

STREAM

Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten

VERSIE 2.0

Rapport

Delft, september 2008

Opgesteld door: L.C. (Eelco) den Boer
F.P.E. (Femke) Brouwer
H.P. (Huib) van Essen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

L.C. (Eelco) den Boer, F.P.E. (Femke) Brouwer, H.P. (Huib) van Essen
STREAM Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten
Delft, CE, 2008

Emissies / Vervoer / Meetmethoden / Beleidsplanning / Besluitvorming / Milieu /
Effecten / Personenvervoer / Goederenvervoer / Vergelijkend onderzoek

Publicatienummer: 08.4482.11

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: ministerie van VROM en ministerie van V&W (KIM)
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Eelco den Boer.

© Copyright, CE, Delft

CE Delft

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
Summary	5
1 Inleiding	9
1.1 Introductie	9
1.2 Doelstelling van deze studie	10
1.3 Afbakening	10
1.4 Leeswijzer en presentatiewijze	11
1.5 Hoe dit rapport te gebruiken?	11
1.6 Verschillen met de studie 'To shift or not to shift, that is the question' uit 2003	11
2 Methodiek en uitgangspunten	13
2.1 Welke milieueffecten?	13
2.2 Nederlandse situatie	16
2.3 Jaartallen: 2005, 2010, 2020	16
2.4 Emissieberekeningen	16
2.5 Vervoerswijzen	18
2.6 Logistieke kenmerken	21
2.6.1 Berekeningswijze logistieke kenmerken	21
2.6.2 Container- en bulkvervoer, TEU en tonnen	22
2.7 Emissies elektriciteitsproductie en brandstofproductie	23
2.8 Collectief personenvervoer: marginale of gemiddelde emissies	24
2.9 Emissieprestatie in 2010/2020	26
2.9.1 WLO-scenario's	26
2.9.2 Uitgangspunten in STREAM	26
2.10 Zelf emissies bepalen en vergelijkingen maken: 7-stappen-benadering	28
3 Basisdata Goederenvervoer (2005 gemiddeld)	29
3.1 Basisdata vrachtauto's	29
3.1.1 Energiegebruik en emissiedata	29
3.1.2 Logistieke parameters	31
3.2 Basisdata goederentreinen	33
3.2.1 Energiegebruik en emissiedata	33
3.2.2 Logistieke parameters	34
3.3 Basisdata binnenvaart	35
3.4 Basisdata zeescheepvaart	37
3.4.1 Energiegebruik en emissiedata	37
3.4.2 Logistieke parameters	38
3.5 Basisdata luchtvaart	38
4 Basisdata Personenvervoer (2005)	41
4.1 Basisdata personenauto's	41
4.1.1 Energiegebruik en emissiedata	41

4.1.2	Logistieke data	42
4.2	Basisdata bromfietsen	42
4.2.1	Energiegebruik en emissiedata	42
4.2.2	Logistieke data	43
4.3	Basisdata motorfietsen	43
4.3.1	Energiegebruik en emissiedata	43
4.3.2	Logistieke data	43
4.4	Basisdata bussen	43
4.4.1	Energiegebruik en emissiedata	43
4.4.2	Logistieke parameters	44
4.5	Basisdata trams	44
4.5.1	Energiegebruik en emissiedata	44
4.5.2	Logistieke data	44
4.6	Basisdata metro's	45
4.6.1	Energiegebruik en emissiedata	45
4.6.2	Logistieke data	45
4.7	Basisdata treinen	46
4.7.1	Energiegebruik en emissiedata	46
4.7.2	Logistieke data	46
4.8	Basisdata vliegtuigen	47
4.8.1	Energiegebruik en emissiedata	47
4.8.2	Logistieke parameters	48
5	Basisdata 2010/2020	49
5.1	Wegverkeer	49
5.1.1	Personenauto's	49
5.1.2	Vrachtauto's en bestelauto's	50
5.1.3	Bussen	51
5.1.4	Motorfietsen en bromfietsen	51
5.2	Spoor	52
5.3	Binnenvaart	54
5.4	Luchtvaart	55
5.5	Zeescheepvaart	57
6	Vergelijkingen Vrachtvervoer	59
6.1	Introductie	59
6.2	Vergelijking binnen cases	59
6.3	Variatie in logistieke parameters	60
6.4	Resultaten vergelijkingen binnen cases	60
6.5	Analyse van de goederencases	65
6.5.1	Bulktransport	65
6.5.2	Container/non-bulk	65
6.6	Doorkijk naar 2020	66
7	Vergelijkingen Personenvervoer	67
7.1	Introductie	67
7.2	Vergelijking binnen cases	67
7.3	Variatie in logistieke parameters	68
7.4	Case-specifieke aannames	68

7.5	Resultaten vergelijkingen binnen cases	69
7.6	Analyse van personencases	74
7.6.1	Korte afstand - Spits	74
7.6.2	Korte afstand - Dal	74
7.6.3	Korte afstand - Gemiddeld	74
7.6.4	Lange afstand	75
7.7	Doorkijk naar 2020	75
8	Verschillen binnen modaliteiten: Technologieën	77
8.1	Algemeen	77
8.1.1	Biobrandstoffen en groene stroom	77
8.1.2	Energiezuinig gedrag	79
8.2	Personenvervoer	79
8.2.1	Personenauto's	79
8.2.2	Bussen	82
8.2.3	Trein, tram en metro	83
8.2.4	Tweewielers	85
8.3	Goederenvervoer	85
8.3.1	Wegvervoer	85
8.3.2	Binnenvaart	89
8.3.3	Zeescheepvaart	90
9	Conclusies en aanbevelingen voor gebruik van deze studie	91
9.1	Introductie	91
9.2	Algemene trends in emissies 2005-2020	91
9.2.1	Personenvervoer	92
9.2.2	Goederenvervoer	92
9.3	Modaliteiten vergeleken	92
9.3.1	Personenvervoer	93
9.3.2	Goederenvervoer	93
9.4	Onzekerheden en aanbevelingen voor nader onderzoek	93
10	Referenties	95
A	Deelnemers workshop STREAM	103
B	Berekening energiegebruik en emissies	105
C	Energiegebruik bij aanleg infrastructuur en productie vervoermiddelen	111
D	Fijn stof emissies door slijtage (PM ₁₀)	115
E	Berekeningen energiegebruik binnenvaart	117
F	Berekening belading zeeschepen	119
G	Invoerdata en resultaten cases in het personenvervoer	123
H	Invoerdata en resultaten cases goederenvervoer	149
I	Data technologieën	171

Samenvatting

Doel, aanleiding en methodiek

Het doel van de **Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten (STREAM)** is om een toegankelijk en compleet overzicht te geven van emissies van verschillende vervoerswijzen per eenheid geleverde prestatie voor zowel goederen- als personenvervoer. De resultaten geven inzicht in parkgemiddelde emissies van CO₂, NO_x en PM₁₀ voor verschillende vervoerswijzen, uitgesplitst naar verschillende marktsegmenten en voor verschillende jaren (2005, 2010, 2020). Daarnaast geven de resultaten inzicht in de invloed van technologische innovaties, zoals emissiestandaarden, specifieke technieken en alternatieve brandstoffen.

In 2003 hebben CE Delft en RIVM de studie 'To shift or not to shift, that is the question' uitgebracht. In die studie werd een nieuwe aanpak gepresenteerd voor het vergelijken van emissies van modaliteiten binnen marktsegmenten op basis van de totale transportketen, inclusief omrijden en voor- en natransport.

Omdat zich in de afgelopen jaren veel ontwikkelingen hebben voorgedaan op het gebied van verkeersemissies, heeft CE Delft in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, KiM) en VROM met STREAM hier een actualisatie van gemaakt. Hierbij is zoveel mogelijk aangesloten bij de methodiek uit 2003.

In STREAM is een grote hoeveelheid basisdata opgenomen, waarbij gebruik is gemaakt van officiële Nederlandse methoden voor emissieberekeningen. Er zijn data verzameld voor zowel praktijkgemiddelden als voor specifieke technologieën zoals Euroklassen, aandrijvingen en brandstoffen.

STREAM geeft de mogelijkheid om berekeningen te maken voor specifieke situaties, waarvoor een stappenbenadering is gepresenteerd. Daarnaast geeft STREAM inzicht in de emissieprestatie in een aantal vergelijkende cases voor verschillende marktsegmenten.

Algemene trends in emissies 2005-2020

De Europese Commissie heeft onlangs een voorstel gepresenteerd voor het verminderen van de CO₂-emissies van nieuwe personenauto's. Voor de andere modaliteiten bestaat geen wetgeving en circuleren ook geen voorstellen op dit gebied, afgezien van emissiehandel (ETS) voor de luchtvaart. Parkgemiddelde CO₂-emissies van personenauto's en luchtvaart nemen in de toekomst het sterkst af, waarbij voor de luchtvaart dit met name kan worden toegeschreven aan autonome ontwikkeling.

Voor CO₂-reductie is het aantal beschikbare technieken waarmee significante stappen kunnen worden gemaakt beperkt. Dit kan deels verklaard worden door het gebrek aan regelgeving hiervoor.

Voor alle modaliteiten bestaan wettelijke normen voor luchtverontreinigende emissies, maar deze zijn niet even streng. In het wegverkeer nemen de luchtverontreinigende emissies per kilometer in de toekomst het snelst af, vanwege de introductie van Euro 5- en 6-motoren en de relatief snelle vervanging van voertuigen. Mede vanwege de langere levensduur van locomotieven en scheepsmotoren nemen de luchtverontreinigende emissies voor het spoor en de binnenvaart minder snel af. De effecten van Richtlijn EU 2004/26 en de aanscherping van emissiestandaarden voor de zeescheepvaart (IMO Annex-6) worden echter wel zichtbaar in de toekomst. Voor het verminderen van luchtverontreinigende emissies is het aantal beschikbare technieken en brandstoffen relatief groot.

Modaliteiten vergeleken in marktsegmenten

De schoonste modaliteit bestaat niet. De schaalgrootte van het transport is vooral in het goederenvervoer heel belangrijk, vaak belangrijker dan de modaliteit. Daarnaast spelen logistieke factoren als bezettings- en beladingsgraad een belangrijke rol. Een auto met vier personen is ruwweg vier keer efficiënter dan een auto met één persoon. Een vol schip is schoner dan een lege vrachtauto of trein en vice versa. Ook het effect van de technologie is heel groot. Een Euro 5- of aardgasvoertuig is vier tot tien keer schoner dan een Euro 1-voertuig. De invloed van techniek op het brandstofverbruik is echter veel kleiner. Het effect van hybride techniek is bijvoorbeeld niet groter dan 25%. Voor langere en zwaardere vrachtauto's (LZV's) kunnen de emissies per tonkilometer in potentie eenzelfde percentage lager zijn dan de grootste vrachtauto's die nu op de weg zijn. Ook voor spoor en (binnen)scheepvaart zijn er technologieën beschikbaar die de luchtverontreinigende emissies ver onder het parkgemiddelde kunnen brengen.

Voor gemiddelde bezetting en parkgemiddelde emissies gelden de onderstaande conclusies.

Personenvervoer

- De auto kan een relatief schoon en zuinig vervoermiddel zijn, indien de bezettingsgraad voldoende hoog is. Een auto met maar één persoon is per reizigerskilometer meer vervuilend dan het openbaar vervoer.
- Als het gaat om marginale¹ emissies zijn de CO₂-emissies van de personenauto buiten de spits veel hoger dan van het openbaar vervoer. In de spits is het verschil kleiner, maar nog steeds in het voordeel van het openbaar vervoer.
- De elektrisch aangedreven spoorgebonden modaliteiten zijn relatief schoon en zuinig. De dieseltrein is wel zuinig, maar niet schoon.
- Luchtvaart stoot zo'n 2,5 tot 4 keer meer CO₂ uit dan een gemiddeld bezette personenauto op de lange afstand.

¹ Marginale emissies zijn emissies die worden veroorzaakt door een extra reiziger. Bij het openbaar vervoer wordt hierbij rekening gehouden met de invloed van extra reizigers op de ingezette capaciteit. In de spits zijn marginale emissies iets hoger dan gemiddelde emissies, in het dal zijn ze vrijwel nul omdat het effect van een reiziger in deze periode zeer klein is zie verder paragraaf 2.8.



Goederenvervoer

- Verschillen in CO₂-emissies per tonkilometer *tussen* vervoerswijzen en *binnen* een vervoerswijze zijn in veel gevallen van dezelfde orde grootte, met name voor de korte afstand. De schaal van het transport is vaak even belangrijk als de vervoerswijze.
- Op de korte afstand zijn de CO₂-emissies van grotere vrachtauto's en trekkers met oplegger hoger dan van spoorvervoer en gemiddeld ook wat hoger dan van binnenvaartschepen. Op de lange afstand stoten de binnenvaart en de trein duidelijk minder CO₂ uit dan vervoer over de weg.
- Op gebied van luchtkwaliteit wint de grote vrachtauto het vaak van de binnenvaart. Dit geldt vooral voor PM₁₀, qua NO_x liggen deze modaliteiten vaak dicht bij elkaar.
- Een elektrische goederentrein is relatief schoon en zuinig.
- Luchtvracht (B747) stoot acht keer meer CO₂ uit dan de weg en nog een hogere factor meer dan de andere modaliteiten.
- Zeescheepvaart is alleen zuinig wanneer de schaal groot is. Schepen die typisch worden gebruikt in de kustvaart zijn gemiddeld niet zuiniger dan de andere modaliteiten. Diepzeevaart is dat wel. Zeescheepvaart kent hogere luchtvervuilende emissies dan de andere modaliteiten. Het omwegpercentage is van groot belang. Is deze laag, dan scoort zeescheepvaart gunstig, terwijl in situaties waar de afstand langer is vooral de kleinere kustvaart minder gunstig scoort.



Summary

Aim, background and method

The aim of **Study on the Transport Emissions of All Modes (STREAM)** is to provide a readily understandable and comprehensive review of the emissions of the various transport modes per unit performance for both freight and passenger carriage. The results yield insight into the fleet-average CO₂, NO_x and PM₁₀ emissions each mode, in each of the market segments and for several time horizons (2005, 2010, 2020). The results also give an idea of the impact of emission standards, specific technological innovations and alternative fuels.

In the 2003 study 'To shift or not to shift, that is the question', published by CE Delft and the Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), a new methodology was presented for comparing the emissions of transport modes within specific market segments based on the full transport chain, including detour factors and upstream and downstream transport. Because of the numerous developments vis-à-vis transport emissions in recent years, at the request of the Dutch ministries of Transport (Netherlands Institute for Transport Policy Analysis, KiM) and Environment, CE Delft has carried out the study STREAM, thereby employing the 2003 methodology.

A vast body of raw data has been collected for use in STREAM, covering both real-world average performance and specific technologies like Euro emission classes, drive trains and fuels. Official Dutch emission calculation methodologies have been used throughout.

STREAM allows users to perform calculations for specific situations, for which purpose a step-by-step procedure is presented. It also provides insight into emission performance in a number of comparative case studies in various market segments.

