart staan bekend als respectievelijk NRMM Stage IIIA en CCR-II. Deze twee normen zijn nagenoeg identiek, waarbij het verschil is dat de CCR-normen worden vastgesteld in Straatsburg (CCR) en de NRMM-normen in Brussel (Europese Unie). Door wederzijdse erkenning zijn beide normen momenteel uitwisselbaar. CCR-II en Stage IIIA zijn in werking getreden in 2007. Daarvoor gold de CCR-I norm, welke in werking is getreden in 2003.

Vanuit de Europese Unie is een herziening van de NRMM emissie-eisen tot stand gebracht die bekendstaat als Fase V of Stage V. Dit zijn eisen van de Europese Unie aan de emissies naar de lucht van verschillende Non-Road Mobile Machinery (NRMM), zoals locomotieven, constructiemachines en ook binnenvaartschepen (Directive 2016/1628/EC). Deze verschillende machines zijn op hun beurt weer verdeeld in verschillende categorieën, waarbij voor de binnenvaart afzonderlijke categorieën bestaan voor hoofd- (IWP) en voor hulpmotoren (IWA). Eisen worden hierbij gesteld aan de maximale uitstoot tijdens een test van de volgende luchtverontreinigende stoffen: stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ), fijnstof (PM), koolstofmonoxide (CO) en koolwaterstoffen (HC). Zie Tabel 11. Deze nieuwe eisen gelden sinds 2019 voor nieuwe motoren met een vermogen onder 300 kW; en vanaf 2020 voor nieuwe motoren van 300 kW en hoger.

Tabel 11 Emissie grenswaarden voor binnenvaartschepen conform Stage V NRMM

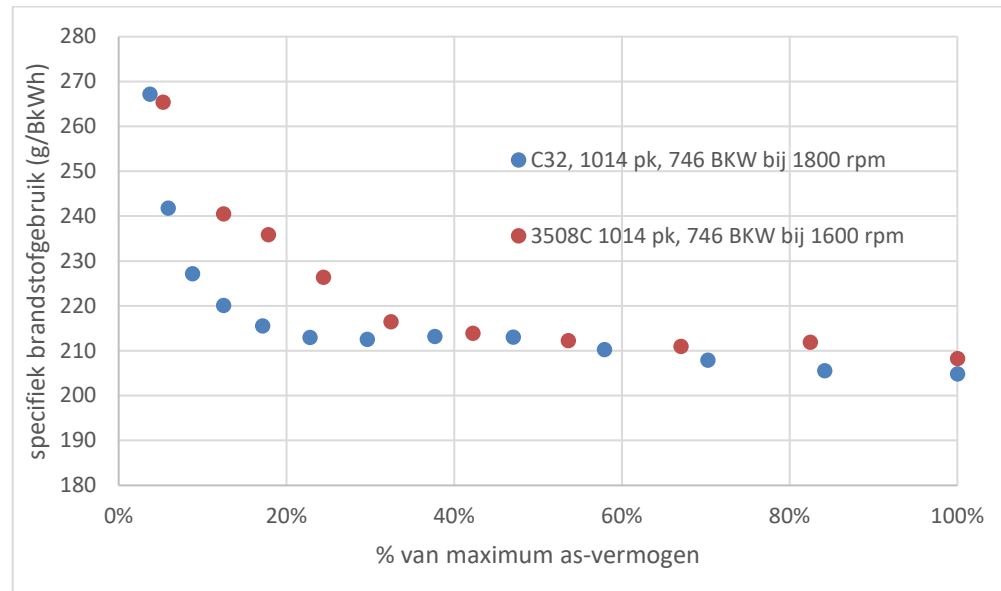
Categorie	Vermogen	CO	HC	$\text{NO}_x$	PM	Deeltjes-aantal	Datum
	(kW)	(g/kWh)				(#/kWh)	
IWP/IWA-v/c-1	$19 \leq P < 75$	5.0	4.7		0.3	-	2019
IWP/IWA-v/c-2	$75 \leq P < 130$	5.0	5.4		0.14	-	2019
IWP/IWA-v/c-3	$130 \leq P < 300$	3.5	1.0	2.1	0.1	-	2019
IWP/IWA-v/c-4	$P \geq 300$	3.5	0.19	1.8	0.015	$1 \times 10^{12}$	2020

Om diesel-hoofdmotoren en -generatoren te laten voldoen aan de Stage V regelgeving, is meestal uitlaatgas-nabehandeling nodig in de vorm van een katalysator (SCR) en een roetfilter (DPF). De toepassing van roetfiltertechnologie wordt afgedwongen door de norm voor de maximale aantallen roetdeeltjes in het uitlaatgas (zie één na laatste kolom in Tabel 11). Bij vermogens onder de 300 kW geldt (nu nog) geen norm voor deeltjesaantallen, zodat een DPF roetfilter niet noodzakelijk is om aan de norm te voldoen. Motoren onder 300 kW betreft vooral hulpmotoren of motoren voor kleinere schepen zoals kraanschepen. Bij LNG-aangedreven schepen is noch SCR noch DPF standaard, vanwege de andere motorconcepten, met andere uitlaatgaskarakteristieken.

## 5.5 Ontwikkeling van motorefficiency

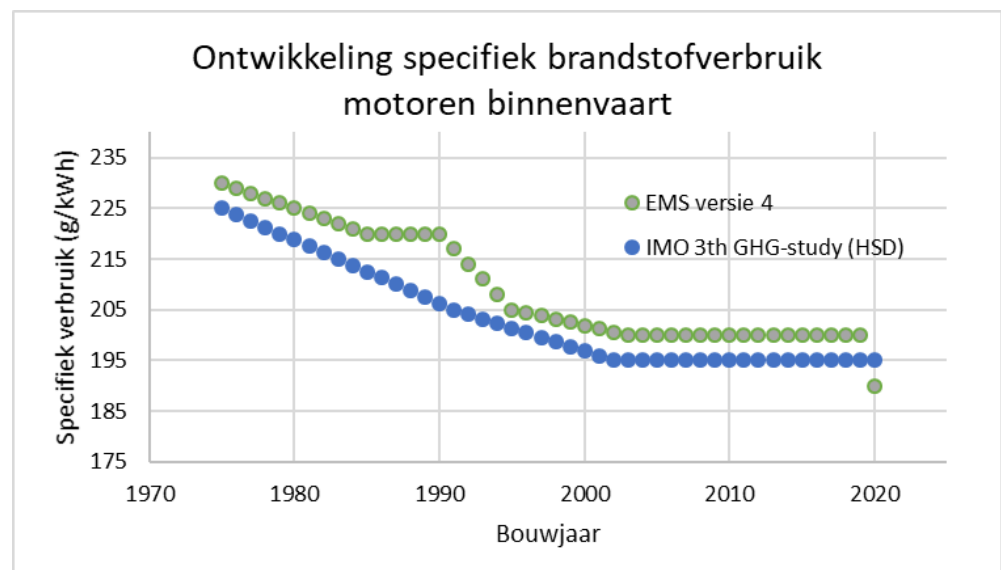
Deze paragraaf geeft een analyse/update van autonome efficiencyontwikkeling zoals die in POTAMIS (1.2B) is verondersteld. Belangrijk bij verbrandingsmotoren is het specifieke brandstofverbruik. Dit wordt doorgaans gemeten in grammen of kilogrammen brandstof benodigd per kWh geleverde arbeid aan de motor-as. Hoewel het rendement van een dieselmotor doorgaans niet heel veel hoger is dan 42%, verandert het rendement naar mate de belasting van de motoren verandert. Een voorbeeld van het rendement van binnenvaartmotoren staat in Figuur 33. Te zien is dat de modernere C32-motor ten opzichte van het oudere ontwerp (3508C),

van dezelfde fabrikant, wat beter presteert bij lagere deellast. Hierdoor zal de temperatuur van de uitlaatgassen bij lagere deellast lager zijn. De curves zijn overigens grotendeels af te regelen door de besturing en het ontwerp van de turbocompressor.

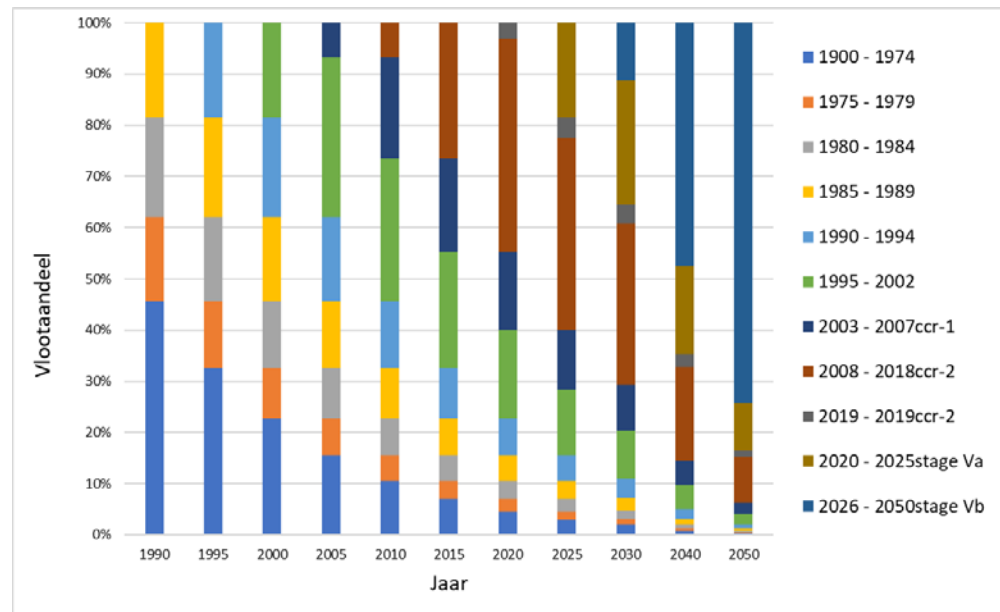


Figuur 33 Voorbeeld van motorrendement in afhankelijkheid van deelvermogen (bron: PON)

Er bestaat een trend in de ontwikkeling van de motorefficiëntie van binnenvaartschepen. Deze trend valt vooral toe te schrijven aan de autonome ontwikkeling waarbij motoren steeds efficiënter worden, voor alle modaliteiten. Naast verbetering van de motorefficiëntie neemt de overall vaarefficiëntie van binnenvaartschepen ook toe door verdere verbeteringen in afstemming van schip, motor en schroef, met daarbij inzet op een lagere kruissnelheid van het schip. De huidige trend in POTAMIS (1.2b) van de motorefficiëntie wordt getoond in Figuur 34 (groene lijn).



Figuur 34 Trend van het gemiddelde specifieke brandstofgebruik van motoren in de binnenvaart in het model POTAMIS (1.2b) vergeleken met de aanname van IMO voor zeeschepen.



Figuur 35 Met POTAMIS (1.2b) gemodelleerde aandelen (uitgedrukt in de aantallen schepen) van verschillende bouwjaarklassen en emissieclassen aan de vloot van binnenschepen groter dan 1250 ton

In Figuur 35 is te zien dat in 2020 de binnenvaartvloot wordt gedomineerd door schepen die CCR1 en CCR-II zijn genormeerd. Deze motoren hebben een specifiek verbruik van rond 200 g/kWh. In 2030 zal naar verwachting ongeveer 35% van de motoren Stage V genormeerd zijn. Deze motoren hebben een specifiek verbruik van ongeveer 190-195 g/kWh. Omdat de verbetering van de gemiddelde efficiency van de scheepsmotoren de gehele vloot betreft wordt per jaar een gemiddelde verbetering van ongeveer 0,3 g/kWh bereikt.

Tabel 12 Voorgestelde waarden voor specifiek verbruik (g/kWh)

CCRI	CCRII	Stage Va 2020	Stage Vb 2025
195	200-220	195	190

In Potamis (1.2b) staat een iets andere ontwikkeling van het energieverbruik dan in tabel 12 staat. Potamis (1.2b) werkt met 3 laadvermogenklassen (L1, L2 en L3) waarbij L1 onder emissiecategorie IWP/IWA v/c-3 valt en L2 en L3 onder emissiecategorie IWP/IWA v/c-4 vallen. Verder hebben ze ieder hun eigen motorvervangingsprofiel. De ontwikkeling van het energieverbruik is als volgt:

#### L1

200 g/kWh in [2008, 2018]  
 200 g/kWh in [2019, 2025]  
 195 g/kWh in [2026, 2050]

#### L2 en L3

200 g/kWh in [2008, 2019]

195 g/kWh in [2020, 2025]  
190 g/kWh in [2026, 2050]

De trend kan worden vergeleken met de trend voor High-speed motoren voor zeeschepen volgens de derde IMO-GHG studie (zie Figuur 34). De motoren van zeeschepen zijn in het algemeen groter dan van binnenvaartschepen en daardoor iets efficiënter.

Autonome motorefficiëntieverbetering in het model: Verloopt in POTAMIS 1.2b zoals hierboven is aangegeven. Eerder werd verondersteld dat de efficiencyverbetering van 5% in één stap optreedt met de invoering van stage V. De grondslag hiervoor is dat nieuwe motoren vooral worden ontwikkeld in combinatie met een aanscherping in de emissiewetgeving. De Stage V motoren kunnen worden getuned op laag brandstofverbruik, maar de volledige potentie zal door technische en economische beperkingen niet volledig gerealiseerd worden. Naar verwachting gebeurt dat dan wel na een aantal jaar bij een algehele update van de motor. Dan kan nogmaals ordegrrootte 5% reductie worden bereikt. De hogere NO<sub>x</sub>-uitstoot, die het gevolg is van een optimalisatie op brandstofverbruik, wordt gemakkelijk gereduceerd binnen de Stage-V eisen door de SCR katalysator. Ook zal er geen beperking zijn in het motorontwerp en de motorkalibratie wat betreft de uitstoot van fijnstof (PM), omdat dat door een roetfilter wordt afgevangen. Een vergelijkbare situatie deed zich eerder voor bij vrachtauto's, bij de overgang van de Euro III naar Euro IV/V normen. Geconcludeerd wordt dat het brandstofverbruik met de overgang van CCRII naar Stage V met een kleine 10% zal dalen. In POTAMIS (1.2b) is dit in twee stappen gemodelleerd, zie ook Figuur 34.

## 5.6 Verwachting voor toekomstige NO<sub>x</sub>-emissies

Een belangrijke recente aanpassing in het POTAMIS-model betreft de aanpassing van de emissiefactoren aan de motorbelasting op de verschillende schepen-vaarwegcombinaties. Dit tegen de achtergrond van de komst van schonere motoren aangejaagd door strengere emissiewetgeving zoals uitgelegd in paragraaf 5.4. In het bijzonder voor de emissie van NO<sub>x</sub> is het belangrijk te weten wat een typische belasting van de motoren op de vaarwegen is. Dit is relevant omdat de specifieke emissies variëren, afhankelijk van de mate van motorbelasting (zie ook de hoofdstukken over Zeevaart en NRMM). Hoewel vele afwijkingen voor komen kan worden gesteld dat 35% gemiddelde motorbelasting een gangbare waarde is.