General emission trends, 2005-2020

With respect to CO₂ emissions, the European Commission has presented a proposal for reducing the emissions of new passenger cars. For the other modes there is as yet no legislation, nor are there any proposals in the pipeline, apart from including aviation in the European Emissions Trading Scheme (ETS). In the years ahead the fleet-average CO₂ emissions of cars and aircraft will decline most; in the case of aviation this will due to autonomous improvements.

There are only a limited number of technologies available for making significant progress on CO₂ reduction, one reason being the absence of legislation in this area. Although there is legislation on air pollution in place for all modes of transport, it is not equally tight across the board. Thanks to introduction of Euro 5 and 6 engines and a relatively swift vehicle turnover rate, road transport air pollutant emissions will decline fastest in the years ahead. Due in part to the

longer service life of locomotives and ship's engines (inland shipping), with these transport modes it will be longer before these emissions decrease. At some point in the future, though, the impact of EU Directive 2004/26 and the tightening of emissions standards for maritime shipping (IMO Annex 6) will make itself felt. When it comes to reducing air pollutant emissions, the number of technologies and fuels that can be used is relatively high.

Comparison of modes in market segments

There is no single mode of transport that can be characterised as the cleanest. With freight transport, particularly, the scale of the transport is crucially important, often more so than the mode. In addition, logistical factors like vehicle occupancy and load factor also play a key role. A car with four occupants is roughly four times more fuel-efficient than one with a single occupant. A fully laden shipping vessel is cleaner than an empty truck or train, and vice versa. Emission technologies are also of major influence. A Euro 5 or gas-fuelled vehicle is four to ten times cleaner than a Euro 1 vehicle. When it comes fuel consumption, though, the influence of technology is far less pronounced. The impact of hybrid technology is no more than about 25%, for example. In the case of longer and heavier trucks, emissions per tonne-kilometre can potentially be reduced by the same percentage. For rail and inland shipping, too, there are technologies available that can reduce air pollutant emissions to far below the current fleet average.

Proceeding from average occupancy rates, load factors and fleet-average emissions, the following general conclusions can be drawn.

Passenger transport

- Cars with average occupancy rates have higher CO₂ emissions than public transport, but for groups travelling together with more than two people public transport is not necessarily the better option.
- When it comes to marginal² emissions, in off-peak hours the CO₂ emissions of cars are far higher than those of public transport. Although differences are less pronounced during rush-hour traffic, public transport still has the edge.
- Electrically powered forms of rail transport are relatively clean and fuel-efficient. Diesel trains, while efficient, have relatively high air pollutant emissions.
- Over long distances, aircraft generate roughly 2.5 to 4 times higher greenhouse gas emissions than a car with average occupancy.

² With marginal emissions, allowance is made for the influence of extra passengers on the capacity in use, i.e. the additional emissions associated with a passenger-kilometre are calculated. While average emissions are greater in off-peak hours than in peak traffic, for marginal emissions it is the other way round. This is because the large number of empty seats in off-peak hours is governed by capacity demand during peak hours. This means that one extra passenger during the rush-hour increases the frequency and length of trains, while the impact of an extra passenger in off-peak hours is virtually zero. See paragraph 2.8



Freight transport

- Differences in CO₂ emissions per ton kilometer between and within modalities are in most cases of the same order of magnitude, especially on short distances. Therefore, the scale of transport is often as important as the modality of choice.
- On the short distance the energy performance of rail transport and, to a smaller extent inland shipping, is better than that of large trucks. On long distances, large ships and trains generate clearly less CO₂ per tonne-kilometre.
- With respect to air pollutant emissions, large trucks often outperform inland shipping. This especially counts for PM₁₀, for NO_x the modalities are closer together.
- Electrically powered goods trains are relatively clean and efficient.
- The greenhouse gas emissions of aircraft (B-747) are eight times higher than for transport by large truck. Compared with rail and shipping, this factor is even greater.
- Maritime shipping is only more efficient than alternative modes if the vessel is sufficiently large. On average, the smaller vessels typically employed in coastal shipping are no more fuel-efficient than other modes. Ocean shipping does score better, though. In terms of air pollutant emissions, on the other hand, maritime shipping performs worse than other modes. The detour factor is of major influence here. If this is low, maritime shipping scores well, but otherwise smaller vessels, in particular, come off less well.



1 Inleiding

1.1 Introductie

In 2003 hebben CE Delft en RIVM de studie 'To shift or not to shift, that is the question' uitgebracht. In die studie werd een nieuwe aanpak gepresenteerd voor het vergelijken van emissies van modaliteiten:

- vergelijken van hele transportketens (inclusief voor- en natransport en omrijden);
- vergelijken binnen marktsegmenten;
- vergelijken van concurrerende modaliteiten.

De studie is al een aantal jaren een veel gevraagde en gebruikte studie op het gebied van emissies van transport. Onder anderen beleidsmakers, onderzoekers en adviseurs gebruiken de gegevens uit deze studie. Vanwege een groot aantal ontwikkelingen zijn de data echter niet meer helemaal actueel. De belangrijkste ontwikkelingen over de afgelopen jaren op dit terrein zijn:

- De EU-richtlijn Mobiele Bronnen (2004/26) is in werking getreden. Hierdoor gelden er bindende normen voor de emissies van dieseltreinen en binnenvaartschepen.
- Voor wegvoertuigen zijn nieuwe emissienormen aangekondigd of ingevoerd.
- Er zijn nieuwe inzichten en data over verschillen tussen emissies volgens typegoedkeuringstests en praktijk, vooral voor vrachtauto's en binnenvaart.
- Luchtkwaliteit is een zeer belangrijk onderwerp geworden, daarom is er meer aandacht voor emissiedata.
- Meer recent is het onderwerp verkeer en klimaat hoog op de agenda komen te staan, zowel op Europees, nationaal als regionaal niveau. Het kabinet heeft een nationale doelstelling van 30% CO₂-reductie van broeikasgas-emissie gesteld en verschillende regio's hebben nog scherpere doelstellingen aangekondigd.
- Er blijft vraag naar betrouwbare data over emissies van verschillende vervoerswijzen (o.a. van de Tweede Kamer).
- Tot slot wordt in het beleidsprogramma 'Schoon en Zuinig' voor verschillende als zuinig aangemerkte modaliteiten, een verkenning aangekondigd van nieuw stimuleringsinstrumentarium. Voorwaarde is dat bekend is hoe zuinig de verschillende modaliteiten zijn.

In opdracht van de ministeries van V&W (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, KiM) en VROM heeft CE Delft daarom een nieuwe studie uitgevoerd op dit onderwerp, getiteld **Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten (STREAM)**.

1.2 Doelstelling van deze studie

Het doel van STREAM is om een toegankelijk en compleet overzicht te geven van emissies van verschillende vervoerswijzen. De resultaten geven inzicht in parkgemiddelde emissies voor verschillende voertuigen, uitgesplitst naar verschillende segmenten en voor verschillende jaren (2005, 2010, 2020). Daarnaast geven de resultaten inzicht in de invloed van technologische innovaties, zoals emissiestandaarden, specifieke technieken en alternatieve brandstoffen.

Deze studie dient als achtergrondwerk voor allerlei toepassingen, bijvoorbeeld:

- om inzicht te verkrijgen waar modaliteiten goed presteren en waar verbeteringen mogelijk zijn;
- om inzicht te verkrijgen in emissies van transport en hoe deze afhangen van verschillende parameters;
- om effecten van beleidsopties op emissies te berekenen;
- om zelf emissies te berekenen voor een specifieke transportsituatie;
- om emissies van verschillende alternatieven met elkaar te vergelijken;
- als kentallen voor (M)KBA-studies³.

1.3 Afbakening

STREAM richt zich op alle relevante emissies van de belangrijkste vervoerswijzen in zowel het personen- als goederenvervoer (voor de precieze afbakening zie hoofdstuk 2). Deze studie beschrijft zowel de huidige situatie als prognoses voor 2010 en 2020. De nadruk ligt op emissies tijdens het gebruik van voertuigen. Emissies tijdens brandstofproductie en elektriciteitsopwekking zijn meegenomen. Emissies bij bouw en onderhoud van infrastructuur en productie en sloop van voertuigen zijn niet kwantitatief uitgewerkt, maar komen kort aan bod in bijlage C.

³ MKBA = Maatschappelijke kosten-baten analyse. Voor toekomstige (M)KBA-studies dient echter wel rekening gehouden te worden met het feit dat in deze studie aannames gemaakt zijn voor maatregelen, die nog niet allemaal definitief vastgesteld zijn in wetgeving.



1.4 Leeswijzer en presentatiewijze

In dit rapport worden verschillende aspecten van de emissies gepresenteerd:

- **Methodiek:** hoe zijn de totale emissies in dit rapport bepaald en hoe kunnen zelf berekeningen worden gedaan (hoofdstuk 2)?
- **Basisdata:** data van emissies en logistieke kenmerken voor verschillende vervoerswijzen (parkgemiddelden voor verschillende jaren). Hiermee kunnen zelf berekeningen worden uitgevoerd (hoofdstuk 3-5).
- **Vergelijkingen binnen marktsegmenten:** relevante vergelijkingen van emissies in specifieke marktsegmenten en over de hele transportketen (hoofdstuk 6-7).
- **Invloed van innovaties:** emissies van huidige en toekomstige technologieën (o.a. emissieklasse, brandstofsoort; hoofdstuk 8).
- **Conclusies** (hoofdstuk 9).

1.5 Hoe dit rapport te gebruiken?

STREAM wil de gebruiker handvatten bieden om de juiste keuzes te kunnen maken bij het bepalen van kentallen of het vergelijken van modaliteiten. Daarom geeft dit rapport enerzijds een overzicht van basisdata om specifieke berekeningen te maken wanneer logistieke data bekend zijn. Anderzijds gaat het rapport in op gemiddelde emissies, maar met de nodige nuancering op het gebied van logistieke omstandigheden en dus de situatie waarin deze emissies gebruikt kunnen worden.

De resultaten zijn niet bedoeld voor het maken van emissieramingen. STREAM heeft ook niet tot doel om algemeen geldende uitspraken te doen over welke vervoerswijze het minst of meest vervuילend is, maar veel meer om inzicht te verschaffen in factoren die van invloed zijn op emissies van verschillende vervoerswijzen.

1.6 Verschillen met de studie 'To shift or not to shift, that is the question' uit 2003

In grote lijnen is dezelfde aanpak gevolgd als in de studie uit 2003. Op een paar punten wijken we nu af van deze methodiek:

- Er is gebruik gemaakt van nieuwe primaire bronnen voor energiegebruik en emissiefactoren. De meest significante verschillen treden op voor wegtransport en binnenvaart.
- Logistieke data is waar mogelijk geactualiseerd. De meest significante verschillen treden op voor het wegtransport. Beladingsgraden van met name bulkvervoer zijn lager dan in de studie uit 2003.
- Er worden meer specifieke voertuigtypen gehanteerd voor spoor, binnenvaart en zeescheepvaart.
- Emissiefactoren voor 2010/2020 zijn verder uitgewerkt en onderbouwd.

- Naast gemiddelde emissiecijfers voor verschillende jaren, is ditmaal ook de specifieke invloed van verschillende brandstoffen en technieken in beeld gebracht. Hierdoor is het mogelijk een beter beeld te geven van verschillen binnen de verschillende modaliteiten, waar deze van afhangen en wat de effecten zijn van de beschikbare technologieën om emissies te reduceren.
- Emissies van VOS en CO zijn ditmaal niet meegenomen, omdat ze beleidsmatig minder interessant zijn.
- Het rapport is in het Nederlands geschreven i.p.v. in het Engels omdat de data betrekking hebben op Nederland en het merendeel van de gebruikers van de vorige studie Nederlandstalig was. Er is ditmaal wel een aparte Engelstalige samenvatting beschikbaar.



2 Methodiek en uitgangspunten

In dit hoofdstuk gaan we in op de methodiek die gebruikt is bij de berekening van emissies voor zowel het personen- als het goederenvervoer. De methodiek en de uitgangspunten zijn voor goederenvervoer tijdens een workshop afgestemd met vertegenwoordigers van verschillende vervoerssectoren. Tevens is hen de mogelijkheid geboden om aanvullende gegevens aan te leveren. De lijst met deelnemers is te vinden in bijlage A.

2.1 Welke milieueffecten?

Verkeer en vervoer brengt de samenleving naast baten ook schade toe. Verkeer stoot CO₂ en diverse luchtverontreinigende emissies uit, daarnaast geeft het geluidsoverlast voor mens en natuur. De aanleg van infrastructuur vraagt ruimte, dit heeft aantasting van natuurwaarden en verlies van biodiversiteit tot gevolg. Het voert te ver om in deze studie alle milieuthema's mee te nemen, niet alle thema's zijn namelijk even goed te kwantificeren. Om deze reden is de volgende afbakening gekozen:

- We beperken ons tot milieueffecten die samenhangen met het gebruik van vervoermiddelen. Milieueffecten die vrijwel onafhankelijk zijn van het gebruik maar die vooral samenhangen met het aanwezig zijn van infrastructuur laten we buiten beschouwing. Dit zijn bijvoorbeeld ruimtegebruik en versnippering door aanleg van infrastructuur.
- Geluid wordt niet meegenomen. De bijdrage van een enkel voertuig is zeer moeilijk in te schatten. Zo veroorzaakt een extra auto overdag minder overlast dan een enkele auto in de nacht. Ook hangt de invloed van een individueel voertuig sterk af van het reeds aanwezige geluidsniveau.

Bovenstaande afbakening betekent dat deze studie zich beperkt tot het energiegebruik en de emissies van CO₂ en (relevante) luchtverontreinigende emissies: NO_x, SO₂ en PM₁₀ (alleen verbranding). Ondanks dat NO₂ ook een relevante luchtverontreinigende stof is, is deze niet opgenomen omdat niet voor alle modaliteiten voldoende kwantitatieve data voorhanden is.

Emissies van slijtage worden niet meegenomen in de emissieberekeningen. Meer informatie hierover kan gevonden worden in onderstaand kader of uitgebreider in bijlage D.

Slijtage-emissies

Naast verbrandingsemissies spelen ook slijtage-emissies een rol. Van het wegverkeer is bekend dat slijtage van remvoeringen, banden en wegdek voor fijn stofemissies zorgen. Omdat de gezondheidseffecten van slijtage-emissies anders lijken te zijn (groter fractie, andere samenstelling) dan van verbrandingsemissies, nemen we deze niet mee in de vergelijkingen in hoofdstuk 6 en 7. Bovendien zou dit een oneerlijke vergelijking geven omdat niet voor alle modaliteiten bekend is wat de omvang van slijtage-emissies is. Wel presenteren we bekende slijtage-emissies in bijlage D. Wanneer we de slijtage-emissies (PM₁₀) vergelijken met verbrandingsemissies, zien we het aandeel in de toekomst sterk stijgen ten opzichte van verbrandingsemissies, als gevolg van afnemende verbrandingsemissies door steeds strengere emissienormen. Dit aandeel kan oplopen tot meer dan 50%.

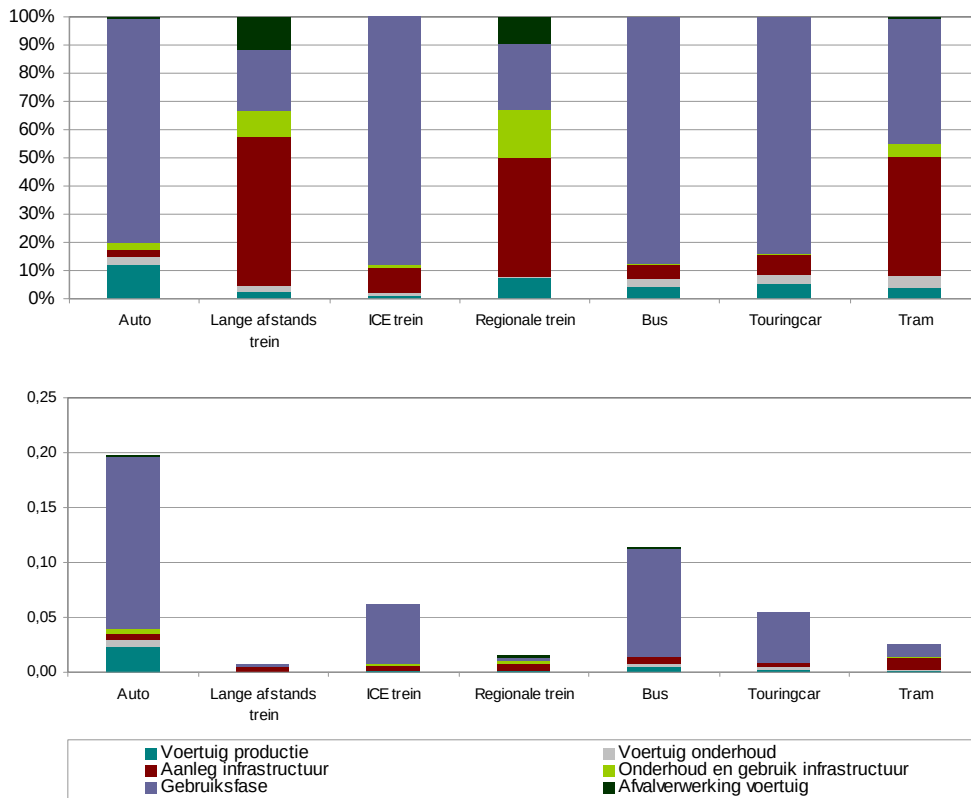
Behalve tijdens de gebruiksfase van voertuigen, komen ook bij productie van voertuigen en aanleg van infrastructuur emissies vrij. Om hier enig inzicht in te geven hebben we daarom een beperkte inventarisatie gemaakt van het energiegebruik tijdens voertuigproductie en de aanleg van infrastructuur. In onderstaand kader gaan we hier kort op in. Een uitgebreidere uitwerking is te vinden in bijlage C.



Energiegebruik in de levenscyclus - infrastructuur en voertuigproductie

Bij de milieubelasting van transport wordt er meestal vooral gekeken naar de milieubelasting tijdens het gebruik van het voertuig, de uitstoot van luchtvervuilende stoffen en CO₂. Voordat een voertuig gebruikt kan worden moet het geproduceerd worden. Ook moet de gebruikte infrastructuur worden aangelegd en onderhouden.

Figuur 1 Verdeling van de milieubelasting (CO₂-eq./pers.km) over verschillende stadia van de levenscyclus van een vervoermiddel (relatief en absoluut)



Bron: Simapro.

Algemeen wordt aangenomen dat milieubelasting van vervoer het grootst is tijdens de gebruiksfase. Toch is het belangrijk om een beeld te schetsen van de milieudruk van voertuigproductie, infrastructuraanleg en -onderhoud, omdat er verschillen bestaan tussen modaliteiten en deze in sommige situaties significant kunnen zijn. Met behulp van het LCA-programma⁴ Simapro is een analyse gemaakt van het energiegebruik verdeeld over de verschillende levensfasen, zie Figuur 1. Omdat dit op slechts één bron gebaseerd is, kunnen er niet al te harde conclusies worden getrokken. Het lijkt echter dat het aandeel aanleg infrastructuur bij spoorgebonden vervoer relatief groot is. Het relatief beperkte gebruik van de infrastructuur speelt hier een rol. Dat dit voor de snelle ICE-trein weer laag is kan veroorzaakt worden door het relatief grote verbruik van deze trein door de hoge snelheid. Het hoge energieverbruik tijdens de aanleg van het spoor wordt bevestigd door een Finse studie (Vihermaa, 2006) over dit onderwerp. Voor de wegmodaliteiten speelt de gebruiksfase verreweg de grootste rol. En hoe langer de levensduur(kilometers) hoe lager het aandeel van voertuigproductie. Dit resultaat wordt bevestigd door een studie van Ford (Ford, 2007). Simapro houdt rekening met de allocatie van infrastructuur naar goederen en personen. Bovenstaande resultaten gelden voor de Europese situatie. Er is aanvullend onderzoek nodig om uitspraken te doen over de specifieke Nederlandse situatie. Verhoudingen zouden hier anders kunnen liggen door bijvoorbeeld een hogere benutting van de infrastructuur dan elders in Europa.

⁴ LCA = Levens Cyclus Analyse.

2.2 Nederlandse situatie

Omdat het Nederlandse beleid de voornaamste doelgroep is voor het onderzoek, gaan we uit van Nederlandse data. Dit betekent dat in sommige gevallen de data niet representatief is voor de EU. Nederland kent bijvoorbeeld relatief hoge CO₂-emissies bij elektriciteitsopwekking, terwijl dit in de EU als geheel lager is vanwege een groter aandeel van energiebronnen als kernenergie en waterkracht in de elektriciteitsopwekking. Ook is het Nederlandse wagenpark relatief jong waardoor gemiddelde emissiefactoren lager zijn dan in de EU als geheel.

2.3 Jaartallen: 2005, 2010, 2020

Emissieprestaties zijn bepaald voor drie jaartallen. 2005 is het laatste jaar waarvoor een redelijk complete set aan statistische data beschikbaar is. Voor het voorbereiden en maken van beleid is de (nabije) toekomst het meest belangrijk. Daarom presenteert STREAM ook data voor 2010 en 2020. Voor deze jaren zijn veel data beschikbaar. Bovendien zijn dit ook de meest gebruikte jaartallen in beleidstudies. De WLO-studie (MNP, 2006) van de verschillende planbureaus is uitgangspunt voor de in dit rapport gepresenteerde toekomstanalyses.

Er is in de literatuur veel informatie voorhanden over relevante trends en te verwachten ontwikkelingen, maar deze is niet in alle gevallen volledig. Wanneer onvoldoende data en inzichten voorhanden waren, zijn onderbouwde aannames gemaakt over de ontwikkeling van emissies, parksamenstelling en logistieke parameters.

2.4 Emissieberekeningen

We gaan uit van een zogenaamde *well-to-wheel* benadering. Dit wil zeggen dat zowel emissies van het voertuig zelf (*tank-to-wheel*) als emissies die vrijkomen tijdens winning en het raffinageproces of de productie van elektriciteit (*well-to-tank*) worden meegenomen. Op deze manier wordt een compleet beeld gegeven van alle emissies die samenhangen met het gebruik van een vervoermiddel. De basisdata in hoofdstuk 3, 4, 5 en 8 toont alleen de *tank-to-wheel* emissies. Emissies van brandstof en elektriciteitsproductie worden gepresenteerd in paragraaf 2.7. In hoofdstuk 6 en 7 worden op basis van deze basisdata, de volledige *well-to-wheel* emissies gepresenteerd voor verschillende cases en technieken.

Emissies van voertuigen kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt:

- emissies per hoeveelheid gebruikte energie, uitgedrukt in gram emissies per hoeveelheid energie: g/MJ of g/kWh⁵;
- emissies per voertuigkilometer, uitgedrukt in gram emissies per voertuigkilometer: g/vkm;

⁵ Het is hierbij van belang onderscheid te maken tussen de hoeveelheid primaire energie, de energie van de hoeveelheid motorbrandstof of van de gebruikte elektriciteit of de hoeveelheid energie die de motor levert (motorvermogen).



- emissies per hoeveelheid transportvolume, uitgedrukt in gram emissies per hoeveelheid nuttig verplaatste ladingkilometers (tonkilometer of reizigerskilometer): g/tkm of g/rzg-km;
- totale emissies voor een bepaalde reis, uitgedrukt in kilogram of ton emissies per reis.

In deze studie worden emissies op de eerste drie wijzen gepresenteerd. Basisdata die gebruikt zijn in deze studie (eerste en tweede presentatiewijze) bestaan uit:

- milieubelasting van voer-, vaar- en vliegtuigen: emissiefactoren (meestal in g/vkm) en energiegebruik (in MJ per vkm) - beide bottom-up, zoveel mogelijk uit praktijkmetingen;
- emissies van raffinaderijen en elektriciteitscentrales (in gram per MJ_{brandstof} of MJ_{elektriciteit});
- logistieke karakteristieken: beladings- of bezettingsgraad, percentage productieve kilometers, omwegpercentage, voor- en natransport.

Op basis van deze basisdata zijn emissies berekend voor verschillende cases welke zijn gepresenteerd volgens de derde genoemde presentatiewijze, emissies per tkm of rzg-km. Deze emissies zijn berekend uit de basisdata met de volgende formule:

$$EM_{\text{totaal}} = \frac{(1 + ORF) * (EM_{\text{vrt.}} + EM_{\text{raff.}} + EM_{\text{electr.}}) * (1 - \%_{\text{v/n trans.}}) + (\%_{\text{v/n trans.}} * EM_{\text{v/n trans.}})}{\text{Belading}}$$

EM _{totaal}	: Emissies per ton- of reizigerskilometer (per tkm of rzg-km).
ORF	: Omwegpercentage t.o.v. wegtransport.
EM _{vrt.}	: Directe emissies vervoermiddel (per vkm).
EM _{raff.}	: Emissies tijdens brandstofraffinage (per vkm).
EM _{electr.}	: Emissies tijdens elektriciteitsopwekking (per vkm).
EM _{v/n trans.}	: Emissies tijdens voor- en natransport (per vkm).
% _{v/n trans.}	: Aandeel voor en natransport in de hele keten (%).
(1 - % _{v/n trans.})	: Aandeel transport per betreffende modaliteit (%).
Belading	: Aantal ton of personen per voertuig.

De emissiefactoren tijdens voertuiggebruik berekenen we in zijn algemeenheid door de emissies betrokken op één voertuigkilometer te delen door de gemiddelde belading of het gemiddeld aantal personen. De gemiddelde lading wordt berekend met behulp van het laadvermogen of het aantal zitplaatsen, de gemiddelde beladings- of bezettingsgraad van niet-lege kilometers en het aandeel lege kilometers. De databeschikbaarheid is echter bepalend voor de manier waarop de emissies van het voertuiggebruik berekend zijn.

Hoe de emissies exact berekend worden per reiziger- of tonkilometer is uiteengezet in bijlage B.

2.5 Vervoerswijzen

Tabel 1 en Tabel 2 geven een overzicht van de vervoerswijzen die zijn opgenomen in STREAM. Omdat emissieprestaties van bulkvervoer en containervervoer verschillend zijn vanwege verschil in belading, maken we onderscheid tussen deze twee markten.

Tabel 1 Vervoerswijzen goederenvervoer opgenomen in de basisdata van STREAM

Goederen	Vaste Bulk	Containers/Volumetransport
Weg		Bestelauto ¹
		Vrachtauto 3,5-10 ton ¹
		Vrachtauto 10-20 ton
	Vrachtauto >20 ton	Vrachtauto >20 ton
	Trekker-oplegger (>20 ton)	Trekker-oplegger (>20 ton)
Spoor	Trein-diesel 1.700 ton	Trein-diesel 800 ton
	Trein-elektrisch 1.700 ton	Trein-elektrisch 800 ton
Binnenvaart	350 ton (Spits)	
	550 ton (Kempenaar)	Neo Kemp (32 TEU)
	1.350 ton (Rhine-Herne Canal ship)	Rhine-Herne Canal ship (96 TEU)
	5.500 ton (Koppelverband)	Container ship (Rhine) (200 TEU)
	12.000 ton (Four-barges convoy set)	Container ship (JOWI class) (470 TEU)
Zeescheepvaart	Kustvaart 1.250 GT	Kustvaart 1.250 GT (144 TEU)
	Kustvaart 7.500 GT	Kustvaart 7.500 GT (580 TEU)
	Kustvaart 22.500 GT	Kustvaart 22.500 GT (1.905 TEU)
	Diepzeevaart 50.000 GT	Diepzeevaart 50.000 GT (4.103 TEU)
	Diepzeevaart 80.000 GT	Diepzeevaart 80.000 GT (6.957 TEU)
Luchtvaart		B737-400 (Europa) ¹
		B747-400F (intercontinentaal) ¹

¹ Het gaat hier uiteraard niet om containers, maar om non-bulk goederen.

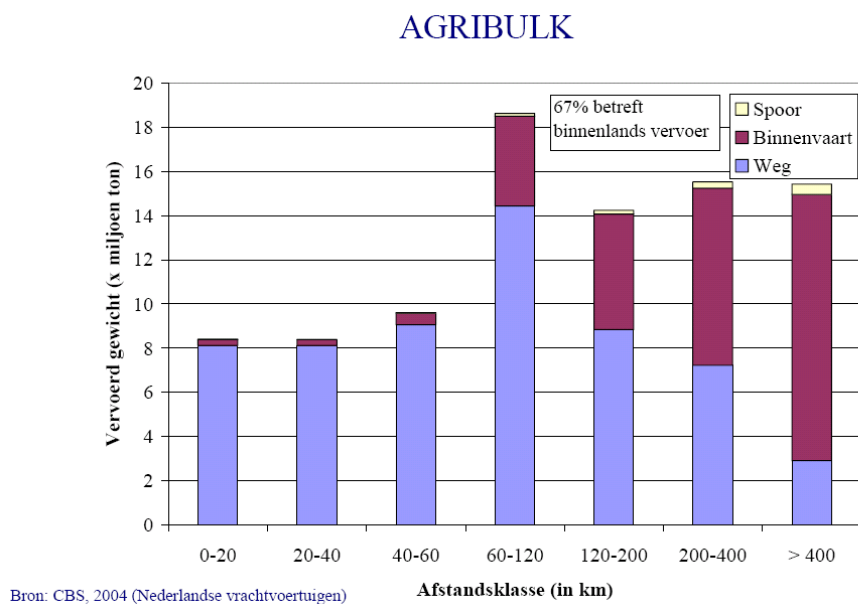
In de onderstaande tekstbox gaan we in op de vraag in welke mate de modaliteiten met elkaar concurreren. Indien er geen concurrentie plaatsvindt, omdat de modaliteiten niet aan de gestelde criteria kunnen voldoen, heeft het ook geen zin om emissies met elkaar te vergelijken.