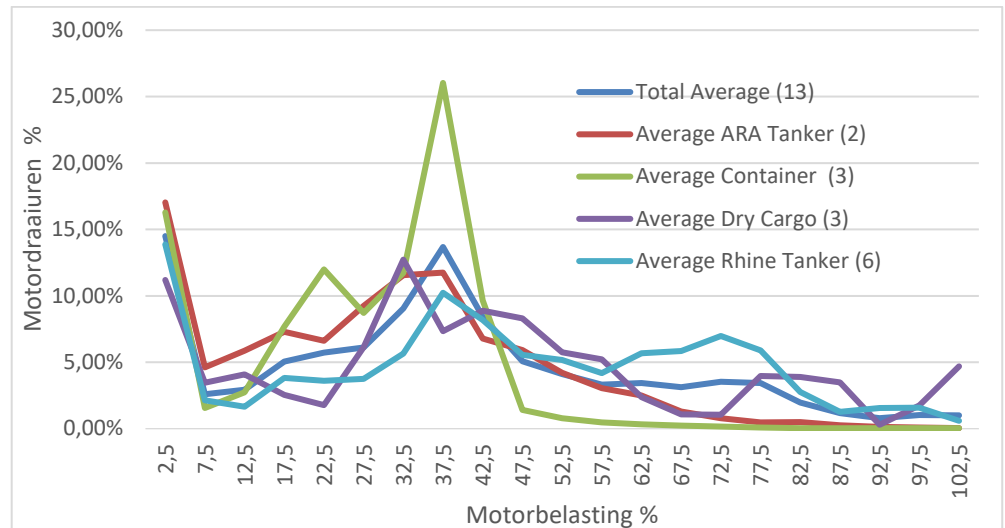
Bij lage belastingen (<20%-25%) blijven de uitlaatgassen relatief koud waardoor de NO<sub>x</sub> reductie met ureum in de SCR-katalysator minder goed werkt<sup>36</sup>. Dit is relevant omdat stationair draaien en lagere motorlast een aanzienlijk deel van de bedrijfsuren betreft. Dit zal alleen wijzigen indien de aandrijflijnen van binnenvaartschepen wezenlijk veranderen bijvoorbeeld met dieselelektrische aandrijflijnen (zie ook paragraaf 5.7).

Het patroon van motorbelasting bij binnenvaartschepen is onderzocht in het PROMINENT project (zie referenties PROMINENT 2017, 2018). De onderstaande figuur, afkomstig uit (PROMINENT, 2018) D2.8/2.9 paragraaf 2.1, geeft het

---

<sup>36</sup> Hier speelt mee dat het laagste vermogenspunt van de formele emissietestcyclus 25% is, waardoor de fabrikant niet verplicht is om onder de 20-25% vermogen een lage NO<sub>x</sub> te realiseren.

belastingprofiel van verschillende scheepstypen. Hieruit blijkt dat voor de meeste scheepstypen de gemiddelde belasting varieert van 25% tot 30%. Voor tankers ligt de belasting wat hoger, gemiddeld 38% tot 51%. Dit hangt mogelijk samen met de hogere belading van dit type schepen.



Figuur 36 Motorbelasting van binnenvaartschepen verdeeld naar draaiuren (totaal 270.000 draaiuren). Bron: PROMINENT D2.8/2.9

In Tabel 13 is te zien wat dan de typische emissiefactoren in de praktijk worden. De correctiefactoren zijn geschat door TNO op basis van een beperkt aantal metingen<sup>37</sup> aan binnenvaartschepen (PROMINENT<sup>38</sup>) en de ervaring met on-road vrachtvoertuigen, waarin vergelijkbare technologie wordt toegepast. Voor een pre-CCR-II-motor bedraagt de NO<sub>x</sub>-emissie ongeveer 10 g/kWh. Voor een CCR-II-motor 8 g/kWh en voor een Stage V-motor is de verwachting dat de NO<sub>x</sub>-emissie in de praktijk rond 4 g/kWh zal uitkomen, vooral vanwege de relatief lage belasting en de vrijheid welke de typekeuring testprocedure biedt. Bij bepaalde werkpunten rond het standaard belastingprofiel van de motor mogen de emissieniveaus van NO<sub>x</sub> 100% boven de limietwaarden liggen. Dit gaat om belastingen van de motor boven de 25%. Bij lagere belastingen dan 25% zijn er geen eisen, en is de verwachting dat de NO<sub>x</sub>-emissies daar substantieel hoger zijn. Het is van groot belang dat er emissiemetingen worden gedaan zodra er schepen varen die aan Stage-V moeten voldoen.

<sup>37</sup> De nu beschikbare metingen van TNO aan binnenvaartschepen zijn nog beperkt dekkend en daardoor nog onvoldoende representatief om sector-brede conclusies uit te trekken.

<sup>38</sup> PROMINENT is een onderzoeks- en implementatieprogramma voor de binnenvaart dat liep tussen 2015 en 2018. Het programma richtte zich op het onderzoeken, testen en introduceren van betaalbare, veilige en groene alternatieve energieconcepten en -technologieën voor de Europese binnenvaartsector ([www.prominent-iwt.eu](http://www.prominent-iwt.eu)).

Tabel 13 Emissiefactoren NO<sub>x</sub> bij verschillende belasting van de motoren in POTAMIS (1.2b). Zie paragraaf 5.4 voor een toelichting op de normstelling. 35% motorbelasting (deze rij aangegeven in vet cursief) is een gangbare waarde (zie bovenstaande tekst).

Normstelling	<= CCR1: basis = 10,1		CCR-II / Stage IIIa: basis = 7		IWP/IWA-v/c-3: basis = 2,9		IWP/IWA-v/c-4: basis= 2,4	
Percentage motorbelasting	Correctiefactor	Emissiefactor (g/kWh)	Correctiefactor	Emissiefactor (g/kWh)	Correctiefactor	Emissiefactor (g/kWh)	Correctiefactor	Emissiefactor (g/kWh)
5	1,83	18,5	2,02	14,1	3,99	11,6	4,79	11,5
10	1,34	13,5	1,42	9,9	2,63	7,6	3,07	7,4
15	1,17	11,8	1,27	8,9	2,12	6,2	2,42	5,8
20	1,10	11,1	1,19	8,4	1,85	5,4	2,08	5,0
25	1,06	10,7	1,15	8,1	1,69	4,9	1,88	4,5
30	1,04	10,5	1,13	7,9	1,58	4,6	1,73	4,2
<b>35</b>	<b>1,03</b>	<b>10,4</b>	<b>1,11</b>	<b>7,7</b>	<b>1,50</b>	<b>4,3</b>	<b>1,63</b>	<b>3,9</b>
40	1,02	10,3	1,09	7,7	1,44	4,2	1,56	3,7
45	1,01	10,2	1,08	7,6	1,39	4,0	1,50	3,6
50	1,00	10,1	1,07	7,5	1,35	3,9	1,45	3,5
55	1,00	10,1	1,07	7,5	1,32	3,8	1,41	3,4
60	0,99	10,0	1,06	7,4	1,29	3,8	1,37	3,3
65	0,99	10,0	1,06	7,4	1,27	3,7	1,35	3,2
70	0,98	9,9	1,05	7,4	1,25	3,6	1,32	3,2
75	0,98	9,9	1,05	7,3	1,24	3,6	1,30	3,1
80	0,97	9,8	1,05	7,3	1,22	3,5	1,28	3,1
85	0,97	9,8	1,04	7,3	1,21	3,5	1,27	3,0
90	0,97	9,8	1,04	7,3	1,20	3,5	1,25	3,0
95	0,97	9,8	1,04	7,3	1,19	3,4	1,24	3,0
100	0,97	9,8	1,04	7,3	1,18	3,4	1,23	2,9

Concluderend kan worden gesteld dat de effectiviteit van de emissiegrenswaarden NRMM stage V voor binnenvaartschepen niet geborgd is in de huidige regelgeving. Substantieel hogere emissies van NO<sub>x</sub> zijn te verwachten tenzij de regelgeving zal worden aangevuld met emissie-eisen die voldoende rekening houden met de praktijkomstandigheden.

## 5.7 Effectschatting nieuwe technologie binnenvaartvloot richting 2030

### • LNG

Eerste inschatting: LNG wordt momenteel relatief weinig gebruikt. In totaal, varen momenteel 11 schepen op LNG, voor een groot deel voor de firma Shell. Ten opzichte van Stage V diesel, voegt LNG, ook wat betreft praktijk emissies, geen positief effect toe op het gebied van NO<sub>x</sub> en PM uitstoot. Publicaties (zie review door Ushakov, Stenersen en Einang, 2019) laten over het algemeen relatief hoge methaanemissies<sup>39</sup> zien. Ook zien we dat in de praktijk de methaanemissie hoger kan zijn dan tijdens de officiële test cyclus (E3 of E2 cyclus). Een overzicht van de bestaande metingen in Noorwegen (waar relatief veel ervaring met LNG is opgedaan) is gerapporteerd door Stenersen & Thonstadt, 2017. Hierin staat voor dual fuel LNG motoren een gemiddelde waarde van 40 gram NO<sub>x</sub> per kg LNG ( 4% m/m). Deze waarde wordt voorlopig aanbevolen voor gebruik in de modellering.

### • Dual fuel motoren

Dual fuel motoren (d.w.z. motoren die zowel lopen op diesel(achtige) brandstoffen als LNG; o.m. van de firma Wärtsila) zullen waarschijnlijk een belangrijk aandeel krijgen in de LNG aangedreven schepen. In een review artikel van metingen door Ushakov, Stenersen en Einang, 2019 worden hier geen nieuwe inzichten aan toegevoegd. Het aantal metingen is echter zeer beperkt. Ook hier vormt een lage belasting van de motoren een risico voor hoge emissies, omdat de SCR DeNO<sub>x</sub>-installatie dan minder goed presteert.

### Dieselelektrisch

Dieselelektrisch of hybride, al dan niet met accu bij binnenvaart is lang niet altijd zinvol. Op dit moment zijn er ca. 40 dieselelektrische of hybride binnenvaartschepen. Dit zijn voor ca. 80% normale cargo schepen van 80 tot 135 m lengte. De overige zijn veerboten en werkschepen. Zie vooral PROMINENT (2018). De afgelopen 2 jaar zijn er ca 11 dieselelektrische schepen bijgekomen. Op de gehele vloot gezien betreft dieselelektrisch nu een kleine minderheid van de schepen. De nieuwe schepen die nu in de vaart komen (en dus Stage V plichtig) zijn steeds vaker<sup>40</sup> uitgevoerd met een dieselelektrische aandrijving en vaak modulair opgebouwd, mogelijk om voorbereid te zijn op andere energiedragers in de toekomst. De configuratie bestaat dan vaak uit meerdere (kleinere) generatoren-sets om de motorbelasting te optimaliseren. Bij een lage vermogensvraag (bijvoorbeeld, lage snelheid of stroomafwaarts varen) worden generatoren afgeschakeld. De overgebleven generatoren die dan wel draaien hebben een

<sup>39</sup> LNG geeft (vanwege het lagere koolstofgehalte per energiedichtheid) ten opzichte van diesel een lagere CO<sub>2</sub>-emissie. Echter, door de slip van onverbrand methaan (een krachtig broeikasgas) wordt vaak de klimaatwinst van de lagere CO<sub>2</sub>-emissie deels of geheel teniet gedaan. Deze situatie zou kunnen verbeteren door via wetgeving technische verbeteringen af te dwingen die de methaan-slip beperken. In Stage V is de normstelling gebaseerd op een acceptabele methaanslip die geen hogere broeikasgaseffect geeft dan diesel.

<sup>40</sup> Niet precies bekend maar indicatief richting 50% uitgaande van opleveringen in 2019.



gunstiger belasting en daarmee een lager brandstofverbruik en betere werking van de SCR en daardoor een lagere NO<sub>x</sub>-uitstoot. Met deze aanpak kan een hoge NO<sub>x</sub>-uitstoot door (te) lage motorbelasting vermeden worden.

Het aantal dieselelektrische schepen zal naar verwachting groeien, maar het is niet bekend tot welk aantal in 2030. Hiervoor zijn nog geen beleidsinstrumenten geïmplementeerd of in voorbereiding. Het is nog zeer onzeker of dieselelektrisch tot een brandstof- en CO<sub>2</sub>-besparing zal leiden. Het hangt af van het belastingprofiel en of een accu onderdeel uitmaakt van het systeem. Dieselelektrisch zou gezien kunnen worden als een voorbereiding op de toekomst voor zero-emissie aandrijving (PROMINENT, 2018). Maar het is de vraag of zo'n tussenstap belangrijk en/of efficiënt is. Voor nieuwe schepen zou het goed zijn om dieselelektrisch serieus te overwegen, omdat dat de transitie naar zero-emissie gemakkelijker maakt. Deze hypothese is vergelijkbaar met plug-in voertuigen als wegbereiders van elektrische auto's. Voor bestaande schepen is het wellicht beter om te wachten totdat er in één keer kan worden omgeschakeld naar (deels) zero emissie.

- Invloed dieselelektrisch of hybride op NO<sub>x</sub>-emissie

Implementatie van dieselelektrisch of hybride, al dan niet met accu, zou kunnen leiden tot lagere NO<sub>x</sub>-emissies. Tenminste indien de kleinere motoren in de vorm van generator sets goed aangestuurd worden. Onderzoekprogramma's zoals PROMINENT laten zien dat bij conventionele aandrijving het aandeel lage belasting (<25%) hoog is. Dan functioneert de SCR de NO<sub>x</sub>-katalysator mogelijk minder goed, mede omdat het niet meetelt voor het halen van de typekeuringseisen<sup>41</sup>. Als bij een dieselelektrische of hybride aandrijving een flink deel van de tijd volstaan kan worden met 1 of 2 relatief kleine draaiende motoren, dan gaat de gemiddelde motorbelasting omhoog waardoor de specifieke NO<sub>x</sub>-emissie daalt. Bij de hybride varianten met accu, is er nog een extra potentieel NO<sub>x</sub> voordeel. Het huishoud elektriciteitsverbruik, bijvoorbeeld aan de kade, kan dan uit de accu of walstroom komen. Daardoor wordt vermeden dat daarvoor een veelal laag belaste generator blijft draaien met relatief hoge verontreinigende uitstoot (NO<sub>x</sub>, PM, HC, CO). Het verdient aanbeveling om het aantal en ook de uitstoot van dieselelektrische en hybride schepen te gaan monitoren in de toekomst.

- Batterij elektrisch met laden vanaf de wal of batterij containers wisselen

Voor dit type schepen geeft het ontwerp-klimaatakkoord als ambitie 100 batterij-elektrische schepen in 2030<sup>42</sup>. Voor lokale schepen zoals veerboten, rondvaart en lokale werkschepen wordt dit al toegepast, voor normale vrachtschepen met langdurige motorbelasting, echter nog niet. Hiervoor is een uitgebreide infrastructuur aan container accu wisselstations nodig. De ontwikkeling daarvoor is nog onzeker aangezien de TCO de eerste tien jaar veel hoger zal zijn in vergelijking met conventionele aandrijving. Er zijn wel grote marktpartijen die dit promoten en willen opzetten.

---

<sup>41</sup> Het laagste vermogenspunt voor de formele testcyclus voor de typekeuring is 25%. Daardoor kan de NO<sub>x</sub> onder 25% snel oplopen. De fabrikant heeft tevens de vrijheid om in een deel van het belastinggebied voor een hogere NO<sub>x</sub> te kiezen, mits het cyclusgemiddelde maar aan de eisen voldoet. Bij lage belasting spelen de interne verliezen een grotere rol, zodat de totale emissies hoger zijn voor dezelfde totale arbeid.