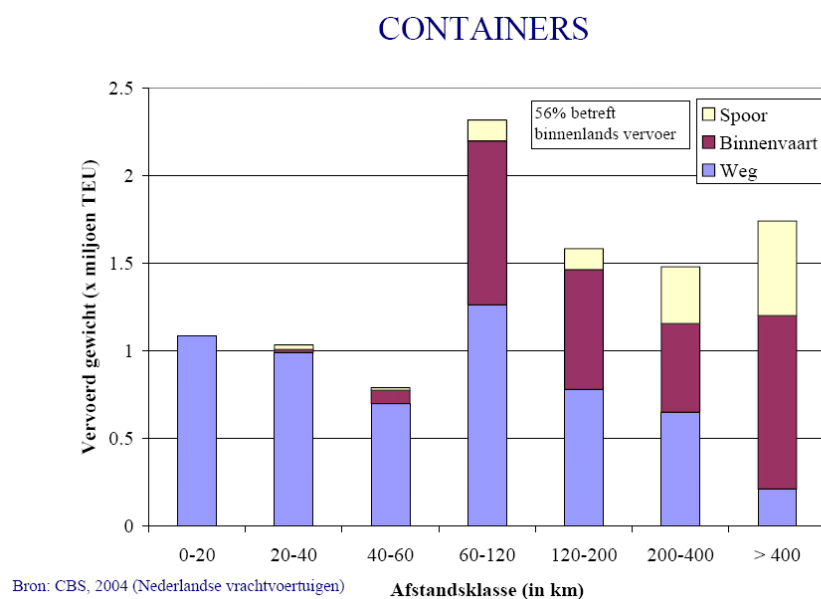
Concurrentie tussen modaliteiten?

Wanneer we een vergelijking maken tussen verschillende modaliteiten is het belangrijk zicht te krijgen op de markten waar zij actief zijn. Op korte afstand is wegtransport de belangrijkste modaliteit. Naarmate de afstand stijgt, neemt ook het marktaandeel van binnenvaart en spoor toe. Figuur 2 en Figuur 3 illustreren dit (PRC, 2007). Ook zeescheepvaart speelt nauwelijks een rol op korte afstanden. In de vergelijkingen in hoofdstuk 6 gaan we in op afstanden waar concurrentie plaats vindt. Er zijn echter ook marktsegmenten, zoals basis- en eindproducten: voeding en materieel, waar de positie van de weg dominant is op alle afstanden.

Figuur 2 Agribulk



Figuur 3 Containers



Tabel 2 Vervoerswijzen personenverkeer opgenomen in de basisdata van STREAM

Personen	Type
Personenauto	Benzine Diesel LPG
Bromfiets	
Motorfiets	
Tram	
Metro	
Bus	Stadsbus Streekbus Touringcar
Trein	Stoptrein (diesel/elektrisch) Intercity HSL
Vliegtuig ¹	B737-400 F100 B747-400 pax

¹ Een B737-400, F100 en B747-400 pax hebben respectievelijk 147, 103 en 426 zitplaatsen.

Naast deze voertuigen zijn fietsen en lopen belangrijke vervoerswijzen in het personenvervoer. STREAM is echter een studie naar emissies en omdat deze vervoerswijzen geen emissies hebben worden zij niet meegenomen in deze studie.

Voor de weg maken we onderscheid naar wegtype. Emissies verschillen namelijk sterk tussen wegen in de stad en op de snelweg. We onderscheiden de volgende wegtypes:

- binnen bebouwde kom;
- buitenwegen;
- snelwegen.

Voor de binnenvaart maken we onderscheid naar verschillende vaarwegen en naar stroomopwaarts en stroomafwaarts varen. Voor luchtvaart maken we onderscheid naar afstand, omdat een relatief groot deel van de emissies wordt uitgestoten tijdens het opstijgen. Hierbij is gebruik gemaakt van afzonderlijke cijfers over het brandstofverbruik in de *Landing & Take-Off*-fase (LTO) en de *Cruise*-fase.



Naast gemiddelden voor de verschillende vervoerswijzen gaan we in hoofdstuk 8 apart in op de invloed van verschillende technologieën in het voertuigenpark en op de invloed van nieuwe technologieën ter vermindering van brandstofverbruik en luchtverontreinigende emissies. Het gaat om de volgende ontwikkelingen:

- Euroklassen en andere emissiewetgeving;
- specifieke technieken als Selective Catalytic Reduction (SCR) en roetfilter;
- biobrandstoffen en duurzame energie;
- energiezuinig rijden;
- energiebesparende technieken personenauto's;
- emissies afhankelijk van voertuiggrootte;
- aardgas;
- hybride aandrijving;
- Langere en Zwaardere Vrachtautocombinaties (LZV of Ecocombi).

2.6 Logistieke kenmerken

2.6.1 Berekeningswijze logistieke kenmerken

Om een uitspraak te doen over de milieupformance van verschillende vervoerswijzen is naast informatie over energiegebruik en emissies ook informatie vereist over de volgende logistieke kenmerken:

- capaciteit;
- beladingsgraad bij beladen rit;
- aandeel productieve kilometers;
- omwegpercentage;
- voor- en natransport (per vrachtauto of stadsbus).

Samen vormen de beladingsgraad en het aandeel productieve kilometers de benuttingsgraad.

Omwegpercentage

Het omwegpercentage geeft de afstand aan die relatief extra moet worden afgelegd met de alternatieve modaliteit ten opzichte van een vrachtauto of personenauto.

In het geval van logistieke data gaan we zoveel mogelijk uit van statistische data, aangevuld met expertschattingen van CE Delft. We nemen aan dat de logistieke karakteristieken in de tijd niet veranderen.

We maken geen onderscheid tussen kilometers afgelegd in files en andere kilometers. Reden hiervoor is dat emissies in files sterk afhangen van het snelheidspatroon in de file en dat de invloed van files op de gemiddelde emissies van een rit in vrijwel alle gevallen verwaarloosbaar is. In onderstaande tekstbox wordt de invloed van files op de totale emissies nader toegelicht.

Hebben files invloed op emissies?

Voertuigen die in een file rijden, hebben een rijpatroon dat ongunstig is voor het brandstofverbruik en voor emissies. Studies van onder andere TNO hebben aangetoond dat emissies van voertuigen in de file hoger zijn dan bij doorstromend verkeer. Het oplossen van files heeft echter maar een beperkte invloed op de gemiddelde emissies van voertuigen, omdat maar een zeer beperkt deel van het totale kilometrage in de file wordt doorgebracht. Ondanks dat files dus bijdragen aan een verslechterde luchtkwaliteit ter plekke zijn zij om bovenstaande reden niet meegenomen in de berekeningen.

Bovendien zorgen files ervoor dat mensen minder snel de weg op gaan en goederentransport duurder wordt vanwege langere rijtijden. Files hebben hierdoor een dempende werking op de vraag naar transport. Het oplossen van files door aanleg van extra infrastructuur, heeft een rebound effect, vanwege de latente vraag naar transport.

In gevallen dat levertijden of venstertijden belangrijk zijn en files moeilijk te vermijden zijn of de prijsgevoeligheid laag is, kunnen files leiden tot extra inzet van materieel en extra voertuigkilometers.

2.6.2 Container- en bulkvervoer, TEU en tonnen

Binnen het vrachtvervoer maken we onderscheid tussen bulk- en non-bulk/containervervoer. Het belangrijkste verschil tussen beide vervoersvormen is de dichtheid van de lading. In het bulkvervoer gaat het over het algemeen om los gestorte goederen (bijv. ertsen, zand of olieproducten), waarbij het laadvermogen in tonnen beperkend is voor de hoeveelheid goederen die geladen kunnen worden, terwijl in het non-bulkvervoer de dichtheid van de goederen veel lager is en het laadvolume beperkend is. Verder is de beladingsgraad en het aantal productieve kilometers voor beide vervoersvormen verschillend.

In het bulkvervoer berekenen we de vervoerde tonnen op basis van de beladingsgraad naar laadvermogen bij beladen ritten vermenigvuldigd met het aantal productieve kilometers.

In het containervervoer berekenen we de vervoerde tonnen op basis van de algemeen geaccepteerde aanname dat een container gemiddeld genomen (vol en leeg samen) 10 ton per TEU bevat (bron: Havenbedrijf Rotterdam). De beladingsgraad wordt vervolgens gedefinieerd als het aantal volle containerplaatsen op trein of schip. Lege containers wegen dus niet mee.

Omdat non-bulk/container vervoer over de weg niet alleen over het vervoer van containers gaat, maken we zoals bij bulkvervoer gebruik van data van het CBS op basis van de beladingsgraad naar laadvermogen, en rekenen we niet met 10 ton per TEU.



2.7 Emissies elektriciteitsproductie en brandstofproductie

In de formule in paragraaf 2.4 zijn emissies van elektriciteitsproductie ($EM_{\text{electr.}}$) en van raffinage ($EM_{\text{raff.}}$) opgenomen, deze paragraaf legt uit hoe en met welke data deze emissiefactoren berekend worden.

Elektrische vervoerswijzen hebben geen directe emissies. Tijdens de winning van brandstoffen en elektriciteitsproductie worden er echter wel stoffen geëmitteerd. Emissies tijdens de winning en aanvoer van grondstoffen zijn gebaseerd op SimaPro. Emissies tijdens de productie van elektriciteit zijn afgeleid uit het ECN-rapport: 'Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000-2004' en uit het rapport van CE Delft 'Achtergrondgegevens stroometikettering 2005'.

Voor 2010 en 2020 nemen we aan dat emissies lager worden. Met name de ingebruikname van nieuwe centrales zorgt ervoor dat emissies van NO_x en SO_2 afnemen. Daarnaast zorgt de ingebruikname van nieuwe centrales voor een lichte rendementsverbetering. Ook de installatie van SCR-katalysatoren in bestaande centrales zorgt voor een afname van luchtverontreinigende emissies.

Voor de berekening van emissies tijdens elektriciteitsproductie is uitgegaan van de Nederlandse leveringsmix van 60% aardgas, 25% kolen, 11% kernenergie en 4% overig (2005). Het aandeel groene stroom van ca. 12% wat in Nederland wordt verkocht is hierin niet verwerkt. Reden hiervoor is dat een bedrijf formeel zelf beslist of het groene stroom inkoopt of niet. Tabel 3 geeft emissiefactoren van elektriciteitsproductie weer.

Tabel 3 Emissiefactoren conventionele elektriciteitsproductie (gemiddeld; inclusief winning en transport van grondstoffen)

	Eenheid	CO_2	NO_x	PM_{10}	SO_2
2005	$\text{g/MJ}_{\text{elektrisch}}$	170	0,211	0,0061	0,0832
2010	$\text{g/MJ}_{\text{elektrisch}}$	170	0,173	0,0061	0,0832
2020	$\text{g/MJ}_{\text{elektrisch}}$	170	0,173	0,0061	0,0832

Bron: ECN, 2005; CE, 2005. Emissiefactoren zijn gecorrigeerd voor warmteproductie.

Emissiefactoren voor brandstofproductie zijn afgeleid uit CE (2003) en TNO (2003) en aangevuld met expert inzichten. Tabel 4 geeft de berekende emissiefactoren. Het effect van het gebruik van biobrandstoffen en duurzame energie op de CO_2 -emissies is niet meegenomen.

Tabel 4 Emissiefactoren brandstofproductie (inclusief emissies tijdens winning en transport van grondstoffen)

	Eenheid	CO_2	NO_x	PM_{10}	SO_2
Benzine	$\text{g/MJ}_{\text{brandstof}}$	12,5	0,028	0,003	0,065
Diesel	$\text{g/MJ}_{\text{brandstof}}$	14,2	0,023	0,002	0,055
Kerosine	$\text{g/MJ}_{\text{brandstof}}$	13,8	0,022	0,002	0,054
Stookolie	$\text{g/MJ}_{\text{brandstof}}$	11,3	0,018	0,002	0,044

Bron: TNO, 2003; CE, 2003.

De luchtverontreinigende emissies van raffinaderijen nemen in de toekomst af, net als emissies van elektriciteitscentrales. Op basis van de meest recente inzichten over de aanscherping van de NEC-plafonds voor 2020 gaan we uit van een daling van 10% voor de SO₂-emissies in 2020 en 20% voor de NO_x-emissies. Een derde van deze reductie wordt reeds gehaald in 2010.

Momenteel is er veel aandacht voor biobrandstoffen. Emissies tijdens de productie van biobrandstoffen zijn echter niet in kaart gebracht. Reden hiervoor is dat het aandeel van biobrandstoffen op de Nederlandse markt gering is. Daarnaast is er veel discussie over de milieueffecten van deze brandstoffen. Dit wordt verder besproken in paragraaf 8.1.1.

2.8 Collectief personenvervoer: marginale of gemiddelde emissies

Ten aanzien van het toerekenen van emissies van collectief vervoer aan reizigers kan een tweetal methoden gehanteerd worden: gemiddelde emissies of marginale (extra) emissies. Marginale emissies zijn emissies die worden veroorzaakt door een extra reiziger. Deze emissies zijn van belang wanneer wordt gekeken naar het gedrag van individuele reizigers, bijvoorbeeld binnen of buiten de spits. Gemiddelde emissies zijn bijvoorbeeld zinvol wanneer men de effecten van bepaalde beleidsopties wil vergelijken.

De eerste benadering rekent aan iedere reiziger de gemiddelde emissies toe, op basis van gemiddelde bezettingsgraden, al dan niet gedifferentieerd naar binnen of buiten de spits. De gemiddelde emissies van een treinreiziger tijdens de spits zijn lager dan buiten de spits, vanwege de hogere bezettingsgraad in de spits.

De andere benadering sluit aan bij het veelgebruikt argument dat de trein toch al rijdt en dat een extra reiziger geen extra emissies tot gevolg heeft. Op de heel korte termijn gaat deze redenering op, omdat de keuze van een individuele reiziger inderdaad geen extra emissies tot gevolg heeft (afgezien van het iets hogere energiegebruik als gevolg van het extra gewicht, maar dit is verwaarloosbaar).

Op iets langere termijn, is de invloed van extra reizigers wel degelijk van invloed op de ingezette capaciteit. Dit kan worden uitgedrukt in marginale emissies: de extra emissies van een reizigerskilometer. Ook hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen spits en dal. Waar de gemiddelde emissies in het dal hoger zijn dan in de spits is dat voor marginale emissies precies andersom. Het hoge aantal lege zitplaatsen in de dalperiode wordt immers bepaald door de capaciteitsvraag in de spits. Dit betekent dat een extra reiziger in de spits de frequentie en lengte van treinen verhoogt, terwijl het effect van een reiziger in de dalperiode nagenoeg nul is.

Professor Rietveld heeft een studie gemaakt van het capaciteitsmanagement van de NS. De belangrijkste conclusie is dat de marginale milieubelasting in de spitsperiode groter is dan vaak gedacht, terwijl de marginale milieubelasting in de dalperiode nagenoeg nul is. De belangrijkste reden hiervoor is de omvang en



frequentie van treinen grotendeels wordt bepaald door de vraag in de spits. Het meeste materieel dat gebruikt wordt in de spits, wordt niet afgekoppeld, maar blijft in gebruik buiten de spits. Logischerwijs is het effect van een extra passagier in de dalperiode nagenoeg nul, terwijl dit in de spitsperiode meer is dan de emissies die de betreffende reiziger zelf veroorzaakt op zijn reis, omdat zijn stoel in de dalperiode leeg blijft.

In STREAM gebruiken we elasticiteiten voor het berekenen van marginale emissies voor openbaar vervoer, gebaseerd op Rietveld (2002). De elasticiteit vermenigvuldigd met de gemiddelde emissie levert de marginale emissie. De gebruikte elasticiteiten zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Elasticiteitswaarden voor spits en dal

Modaliteit	Elasticiteit spits	Elasticiteit dal	Elasticiteit lange afstand
Stoptrein	1,21	0,1	
Intercity	1,21	0,1	1,0
HSL	1,21	0,1	1,0
Stadsbus	1,1	0,3	
Streekbus	1,1	0,3	
Tram	1,1	0,3	
Metro	1,1	0,3	

Bron: Rietveld, 2002; eigen analyse.

Voor spoor zijn de elasticiteitswaarden overgenomen uit Rietveld (2002). Voor de dalperiode nemen we een elasticiteit aan van 0,1. Dit betekent dat een extra reiziger in de dalperiode zorgt voor 10% emissies van een gemiddelde reiziger. Voor lange afstand-vervoer bestaat er geen onderscheid naar spits en dal. Daarom is de elasticiteit dan gelijk aan 1. Dit betekent dat de emissies van een extra persoon gelijk zijn aan een gemiddelde persoon.

Elasticiteiten tijdens de spits zijn hoog omdat wordt aangenomen dat extra personen zorgen voor een bepaalde capaciteitsuitbreiding. Dit is echter niet alleen afhankelijk van het tijdstip, maar ook van het traject. In de spits kan bijvoorbeeld de weg heen op een bepaald traject heel druk zijn terwijl op de weg terug de trein bijna leeg is. Wanneer men deze elasticiteiten wil gebruiken voor een bepaalde situatie moet hiermee rekening worden gehouden.

Voor bus, tram en metro is de flexibiliteit in voertuiglengte kleiner dan voor treinen, maar de flexibiliteit in frequentie is veel groter. Daarom schatten we de elasticiteit gedurende de dalperiode hoger in dan bij treinen namelijk 0,3 en in de spits lager dan bij treinen op 1,1.

Voor een autorit zijn de gemiddelde emissies gelijk aan de marginale emissies, omdat de beslissing van een automobilist alleen betrekking heeft op de emissies van het eigen voertuig.

Bij het uitwerken van vergelijkende cases in hoofdstuk 7 gebruiken we zowel gemiddelde als marginale emissies. Afhankelijk van het doel van het maken van

vergelijkingen kunnen beide benaderingen zinvol zijn. In het geval van een reisadvies is de marginale benadering aan te bevelen, terwijl in geval van een kosten-baten-analyse (KBA) gemiddelde emissies benodigd zijn.

2.9 Emissieprestatie in 2010/2020

2.9.1 WLO-scenario's

Voor de voorspelling van toekomstige emissies gebruiken we WLO-scenario's⁶. Dit zijn de officiële Nederlandse scenario's, om te bepalen of aanvullend beleid noodzakelijk is om gegeven beleidsdoelen te behalen. Ze geven o.a. informatie over parksamenstellingen en emissiefactoren. De scenario's zijn, gegeven het doel dat ze dienen, namelijk het effect van vastgesteld (zeker) beleid, echter beleidsarm van aard. Beleid waarover nu (veel) discussie is, is niet meegenomen. Dit betekent dat bijvoorbeeld de recente EU-plannen voor een aanscherping naar 130 g/km voor personenauto's niet in de WLO-cijfers verwerkt is, terwijl het zeer aannemelijk is dat op enige wijze de CO₂-emissies van nieuwe auto's ingeperkt zullen worden.

2.9.2 Uitgangspunten in STREAM

Voor alle STREAM-scenario's is het uitgangspunt: datgene dat redelijkerwijs te verwachten is, wordt meegenomen. Dit betekent dat beleid waarover officiële voorstellen zijn gedaan of waarover in internationaal verband wordt gesproken meegenomen wordt. Waar nodig haken we aan bij het *Strong Europe*-scenario (MNP, 2006). Dit is echter alleen van belang voor de samenstelling van voertuigparken die licht beïnvloed wordt door aannames over de groei van verkeersstromen.

Hieronder bespreken we onze aannames per modaliteit. Voor elke modaliteit bespreken we welke emissiewetgeving verondersteld wordt in 2020 van kracht te zijn, en wanneer deze ingaat.

Voor elektrische modaliteiten loopt de energiebesparing deels via de elektriciteitsopwekking. Net als lucht- en zeescheepvaart maken ze niet integraal onderdeel uit van de WLO-ramingen. Daarom is voor deze vervoerswijzen gewerkt op basis van eigen inschattingen. In Tabel 6 lichten we de belangrijkste veranderingen in wetgeving en autonome ontwikkelingen toe.

⁶ WLO staat voor Welvaart en LeefOmgeving, <http://www.welvaartenleefomgeving.nl/>. Dit zijn toekomstverkenningen voor Nederland in de vorm van scenario's.



Tabel 6 Aannames voor 2010/2020, meegenomen in de berekeningen

	Personenauto en bestelauto
CO ₂	Uitgangspunt Strong Europe (SE)-scenario, effecten van CO ₂ -regelgeving (130 g/km) in 2020.
NO _x , PM ₁₀	Euro 6 wordt in 2014/15 ingevoerd (Regulation (EC) No 715/2007).
Zwavel	10 ppm blijft.
	Vrachtauto en bus
CO ₂	Conform SE-scenario (energiegebruik gelijk).
NO _x , PM ₁₀	Euro 6 wordt in 2013/14 ingevoerd, conform scenario A uit COM (2007) 85.
Zwavel	10 ppm blijft.
	Binnenvaart
CO ₂	Conform SE-scenario (lichte autonome verbetering).
NO _x , PM ₁₀	In 2012/16 wordt fase II/IV ingevoerd. Verschillende scenario's rouleren.
Zwavel	10 ppm per 1-1-2010.
	Spoor
CO ₂	MJA (personenvervoer), goederenvervoer lichte verbetering efficiëntie.
NO _x , PM ₁₀	Aanscherping emissie-eisen in 2012/13 (Mobiele-werktuigen-Richtlijn 2004/26).
Zwavel	10 ppm per 1-1-2010.
	Luchtvaart
CO ₂	Jaarlijkse autonome efficiëntieverbetering met 0,75%.
NO _x	Een eventuele aanscherping van de CAEP/6 emissienorm voor NO _x zal in de praktijk weinig effect hebben.
Zwavel en PM ₁₀	PM ₁₀ - en SO ₂ -emissiebeleid ongewijzigd.
	Zeescheepvaart
CO ₂	Geen veranderingen in het energiegebruik.
NO _x	Aanscherping IMO Annex-6 met 20% per 2011 (op dit moment onder discussie binnen IMO).
PM ₁₀	Vermindering door verlaging zwavelgehalte.
Zwavel	1,5% S per eind 2007 in de Noordzee en in 2020 alle brandstof 1,5% S.
	Motorfietsen en bromfietsen
CO ₂	Geen veranderingen in het energiegebruik.
NO _x , PM ₁₀	Geen aanvullend beleid ten opzichte van Richtlijn Richtlijn 1997/24 en 2002/51, die emissie-eisen voorschrijven voor motor- en bromfietsen.
Zwavel	10 ppm blijft.

In hoofdstuk 5 werken we de bovenstaande Tabel 6 verder uit per vervoerswijze. Naast wetgeving zijn er nog autonome ontwikkelingen en maatregelen die de sectoren zelf nemen. Een voorbeeld hiervan is energiezuinig rijden op het spoor.

2.10 Zelf emissies bepalen en vergelijkingen maken: 7-stappen-benadering

Met behulp van de basisdata gepresenteerd in dit rapport is het mogelijk een groot aantal vergelijkende cases te maken. Cases kunnen gemaakt worden op basis van de data voor het parkgemiddelde in 2005, 2010 of 2020 (hoofdstukken 3 t/m 5) of op basis van de emissiefactoren voor bepaalde specifieke technieken (hoofdstuk 8).

Voor het vergelijken van emissies van verschillende vervoerswijzen bevelen we de volgende 7-stappen benadering aan:

- 1 Kies welke vervoerswijze(n) je in beeld wilt brengen. Let op welke modaliteiten daadwerkelijk concurreren met elkaar.
- 2 Bepaal welke emissies je in kaart wilt brengen: STREAM gaat in op klimaatemissies (CO₂) en luchtvervuilende emissies (NO_x en PM₁₀).
- 3 Personenvervoer: bepaal of met marginale of gemiddelde emissies gerekend dient te worden. *Marginale emissies* worden aanbevolen voor maatregelen die gericht zijn op gedragsbeïnvloeding van individuele reizigers, zoals reisadviezen, of bij nieuw beleid waarbij substitutie-effecten verwacht worden. *Gemiddelde emissies* zijn het best bruikbaar bij de meeste andere toepassingen.
- 4 Definieer complete transportketens van begin tot eind, inclusief omwegpercentages, beladingsgraden en voor- en natransport. Hiervoor kunnen eventueel de standaardwaarden uit hoofdstuk 3 en 4 worden gebruikt, indien geen data voor de specifieke transportketens beschikbaar zijn.
- 5 Kies een jaartal om gemiddelde emissies te bepalen of kies een aantal specifieke technieken die je met elkaar wilt vergelijken.
- 6 Kies of de hele brandstofketen in kaart moet worden gebracht (inclusief winning, raffinage en elektriciteitsopwekking) of alleen de directe emissies van de voertuigen (bijvoorbeeld wanneer alleen de lokale effecten van belang worden geacht⁷).
- 7 Bepaal aan de hand van de vorige stappen de te gebruiken emissiedata en logistieke data (zie hiervoor de data in hoofdstuk 3, 4, 5 en 8). Gebruik de vergelijkingen uit bijlage B.1 en B.2 om emissies te berekenen.

Let op dat het uitgangspunt voor deze studie de situatie in Nederland is. Dit speelt met name een rol bij elektriciteitsopwekking. De CO₂-emissies van elektriciteitsopwekking in Europa zijn lager vanwege het gebruik van kernenergie en waterkracht.

⁷ Alleen luchtverontreinigende emissies hebben voornamelijk een lokaal effect. CO₂ heeft een mondiaal effect.



3 Basisdata Goederenvervoer (2005 gemiddeld)

In dit hoofdstuk presenteren we een set aan basisdata voor zowel emissiefactoren en energiegebruik als voor logistieke parameters voor het goederenvervoer. De gepresenteerde data zijn deels praktijkdata, deels gemodelleerde data en worden gepresenteerd als zonder bandbreedtes. In werkelijkheid zit er echter een onzekerheidsmarge rondom deze waarden, maar deze is binnen STREAM niet gekwantificeerd.

3.1 Basisdata vrachtauto's

3.1.1 Energiegebruik en emissiedata

Emissiefactoren voor vrachtauto's en bestelauto's zijn afkomstig van TNO en de Taakgroep Verkeer. De emissies zijn sterk afhankelijk van de verkeerssituatie en de beladingsgraad, daarom is in de emissiefactoren onderscheid gemaakt naar wegtype. Het energiegebruik is berekend uit de emissiefactoren voor CO₂. Tabel 7 geeft het energiegebruik en emissiefactoren voor vrachtauto's en bestelauto's, en de benuttingsgraden waarvoor de gegeven energiegebruiken en emissies gelden. Later in Tabel 9 en Tabel 10 presenteren we praktijkgegevens voor de benuttingsgraad en corrigeren we het energiegebruik en de emissies voor het verschil.

In hoofdstuk 8 zijn data te vinden uitgesplitst naar Euroklasse, en gaan we ook in op het effect van hybridisering en langere en zwaardere vrachtauto's.

Tabel 7

Energiegebruik en emissiefactoren voor bestelauto's en vrachtauto's bij gegeven benuttingsgraad (uit metingen)

Vracht- en bestelauto's	Energiegebruik ¹	Emissiefactoren ^{1,2}				Benuttingsgraad (op basis van laadvermogen in tonnen)
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	
	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km	%
<3,5 ton (bestelauto)						
Totaal	3,5	255	1,04	0,10	0,004	25
Stad	4,1	301	1,29	0,13	0,005	
Buitenweg	2,7	200	0,77	0,07	0,003	
Snelweg	3,4	250	0,98	0,11	0,004	
3,5-10 ton						
Totaal	5,9	429	5,0	0,28	0,007	35
Stad	7,0	511	5,81	0,36	0,008	
Buitenweg	5,3	386	4,57	0,27	0,006	
Snelweg	5,5	401	4,60	0,23	0,006	
10-20 ton						
Totaal	8,5	626	7,7	0,31	0,010	40
Stad	12,2	897	10,9	0,45	0,014	
Buitenweg	8,2	600	7,5	0,31	0,009	
Snelweg	7,3	533	6,4	0,26	0,008	
>20 ton						
Totaal	11,6	847	9,6	0,32	0,013	44
Stad	17,6	1290	14,8	0,49	0,020	
Buitenweg	12,1	887	10,3	0,34	0,014	
Snelweg	10,3	754	8,4	0,28	0,012	
Trekker met oplegger						
Totaal	11,1	810	8,7	0,28	0,013	49
Stad	18,2	1336	14,5	0,45	0,021	
Buitenweg	12,1	884	9,5	0,30	0,014	
Snelweg	9,4	686	7,4	0,25	0,011	

¹ Energieverbruik en emissiefactoren zijn gemeten bij een vaste benuttingsgraad, dit is het product van de beladingsgraad en het aantal productieve kilometers.

² Totale emissiefactoren voor vrachtauto's zijn berekend m.b.v. aandelen van verschillende weg-types afkomstig uit CE, 2003. Data per wegtype zijn afkomstig van TNO, 2008.

Deze hierboven gepresenteerde data zijn geldig bij de gegeven benuttingsgraad. Omdat benuttingsgraden in de praktijk afwijken van de gebruikte benuttingsgraad bij meting, corrigeren we emissiedata op basis van verandering in energiegebruik bij veranderende benuttingsgraad. Zie hiervoor de gegevens in Tabel 8.

Tabel 8

Brandstofverbruik volle en lege vrachtauto's

Vrachtauto's	Verskil energieverbruik per % benuttingsgraad	
	MJ/km	
3,5-10 ton		0,015
10-20 ton		0,029
>20 ton		0,061
Trekker met oplegger		0,066

Bron: CE, 2003.



Voor luchtverontreinigende emissies gebruiken we eenzelfde relatieve samenhang met de beladingsgraad als het brandstofverbruik. Omdat de gemiddelde vrachtauto in het park nog geen gebruik maakt van een uitlaatgas-nabehandelingssysteem is de correlatie tussen brandstofverbruik en emissies nog relatief lineair, en is deze schatting dus te rechtvaardigen.

3.1.2 Logistieke parameters

Om emissies per tkm te berekenen zijn naast het energiegebruik en de emissiefactoren de belading, het percentage productieve kilometers, het aandeel voor- en natransport en het omwegpercentage nodig. Voor vrachtauto's is er geen voor- en natransport omdat is aangenomen dat vrachtauto's overal kunnen komen. Het omwegpercentage is per definitie nul (deze is gedefinieerd als het percentage omrijden t.o.v. wegtransport). Tabel 9 geeft de overige logistieke parameters. Deze zijn afkomstig van CBS, het gaat om data voor vrachtwagens die laden of lossen binnen Nederland. Voor vrachtauto's > 20 ton en trekker met oplegger zijn logistieke gegevens gebruikt van containervervoer, voor de kleinere voertuigen zijn gemiddelde gegevens gebruikt, omdat deze voertuigen geen containers vervoeren.