<sup>42</sup> Bron: Ontwerp Klimaatakkoord 21-12-2018, blz. 75. Onderverdeling van de 150 emissievrije schepen (100 elektrisch, 50 H<sub>2</sub>) komt van eerste indicatie DEM-werkgroep. Zie ook samenvatting in Routeradar Brandstofvisie elektrisch vervoer 26 april 2019.

Voor batterij-elektrische schepen zullen flinke financiële incentives nodig zijn. Hiervoor is nog geen ondersteunend beleid geformuleerd.

- H<sub>2</sub> (waterstof) brandstofcel elektrisch.

Het ontwerp-klimaatakkoord geeft als ambitie 50 van deze schepen in 2030. Deze ambitie kent een flinke onzekerheid omdat brandstofcelssystemen voor binnenvaartschepen erg kostbaar zijn vanwege de benodigde hoge vermogens die nog niet seriematig geleverd worden.

Ook voor schepen met H<sub>2</sub> brandstofcel elektrische aandrijving zullen flinke financiële incentives nodig zijn. Hiervoor is nog geen ondersteunend beleid geformuleerd.

- Impact 2025 CCR-II eis Rotterdamse haven op vlootverjonging.

Hierover zijn nog weinig gegevens direct beschikbaar. Volgens een schatting van STC-NESTRA (Quispel en van Opstal, 2015) voldeden in 2015 nog 2295 schepen in de vloot (op een totaal van 3977) nog niet aan de CCR-II norm. Volgens het vlootmodel van POTAMIS (1.2b) was in 2015 het aantal dat lager dan CCR-II genormeerd was ongeveer 70% (ongeveer 2800 uitgaande van 4000 totaal). In 2025 wordt het aandeel dat lager genormeerd is dan CCR-II met POTAMIS 1.2b geraamd op 40% (ongeveer 1600 uitgaande van 4000 totaal).

Eerste inschatting: Indien het beleid van Rotterdam daadkrachtig wordt geïmplementeerd dan heeft dit waarschijnlijk invloed op de vlootverjonging. Mogelijk gaat een deel van de schepen dan ergens anders varen. Tegelijkertijd is het aannemelijk dat de Rotterdamse CCR-II eis de aanschaf van nieuwe motoren stimuleert. Indien de helft van de schepen die niet aan CCR-II voldoen door het Rotterdamse beleid zou overgaan tot motorvernieuwing, zou dit circa 800 schepen betreffen (verdeeld over komende 4 tot 5 jaar). Dit zou het aantal schepen met een Stage V certificering in 2030 doen toenemen van zo'n 1000 naar 1800 stuks.

- Schaalvergroting

In de afgelopen decennia is het gemiddelde laadvermogen van binnenvaartschepen toegenomen (Panteia, 2019). Dit leidt tot een daling van het brandstofverbruik per vervoerde ton goederen omdat grotere schepen efficiënter zijn per tonkilometer dan kleine schepen. Een belangrijke vraag is dus of deze trend van schaalvergroting nog verder doorzet of niet.

Eerste inschatting: Er staat nu een trend in het POTAMIS (1.2b) model op basis van het onderzoek van Groen en Van Meijeren, 2010. De schaalvergroting zet door, maar het tempo is onzeker. De maximale scheepsgrootte is begrensd (niet op de Rijn, wel op kanalen). Een deel van de vloot zal nu al begrensd zijn door de grootte van de vaarwegen en een ander deel kan nog groeien maar wellicht in een lager tempo. Nu op de Rijn: schepen van 100-130 meter en alles wat er onder zit zal nog minder worden. Nieuwe kleine schepen worden in zeer beperkte mate gebouwd. Diepgang van meer dan 4,5 meter gaat er niet komen omdat laagwaterperioden in de zomer de bruikbaarheid van de grote schepen steeds vaker en langer zullen belemmeren.

Tabel 14 Schaalvergroting in de binnenvaart volgens BIVAS<sup>43</sup>-data

Gegevens uit BIVAS	BIVAS 2016	BIVAS 2008	EMS 2002
Gemiddelde tonnage binnenvaartschip (ton)	2529	1967	1593
Absoluut verschil met vorige versie (ton)	562	374	
Vershil per jaar met vorige versie (ton)	70	62	-
Relatief toename tonnage per jaar%	3.6%	3.9%	-

\* Tonnage is gewogen met vaarafstand

Uit Tabel 14 blijkt dat de snelle schaalvergroting in de binnenvaart zich doorzet in absolute zin, maar relatief gezien wel iets lijkt af te vlakken.

In POTAMIS 1.2b worden 2 modellen voor schaalvergroting aangeboden. Geadviseerd wordt om de lineaire variant te kiezen. Deze variant gaat uit van een lineaire stijging of daling van het aandeel van een scheepstype in het aantal gevaren kilometers op grond van historische waarneming zoals opgeslagen in het BIVAS-model.

<sup>43</sup> Binnenvaart Analyse Systeem (BIVAS). BIVAS is een model om de binnenvaart belasting op het vaarwegennet vast te stellen; ontwikkeld in opdracht van Rijkswaterstaat.

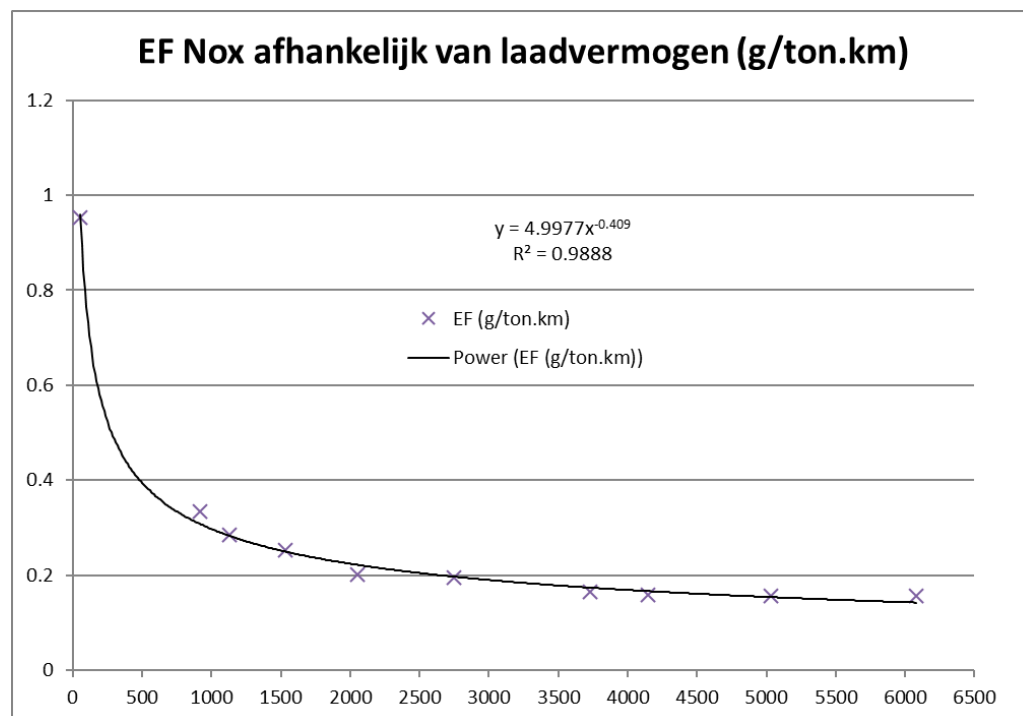
Tabel 15 Verandering van het aandeel per scheepstype aan het transport in kilometers per jaar (Dif%/jr)

Scheepscategorie	Scheepstype	BIVAS 2008	BIVAS 2016	Dif%	Dif%/jr	Opmerking
Duwstellen	BI	0,8%	0,6%	-0,2%	-0,02%	
	BII-1	1,7%	2,1%	0,3%	0,04%	
	BII-2B	0,4%	0,4%	0,0%	0,00%	
	BII-2L	0,3%	0,5%	0,1%	0,02%	
	BII-4	1,3%	0,6%	-0,7%	0,05%	Gelijkgesteld aan C4
	BII-6B	0,3%	0,4%	0,2%	0,02%	
	BII-6L	0,3%	0,5%	0,2%	0,03%	
	BO1	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
	BO2	0,1%	0,1%	0,0%	0,00%	
	BO3	0,1%	0,2%	0,1%	0,01%	
	BO4	0,3%	0,1%	-0,2%	-0,02%	
Koppelverbanden	C1b	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
	C1I	0,3%	0,0%	-0,2%	-0,03%	
	C2b	0,1%	0,1%	0,0%	0,00%	
	C2I	0,5%	0,4%	-0,1%	-0,01%	
	C3b	0,5%	0,5%	0,0%	0,00%	
	C3I	1,9%	2,6%	0,7%	0,08%	
	C4	0,3%	0,7%	0,4%	0,05%	
Motorvrachtschepen	M0	0,6%	0,4%	-0,2%	-0,03%	
	M1	2,4%	0,8%	-1,7%	-0,21%	
	M2	13,8%	7,1%	-6,6%	-0,83%	
	M3	10,3%	7,4%	-2,9%	-0,37%	
	M4	10,1%	6,6%	-3,5%	-0,44%	
	M5	9,1%	6,6%	-2,5%	-0,31%	
	M6	15,3%	15,9%	0,6%	0,00%	Op 0.0% gezet
	M7	5,5%	3,2%	-2,3%	0,00%	Op 0.0% gezet
	M8	18,7%	30,1%	11,3%	1,41%	
	M9	2,0%	5,4%	3,4%	0,42%	
	M10	3,0%	1,7%	-1,3%	1,41%	
	M11	0,0%	2,2%	2,2%	0,27%	
	M12	0,0%	3,0%	3,0%	0,37%	

In POTAMIS wordt in eerste instantie de jaarlijkse hoeveelheid kilometers geïndexeerd op de groei/krimp per scheepstype per jaar waarna er een algemene correctiefactor wordt toegepast om op het totaal geraamd aantal ton.kilometers uit te komen.

Door de grotere vaarefficiëntie van grotere schepen neemt de uitstoot per ton kilometer af met de grootte van het schip. Deze afhankelijkheid is gefit.

De invloed van de schaalvergroting op de NO<sub>x</sub>-emissies betekent laat zich aflezen in Figuur 37.



Figuur 37 NO<sub>x</sub>-emissiefactor in afhankelijkheid van het laadvermogen

Met de gegevens van Tabel 14 is te berekenen wat de gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissiefactor per ton.km zal zijn (zie Tabel 16).

Tabel 16 Berekening daling van emissie van NO<sub>x</sub> als gevolg van schaalvergroting

<b>Gemiddelde tonnage binnenvaartschip</b>	2529	1967	1593
<b>Gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissiefactor per ton.km</b>	0.203	0.225	0.245
<b>Daling NO<sub>x</sub> per ton.km per jaar (%)</b>	1.2%	1.4%	

Uit de berekening blijkt dat de schaalvergroting tot voor kort 1,4% per jaar emissievermindering opleverde per ton.km, en momenteel is gedaald naar ongeveer 1,2% per jaar. Een vergelijkbare daling geldt ook voor de CO<sub>2</sub>-emissie. De bijdrage van de schaalvergroting aan de emissievermindering is daarmee in de afgelopen decennia een zeer belangrijke factor geweest in de verschoning van de vloot.

Inschatting: Naar verwachting zal de schaalvergroting van binnenvaartschepen zich nog wel een decennium voortzetten zij het met een gematigder tempo omdat een groot deel van de kleine schepen (op de grote vaarwegen) reeds is vervangen. De effecten van klimaat verandering zullen mogelijk in toenemende mate een remmend effect gaan hebben omdat klimaatverandering vraagt om schepen met minder diepgang of andere typen schepen (bijvoorbeeld meer duwvaart). Er zijn echter geen studies bekend die hierover een kwantitatief beeld opleveren.

- Walstroom

Eerste inschatting: Walstroom is niet geliefd bij de binnenschippers omdat de capaciteit vaak onvoldoende is. Dieselgeneratoren zijn dan het beschikbare alternatief. Er is slechts een grove inschatting van het verbruik aan stroom aan boord van schepen, dat momenteel overwegend door dieselgeneratoren wordt opgewekt.

Bij cruiseschepen is het minimale vermogen 200 kW. Walstroom voor cruiseschepen begint wel een beetje bestaande praktijk te worden. Dordrecht, Arnhem, Amsterdam, Rotterdam en waarschijnlijk nog wel meer steden hebben walstroom aangelegd. Er wordt niet centraal gemonitord hoeveel stroom er wordt gebruikt. Parkline Aqua is een geprivatiseerd bedrijf dat deze walstroom verkoopt. Er is contact gelegd met Parkline Aqua. Het bedrijf wil wel meewerken aan het verstrekken van de cijfers over aflevering van stroom. Echter vanwege privacy-wetgeving moet de toestemming van alle afzonderlijk gebiedsbeheerders worden verkregen. Binnen het bestek van deze studie is dit niet mogelijk.

## 5.8 Conclusies binnenvaart

De analyse van de binnenvaart leidt tot de volgende conclusies:

- Er wordt vanuit gegaan dat het brandstofverbruik met de overgang van CCRII naar Stage V ca 10% zal dalen. Hierin help ook het zogenaamde right-sizing: het monteren van gemiddeld kleinere motoren, al dan niet in de vorm van elektrisch/hybride aandrijving.
- Voor de NO<sub>x</sub>-emissie met Stage V motoren, wordt uitgegaan van een relatief veilige waarde aan de bovenkant van de bandbreedte. Dit is ca 4 g/kWh. De hoge waarde is het gevolg van de gemiddeld lage belasting van motoren.
- Dieselelektrische of hybride aandrijvingen zouden tot lagere NO<sub>x</sub>-emissies kunnen leiden, omdat lage belasting van de motor vermeden kan worden. Invloed hiervan op brandstofverbruik is zeer onzeker. Ook een eventuele groei in dieselelektrische of hybride aandrijving is onzeker. De afgelopen 2 jaar zijn er ca 11 dieselelektrische schepen bijgekomen.
- De overheid streeft naar ca 150 zero-emissie vaartuigen in 2030. Er zijn nog geen instrumenten om dit af te dwingen en de meerkosten t.o.v. diesel zijn hoog. Daarom is deze optie beperkt en onzeker.
- De CCR-II eis voor de Rotterdamse haven vanaf 2025 zal mogelijk leiden tot ca 800 extra schepen met Stage V motoren.

## 5.9 Aanbevelingen vervolgonderzoek Binnenvaart

Nadere analyse van de onderstaande aspecten wordt aanbevolen om de toekomstige ontwikkelingen in de binnenvaart nog specifieker en nauwkeuriger te kunnen kwantificeren:

- Het is van groot belang dat er emissiemetingen worden gedaan aan Stage V motoren aan boord van schepen, zodra deze beschikbaar zijn. Daarbij zal de invloed van de motorbelasting goed moeten worden meegenomen zodat de omstandigheden goed kunnen worden meegenomen in de emissie-modellering.
- Het is eveneens van belang de ontwikkelingen bij dieselelektrische schepen te volgen, zowel in aantallen als ook in effect op brandstofverbruik en op emissies. Hiervoor zullen metingen nodig zijn in relatie tot het vaarprofiel.

- Om de emissiemodellering in de toekomst te verbeteren moet de invloed van zowel snelheid als diepgang simultaan worden meegenomen. Dit vraagt om een optimaal gebruik van AIS-data en reisdata. Op dit moment staat de heersende interpretatie van de privacyregelgeving bij de bevoegde instanties dit niet toe.
- Onderzoek naar motorvervanging en motorrevisie in de binnenvaart is nodig. Voorwaarde is wel dat het onderzoek voldoende omvang heeft om representatieve cijfers op te kunnen leveren. Niet alleen de leeftijd van de scheepsmotoren is van belang maar ook de inzet in uren per jaar en het vaargebied van de motoren speelt een belangrijke rol.

## 6 Zeevaart

### 6.1 Inleiding

De zeevaart heeft voor een drietal luchtverontreinigende stoffen een groot aandeel in de totale emissies op Nederlands grondgebied. Het betreft hier de uitstoot van zwaveloxiden (SO<sub>x</sub>), Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof (PM10). (CBS et al., 2019). De aandelen van de zeevaart in de totale emissies van deze 3 stoffen bedroegen in 2017 respectievelijk 17, 29 en 9 procent. Hiervan wordt rond de 80 procent op het Nederlands deel van het Continentaal Plat (NCP) geëmitteerd (CBS, 2019).

Door zowel autonome ontwikkelingen als door wetgeving en convenanten zal de uitstoot door de scheepvaart de komende jaren veranderen. Belangrijke trends hierbij zijn: de groei van de sector, de verjonging van de vloot met een trend naar efficiëntere en grotere schepen, de komst van schonere motoren en de introductie van schonere brandstoffen. Voor de KEV2019 ligt de nadruk vooral op het scherper kwantificeren van de NO<sub>x</sub>-emissies die de komende jaren worden verwacht.

### 6.2 Doel

Het doel van dit hoofdstuk betreft het in kaart brengen van de belangrijkste trends en inzichten in de Zeescheepvaart en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen. Deze analyse dient als onderbouwing voor de emissiefactoren van luchtverontreinigende stoffen door de zeevaart zoals gebruikt voor de KEV2019. Voor de zeescheepvaart gaat het hierbij in het bijzonder om het ramen van de uitstoot van Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) in de periode tussen nu en 2030.

In de nu volgende paragrafen worden de verschillende trends en hun drivers kort besproken. Hierbij wordt steeds een onderbouwde projectie gegeven van het te verwachten effect op de NO<sub>x</sub>-emissie.

### 6.3 Update model emissies zeescheepvaart (POSEIDON).

Om het (cumulatieve) effect van de verschillende ontwikkelingen op de uitstoot door de zeescheepvaart te bepalen voor NO<sub>x</sub> (en andere stoffen) wordt gebruik gemaakt van het model POSEIDON (Prognosis Of Shipping Emissions by Improved enDuring Observation of Navigation). Het POSEIDON-model is bedoeld om prognoses te maken van het energieverbruik en de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door de zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat en binnengaats in de verschillende havengebieden van Nederland. Het POSEIDON-model is ontwikkeld door TNO in opdracht van PBL. POSEIDON is qua opzet vergelijkbaar met het binnenvaart-model POTAMIS (1.2B) dat in het vorige hoofdstuk is besproken. Zie voor meer informatie bijvoorbeeld: Hulskotte (2018).

In het kader van de 2019 TNO-ondersteuning aan PBL op het gebied van mobiliteit is ook een update uitgevoerd van het POSEIDON model. Deze update betrof onder andere een bijstelling van de NO<sub>x</sub>-emissiefactoren, aansluitend bij de impact van de verschillende trends, zoals beschreven in de onderstaande paragrafen. Daarnaast zijn de aantallen schepen per klasse bijgesteld. Ook is een bijstelling doorgevoerd



van de motor-emissies gedurende draaien bij lage motorbelasting en stationair lopen.

#### 6.4 Invloed NO<sub>x</sub>-emissienormen op vlootverjonging

Met ingang van 1 januari 2021 geldt er voor de Noordzee en de Oostzee een zogenaamde "Nitrogen Oxide Emission Control Area" (NECA)<sup>44</sup>. In de NECA geldt voor (grote) nieuwe schepen de zogenaamde Tier III uitstootnorm, die voor NO<sub>x</sub> 80% strenger is dan de Tier II-norm (zie bijvoorbeeld Hopman, 2017; Dieselnet, 2019).

De kiellegdatum, namelijk voor of na 1 januari 2021, bepaalt of de Tier III eis van toepassing is. De NECA zou mogelijk kunnen leiden tot uitstel van introductie van nieuwe schepen, of tot het leggen van de kiel *nét* voor de datum van de NECA invoering (zodat het schip nog met een oude motor zou mogen worden uitgerust die niet aan de Tier III norm voldoet). Vooralsnog zijn er echter geen aanwijzingen gevonden dat dit gebeurt.

Daarnaast zou de NECA introductie per 2021 ook kunnen leiden tot het naar Europa sturen van grote oude schepen (die vanwege hun bouwjaar niet aan de Tier III norm hoeven te voldoen). Als dit zou gebeuren zou dit de vlootverjonging tegenwerken. Vooralsnog lijkt dit risico mee te vallen. Uit waarnemingen aan de westkust van de Verenigde Staten en Canada, waar de NECA al eerder is ingevoerd, blijkt namelijk niet dat daar de bovengenoemde vrees uitkomt. De introductie van schone nieuwe schepen die voldoen aan de Tier III norm verloopt daar grofweg volgens verwachting. Tabel 17 biedt hiertoe enige onderbouwing. Hieruit kunnen echter nog geen conclusies over het verloop op langere termijn worden getrokken. Het lijkt op basis van de nu beschikbare beperkte informatie het meest geëigend om er in het KEV-basispad van uit te gaan dat de NECA introductie per 2021 geen (substantieel) effect zal hebben op de vlootverjonging.



---

<sup>44</sup> De IMO heeft de Oostzee en de Noordzee aangewezen als een emissiecontrolegebied voor stikstofoxiden (NECA) voor schepen met kiellegging op of na 1 januari 2021; dit werd besloten tijdens de 71e zitting van het IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC 71).

Tabel 17 Waarnemingen in de Amerikaanse havens van Seattle en Tacoma omtrent schepen voldoende aan de Tier III uitstootnorm.

Northwest Ports Clean Air Strategy: 2017 Implementation Report

Table E-1. Status of 2017 and 2020 Performance Targets for 2017

Sector	2020 Performance Targets*	Results	Status
 Ocean-Going Vessels	OGV 1: Ports track number of vessel calls with Tier 3 marine engines, shore power use, cleaner fuel, or other emission-reducing technologies	4 of 4 Ports track these vessels, and 4% of vessel calls met this standard at the 4 ports	✓ target met
	OGV 2: A: Ports participate in third-party certification programs B: 40% vessel calls participate in Port-designed or third-party certification programs that promote continuous efficiency improvements	A: 3 of 4 Ports participated in Green Marine B: 	A: not yet meeting B: ✓ target met

Bron: Northwest Ports Clean Air Strategy: 2017 Implementation Report (Port of Vancouver, Port of Seattle en Port of Tacoma)

## 6.5 Real-world emissiefactoren

Schepen met een motor die voldoet aan de Tier III uitstootnorm kunnen in de praktijk meer NO<sub>x</sub> uitstoten dan op basis van de norm verwacht zou mogen worden. De daadwerkelijke (real-world) NO<sub>x</sub>-emissie is vooral afhankelijk van twee factoren:

- De handhaving op het goed functioneren van de katalysatorsystemen in de praktijk.
- Het belastingprofiel in de praktijk van de motor, in relatie tot belastingen in de E3 of E2 testcyclus (zie o.a. dieselnets, 2019).

### 6.5.1 Handhaving

Emissiecontrole-systemen (zoals de SCR deNO<sub>x</sub>-katalysator) voor Tier III kunnen eenvoudiger uitgeschakeld worden dan bij wegtransport en NRMM. Dit komt omdat de Tier III NO<sub>x</sub> norm alleen voor de NECA geldt en de katalysator sowieso buiten de NECA-zone uitgeschakeld wordt. Tevens kan de effectiviteit van de NO<sub>x</sub>-katalysator dalen door: (1) vervuiling, (2) technische storingen of (3) levensduuraspecten. Het eerste aspect is een gegeven (kan eventueel op lange termijn verbeterd worden met andere/robuustere technologie), het tweede aspect kan door effectieve handhaving verbeterd worden.

De NO<sub>x</sub> Technical Code (NTC) - het IMO protocol dat voorschrijft hoe NO<sub>x</sub>-emissies moeten worden bepaald<sup>45</sup> - vereist geen continue NO<sub>x</sub> monitoring met een NO<sub>x</sub> meetinstrument. De aan boord verificatiemethode heeft de volgende onderdelen:

- Motorparameter check om te beoordelen of relevante parameters (instellingen, operationele waarden) overeenkomen met die van de Technical File).
- Een vereenvoudigde meetmethode, of
- Een directe monitoring.

Directe monitoring is dus optioneel. De inzet van monitoring is onwaarschijnlijk ten eerste vanwege dat er geen ontwikkeling van systemen heeft plaatsgevonden en omdat daardoor beschikbare systemen relatief duur zijn. De precieze eisen zijn hiermee ook tamelijk vaag en gericht op procedures. De technische file omvat met name de volgende onderdelen:

<sup>45</sup> NO<sub>x</sub> Technical Code Technical code on control of emission of Nitrogen oxides from marine diesel engines (MEPC.132(53)). Zie: [https://puc.overheid.nl/insi/doc/PUC\\_2419\\_14/1/](https://puc.overheid.nl/insi/doc/PUC_2419_14/1/)

- Identificatie van voor NO<sub>x</sub>-emissie belangrijke componenten
- Identificatie van de toegestane instelmogelijkheden en eventueel alternatieve componenten
- Volledige specificatie van de motorprestaties inclusief maximum vermogen en bijbehorend toerental.
- Een procedure van onboard NO<sub>x</sub> verificatie gedurende onboard audits in overeenstemming met Chapter 6 of the NTC.
- Een kopie van de relevante test data van de 'parent-engine', zoals gespecificeerd in deel 2 van appendix V van de NTC.
- Gedetailleerde specificatie van alle onderdelen belangrijk voor het halen van de NO<sub>x</sub>-eisen.

In de praktijk zullen de (real-world) NO<sub>x</sub>-emissies dus sterk afhankelijk zijn van de aard en omvang van handhaving. Er is een belangenvereniging van rederijen die de handhaving op orde willen krijgen. Er is nog echter geen sluitende handavingsplan voor Tier III NO<sub>x</sub>.

In het horizon 2020 project SCIPPER (2019-2022)<sup>46</sup>, dat medio dit jaar van start is gegaan, worden een flink aantal monitoring en handhavingsopties (voor ECA gebieden) onderzocht. Er wordt gekeken naar: monitoring aan boord, meten vanaf de kant en vanaf schepen, en ook het meten met drones en satellieten. Naar verwachting zal de handhaving de komende jaren zich vooral toespitsen op het uitbreiden van het meetstation langs de waterweg met een NO<sub>x</sub> meting, in combinatie met periodieke meetcampagnes met drones of vliegtuigen. In SCIPPER wordt de NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub> ratio gezien als goede parameter om te beoordelen of de NO<sub>x</sub> aan de eisen voldoet.

Samenvattend kan op basis van de nu beschikbare informatie worden geconcludeerd dat de wijze waarop de NO<sub>x</sub>-uitstoot zal worden gehandhaafd nog onvoldoende duidelijk is. Het wordt aanbevolen om de NO<sub>x</sub>-emissie in de praktijk goed te monitoren, bijvoorbeeld door het monitoren van ureum bunker notes en eventueel m.b.v. een vliegtuig of meetschip. Vooralsnog wordt aanbevolen om voor de KEV geen afboeking te doen op het effect van de 2021 NECA ramingen door moedwillig uitschakelen van de SCR katalysator. Wel wordt aanbevolen om rekening te houden met het motor-belastingprofiel en de flexibiliteit van de E3 testcyclus, zoals beschreven in de volgende secties.

#### 6.5.2 *Invloed motor-belastingprofiel*

De belasting van de hoofdmotoren van de zeeschepen is gemodelleerd in de laatste versie van POSEIDON 1.4. met behulp van de gedetailleerde uitvoer van de MARIN<sup>47</sup>-berekeningen (zie referenties MARIN 2010 t/m 2019: emissiejaren 2009 t/m 2018). Op grond van AIS-data van individuele schepen wordt door MARIN jaarlijks een berekening gedaan van emissies en energiegebruik van zeeschepen op het Nederlands continentaal plat en de havengebieden. Met behulp van POSEIDON is voor het eerst een gedetailleerd overzicht van de belasting van de hoofdmotoren in verschillende vaargebieden (regio's) gemaakt (zie Tabel 18).

---

<sup>46</sup> <https://www.scipper-project.eu>

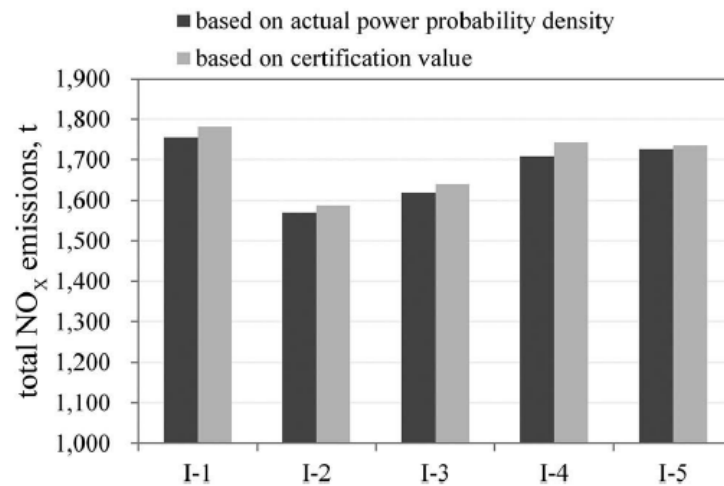
<sup>47</sup> Maritime Research Institute Netherlands: [www.marin.nl](http://www.marin.nl)

Tabel 18 Verdeling van energiegebruik naar motorbelasting door hoofdmotoren per regio in 2017

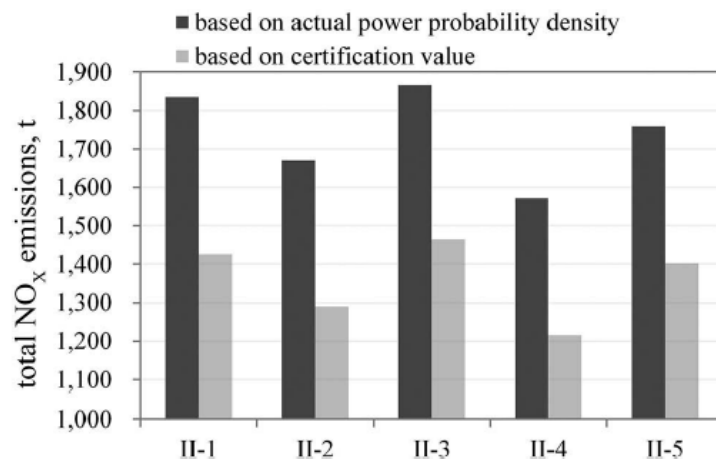
% MCR	NCP buiten 12-mijls-zone	NCP 12-mijls-zone	Wester-schelde	Eems	Rotterdam	Amsterdam	Den Helder	Harlingen	Totaal
15	0%	0%	0%	0%	19%	17%	2%	1%	1%
20	1%	0%	2%	1%	23%	63%	80%	3%	2%
25	1%	14%	23%	5%	36%	11%	15%	2%	7%
30	25%	24%	23%	13%	2%	8%	2%	2%	23%
35	5%	9%	5%	12%	3%	1%	0%	21%	6%
40	6%	11%	19%	8%	6%	0%	0%	58%	8%
45	4%	11%	10%	14%	7%	0%	0%	7%	6%
50	29%	15%	4%	9%	2%	0%	0%	7%	23%
55	15%	7%	8%	15%	1%	0%	0%	1%	12%
60	12%	6%	6%	18%	0%	0%	0%	0%	10%
65	1%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	1%
70	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
75	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
80	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
85	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
90	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
95	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
100	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%

Uit de berekeningen blijkt dat substantiële aandelen van varen met zeer lage motorbelasting (15% en lager) nagenoeg alleen voorkomt in de havengebieden van Rotterdam en Amsterdam. In deze havengebieden bestaat er dus een grotere kans op een lagere NO<sub>x</sub>-reductie dan op basis van de introductie van Tier III verwacht zou worden (omdat de NO<sub>x</sub>-katalysator in het uitlaatsysteem bij lage motorbelasting onvoldoende heet wordt en daardoor minder goed werkt). Verder blijkt dat op zee de belasting van de hoofdmotoren pieken kent bij 50% en bij 30% motorbelasting. Op de Westerschelde en in de havengebieden is de belasting van de motoren veelal lager.