Tabel 9 Logistieke parameters voor vrachtauto's en bestelauto's

Vrachtauto's	GVW	Capaciteit ¹	Beladingsgraad op basis van laadvermogen in tonnen ²	Productieve km's ³
	ton	ton	%	%
Bulk				
>20 ton	34	27	66	50
Trekker met oplegger	36	27	73	59
Non-bulk/Container				
<3,5 ton (bestelauto)	3,2	1,5	35	61
3,5-10 ton	6,9	4,0	36	74
10-20 ton	14	10	36	73
>20 ton	34	27	42	67
Trekker met oplegger	36	27	38	87

¹ NEA/Sterc/Transcare, 2002.

² CBS, 2005.

³ Bulk: CBS 2005, Container: CE, 2003.

Verschillende TEU's?

Zoals aangegeven in het methodiekhoofdstuk (2) rekenen we in het containervervoer voor de niet-weg-modaliteiten gemiddeld met 10 ton lading per vervoerde container. Wanneer we deze gegevens vergelijken met de gegevens voor het wegvervoer, komen we tot de conclusie dat een voor een (on)gelede vrachtauto >20 ton en een trekker met oplegger de belading van een gemiddelde container lager is, respectievelijk 12,7 en 15,4 ton voor een truck met een capaciteit van 2 TEU. Hiervoor zijn een aantal verklaringen mogelijk:

- een vrachtauto > 20 ton rijdt deels ook ongeleed;
- het soortelijk gewicht van met vrachtauto vervoerde goederen is gemiddeld lager.

Met behulp van de gegevens over het brandstofverbruik per % benutting boven het verbruik van een lege vrachtauto, kunnen we de gegevens uit Tabel 7 corrigeren voor de benuttingsgraden uit de Tabel 9. Tabel 10 geeft deze energiegebruiken.

Tabel 10 Energiegebruik en emissies gecorrigeerd voor gebruikte benuttingsgraden

Vrachtauto's	Gemiddelde benuttingsgraad volgens STREAM	Energiegebruik bij benuttingsgraad STREAM	Emissies bij benuttingsgraad STREAM			
			CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
			g/km	g/km	g/km	g/km
Bulk						
>20 ton						
Totaal	33	11,5	846	9,48	0,205	0,013
Stad		17,4	1273	14,55	0,363	0,020
Buitenweg		12,2	892	10,23	0,221	0,014
Snelweg		10,2	751	8,25	0,171	0,012
Trekker met oplegger						
Totaal	43	10,7	782	8,44	0,171	0,012
Stad		17,6	1288	14,03	0,326	0,020
Buitenweg		11,6	853	9,21	0,188	0,013
Snelweg		9,0	662	7,12	0,137	0,010
Container/non-bulk						
3,5-10 ton						
Totaal	27	5,7	420	4,85	0,172	0,007
Stad		6,8	500	5,69	0,251	0,008
Buitenweg		5,2	378	4,47	0,156	0,006
Snelweg		5,3	392	4,50	0,125	0,006
10-20 ton						
Totaal	26	8,8	643	7,80	0,203	0,010
Stad		12,5	913	11,02	0,330	0,014
Buitenweg		8,6	627	7,76	0,199	0,010
Snelweg		7,4	546	6,54	0,154	0,008
>20 ton						
Totaal	28	11,2	824	9,23	0,200	0,013
Stad		16,9	1240	14,17	0,354	0,019
Buitenweg		11,9	869	9,97	0,215	0,013
Snelweg		10,0	732	8,04	0,166	0,011
Trekker met oplegger						
Totaal	33	10,0	733	7,92	0,161	0,011
Stad		16,5	1209	13,17	0,306	0,019
Buitenweg		10,9	800	8,64	0,177	0,012
Snelweg		8,5	621	6,68	0,129	0,010

Met behulp van de bovenstaande gegevens is ook voor andere benuttingsgraden het energiegebruik te berekenen.



3.2 Basisdata goederentreinen

3.2.1 Energiegebruik en emissiedata

In het spoorvervoer wordt onderscheid gemaakt tussen elektrische en diesel-treinen. Het energiegebruik en de emissies van treinen zijn sterk afhankelijk van het gewicht van de trein, dit wil zeggen het aantal wagons en de belading per wagon. In Tabel 11 geven we het energiegebruik van een locomotief en het energiegebruik voor iedere ton extra bruto gewicht. Dit extra gewicht is niet alleen lading, maar ook het gewicht van de wagons.

Tabel 11 Energiegebruik en emissiefactoren voor goederentreinen

Trein	Energiegebruik loc ¹	Energiegebruik bruto gewicht wagons ¹	Emissiefactoren ²			
			CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
			g/MJ	g/MJ	g/MJ	g/MJ
Elektrisch	3,0	0,05	-	-	-	-
Diesel	25,0	0,11	73	1,410	0,027	0,036

¹ Pers. com. Dhr. P. van Gemert, Railion.

² Taakgroep verkeer.

Met bovenstaande gegevens kan voor ieder type trein berekend worden wat het energiegebruik is. Om een beeld te geven van de emissies van goederenvervoer per spoor worden een aantal typische (gemiddelde) treinen voor de Nederlandse situatie bekeken. Tabel 12 geeft gegevens voor deze treinen.

Tabel 12 Eigenschappen goederentreinen

Trein	Aantal locs ¹	Aantal wagons	Laad- vermogen	Gewicht loc	Gewicht lege wagen
			ton/TEU	ton	ton
Bulk					
Elektrisch	2	44	2.500 ton	88	45
Diesel	3	44	2.500 ton	110	45
Containers					Incl. 3 lege containers
Elektrisch	1	22	66 TEU	88	27,5
Diesel	1	22	66 TEU	110	27,5

¹ Dit aantal wordt gebruikt voor voortbeweging van een volle trein, een lege trein gebruikt slechts één loc.

Met behulp van de typering in Tabel 12 kan het energieverbruik van de verschillende treintypen berekend worden. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$E_{treinvol} = n \cdot E_{loc} + M_{vol} \cdot E_m$$

$$E_{treinleeg} = E_{loc} + (M_{leeg} + (n-1) \cdot M_{loc}) \cdot E_m$$

Waarin:

- E_{trein} Energiegebruik trein (vol of leeg).
- n Het aantal locomotieven.
- E_{loc} Energiegebruik van de locomotie.
- M De bruto massa van de trein (vol of leeg).
- E_m Energiegebruik per ton bruto gewicht.

Met deze formules kan het energieverbruik per volle of lege kilometer berekend worden. Om tot een gemiddeld energieverbruik per kilometer of per ton kilometer te komen moet een gewogen gemiddelde genomen worden over het aandeel volle en lege kilometers. Daarnaast moet de beladingsgraad bekend zijn om M_{vol} te berekenen. Deze parameters zijn variabel en worden hieronder besproken voor de Nederlandse situatie. Omdat het energieverbruik van de volle trein afhangt van het totale gewicht van de trein dient deze waarde voor iedere beladingsgraad te worden berekend. Bovenstaande energieverbruiken gelden voor de huidige snelheden. Indien de snelheid in de toekomst toeneemt op bijvoorbeeld de Betuwelijn, is het energieverbruik hoger.

3.2.2 Logistieke parameters

Om het energieverbruik en de emissies per tkm te kunnen berekenen dienen ook een aantal logistieke parameters gedefinieerd te worden. In Tabel 13 presenteren we deze gegevens.

Tabel 13 Logistieke parameters goederentreinen (gelijk voor diesel en elektrische treinen)

Trein ¹	Belading tijdens productieve kms ²	Aandeel productieve km's	Netto Lading	Gewicht volle trein (excl. locs)
	%	%	ton	ton
Bulk	100	50	2.500	4.480
Containers	87	98	718	1.158

¹ Persoonlijke communicatie Dhr. P. van Gemert, Railion.

² Voor containervervoer is hier het gemiddeld aantal bezette containerplaatsen vermeld. Containers zijn gemiddeld beladen met 10 ton/TEU.

Met behulp van de bovenstaande gegevens kan het energieverbruik voor elke beladingsgraad berekend worden. Voor de gekozen treinen in deze studie en met de gegeven logistieke parameters zijn de energieverbruiken in Tabel 14 berekend.



Tabel 14 Berekend energiegebruik voor de in STREAM gedefinieerde treinen

Trein	Energiegebruik ¹	
	MJ (elek./diesel)/vkm	
Bulk		
Elektrisch		164
Diesel		393
Containers		
Elektrisch		56
Diesel		139

¹ Er is hierbij een gewogen gemiddelde berekend voor lege en volle km's op basis van de logistieke parameters in Tabel 13.

Over het algemeen is een reis per trein langer dan per weg, omdat het wegenetwerk fijner vertakt is dan een spoornetwerk. Voor het omwegpercentage wordt dan ook een range aangehouden van 0 tot 20%. Voor voor- en natransport is een range aangehouden van 0 tot 10%.

3.3 Basisdata binnenvaart

Het energiegebruik van binnenvaartschepen is berekend met het EMS⁸-model. EMS is het officiële model voor de vaststelling van Nederlandse binnenvaart-emissies. Dit model berekent per scheepstype het energiegebruik afhankelijk van de vaarweg, beladingsgraad en het aantal productieve kilometers. In de keuze voor scheepstypen is aangesloten bij CBRB (2004). Tabel 15 geeft het energiegebruik van deze schepen weer. Omdat het berekende energiegebruik sterk afhankelijk is van de beladingsgraad en het aandeel productieve kilometers zijn ook deze parameters in Tabel 15 weergegeven, deze zijn berekend uit data van het CBS. Naast logistieke parameters is het energiegebruik ook afhankelijk van de vaarweg. Er is aangenomen dat de schepen 50% van de tijd op de Waal varen en 50% van de tijd op kanalen. Meer informatie over de invoerparameters van het model en het berekende energiegebruik per vaarweg zijn te vinden in bijlage E.

⁸ EMS staat voor Emissieregistratie en Monitoring Scheepvaart.

Tabel 15 Energiegebruik en logistieke gegevens voor binnenvaart

Binnenvaart	AVV- klasse	CEMT- klasse	Capaciteit	Beladings- graad	Productieve km's	Energie- gebruik ¹
			ton	% laad- vermogen in tonnen	%	MJ/vkm
Bulk						
Spits	2	I	350 ton	66	78	113
Kempenaar	3	II	550 ton	66	78	178
Rhine Herne Canal Ship	7	IV	1.350 ton	66	78	412
Koppolverband	25	-	5.500 ton	66	78	656
Four barges Convoy set	18	VIb	12.000 ton	66	78	970
			TEU	% bezette container- plaatsen		
Containers						
Neo Kemp	4	-	32 TEU	65	98	149
Rhine Herne Canal Ship	7	IV	96 TEU	65	98	363
Container ship (Rhine)	9	Va	200 TEU	65	98	570
Container ship (JOWI class)	9	-	470 TEU	65	98	1.040

¹ Dit energieverbruik geldt alleen onder aanname van de genoemde logistieke parameters. Containers zijn gemiddeld beladen met 10 ton/TEU.

Het energiegebruik van een binnenvaartschip is afhankelijk van de belading van het schip, de gegeven energiegebruiken zijn dan ook alleen geldig onder aanname van de gegeven logistieke parameters. Tabel 16 geeft per schip de hoeveelheid energie die meer of minder gebruikt wordt bij een veranderende beladingsgraad.

Tabel 16 Afhankelijkheid energiegebruik van de beladingsgraad voor binnenvaartschepen

Scheepstype	Verschil energiegebruik per % beladingsgraad
	MJ/km
Bulk	
Spits	0,88
Kempenaar	0,96
Rhine Herne Canal ship	2,3
Convoy	3,6
Four Barges	4,5
Containers	
Neo Kemp	1,0
Rhine Herne Canal ship	2,3
Container ship Rhine	3,8
Container ship (JOWI class)	7,4

Over het algemeen is een reis per binnenvaartschip langer dan over de weg, omdat de binnenvaart voor een deel de natuurlijke loop van rivieren volgt, die minder fijnmazig is dan het wegennetwerk. Het omwegpercentage heeft dan ook een range van 0 tot 20%. Voor voor- en natransport is een range van 0 tot 10% aangehouden.



Emissiefactoren voor NO_x en PM₁₀ zijn overgenomen van de Taakgroep Verkeer. Voor NO_x betreft het data op basis van nieuwe inzichten van eind 2007. Tabel 17 geeft de emissiefactoren voor binnenvaartschepen.

Tabel 17 Emissiefactoren binnenvaart

Binnenvaart	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	g/MJ	g/MJ	g/MJ	g/MJ
Emissiefactoren	73	1,070	0,049	0,048

Bron: Taakgroep Verkeer en Vervoer.

3.4 Basisdata zeescheepvaart

3.4.1 Energiegebruik en emissiedata

Energiegebruik en emissiedata per scheepskilometer zijn voor verschillende scheepstypen afgeleid uit het EMS-model. Het EMS-model geeft data voor verschillende scheepstypen en -klassen (aangeleverd door TNO). Er is gebruik gemaakt van data voor bulk- en containerschepen. Van de verschillende grootte-classes in de model-output is het gemiddelde genomen. Tabel 18 geeft deze basisdata.

Tabel 18 Emissies en energiegebruik in de zeescheepvaart

Zeescheepvaart	Energiegebruik	Emissiefactor			
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	MJ/km	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km
Droge bulk					
1.300 GT	693	54	1,2	0,09	0,66
5.800 GT	1.113	87	2,3	0,20	1,39
20.000 GT	1.886	147	4,3	0,34	2,29
45.000 GT	2.381	186	5,4	0,39	2,64
80.000 GT	3.503	273	8,0	0,63	4,27
Containers					
1.300 GT		59	1,2	0,06	0,48
5.800 GT	754	116	2,3	0,10	0,82
20.000 GT	1.484	208	5,9	0,37	2,59
45.000 GT	2.672	358	10,5	0,81	5,47
80.000 GT	4.595	573	15,4	0,82	5,98

Bron: EMS-model; eigen analyse.

Het netto klimaateffect van diepzeevaart is mogelijk negatief, zo laten een aantal studies zien (Fuglestad, 2008). Dit heeft te maken met de interactie van de scheepvaart met wolkvorming en de directe reflectie van zonlicht door roet-deeltjes. In deze studie nemen we dit verder niet mee, omdat er nog zeer grote onzekerheid bestaat over deze effecten.

3.4.2 Logistieke parameters

Vervolgens is de relatie tussen het bruto tonnage (GT) en het draagvermogen (DWT) en de TEU-capaciteit afgeleid op basis van data voor een aantal typische schepen verkregen uit een steekproef bij verschillende reders (zie bijlage F). Het DWT staat voor het draagvermogen van het schip, het aantal tonnen lading (incl. brandstof) dat een schip kan meenemen. Daarnaast geldt als algemeen geaccepteerde rekenregel dat een zeecontainer gemiddeld 10 ton lading per TEU bevat. Benuttingsgraden zijn onder andere gebaseerd op het REALISE⁹-project.