In de literatuur is geen informatie gevonden over de effectiviteit van de Tier III normen. Wel is er een studie gevonden (Chih-Wen Cheng et. al., 2018) over de verwachte NO<sub>x</sub>-emissie in de praktijk ten opzichte van de norm voor schepen gecertificeerd volgens respectievelijk de Tier I norm (Figuur 38) en de Tier II norm (Figuur 39). Hoewel het een bureaustudie betreft heeft TNO hier vertrouwen in, omdat de aanpak volledig is gebaseerd op onderliggende meetresultaten van deellastmetingen bij de certificering. Uit het waargenomen belastingprofiel van de motoren is afgeleid dat de praktijk-emissies van Tier II genormeerde schepen wellicht veel hoger zijn dan op grond van de norm verwacht mag worden. Voor Tier I genormeerde schepen werd dit effect niet gevonden.



Figuur 38 Vergelijking van de totale NO<sub>x</sub>-emissie van Tier-1 gecertificeerde schepen.  
Bron: Chih-Wen Cheng et. al (2018)



Figuur 39 Vergelijking van de totale NO<sub>x</sub>-emissie van Tier-II gecertificeerde schepen.  
Bron: Chih-Wen Cheng et al. (2018)

De uit het vermogensprofiel afgeleide emissies van Tier II genormeerde schepen blijken zo'n 30% hoger te zijn dan op grond van de norm verwacht zou worden. De studie van Chih-Wen Cheng et. al (2018) lijkt hiermee te laten zien dat Tier II genormeerde schepen in de praktijk mogelijk zelfs iets meer uitstoten dan Tier I genormeerde schepen. TNO heeft daarom de correctie-emissiefactoren (CEF-factoren) in POSEIDON 1.4 gespecificeerd naar Tier.

In paragraaf 6.5.3 is een afleiding opgenomen van de naar Tier gespecificeerde correctiefactoren voor NO<sub>x</sub>. Hierbij wordt nagegaan op welke manier de flexibiliteit binnen de testcyclus benut kan worden om in de praktijk een zo laag mogelijk brandstofverbruik en ureumverbruik te realiseren. Bij wegtransport hebben we altijd gezien dat dergelijke flexibiliteit benut wordt, om tot een zo gunstig mogelijk resultaat voor de eindgebruiker te komen. Dit leidt dan tot een lager ureumverbruik en een hogere NO<sub>x</sub> in de praktijk.

POSEIDON 1.4 berekeningen zijn uitgevoerd met CEF-correctiefactoren en emissiefactoren voor Tier I, II en III, zoals gegeven in tabellen 22 en 23. Op geaggregeerd niveau leidt dit tot Tabel 19, waarin een voorlopig beeld wordt gegeven van de emissiefactoren per gebied naar Tier en soort motor (MS= medium speed en SP= slow speed).

Tabel 19 Gewogen correctiefactoren (./.) voor NO<sub>x</sub> en resulterende effectieve emissiefactoren per gebied (g/kWh)

Technologie		NCP buiten 12mijls-zone	NCP 12mijlszone	Rotterdam	Amsterdam
		Gebieds-gewogen correctiefactoren (CEF)			
Tier I		1,01	1,02	1,08	1,10
Tier II		1,29	1,30	1,36	1,38
Tier III		1,44	1,44	1,81	1,90
Basis emissiefactoren (g/kWh)		Effectieve emissiefactoren (g/kWh)			
Tier I - MS	9,8	9,9	10,0	10,6	10,8
Tier II -MS	7,7	10,0	10,0	10,4	10,6
Tier III -MS	2	2,9	2,9	3,6	3,8
Tier I - SP	17	17,2	17,4	18,4	18,7
Tier II -SP	14	18,1	18,2	19,0	19,3
Tier III - SP	3,4	4,9	4,9	6,1	6,5

MS = medium speed en high speed; SP = slow speed

Uit Tabel 19 blijkt dat de conclusie van Chih-Wen Cheng et al. (2018) ten aanzien van de emissiefactoren Tier II waarschijnlijk ook van toepassing is op de schepen die varen op het NCP en op schepen die varen in de Nederlandse havengebieden. De introductie van Tier II lijkt in de praktijk geen emissiereductie op te leveren t.o.v. Tier I (zie gemarkeerde cijfers). Dit is vooral gebaseerd op de publicatie van Chih-Wen Cheng et al. (2018), maar ook bij wegtransport zien we hetzelfde verschijnsel bij een NO<sub>x</sub> aanscherping: namelijk dat de NO<sub>x</sub>-emissie alleen wordt verlaagd voor de belastingpunten die belangrijk zijn voor het resultaat van de *testcyclus*.

De verwachting is dat Tier III in de praktijk 1,5 tot 2 keer hogere emissies gaat opleveren ten opzichte van de limietwaarde van de officiële testcyclus (zie paragraaf 6.5.3). Hierbij is nog geen rekening gehouden met het mogelijk uitschakelen van de SCR-installatie door geen of te weinig ureum, of ammoniak, toe te voeren naar de katalysator voor omzetting van NO<sub>x</sub>. Handhaving zal daarom cruciaal zijn voor het succes van de introductie van deze nieuwe technologie (zie paragraaf 6.5.1).

Opmerking: De invloed van het motor-belastingprofiel zit nu dus ook in POSEIDON 1.4, zodat hiermee tot uiting komt dat Tier II schepen nu zelfs iets slechter presteren dan Tier I schepen. In het POSEIDON 1.4 model zijn daarnaast iets lagere basis-emissiefactoren gebruikt omdat rekening is gehouden met gemiddelde

waarden uit de EIAPP-certificaten<sup>48</sup> van de schepen. De reductie op de basisemissiefactoren zijn voor Tier I (87%), voor Tier II (93%) en Tier III (95%). Daarnaast wordt in het model ook nog rekening gehouden met de maximale toerentallen van de motoren op de schepen zoals in de normstelling het geval is.

In paragraaf 6.5.3 wordt de Afleiding van de naar Tier gespecificeerde correctiefactoren beschreven. Op basis van de huidige kennis heeft TNO ingeschat dat de praktijkemissies boven de NO<sub>x</sub>-limietwaarde zullen liggen. De schattingen bedragen respectievelijk 30% en 45% voor Tier II en Tier III (zie Tabel 19 in paragraaf 6.5.2). Dit wordt gebaseerd op de veel lagere gemiddelde motorbelasting in de praktijk ten opzichte van de motorbelasting tijdens de testcyclus.

### 6.5.3 Afleiding van de naar Tier gespecificeerde correctiefactoren

De hogere praktijkemissies voor NO<sub>x</sub> zijn eenvoudig te verklaren door de hoge gemiddelde belasting van de E3 testcyclus<sup>49</sup> (ca 68%), en de vrijheid die de leverancier heeft om de lagere NO<sub>x</sub> te realiseren. De NO<sub>x</sub> reductie wordt vooral bij hoog vermogen gerealiseerd<sup>50</sup>, waardoor de NO<sub>x</sub> bij de lagere vermogenspunten hoger mag zijn en toch aan de norm wordt voldaan. Voor de Tier III cyclus is er een additionele NTE (Not To Exceed) kenmerk eis van 50% boven de limiet waarde. Daardoor kan de werkelijke NO<sub>x</sub> ook ca 40%-50% boven de limietwaarde liggen. Op die manier kan bespaard worden op additief (ureum) verbruik. Daarnaast moet er rekening mee worden gehouden dat beneden ca 20% motorvermogen de SCR katalysator niet werkzaam is en je terugvalt naar ca Tier I niveau. Vooral bij binnenkomst in havens is dit een waarschijnlijk scenario (afhankelijk van de aandrijflijn configuratie).

Er zijn nog enkele andere factoren waardoor de werkelijke NO<sub>x</sub>-uitstoot hoger kan zijn dan de Tier III limietwaarde:

- De typekeuring is op basis van gedestilleerde brandstof. Met ontwaveld HFO kan de NO<sub>x</sub>-uitstoot hoger liggen (naar verwachting maximaal 10%, zie MARPOL NO<sub>x</sub> technical code 'simplified measurement method').
- Voor de typekeuring wordt een NO<sub>x</sub> correctiefactor toegepast voor luchtvochtigheid. In Noord-Europa corrigeert deze factor de NO<sub>x</sub> vaak standaard naar beneden tot zo'n 10%. Deze correctie is relevant voor de typekeuringstest, maar wordt onterecht toegepast voor de Europese praktijk, waar dergelijke temperatuur en luchtvochtigheid ongebruikelijk zijn. De werkelijke uitstoot in Europa kan derhalve al tot ca. 10% hoger liggen. Het is niet duidelijk of deze NO<sub>x</sub> correctiefactor wordt toegepast voor Tier III NO<sub>x</sub>.
- Veroudering van de katalysator. De NO<sub>x</sub> omzetting van de katalysator zou wat kunnen afnemen. Het is niet bekend of en hoe een eventuele levensduureis geïmplementeerd is in de regelgeving.

Aan de hand van Excel berekeningen is door TNO nagegaan op welke manier de leverancier de door de E3 testcyclus geboden flexibiliteit zou kunnen uitnutten om in de praktijk een lager verbruik te kunnen realiseren van ureum (ureum is het

<sup>48</sup> EIAPP Certificate = *Engine International air pollution prevention* Certificate. It is a certificate issued for a marine diesel engines as required by Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines made mandatory by Annex VI of MARPOL.

<sup>49</sup> Zie o.a.: [www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex\\_VI/app2.htm](http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_VI/app2.htm)

<sup>50</sup> Door de manier van wegen: de som van de g/h maal weegfactor voor de testpunten gedeeld door de som van vermogen maal weegfactor, in combinatie met de weegfactoren zelf, ontstaat een weging waarin 75% en 100% vermogen relatief veel bijdragen.

reagens dat nodig is om NO<sub>x</sub> in de katalysator te kunnen omzetten; een lager ureumverbruik bespaart kosten maar leidt tot hogere NO<sub>x</sub> emissies). In Tabel 20 en Tabel 21 zijn de E3 cyclus NO<sub>x</sub> berekeningen gedaan met twee 'kenvelden', d.w.z. twee NO<sub>x</sub> verdelingen over de vier meetpunten (5<sup>e</sup> kolom van de tabel). Dit is gedaan aan de hand van de volgende uitgangspunten:

- Limiet waarde is 2 g/kWh (relatief hoge toeren motor)
- NTE factor is 1.5 (max 50% boven limietwaarde)
- Doel waarde is 1.9 g/kWh voor cyclusgemiddelde
- Veiligheidsmarge 0.1 g/kWh op elk punt.

De eerste tabel (Tabel 20) heeft een vlak kenveld: voor alle punten is de NO<sub>x</sub>-emissie 1,9 g/kWh. In kolom 8 is te zien, dat het eindresultaat voor 84% bepaald wordt door de eerste twee punten. Dit zijn de 100% en 75% vermogen-punten.

Tabel 20 E3 cyclus berekening bij vlak NO<sub>x</sub> kenveld in g/kWh: NO<sub>x</sub> is 1,9 g/kWh.

Mode i	WF <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> (kW)	Som (P x WF) <sub>i</sub> *	(NO <sub>x</sub> g/kWh) <sub>i</sub>	(NO <sub>x</sub> g/h) <sub>i</sub>	Som (NO <sub>x</sub> x WF) <sub>i</sub>	bijdrage aan eindresultaat	weighted average NO <sub>x</sub>
1	0,2	100	20	1,9	190	38	29%	
2	0,5	75	37,5	1,9	142,5	71,25	55%	
3	0,15	50	7,5	1,9	95	14,25	11%	
4	0,15	25	3,75	1,9	47,5	7,125	5%	
			Som (P x WF)			Som (NO <sub>x</sub> x WF)		g/kWh
<b>som</b>	<b>1</b>		<b>68,75</b>			<b>130,625</b>	<b>100%</b>	<b>1,90</b>

\* Noot: Som (P x WF) staat voor de som van het Vermogen vermenigvuldigd met de Weegfactor, per mode i

\*\* Noot: Som (NO<sub>x</sub> x WF)<sub>i</sub> staat voor de som van de NO<sub>x</sub>-emissie vermenigvuldigd met de Weegfactor, per mode i.

In de tweede tabel (Tabel 21), zijn de NO<sub>x</sub>-waarden bij punt 3 en 4 (25% en 50% vermogen), zo hoog mogelijk gekozen, namelijk 1,5 x limietwaarde min de veiligheidsmarge van 0,1 g/kWh. Dit is 2,9 g/kWh. In de tabel is te zien dat voor de punten 1 en 2 de NO<sub>x</sub>-waarde 1,70 g/kWh moet zijn om wederom uit te komen op een cyclusgemiddelde van 1,9 g/kWh. Met andere woorden: als de NO<sub>x</sub> van de hoog vermogen punten met 0,2 g/kWh verlaagd wordt, dan kan de NO<sub>x</sub> van de 25% en 50% vermogen-punten een vol punt (1.0 g/kWh) hoger gekozen worden. Dit valt nog binnen de NTE factor van 1,5.