Voor de zeescheepvaart geldt dat een reis t.o.v. vervoer over de weg heel kort kan zijn (vgl. Porto-Cork) of juist heel lang (Rotterdam-Marseille). Om deze reden is een brede bandbreedte gekozen voor het omwegpercentage, van -40 tot 40%. Voor- en natransport varieert van 0 tot 10%.

Tabel 19 Logistieke parameters in de zeescheepvaart

Zeescheepvaart	Capaciteit	Belading	Beladingsgraad	Productieve km's
	ton/vtg	ton/vtg	% van het laadvermogen	%
Droge bulk				
1.300 GT	1.815	908	100	50
5.800 GT	7.934	3.967	100	50
20.000 GT	29.830	14.915	100	50
45.000 GT	79.088	39.544	100	50
80.000 GT	146.680	73.340	100	50
	TEU/vtg		% bezette containerplaatsen	
Containers				
1.300 GT	144	875	60	98
5.800 GT	580	3.515	60	98
20.000 GT	1.905	11.543	60	98
45.000 GT	4.103	24.867	60	98
80.000 GT	6.957	42.157	60	98

3.5 Basisdata luchtvaart

Goederenvervoer door de lucht kan onderscheiden worden in twee soorten vervoer, namelijk puur vrachtvervoer en zogenaamd *belly-hold cargo*. De eerste categorie is de belangrijkste. Bij de laatste wordt vracht meegenomen in het ruim van passagiersvliegtuigen. De berekening van emissies behorende bij *belly-hold cargo* is iets ingewikkelder dan die voor puur vrachtvervoer omdat het energiegebruik en de emissies moeten worden verdeeld over goederen en personen.

⁹ REALISE is een EU-project op het gebied van kustzeevervaart, <http://www.realise-sss.org/>.



Energiegebruik en emissiedata

Het energiegebruik en hiermee de emissies van vliegtuigen zijn het hoogst tijdens opstijgen van een vliegtuig (LTO-fase). De gemiddelde emissies per kilometer zijn daarom afhankelijk van de afstand waarover gevlogen wordt. In STREAM zijn het energiegebruik en de emissies daarom berekend voor drie verschillende afstanden, namelijk 2.778 km (1.500 NM¹⁰), 6.482 km (3.500 NM) en 12.038 km (6.500 NM).

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikaseffect veel groter dan alleen die van de CO₂-emissie. Voornamelijk condensstrepen en NO_x-emissies leveren een grote bijdrage. Het exacte effect is afhankelijk van een groot aantal parameters zoals hoogte en weersomstandigheden. Een goede inschatting van het totale effect kan gemaakt worden m.b.v. de IPCC-factor. Vermenigvuldiging van de CO₂-emissies met deze factor geeft de bijdrage aan het broeikaseffect in CO₂-equivalenten. IPCC (1999) hanteert een factor 2,7, maar recente berekeningen laten zien dat de *radiative forcing* van niet-CO₂-emissies waarschijnlijk is overschat. Volgens Sausen (2005) is in 2000 het totale broeikaseffect van de luchtvaart ongeveer twee keer zo groot als alleen het effect van de CO₂-uitstoot. Cirrus-bewolking is niet in deze waarde opgenomen, omdat hierover teveel onzekerheid bestaat. In STREAM zal naar aanleiding van deze resultaten een factor 2 aangehouden worden ter berekening van het broeikaseffect van luchtvaart.

Tabel 20 geeft emissies en energiegebruik per vliegtuigtype op verschillende afstanden weer. Zoals eerder gezegd moet er bij *belly-hold cargo* rekening mee worden gehouden dat een toedeling moet worden gemaakt naar goederen en personen. Het aandeel van de emissies en het energiegebruik dat moet worden toegerekend aan vracht wordt in Tabel 20 gegeven. Dit percentage is afgeleid uit de belading vracht en passagiers, er is hierbij aangenomen dat een passagier (inclusief bagage, zijn stoel en voorzieningen) 150 kilogram weegt. Dit aandeel is dus sterk afhankelijk van het aantal passagiers en de massa van de vracht, het zal per situatie verschillen. Het gegeven energiegebruik is het totale gebruik voor vracht en passagiers.

Tabel 20 Energiegebruik en emissiefactoren voor vrachtvliegtuigen

Vliegtuig	Afstand	Aandeel vracht	Energiegebruik	Emissiefactoren				
				CO ₂	CO ₂ -eq	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	km	%	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Belly-hold cargo								
B737-400	2.778	16%	139	10.418	20.836	31	0,7	3,3
B747-400 pax	6.482	13%	453	33.963	67.926	150	2,2	10,8
B747-400 pax	12.038	13%	493	36.962	73.924	177	2,3	11,7
Vrachtvliegtuig								
B747 F	2.778	100%	467	35.062	70.125	161	2,2	11,1
B747 F	6.482	100%	453	33.963	67.926	150	2,2	10,8
B747 F	12.038	100%	493	36.962	73.924	177	2,3	11,7

¹⁰ NM = Nautische Mijl.

Logistieke parameters

Tabel 21 geeft de logistieke parameters voor vrachtvliegtuigen weer. Het omwegpercentage betreft de extra afstand die gereisd wordt als gevolg van 'cirkelen' in wachtgebieden. Daarnaast vliegen vliegtuigen vastgestelde routes, die niet per definitie de kortste zijn. Het voor- en natransport is 20% op korte afstand, bij langere afstand is dit 5%.

Tabel 21 Logistieke parameters voor vrachtvliegtuigen

Vliegtuig	Afstand	Beladingsgraad	Laadvermogen	Lading	Omwegpercentage		Voor- en natransport	
					Min	Max	Min	Max
	km	%	ton	ton/vlgtg	%	%	%	%
Belly hold cargo								
B737-400	2.778	60	5,0	3	0	2	0	20
B747-400 pax	6.482	60	12,5	8				5
B747-400 pax	12.038	60	12,5	8				5
Vrachtvliegtuig								
B747 F	2.778	70	113	78	0	2	0	20
B747 F	6.482	70	113	78				5
B747 F	12.038	70	113	78				5

¹ AEA, 2007.

4 Basisdata Personenvervoer (2005)

In dit hoofdstuk presenteren we basisdata voor de berekening van het energiegebruik en de emissies van de verschillende modaliteiten in het personenvervoer. De gepresenteerde data zijn deels praktijkdata, deels gemodelleerde data en worden gepresenteerd als puntdata. In werkelijkheid zit er echter een onzekerheidsmarge rondom deze waarden, deze is binnen STREAM niet gekwantificeerd. Zoals al aangeven in paragraaf 2.5 zijn twee belangrijke vervoerswijzen binnen het personenvervoer niet meegenomen, namelijk fietsen en lopen.

4.1 Basisdata personenauto's

4.1.1 Energiegebruik en emissiedata

Voor personenauto's zijn energiegebruik en emissiefactoren sterk afhankelijk van de brandstof en de omstandigheden van het verkeer. Om deze reden zijn deze parameters gegeven per brandstof en wegtype. Tevens zijn gemiddelde emissiefactoren gegeven. Tabel 22 geeft het energiegebruik en de emissiefactoren voor alle brandstof en wegtype combinaties. Data zijn afkomstig van de Taakgroep Verkeer.

Tabel 22 Energiegebruik en emissiefactoren van personenauto's

Personenauto	Energiegebruik	Emissiefactoren			
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Benzine					
Totaal	2,69	194	0,35	0,008	0,006
Stad	3,59	259	0,48	0,012	0,008
Buiten	2,25	162	0,27	0,005	0,005
Snelweg	2,58	186	0,38	0,008	0,006
Diesel					
Totaal	2,42	180	0,57	0,061	0,003
Stad	3,11	231	0,85	0,097	0,004
Buiten	2,09	155	0,46	0,043	0,002
Snelweg	2,41	179	0,54	0,060	0,003
LPG					
Totaal	2,48	165	0,47	0,008	0
Stad	3,48	232	0,62	0,010	0
Buiten	2,20	146	0,46	0,006	0
Snelweg	2,38	159	0,45	0,008	0
Totaal					
Totaal	2,60	188	0,43	0,023	0,005
Stad	3,49	252	0,56	0,030	0,007
Buiten	2,21	160	0,33	0,014	0,004
Snelweg	2,50	182	0,44	0,028	0,004

Bron: Taakgroep Verkeer en Vervoer.

Het effect van niet-CO₂-emissies (koelmiddel HFC-134a) door het gebruik van airco's in personenauto's is zo'n 10-20 gram per vkm (EC, 2003). Dit nemen we verder in deze studie niet mee, omdat voor andere modaliteiten deze informatie niet voorhanden is. In hoofdstuk 8 gaan we in op auto's van verschillende grootteklasse en de daarbij behorende CO₂-emissies. Ook laten we de emissies zien van auto's op aardgas en de effecten van diverse biobrandstoffen.

4.1.2 Logistieke data

Voor personenauto's is aangenomen dat er geen voor- en natransport met andere motorvoertuigen plaatsvindt. Daarnaast is het omwegpercentage voor personenauto's per definitie gelijk aan nul. De enige andere logistieke parameter van belang voor personenauto's is de bezettingsgraad. Deze is sterk afhankelijk van het motief van de reis. Tabel 23 geeft de gemiddelde bezettingsgraad van personenauto's in Nederland en een aantal bezettingsgraden naar motief van de reis weer.

Tabel 23 Bezettingsgraden voor personenauto's

Jaar	Motief	Bezettingsgraad		
		Spits	Dal	Totaal
		rzg/vtg	rzg/vtg	rzg/vtg
2000	Alle motieven ¹	1,36	1,59	1,51
2007	Per motief ² :			
	Woon/werkverkeer			1,16
	Zakelijk verkeer			1,14
	Winkelen			1,58
	Vrije tijd/recreatie			2,28
	Internationaal			2,50

¹ CBS, 2000.

² CBS, 2007.

4.2 Basisdata bromfietsen

4.2.1 Energiegebruik en emissiedata

Energiegebruik en emissies van bromfietsen zijn minder afhankelijk van de verkeerssituatie. Ook het onderscheid naar brandstof is niet relevant voor bromfietsen omdat deze over het algemeen allemaal op benzine rijden. Tabel 24 geeft het energiegebruik en de emissiefactoren voor bromfietsen.

Tabel 24 Energiegebruik en emissiefactoren voor bromfietsen

Bromfiets	Energiegebruik	Emissiefactoren			
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Stads- en buitenwegen	0,82	59	0,049	0,039	0,002

Bron: Taakgroep Verkeer en Vervoer.



4.2.2 Logistieke data

Voor bromfietsen is aangenomen dat er geen voor- en natransport is en dat het omwegpercentage -5 tot 0% is (t.o.v. personenauto's). De bezettingsgraad is gemiddeld 1,10 reizigers per voertuig (CE, 2003).

4.3 Basisdata motorfietsen

4.3.1 Energiegebruik en emissiedata

Voor de motor is onderscheid gemaakt naar wegtypen omdat emissies afhankelijk zijn van de verkeerssituatie. Tabel 25 geeft het energiegebruik en de emissiefactoren voor motorfietsen.

Tabel 25 Energiegebruik en emissiefactoren voor motorfietsen

Motor	Energiegebruik	Emissiefactoren			
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Totaal	1,88	136	0,226	0,016	0,004
Stad	1,88	136	0,101	0,016	0,004
Buiten	1,88	136	0,170	0,016	0,004
Snelweg	1,88	136	0,407	0,016	0,004

Bron: Taakroep Verkeer en Vervoer.

4.3.2 Logistieke data

Voor motorfietsen is aangenomen dat er geen voor- en natransport plaatsvindt en dat het omwegpercentage nul is. De bezettingsgraad van een motorfiets is gemiddeld 1,15 reizigers per voertuig (CE, 2003).

4.4 Basisdata bussen

4.4.1 Energiegebruik en emissiedata

Voor bussen zijn het energiegebruik en de emissiedata afhankelijk van de verkeerssituatie. Daarom geeft Tabel 26 deze data per wegtype. Het aandeel van deze wegtypen in het totaal aantal kilometers is sterk afhankelijk van het vervoersmotief en daarmee het bustype. Zo is er verschil tussen een touringcar die vooral over de snelweg rijdt en een stadsbus die mensen door de binnenstad vervoert. In STREAM wordt onderscheid gemaakt tussen stadsbussen, streekbussen en touringcars.

Emissiefactoren en energiegebruik van deze bustypen zijn opgebouwd uit emissiefactoren voor stads-, buiten- en snelwegen en wel op de volgende manier:

Stadsbus: 100% stadswegen.

Streekbus: 50% stadswegen + 50% buitenwegen.

Touringcar: 25% stadswegen + 25% buitenwegen + 50% snelwegen.

Tabel 26 Energiegebruik en emissiedata voor bussen

Autobus	Energiegebruik	Emissiefactoren			
		CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Totaal	12,10	898	8,57	0,274	0,014
Stad	14,53	1.079	11,75	0,407	0,016
Buiten	12,30	913	7,62	0,226	0,014
Snelweg	9,45	701	5,92	0,170	0,011
Stadsbus	14,53	1.079	11,75	0,407	0,016
Streekbus	13,41	996	9,69	0,316	0,015
Touringcar	11,43	849	7,80	0,243	0,013

Bron: Taakgroep Verkeer en Vervoer.

4.4.2 Logistieke parameters

Ook logistieke parameters zijn sterk afhankelijk van het vervoersmotief. Tabel 27 geeft de logistieke parameters die horen bij de verschillende bustypen.

Tabel 27 Logistieke parameters voor bussen

Bustype	Bezetting	Omweg-percentage		Voor- en natransport		Productieve km's
		Min	Max	Min	Max	
	rzg/vtg	%	%	%	%	%
Stadsbus	13	0%	25	0	0	93
Streekbus	14	0%	25	0	15	93
Touringcar	38	0%	5	0	15	76

Bron: CE, 2003.

4.5 Basisdata trams

4.5.1 Energiegebruik en emissiedata

Trams worden elektrisch aangedreven en hebben dus geen directe emissies. Emissies komen op een andere plaats en tijd vrij, namelijk tijdens de productie van elektriciteit. Emissiefactoren van elektriciteitsproductie zijn besproken in paragraaf 2.7. Het energiegebruik is afgeleid uit praktijkcijfers van de HTM en de RET en bedraagt 0,53 MJ per reizigerskilometer.

4.5.2 Logistieke data

Tabel 28 geeft de logistieke parameters voor trams. De data voor trams zijn afgeleid uit praktijkdata. In de aangeleverde energiegebruikscijfers is geen onderscheid gemaakt tussen productieve en niet-productieve kilometers waardoor het energiegebruik in niet-productieve kilometers automatisch meegerekend wordt in het energiegebruik van de productieve kilometers, vandaar dat deze parameter niet in Tabel 28 is opgenomen.



Tabel 28 Logistieke parameters voor trams

Tram	Omwegpercentage		Voor- en natransport	
	Min	Max	Min	Max
	%	%	%	%
Totaal	0	15	0	5

Bron: Eigen analyse.