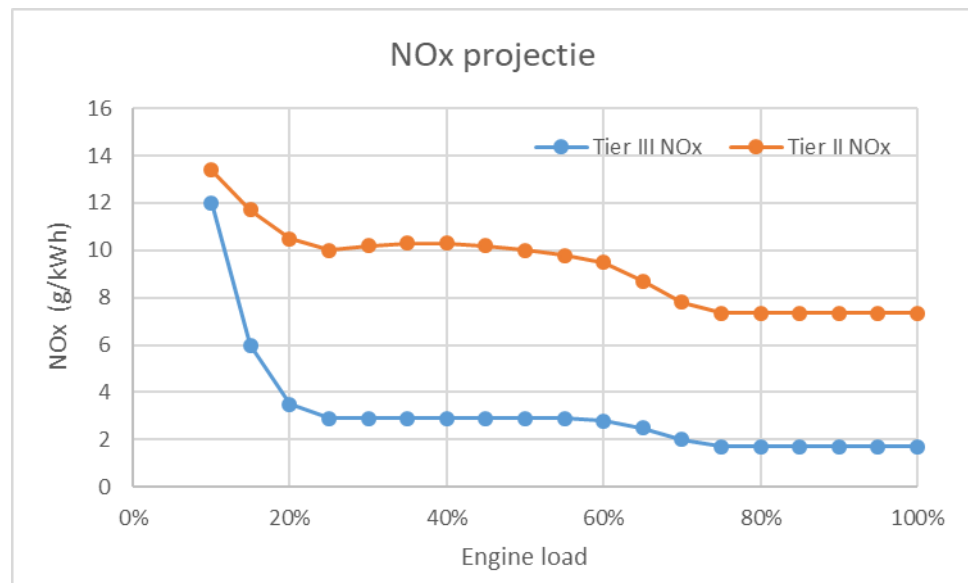
Tabel 21 E3 cyclus berekening bij benutting flexibiliteit E3 cyclus: NO<sub>x</sub> is 2,9 g/kWh bij lage lastpunten en 1,7 g/kWh bij hoge lastpunten.

Mode i	WF <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> (kW)	Som (P x WF) <sub>i</sub>	(NO <sub>x</sub> g/kWh) <sub>i</sub>	(NO <sub>x</sub> g/h) <sub>i</sub>	Som (NO <sub>x</sub> x WF) <sub>i</sub>	Bijdrage aan eindresultaat	Weighted average no <sub>x</sub>
1	0,2	100	20	1,7	170	34	26%	
2	0,5	75	37,5	1,7	127,5	63,75	49%	
3	0,15	50	7,5	2,9	145	21,75	17%	
4	0,15	25	3,75	2,9	72,5	10,875	8%	
			Som (P x WF)			Som (NO <sub>x</sub> x WF)		g/kWh
<b>Som</b>	<b>1</b>		<b>68,75</b>			<b>130,375</b>	<b>100%</b>	<b>1,90</b>

Gebaseerd op deze tabel is een NO<sub>x</sub>-projectie gemaakt over de motorbelasting-curve. Dit is zowel gedaan voor Tier III (blauwe lijn) als ook voor Tier II (oranje lijn). Bij de Tier III lijn is rekening gehouden met de additionele eisen: de NTE factor van 1.5, als ook de eis van 'no irregular control' (het NO<sub>x</sub> verloop tussen de E3 punten



is gelijkmatig). Bij Tier II NO<sub>x</sub> speelt feitelijk hetzelfde. De deellast punten (t/m 50%) tellen maar heel beperkt mee in het eindresultaat. Als getuned wordt op een E3 cyclus gemiddelde van 7,8 g/kWh (uitgaande van een relatief snellopende motor), dan kan dat bereikt worden met 7,35 g/kWh bij 75% en 100% motorlast in combinatie met 10,0 g/kWh bij 25% en 50% vermogen. Dat zal over het algemeen tot het laagste brandstofverbruik leiden, omdat in de praktijk het gemiddeld vermogen onder de 75% vermogen ligt (vaartijd bij 75% vermogen of hoger is beperkt, zie ook de tabel hiervoor) en de zogenaamde NO<sub>x</sub>-BSFC (brandstofverbruik) trade-off. Dit houdt in dat motoren over het algemeen wat zuiniger zijn als een hogere NO<sub>x</sub>-emissie is toegestaan. Per belastingpunt kan die keuze gemaakt worden, door bijvoorbeeld de injectie-timing van de brandstof te variëren over het belastinggebied.



Figuur 40 NO<sub>x</sub>-projectie als functie van motor vermogen (engine load) gebruikmakend van de flexibiliteit van de E3 cyclus. Cyclusgemiddelde is respectievelijk 7,8 en 1,9 g/kWh voor Tier II en Tier III.

De NO<sub>x</sub>-emissies als functie van de power-bin zijn eveneens opgenomen in de onderstaande tabel. Deze waarden zijn t.o.v. de limietwaarde. Er dient dus geen andere correctiefactor t.o.v. de limietwaarde meer worden toegepast.

Tabel 22 NO<sub>x</sub>-emissiefactoren (medium speed motoren) per vermogensbin

Vermogensbin	Tier III NO <sub>x</sub>	Tier II NO <sub>x</sub>
10%	12	13,4
15%	6	11,7
20%	3,5	10,5
25%	2,9	10
30%	2,9	10,2
35%	2,9	10,3
40%	2,9	10,3
45%	2,9	10,2
50%	2,9	10
55%	2,9	9,8
60%	2,8	9,5
65%	2,5	8,7
70%	2	7,8
75%	1,7	7,35
80%	1,7	7,35
85%	1,7	7,35
90%	1,7	7,35
95%	1,7	7,35
100%	1,7	7,35

Eventuele aanpassingen in correctiefactoren (CEF-waarden) voor Tier III voor de luchtverontreinigende stoffen NMHC, VOC en PM als gevolg van nabehandeling kunnen desgewenst onderzocht worden aan de hand van literatuur. In het POSEIDON 1.4-model worden de waarden in onderstaande tabel gebruikt voor zowel slow-speed als voor medium-speed motoren.

Tabel 23 Correctiefactoren voor NO<sub>x</sub> gespecificeerd naar technologie

Vermogensbin	Tier I en lager	Tier II	Tier III
10%	1,34	1,74	6
15%	1,17	1,52	3
20%	1,1	1,36	1,75
25%	1,06	1,3	1,45
30%	1,04	1,32	1,45
35%	1,03	1,34	1,45
40%	1,02	1,34	1,45
45%	1,01	1,32	1,45
50%	1	1,3	1,45
55%	1	1,27	1,45
60%	0,99	1,23	1,4
65%	0,99	1,13	1,25
70%	0,98	1,01	1
75%	0,98	0,95	0,85
80%	0,97	0,95	0,85
85%	0,97	0,95	0,85
90%	0,97	0,95	0,85
95%	0,97	0,95	0,85
100%	0,97	0,95	0,85

Samenvattend wordt geconcludeerd dat de NO<sub>x</sub>-emissies voor Tier II en III gecertificeerde schepen in de praktijk waarschijnlijk respectievelijk ca 30% en 45% boven de NO<sub>x</sub> limietwaarde van de officiële test cyclus zullen liggen. In havens zal dat nog wat hoger zijn (zie Tabel 19 in paragraaf 6.5.2). Dit wordt veroorzaakt door de veel lagere gemiddelde motorbelasting in de praktijk ten opzichte van de motorbelasting tijdens de testcyclus.

#### 6.5.4 *Impact EEDI*

De efficiëntie van nieuwe schepen wordt sinds 2013 gestimuleerd door de 'Energy Efficiency Design Index' (EEDI). Hierin is vastgelegd dat de energie-efficiëntie van een schip lager moet zijn dan een toegestane limiet (die stapsgewijs wordt aangescherpt). In deze paragraaf volgt een korte analyse (eerste inschatting) over de efficiëntieverbetering die de EEDI in de praktijk oplevert, en hoe deze inzichten zijn verwerkt in het scheepvaartmodel POSEIDON 1.4.

De EEDI is een theoretische ontwerpeis aan de schepen. Als gevolg van de EEDI worden schepen ontworpen voor iets lagere snelheden en ook het opgestelde motorvermogen wordt wat lager. Het brandstofverbruik per ton\*kilometer neemt toe met de vaarsnelheid. Sommige partijen beweren dat de veiligheid in gevaar zou kunnen komen (bijvoorbeeld verminderde wendbaarheid). Momenteel is in POSEIDON 1.4 verondersteld dat de EEDI in de praktijk 100% van de efficiëntieverbetering oplevert die je theoretisch zou verwachten (op basis van de door de EEDI aangepaste scheepsontwerp-karakteristieken). Geadviseerd wordt om de uitkomst van het model te middelen tussen de waarde met en zonder EEDI.

Dit advies is gebaseerd op een studie gedaan door CMTI (Anink en Krikke, 2011) waarin onder andere het reductie-potentieel van de Nederlandse vloot is ingeschat (zie Tabel 24). De nominale reducties van het brandstofverbruik voor de EEDI zijn als volgt: fase 1: 10% reductie, fase 2 20% reductie en fase 3 30% reductie. De oorzaak van de lagere reductie moet met name worden gezocht in de hoge waarde van het referentieniveau. Veel schepen zaten al onder het referentieniveau, waardoor geschat is dat het effect uitkomt op ca de helft van de EEDI reductie.

Tabel 24 Inschatting van EEDI brandstofverbruik reductiepotentieel op grond van de huidige vloot (Bron: Anink en Krikke, 2011).

	attained	phase 0	phase 1	phase 2	phase 3
General cargo	933,98	10,22	38,31	44,03	74,78
Gas tankers	279,22	0,00	22,20	23,43	24,66
Ref car	883,76	23,97	64,83	94,34	218,28
Tanker	31,77	0,00	0,64	1,42	2,20
Bulkers	12,45	0,09	0,45	0,82	1,57
Container	35,35	0,00	0,00	0,00	0,00
	2176,53	34,28	126,44	164,04	321,50
		1,6%	5,8%	7,5%	14,8%

In Lindstad (2015) is eveneens een inschatting gedaan van het effect van de EEDI voor 2030. Volgens deze projectie leidt de EEDI tot een reductie van het brandstofverbruik op vlootniveau van 5% tot 8%. Hierin is dus rekening gehouden met het feit dat de EEDI alleen voor een deel van de vloot zal zijn ingevoerd per 2030. Na 2030 zal het reductiepercentage daarom nog verder oplopen.

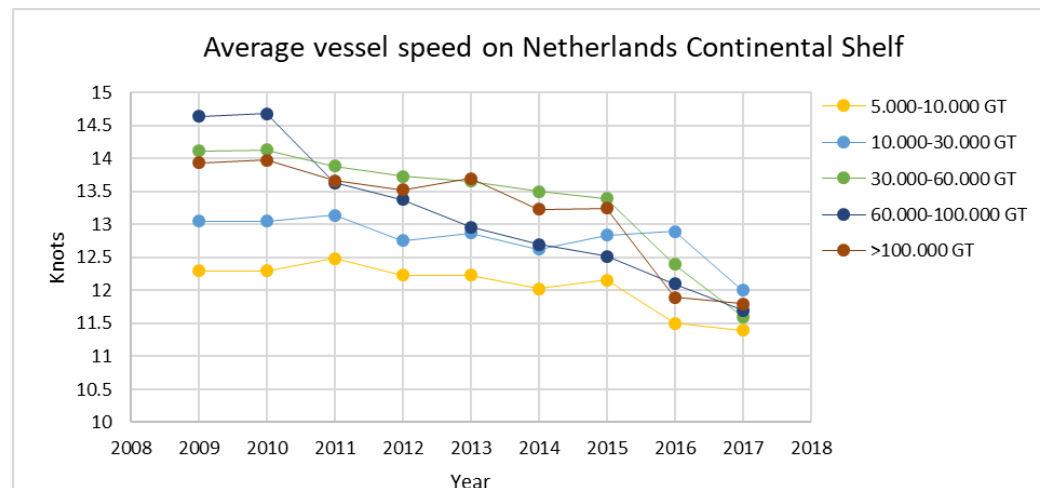
Samenvattend kan op basis van de nu beschikbare informatie worden geconcludeerd dat het te verwachten effect van de EEDI op de reductie van het brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissie maximaal circa 50% is van de nominale reductie-targets.

## 6.6 Trends in Vaarsnelheden

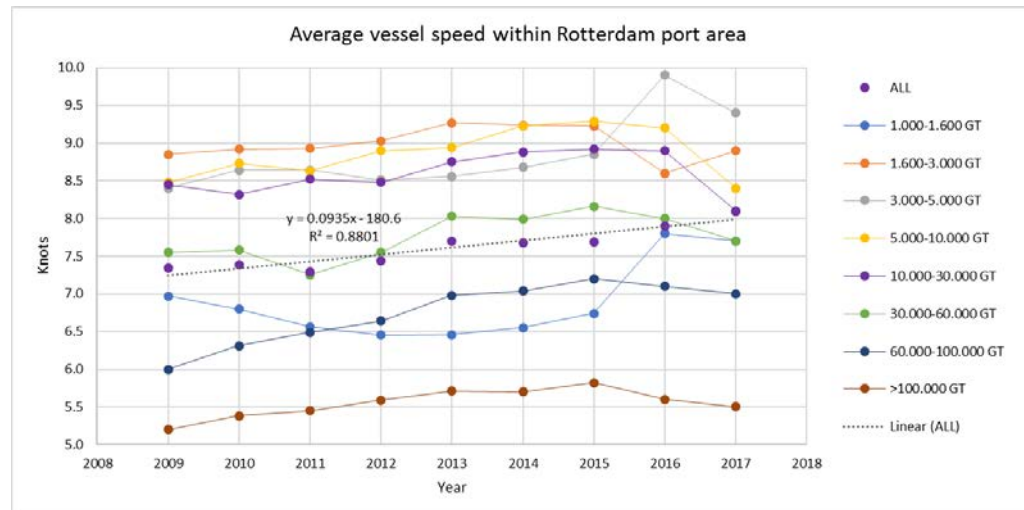
De ontwikkeling van de vaarsnelheden over de afgelopen jaren verschilt per gebied. In Figuur 41 is te zien dat de vaarsnelheden op het Nederlands Continentaal Plat vanaf 2010 een gestage daling vertonen die anno 2017 nog niet gestopt is. Deze cijfers zijn gebaseerd op de data (uitvoer) van de jaarlijkse berekeningen van MARIN voor de Emissieregistratie (MARIN, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019).

In Figuur 42 is te zien dat de vaarsnelheden in het Rotterdamse havengebied van 2009 t/m 2015 een stijgende trend hebben vertoond terwijl in 2016 en 2017 een daling is ingezet. Overigens kan in POSEIDON 1.4 verandering in vaarsnelheid per gebied worden ingevoerd.

NB: De in paragraaf 6.5.4 besproken EEDI bewerkstelligt deze lagere vaarsnelheid ook. De effecten van de EEDI en de trends in vaarsnelheden kunnen daarom niet bij elkaar opgeteld worden!



Figuur 41 Trend of vessel speed on the Netherlands Continental Shelf



Figuur 42 Trend of vessel speed within the Rotterdam harbor area

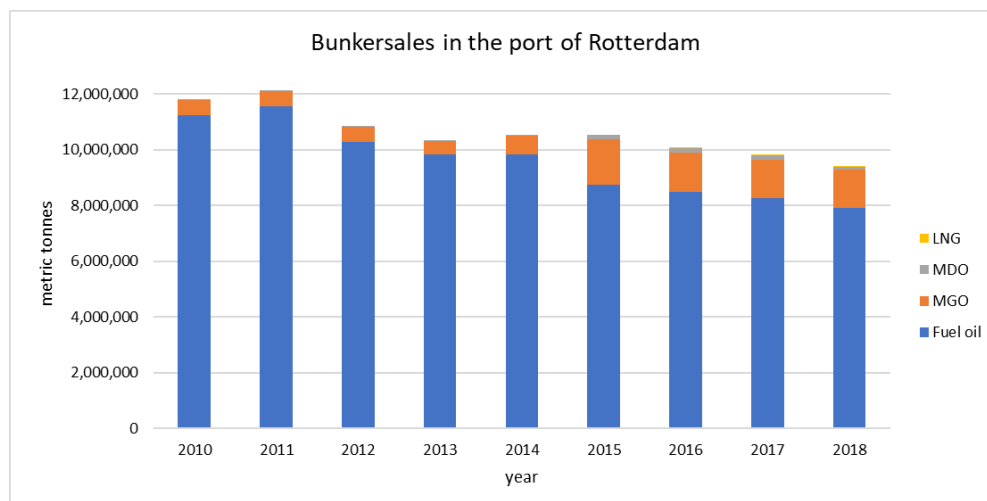
De dalende snelheden op het NCP worden deels afgedekt door de EEDI en deels door brandstofkostenbesparingen in de nasleep van de grote recessie van 2009. Voor de ramingsperiode gaan we ervan uit dat de vaarsnelheden zullen blijven dalen en dat dit voornamelijk het gevolg van de EEDI zal zijn. In de middenraming van de KEV 2019 is niet gerekend met gebied specifieke snelheidstrends naast de EEDI om dubbeltelling te voorkomen.

## 6.7 Impact SECA

Op het gebied van vermindering van uitstoot van zwaveloxiden ( $SO_x$ ) zijn de afgelopen jaren in IMO-kader belangrijke stappen gezet. Het gaat hierbij om normering van het zwavelgehalte in de brandstof. In Europese havens aan de kade geldt vanaf 1 januari 2010 een zwavelnorm van maximaal 0,1%. In de Noord- en Oostzee en langs de Noord-Amerikaanse kusten zijn zogenaamde Sulfur Emission Control Areas (SECA's) ingesteld. In deze SECA's geldt sinds 1 januari 2015 een zwavelnorm van 0,10%. De mondiale zwavelnorm wordt buiten de SECA's aangescherpt van 3,50% naar 0,50% per 1 januari 2020 (zie bijvoorbeeld Hopman, 2017).

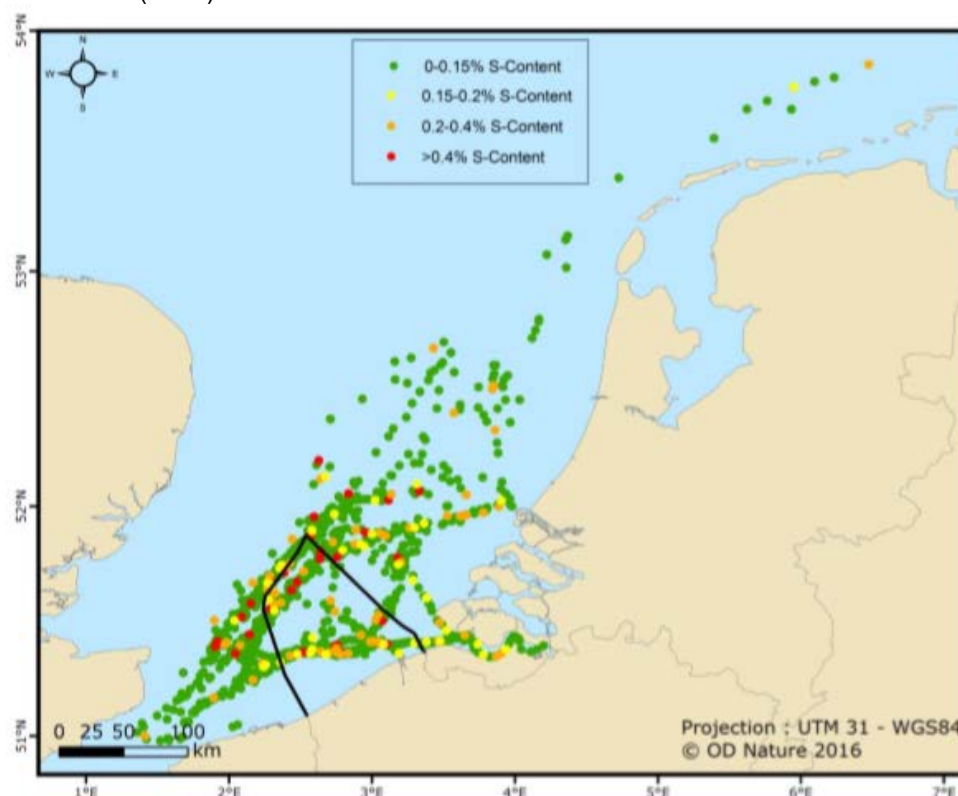
De vraag rijst nu wat deze strengere zwavelnormen betekenen voor de afzet van scheepsbrandstoffen: wordt er inderdaad zoveel laagzwavelige stookolie en gasolie verkocht als op basis van de normen verwacht mag worden?

Op basis van uitgevoerde  $SO_x$ -metingen (van Roy en Scheldeman, 2016) lijkt de eerste inschatting dat men zich grotendeels aan de norm houdt. Zie ook Figuur 44. Buiten de SECA's zie je dat schepen direct meer  $SO_x$ -uitstoten. Slechts een klein percentage (orde 8%) van de schepen houdt zich niet aan de norm. Omdat de SECA erg klein is vergt de passage van dit gebied maar weinig brandstof. Op de verkopen van laagzwavelige brandstof heeft de SECA daarom nauwelijks invloed.



Figuur 43 Trend van bunkerverkopen in Rotterdam (source: Port of Rotterdam)

Uit Figuur 43 blijkt dat bunkerverkopen (Fuel Oil) in het Rotterdamse havengebied sinds 2010 dalen. Verder blijkt dat de verkoop van laagzwavelige brandstoffen MDO en MGO is gestegen van 4,5% in 2010 tot 17% in 2018. De grootste stap in de stijging van laagzwavelige brandstoffen vond plaats in het jaar dat de SECA van kracht werd (2015).



Figuur 44 Kaart met resultaten van SECA-compliance metingen van het COMPMON-project (bron: W. van Roy, K. Scheldeman, 2016)

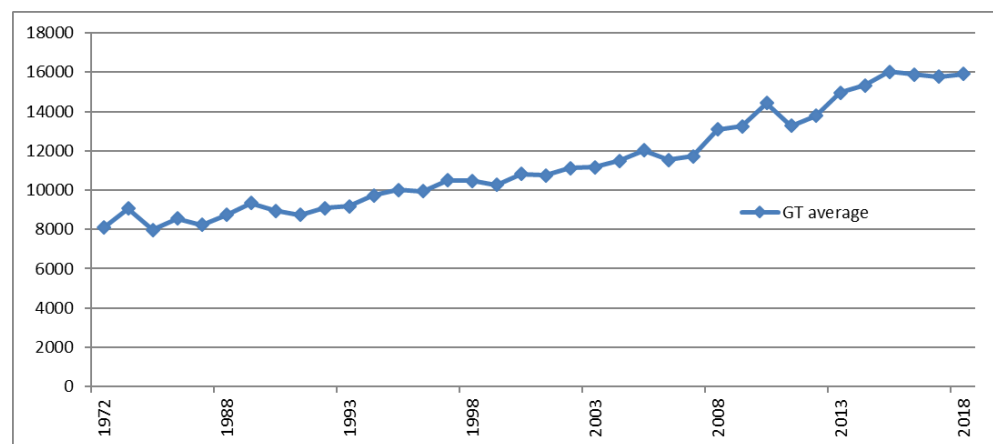
In Figuur 44 worden de resultaten getoond van metingen aan het zwavelgehalte van scheepsbrandstoffen via pluimmetingen middels een vliegtuig in 2016. De

metingen destijds lieten zien dat de SECA goed wordt opgevolgd. Er kan niet worden verwacht dat deze situatie in stand blijft indien deze metingen niet met enige regelmaat herhaald zullen worden. Thans is hier nog geen zicht op.

Op basis van bovengenoemde informatie wordt geconcludeerd dat er nu (vrijwel) geen aanwijzingen zijn dat de zwavelnorm (van 0,10% voor brandstofinzet op de Noordzee) in de praktijk niet nageleefd wordt. Voor het basispad van de KEV wordt aanbevolen om er vanuit te gaan dat de zwavelnorm volledig gerespecteerd wordt.

## 6.8 Trend in schaalvergroting van schepen

De afgelopen decennia kende de zeescheepvaart een trend naar steeds grotere schepen. De trend van continue groei blijkt duidelijk uit Figuur 45, waarin te zien is dat de grootte van de schepen in de Rotterdamse haven verdubbelde in de periode 1972 t/m 2015. Figuur 45 toont ook dat de schaalvergroting de laatste jaren lijkt te stagneren. Dit geldt wellicht niet voor alle scheepstypen. Bij de containerschepen zijn zowel de 20.000 en 21.000 TEU grens overschreden in 2017. Momenteel varen ongeveer 50 van deze schepen op de wereldzeeën. Te verwachten is dat de schaalvergroting bij de containerschepen zal doorzetten. Dit geldt ook voor het scheepvaartverkeer op de Westerschelde vanwege verdieping van de vaargeul. In juli 2019 werd het eerste Megamax-24 containerschip van 23.000 TEU opgeleverd. Deze schepen dragen zowel in lengte als in breedte als in hoogte 24 containers. Er zijn momenteel 32 van deze schepen in aanbouw (Nieuwsblad Transport, 3 juli 2019).



Figuur 45 Trend in gemiddelde scheepsgrootte in Rotterdam (bron data : [www.portofrotterdam.com](http://www.portofrotterdam.com))

Doordat grotere schepen minder energie gebruiken per ton.kilometer heeft deze trend positieve gevolgen voor emissies van zowel CO<sub>2</sub> als ook verontreinigende stoffen zoals NO<sub>x</sub> en PM10. Voor het maken van goed prognoses is het verloop van de schaalvergroting daarom van belang. In principe staat de schaalvergroting los van de invoering van de EEDI. De EEDI is nu alleen van toepassing op grotere vracht vervoerende schepen. Door de schaalvergroting zullen daarom wel meer schepen aan EEDI moeten voldoen. Omdat grotere schepen een grotere vaarsnelheid hebben kan de gemiddelde snelheid per scheepstype toenemen terwijl de gemiddelde snelheid per scheepstype in dezelfde grootteklasse afneemt.

In Lindstad (2015) is berekend dat de trend naar grotere schepen (EOS - Economy of Scale genoemd) een CO<sub>2</sub>-reductie oplevert van ca 5% in de periode 2020 tot 2030.

#### 6.9 Mogelijke scenario's voor introductie van LNG

LNG kan mogelijk als alternatief worden gebruikt om aan Tier-III NO<sub>x</sub>-eisen te voldoen. Momenteel zijn er 11 schepen varende op LNG operationeel bij Nederlandse reders (bron LNG Platform en DNV-GL website 'alternative fuels insight'). Het klimaatakkoord (2019) spreekt zich niet uit over een aandeel LNG of bio-LNG voor 2030. Het Klimaatakkoord noemt alleen de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens en de doelstelling daarbij om in 2030 de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per tonkilometer verminderd te hebben met 40% ten opzichte van 2008 in overeenstemming met de IMO ambitie. In Routeradar (2019) worden wel streefgetallen voor het aantal LNG schepen genoemd voor 2030, namelijk:

- Projectie met ingroeicurve naar 48 schepen in 2030 (TNO projectie).
- Fiche uitrol LNG à bio-LNG (juni 2018) noemt een ambitie van 300 schepen (doelstelling LNG stakeholders).

Daarnaast geeft LNG, vanwege het lagere koolstofgehalte ten opzichte van vloeibare scheepvaartbrandstoffen, een lagere CO<sub>2</sub>-emissie. Echter de potentie van deze klimaatwinst door de lagere CO<sub>2</sub>-emissie wordt voorlopig niet waargemaakt omdat er nog geen goede technologie is om methaanslip onder controle te houden. Methaan is een krachtig broeikasgas en de methaanslip doet ongeveer de klimaatwinst van de lagere CO<sub>2</sub>-emissie teniet. Deze situatie zou alleen beteugeld kunnen worden door technische verbeteringen af te dwingen via (MARPOL) wetgeving voor de methaan-uitstoot van de motoren. Vooralsnog worden daar geen plannen voor gemaakt. Het terugdringen van methaanemissies bij LNG motoren heeft bovendien een grote impact op het motorontwerp. De methaanslip bij dieselmotoren met hogedruk LNG-injectie ligt veel lager. Echter dieselmotoren met hogedruk LNG-injectie voldoen zonder SCR niet aan Tier-III eisen. In Tabel 25 is te zien dat de afzet van LNG in de haven van Rotterdam tot nu toe vrij bescheiden is geweest, maar dat er wel sprake is van snelle groei.

Tabel 25 Afzet scheepsbrandstoffen en smeerolie in de Rotterdamse haven en aandeel LNG, (Ton)

Jaar	Stookolie	MGO	MDO	Lubes	LNG (ton)	LNG%
2016	8,483,644	1,426,879	139,035	96,326	100	0.001%
2017	8,255,467	1,387,913	147,035	99,677	1500	0.02%
2018	7,918,852	1,358,613	103,671	94,201	9483	0.10%
2019 1 <sup>e</sup> kwartaal	1,900,776	366,032	22,197	19,722	5403	0.24%

Bron: [www.portofrotterdam.com](http://www.portofrotterdam.com)

Op grond van de bescheiden aanvang van het toepassen van LNG is het nu nog niet mogelijk om aan te geven hoe snel de inzet van LNG gaat groeien. Voorzien wordt dat LNG in de nabije toekomst een beperkte rol zal spelen.



## 6.10 Verwachtingen omtrent implementatie van walstroom

In de zeevaart is het aantal walstroom-aansluitingen en locaties tot nu toe vrij beperkt gebleven. Zie Tabel 26.

Tabel 26 Bestaande aansluitingen walstroom voor zeeschepen

Haven	Type schepen	Type aansluiting	Aantal aansluitingen	Sinds
Den Helder	Defensie	Hoogspanning	2	2015
Rotterdam/Hoek van Holland	Veerboten	Hoogspanning	1	2012
IJmuiden	Vistrawlers		?	2015
Scheveningen	Vistrawlers en Rijksrederij		8	2017

Bron: Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017).

Er zijn een beperkt aantal plannen bekend om het aantal aansluitingen voor zeeschepen de komende jaren te gaan uitbreiden. In Rotterdam en Amsterdam wordt gedacht over het aansluiten van cruiseschepen aan nog aan te leggen walstroomvoorzieningen. In Rotterdam zijn vergaande plannen om walstroom te realiseren bij een grote werf aan het Caland-kanaal en een mobiele walstroominstallatie aan de Parkkade.

Volgens het “Beleidskader infrastructuur voor alternatieve brandstoffen” (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017) zouden op lange termijn veel meer typen zeeschepen op walstroom aangesloten kunnen worden (zie Tabel 27). Het is echter onduidelijk hoe deze aansluitingen gerealiseerd kunnen worden.

Tabel 27 Plannen voor walstroom over langere periode

Termijn	Typen
Korte termijn (0-10 jaar)	Ferry, RoRo, offshore, sleepers, visserij, riviercruise
Middellange termijn (5-15 jaar)	Zeecruise, shortsea, jackups
Lange termijn (10-20 jaar)	Deep sea tankers en bulk carriers

Streefcijfers	Huidig	2020	2025
Streefcijfer aantal havensteden met hoogvermogen Walstroomaansluitingen	4	8	10

Bron: Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017)

## 6.11 Conclusies zeevaart

Voor de zeevaart zijn op basis van de in dit hoofdstuk verzamelde informatie en analyses de volgende conclusies geformuleerd:

- Er zijn nog geen directe aanwijzingen dat de invoering per 1 januari 2021 van de Tier III NO<sub>x</sub>-emissienorm zal leiden tot een stagnatie in de vlootvernieuwing.
- Er zijn nog veel onzekerheden over de monitoring en handhaving van de Tier III NO<sub>x</sub>-emissienorm. Dit is belangrijk omdat de NO<sub>x</sub> katalysatoren (die nodig zijn om aan de emissienorm te voldoen) gemakkelijk uitgeschakeld kunnen worden.
- Uit berekeningen van het motorbelastingprofiel voor zeeschepen is naar voren gekomen dat:
  - 15% tot 20% van het totale energieverbruik van hoofdmotoren in de havengebieden van Rotterdam en Amsterdam plaatsvindt bij een motorbelasting van 15% of lager.
  - er pieken zijn in de verdeling van het totale energiegebruik van hoofdmotoren op zee bij 30% en 50% motorbelasting.
- De Tier III NO<sub>x</sub>-emissienorm wordt getest bij een gemiddelde belasting van ca. 68%. De lagere motorbelastingen in de praktijk leiden daarom tot zorgen omtrent hogere NO<sub>x</sub>-uitstoot in de praktijk. Dit risico is het grootst bij schepen die Tier III gecertificeerd zijn waar de NO<sub>x</sub>-installaties nodig zijn. De motortestcyclus heeft ruwweg een emissiecontrole-gebied van 20% tot 100% motorbelasting met een gemiddelde (weging) op 68% vermogen.
- Voor de Tier NO<sub>x</sub>-emissienormen is het daarom waarschijnlijk dat:
  - In havens de SCR katalysator niet of nauwelijks functioneert (Tier III).
  - Op zee de NO<sub>x</sub>-emissie tot ca 30% boven de Tier II limiet en tot ca 45% boven de Tier III limietwaarde zal liggen.
- Er zijn nieuwe NO<sub>x</sub>-emissiefactoren gedefinieerd per vermogensbin die rekening houden met deze hogere emissies.
- Uit studies blijkt dat het te verwachten effect van de EEDI op brandstofverbruik reductie, maximaal 50% is van de nominale reductie- targets per EEDI-fase.
- Uit metingen op de Noordzee blijkt dat de SO<sub>x</sub> eisen (<0,1% S in brandstof) goed opgevolgd worden.
- De vaarsnelheden op het Nederlands Continentaal plat vertonen de laatste 7 jaar een gestage daling. In de Rotterdamse havengebied was er van 2009 tot 2015 een stijgende trend, terwijl in 2016 en 2017 een daling is ingezet.
- Voor toepassing van LNG geldt een bescheiden groei. Er zijn nu 11 schepen varende op LNG. TNO heeft voor 2030 een prognose van 48 schepen gegeven.
- Het aantal walstroom-aansluitingen en locaties voor zeeschepen is tot nu toe met ca 12 aansluitingen op 4 locaties vrij beperkt.

## 6.12 Aanbevelingen vervolgonderzoek Zeevaart

Nadere analyse van de onderstaande aspecten wordt aanbevolen om de toekomstige ontwikkelingen in de zeevaart nog specifiek en nauwkeuriger te kunnen kwantificeren:

- Blijvende monitoring van SO<sub>2</sub>-uitstoot in havens en op het Nederlands Continentaal Plat is noodzakelijk om de naleving van de IMO-regels te volgen
- Het meten en blijven volgen van NO<sub>x</sub>-emissies van Tier III schepen, zodra deze beschikbaar komen, is noodzakelijk om de naleving en de effectiviteit van de Tier-III norm te volgen. Zowel metingen aan boord, als functie van het motorbelastingprofiel, als ook monitoring in de scheepspluim zijn daarbij van belang.
- Metingen of monitoren van zeeschepen is noodzakelijk om het kennishiaat in deze grote bron van milieuverontreinigende emissies met enige

betrouwbaarheid te kunnen inschatten. Tevens geven dergelijke meetprogramma's ook inzichten in de effectiviteit van de NECA in de situatie zonder duidelijke handhaving.

## 7 Referenties

- Anink, D., Krikke, M. (2011). *Analysis of the effect of the new EEDI requirements on Dutch build and flagged ships*, Centre for Maritime Technology and Innovation, July 2011.
- CBS (2018). *Longread Hernieuwbare energie in Nederland 2018*; Hoofdstuk 2, Hoofdstuk 2, paragraaf Hernieuwbare Energie voor Vervoer. <https://longreads.cbs.nl/hernieuwbare-energie-in-nederland-2018/>.
- CBS (2019). StatLine: *Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; totalen*. Versie 11 september 2019. CBS, Den Haag/Heerlen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2019). [www.clo.nl/indicatoren/nl0521-emissies-naar-lucht-door-de-zeescheepvaart](http://www.clo.nl/indicatoren/nl0521-emissies-naar-lucht-door-de-zeescheepvaart). (indicator 0521, versie 24, 27 september 2019).
- Chih-Wen Cheng, Jian Hua & Daw-Shang Hwang (2018). *Nitrogen oxide emission calculation for post-Panamax container ships by using engine operation power probability as weighting factor: A slow-steaming case*, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68:6, 588-597, DOI: 10.1080/10962247.2017.1413440
- Dieselnet (2019). [www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php#s](http://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php#s). Website geraadpleegd december 2019.
- Dieselnet (2020). <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>
- Dr. Robert L. Russell, Dr. George Scora, Dr. Kent C. Johnson, Dr. Tom Durbin: *Developing a Model to Quantify Emissions from Heavy-Duty Construction Equipment*, University of California, Riverside, report CA14-2330, June 2014
- Durbin, T.D., Johnson, K., Jung, H. (2013). *Study of In-Use Emissions from Diesel Off-Road Equipment*, Study for CARB April 2013.
- EC (2019). Communication from the commission to the European Parliament, the European council, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. The European green deal. COM(2019) 640 final. Date: 11 December 2019.
- EC (2020). [https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery_en), geraadpleegd januari 2020.
- EU (2018). Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking). Beschikbaar op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/nl/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
- EU (1016) VERORDENING (EU) 2016/1628 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 14 september 2016 inzake voorschriften met betrekking tot emissiegrenswaarden voor verontreinigende gassen en deeltjes en typegoedkeuring voor in niet voor de weg bestemde mobiele machines gemonteerde interne verbrandingsmotoren, Publicatieblad van de Europese Unie, L 252/53, 16 september 2016
- EZK (2019). *Stimulering duurzame energieproductie*. 31 239 - Nr. 302. Brief van de Minister van Economische Zaken en Klimaat aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal Den Haag, 15 mei 2019. Beschikbaar via: [www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2019Z09665&did=2019D19692](http://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2019Z09665&did=2019D19692)

- Groen, T. en J. van Meijeren (2010). *Vlootontwikkeling binnenvaart*, TNO rapport TNO-034-DTM-2010-02071, 27 mei 2010.
- Hopman (2017). *Verduurzaming Scheepvaart*. Factsheet in het kader van de samenwerking tussen de Tweede Kamer, de KNAW, NWO, VSNU en de Jonge Akademie. September, 2017.
- Hulskotte (2018). *Kentallen zeeschepen ten behoeve van emissie- en verspreidingsberekeningen in AERIUS*, actualisatie 2018. TNO-rapport 2019-R11040.
- Hulskotte, J. (2014). Gebruikershandleiding POTAMIS, Prognosis Of Transport Air emissions Model of Inland Shipping – 27 augustus 2014, Utrecht: TNO
- Hulskotte, J. (2016). MEPHISTO 1.1 gebruikershandleiding *Machinery Emissions Prognosis Helped by Information on Sales of Technology and Oils*, Utrecht: TNO.
- IBO (2019). Interdepartementaal beleidsonderzoek (IBO). Eindrapport Luchtkwaliteit. 21 mei 2019.
- IEA (2020). Advanced Biofuels-Potential for Cost Reduction. IEA Bioenergy: Task 41:2020:01.
- IenW (2017a). Brief van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Den Haag, 11 december 2017. Beschikbaar via: <https://zoek.officiëlebekeendmakingen.nl/kst-34717-23.html>
- IenW (2017b). Brief van de Plv. directeur Klimaat, Lucht en Geluid van 12 december 2017 over de laatste stand van zaken over de wet- en regelgeving met betrekking tot hernieuwbare energie vervoer. Beschikbaar via: <https://www.emissieautoriteit.nl/documenten/brief/2018/02/01/iw-informatiebrief-wet-en-regelgeving-biobrandstoffen-ev2018>
- Ligterink, N. et al. (2019). *Emissiefactoren wegverkeer -Actualisatie 2019*. TNO 2019 R10825v2, 25 juli 2019.
- Ligterink, N., Louman, R., Buskermolen, E., Verbeek, R. (2018). *De inzet van bouwmaschinen en de bijbehorende NO<sub>x</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissies*. TNO 2018 R104, 4 mei 2018.
- Ligterink, N., Smit, T. en J. Spreen (2018). *Inzicht in het energieverbruik, de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de NO<sub>x</sub>-uitstoot van het spoorgoederenvervoer*. TNO 2017 R11414v2, 6 april 2018.
- Ligterink N.E., Van Zyl S., Verbeek M., Spreen, J. (2015). Potential CO<sub>2</sub> reduction technologies and their costs for Dutch passenger car fleet. Report TNO 2015 R10730.
- Lindstad (2015). *GHG emission reduction potential of EU-related maritime transport and on its impacts*. Ref: CLIMA.B.3/ETU/2013/0015. TNO report 2014 R11601. Haakon Lindstad (MARINTEK), Ruud Verbeek (TNO), Merle Blok (TNO), Stephan van Zyl (TNO), Andreas Hübscher (ISL), Holger Kramer (ISL), Joko Purwanto (TML), Olga Ivanova (TNO), Hettie Boonman (TNO).
- MARIN (2010). Emissions 2008 NCS, Port areas and OSPAR region II.pdf
- MARIN (2019) Sea shipping emissions 2017 NCS and Port Areas.pdf
- MARIN (2018) Sea shipping emissions 2016 NCS and Port Areas.pdf
- MARIN (2017) Sea shipping emissions 2015 NCS and Port Areas.pdf
- MARIN (2016) Sea shipping emissions 2014 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf

- MARIN (2015) Sea shipping emissions 2013 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf
- MARIN (2014) Sea shipping emissions 2012 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf
- MARIN (2013) Sea shipping emissions 2011 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf
- MARIN (2012) Sea shipping emissions 2010 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf
- MARIN (2011). Emissions 2009 NCS, Port Areas and OSPAR region II.pdf
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). *Beleidskader infrastructuur voor alternatieve brandstoffen*. 26 januari 2017.
- NeA (2018) Nederlandse Emissie Autoriteit. Nieuwsbrief voor vervoer, nummer 008, 8 Maart 2019, Beschikbaar op:  
<https://www.emissieautoriteit.nl/documenten/publicatie/2019/03/08/nieuwsbrief-energie-voor-vervoer-nr-008>
- NeA (2019). *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2018. Naleving verplichtingen wet- en regelgeving Energie voor Vervoer*. Nederlandse Emissie Autoriteit (NeA), 18 juni 2018.
- Nieuwsblad Transport (2019). Editie, 3 juli 2019. [www.nieuwsbladtransport.nl](http://www.nieuwsbladtransport.nl)
- Northwest Ports Clean Air Strategy: 2017 Implementation Report (Port of Vancouver, Port of Seattle, Port of Tacoma)
- Nouhuijs, F. van (2017). Vooronderzoek monitoring Green Deal Het Nieuwe Draaien. April 2017. Publicatie van Green Deal HND en van Oord.
- Panteia (2019). *Op weg naar een klimaatneutrale binnenvaart per 2050 - Transitie- en rekenmodel binnenvaart*. Panteia rapport, C12034, juli 2019.
- PROMINENT (2017). D5.7 *Technical evaluation of the monitoring results Monitoring results on Rhine, Danube and other vessels*. TNO, Multronic, SGS, NAVRON, PRO. PROMINENT WP5 report, grand agreement 633929, June, 2017.
- PROMINENT (2018). D2.8-2.9: *Standardized model and cost/benefit assessment for right-size engines and hybrid configurations*. TNO, EICB, STC. PROMINENT WP2 report, grand agreement 633929, March 14, 2018.
- Quispel, M., van Opstal E. (2015). Inventarisatie milieuprestaties bestaande binnenvaartvloot West-Europa, STC-NESTRA in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, december 2015.
- Routeradar (2019). *Rapportage Routeradar Brandstofvisie. Duurzame energiedragers in mobiliteit (DEM)*. Co-production of Rijkswaterstaat, TNO, CE-Delft, ECN, Pernosco, ERAC, 26 april 2019
- Roy, van W., Scheldeman, K. (2016). Results MARPOL Annex VI Report Belgian Sniffer Campaign 2016, Compliance monitoring pilot for MARPOL Annex VI (COMPON), 14-12-2016.
- RVO (2016). *Impact assessment naar de hoogte van de in te voeren limiet voor conventionele biobrandstoffen in vervoer*. Beschikbaar via:  
<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-782296.pdf>
- SER (2014). Visie Duurzame Brandstoffenmix. Deelrapport Brandstoffafel Scheepvaart, 28 mei 2014.
- Schoots, K. & P. Hammingh (2019), *Klimaat- en Energieverkenning 2019*, 1 november 2019, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.  
<https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2019>.

- Stenersen, D., Thonstadt O., HG and NO<sub>x</sub> emissions from gas fuelled engines, Mapping, verification, reduction technologies, SINTEF Ocean AS Maritim, Report OC2017 F108, version 3.0, 13-06-2017.
- TNO 2018. *Final Report Support for preparation of the impact assessment for CO<sub>2</sub> emissions standards for Heavy Duty Vehicles*. TNO 2018 R10332. Date 13 September 2018.
- TNO 2018b. *Real-world fuel consumption of passenger cars based on monitoring of Dutch fuel pass data 2017*. TNO 2018 R10371. Date: 17 May 2018.
- Ushakov S., Stenersen D., Einang P.M. (2019). Methane slip from gas fuelled ships: a comprehensive summary based on measurement data, Journal of Marine Science and Technology, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (JASNAOE) 2019, 10 January 2019.
- Verbeek, Ruud (2019). *Besparingsopties HND en Real world NO<sub>x</sub> metingen aan 4 machines*. Presentatie bij HND meetup, 7 maart 2019, Nieuwegein.