4.6 Basisdata metro's

4.6.1 Energiegebruik en emissiedata

Ook metro's worden elektrisch aangedreven en hebben dus geen directe emissies. Emissies van de metro zijn slechts afkomstig van elektriciteitsproductie. Het energiegebruik van de metro is 0,50 MJ per reizigerskilometer, dit is gebaseerd op praktijkdata van de RET.

4.6.2 Logistieke data

Het energiegebruik van de metro wordt gegeven per reizigerskilometer, dit in verband met het type aangeboden praktijkdata. De gegeven waarde volgt uit het totale energiegebruik van de RET en het totaal aantal reizigerskilometers. Hierin is daarom automatisch het energiegebruik tijdens niet-productieve kilometers verrekend. Om deze reden zijn het omwegpercentage en het percentage voor- en natransport de enige logistieke parameters van belang. Tabel 29 geeft deze parameters. Er is aangenomen dat de metro over het algemeen een kortere afstand tussen twee punten aflegt dan de auto, omdat de weg van de metro doorgaans een rechte lijn tussen de twee punten is. Vandaar dat het omwegpercentage een negatieve waarde heeft.

Tabel 29 Logistieke parameters voor de metro

Metro	Omwegpercentage		Voor- en natransport	
	Min	Max	Min	Max
	%	%	%	%
Totaal	-10	0	0	15

Bron: Eigen analyse.

4.7 Basisdata treinen

4.7.1 Energiegebruik en emissiedata

In STREAM wordt onderscheid gemaakt tussen diesel- en elektrische treinen. Tevens worden treinen ingedeeld in Stop-, Intercity- en Hoge Snelheids-treinen, dit omdat er tussen deze treinen een verschil is in energiegebruik, veroorzaakt door verschillen in de stopfrequentie en snelheid.

Elektrische treinen zijn emissievrij tijdens het gebruik, de emissies behorende bij het energiegebruik worden berekend met behulp van de emissiefactoren bij elektriciteitsproductie. Voor dieseltreinen zijn naast het energiegebruik ook emissiefactoren van belang. Energiegebruik en emissiefactoren van treinen zijn gegeven in Tabel 30. Het energiegebruik voor treinen is gegeven in MJ/ztpl-km, op basis van data aangeleverd door de NS en Syntus.

De energiegebruiken in Tabel 30 zijn niet onderling vergelijkbaar, omdat het rendement van de elektriciteitscentrale en winning en raffinage niet in deze cijfers zijn opgenomen.

Tabel 30 Emissiefactoren en energiegebruik voor personentreinen (diesel en elektrisch)

Trein	Energiegebruik ^{1,2} MJ/ztpl-km	Emissiefactoren ³			
		CO ₂ g/MJ	NO _x g/MJ	PM ₁₀ g/MJ	SO ₂ g/MJ
Elektrisch	(MJ _E)				
Stop	0,12	0	0	0	0
Intercity	0,09	0	0	0	0
Totaal (NS)	0,10	0	0	0	0
HSL	0,20	0	0	0	0
Diesel	(MJ _D)				
Buffel (DM'90)	0,34	73	0,814	0,070	0,036
LINT (light rail)	0,17	"	"	"	"
Stop gemiddeld ⁴	0,22	"	"	"	"

¹ Bron elektrisch: pers. comm. Dhr. Fiechter, NS materieel en infra,
bron diesel: pers. comm. Dhr. Meiland/Dhr. Van Luijn, Syntus.

² Het energieverbruik van treinen is inclusief energie voor verwarming en verlichting.

³ Bron diesel: Taakgroep Verkeer en Vervoer.

⁴ Stoptrein gemiddeld is berekend op basis van de aandelen van beide treintypen op het Nederlandse spoor (24 LINT en 53 DM'90).

4.7.2 Logistieke data

Tabel 31 geeft de logistieke parameters voor personentreinen weer. Het omwegpercentage is in vergelijking met de auto, en wordt verklaard door dat het wegennet fijner vertakt is dan het spoorwegnet.

Tabel 31 Logistieke parameters voor personentreinen

Trein	Bezetting ¹	Omwegpercentage		Voor- en natransport	
		Min	Max	Min	Max
	%	%	%	%	%
Elektrisch					
Stop	23	0	10	0	15
Intercity	34	0	10	0	15
Totaal (NS)	30	0	10	0	15
HSL	65	0	10	0	15
Diesel					
Stop	23	0	10	0	15

¹ Bron elektrisch: pers. comm. Dhr. Fiechter, NS materieel en infra;
bron diesel: pers. comm. Dhr. Meiland/Dhr. Van Luijn, Syntus.

Noot: Voor de diesel-stroptrein is eenzelfde bezetting aangehouden als voor de elektrische stoptrein, om vergelijkingen mogelijk te maken.

4.8 Basisdata vliegtuigen

In STREAM zijn verschillende vliegtuigen opgenomen omdat op kortere en langere afstanden verschillende vliegtuigen worden ingezet. De opgenomen vliegtuigen zijn de B737-400, de F100 en de B747-400. Dit zijn relatief oude vliegtuigtypen, maar deze doen Schiphol nog zeer frequent aan (B737-400 en F100 positie 5 en 6 in het aantal bewegingen in 2005). Emissiegegevens voor nieuwere modernere vliegtuigen ontbreken. Voor een parkgemiddelde zijn de genoemde vliegtuigtypen redelijk representatief.

4.8.1 Energiegebruik en emissiedata

Emissies en energiegebruik zijn vooral hoog tijdens de LTO-cyclus, daarom is de afgelegde afstand van groot belang voor de gemiddelde emissie. De cruise-emissies en de LTO-emissies zijn opgeteld en door de vliegafstand gedeeld voor verschillende afstanden en representatieve vliegtuigtypen. In STREAM is ervoor gekozen om vijf verschillende afstanden te nemen, namelijk 463 km (250 NM), 1.389 km (750 NM), 2.778 km (1.500 NM), 6.482 km (3.500 NM) en 12.038 km (6.500 NM). De data zijn afkomstig uit de EMEP/CORINAIR-database.

Voor luchtvaart houden we net als voor goederenvervoer rekening met de klimaat effecten van niet-CO₂-emissies (zie paragraaf 3.5).

Tabel 32 geeft het energiegebruik en de emissiefactoren van vliegtuigen. Soms wordt ook vracht meegenomen in passagiersvliegtuigen (vooral op langere afstanden), dit is de zogenaamde *belly-hold cargo*. Een deel van de emissies en de gebruikte energie mag in dat geval toegerekend worden aan vracht. Om een toedeling van emissies en energiegebruik naar personen en goederen te maken, moeten personen in gewicht uitgedrukt worden. Er is aangenomen dat ieder persoon zorgt voor een lading van 150 kg, dit is de persoon zelf, zijn bagage, stoel, crew en andere voorzieningen. Vervolgens kan op basis van de verhouding tussen het totale gewicht aan passagiers en het gewicht van de lading, het percentage van de emissies dat aan passagiers moet worden toegerekend worden berekend.

Dit aandeel is weergegeven in Tabel 32, dit percentage is zoals hierboven gezegd afhankelijk van de hoeveelheid vracht en het aantal passagiers en het zal dus per situatie verschillen. In de gegeven emissiefactoren en het energiegebruik is dit percentage nog niet verrekend.

Tabel 32 Emissies en energiegebruik van vliegtuigen

Vliegtuigtype	Afstand	Aandeel passagiers	Energiegebruik	Emissiefactor			
				CO ₂ -eq	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	km	%	MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
B737-400	463	100	206	30.860	51	0,98	4,84
F-100	463	100	189	28.285	43	0,90	4,39
B737-400	1.389	100	150	22.498	35	0,71	3,55
F-100	1.389	100	130	19.438	24	0,62	3,05
B737-400	2.778	100	139	20.836	31	0,66	3,30
F-100	2.778	100	118	17.681	19	0,56	2,79
B747-400 pax	6.482	82	453	67.926	150	2,16	10,8
B747-400 pax	12.038	82	493	73.924	177	2,35	11,7

Bron: EMEP/CORINAIR-database.

4.8.2 Logistieke parameters

Ook logistieke parameters zijn afhankelijk van de afgelegde afstand, zo is bijvoorbeeld de bezettingsgraad op lange afstanden hoger dan op korte afstanden, ook het voor- en natransport is voor lange afstanden relatief minder dan voor korte afstanden. Tabel 33 geeft de logistieke parameters voor vliegtuigen.

Tabel 33 Logistieke parameters voor vliegtuigen

Vliegtuig	Afstand	Capaciteit ¹	Bezetting ²	Omweg-percentage		Voor- en natransport	
				Min	Max	Min	Max
	km		%	%	%	%	%
B737-400	463	147	69	0	10	0	20
F-100	463	103	69	0	10		20
B737-400	1.389	147	69	0	5		20
F-100	1.389	103	69	0	5		20
B737-400	2.778	147	69	0	2		20
F-100	2.778	103	69	0	2		20
B747-400 pax	6.482	426	78	0	2		5
B747-400 pax	12.038	426	78	0	2		5

¹ KLM, 2006.

² AEA, 2007.



5 Basisdata 2010/2020

In dit hoofdstuk presenteren we parkgemiddelde basisdata voor de jaren 2010 en 2020, op basis van de WLO-scenario's en aanvullend toekomstig beleid. We gaan ervan uit dat de logistieke data niet verandert in de toekomst. Met name de effecten van Europese regelgeving hebben effect op de vermindering van de parkgemiddelde emissies. De schattingen voor de toekomst zijn met enige onzekerheid omgeven, omdat inschattingen zijn gemaakt op basis van de huidige inzichten.

5.1 Wegverkeer

5.1.1 Personenauto's

Vanwege regelgeving op het gebied van luchtverontreinigende emissies en CO₂ vanuit Europa, nemen emissies in de tijd af. De vernieuwing van het voertuigpark (toename aandeel Euro 4 en instroom Euro 5 en Euro 6) zorgen ervoor dat de parkgemiddelde emissies in 2010 en 2020 gedaald zullen zijn.

Op het gebied van CO₂-emissies wordt er op dit moment regelgeving voorbereid in Europa. Volgens het Europese Commissievoorstel dienen in 2012 de CO₂-emissies van nieuwe personenauto's gemiddeld 130 gram te bedragen (COM 2007/856). Omdat er nog geen verdere aanscherping van deze regels is aangekondigd, gaan we ervan uit dat er voor 2020 geen nieuwe scherpere wetgeving komt. Op basis van TNO (2006) is de afname van de emissies van nieuwe personenauto's ingeschat voor benzine- en dieselauto's. Brandstof-besparende maatregelen zijn het goedkoopst voor benzineauto's, resulterend in een lagere gemiddelde CO₂-uitstoot in 2020 ten opzichte van 2005. In Tabel 34 geven we emissiefactoren van personenauto's in de toekomst weer.

Tabel 34 Energiegebruik en emissiefactoren van personenauto's voor 2010 en 2020

Personen- auto	Energiegebruik		Emissiefactoren							
			CO ₂		NO _x		PM ₁₀		SO ₂	
	MJ/km		g/km		g/km		g/km		g/km	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Benzine										
Totaal	2,53	2,07	182	149	0,12	0,03	0,008	0,005	0,0012	0,0009
Stad	3,26	2,49	235	179	0,15	0,07	0,011	0,007	0,0015	0,0011
Buiten	2,15	1,82	155	131	0,10	0,02	0,002	0,002	0,0010	0,0008
Snelweg	2,46	2,09	178	151	0,14	0,02	0,015	0,007	0,0011	0,0010
Diesel										
Totaal	2,27	2,08	169	154	0,58	0,25	0,029	0,008	0,0011	0,0010
Stad	2,87	2,54	214	188	0,84	0,39	0,052	0,008	0,0014	0,0012
Buiten	1,97	1,83	147	136	0,53	0,25	0,028	0,005	0,0009	0,0009
Snelweg	2,28	2,11	169	157	0,52	0,21	0,022	0,011	0,0011	0,0010
LPG										
Totaal	2,33	1,91	155	127	0,43	0,27	0,007	0,004	0	0
Stad	3,01	2,29	200	152	0,52	0,24	0,010	0,006	0	0
Buiten	1,99	1,68	132	112	0,35	0,24	0,004	0,003	0	0
Snelweg	2,27	1,92	151	128	0,48	0,30	0,009	0,004	0	0
Totaal										
Totaal	2,42	2,07	176	151	0,31	0,14	0,016	0,006	0,0011	0,0009
Stad	3,14	2,50	228	182	0,36	0,19	0,023	0,007	0,0014	0,0011
Buiten	2,09	1,82	152	133	0,25	0,12	0,011	0,003	0,0009	0,0008
Snelweg	2,36	2,10	172	154	0,34	0,13	0,018	0,009	0,0011	0,0010

Bron: WLO, SE-scenario en eigen analyse (CO₂).

5.1.2 Vrachtauto's en bestelauto's

Voor vrachtauto's en bestelauto's geldt dat de luchtverontreinigende emissies in de toekomst afnemen vanwege de vernieuwing van het park (o.a. instroom van Euro 5 en Euro 6). In de WLO-scenario's is verondersteld dat emissies van CO₂ constant blijven. De beperkte extra brandstofconsumptie van vrachtauto's vanwege het gebruik van nabehandelingstechnologie wordt naar verwachting grotendeels gecompenseerd door verdere autonome ontwikkeling van motoren.

In het recent gepubliceerde wetvoorstel van de Europese Commissie wordt aangekondigd dat de emissies van CO₂ van bestelauto's dienen te dalen naar 175 g/km in 2012 en 160 g/km in 2015. Omdat in Nederland de bestelautovloot bestaat uit dieselloertuigen, zijn emissies relatief laag ten opzichte van het EU-gemiddelde. Op basis van TNO (2006) schatten we in dat CO₂-emissies van nieuwe bestelauto's met 15% afnemen tussen 2005 en 2015. Tabel 35 geeft park-gemiddelde emissies voor bestelauto's en vrachtauto's in 2010 en 2020.



Tabel 35 Energiegebruik en emissiefactoren bestel- en vrachtauto's voor 2010 en 2020

Vrachtauto	Energiegebruik		Emissiefactoren							
			CO ₂		NO _x		PM ₁₀		SO ₂	
	MJ/km		g/km		g/km		g/km		g/km	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Bestelauto	2,28	2,14	169	159	0,60	0,24	0,04	0,007	0,0011	0,0010
3,5-10 ton					3,41	1,91	0,10	0,04	0,0029	0,0030
10-20 ton					5,39	2,36	0,12	0,04	0,0047	0,0048
> 20 ton					6,68	2,36	0,13	0,04	0,0068	0,0070
Trekker- oplegger					6,11	1,95	0,11	0,03	0,0068	0,0069

Noot: Energiegebruik is gelijk aan 2005 en weergegeven in Tabel 10.

Bron: WLO, SE-scenario (NO_x, PM₁₀ en SO₂) en eigen inschatting (CO₂).

5.1.3 Bussen

Ook voor bussen geldt dat de komende jaren Euro 5- en 6-emissienormen in werking treden. Ten aanzien van het brandstofverbruik geldt ook dat eventuele autonome verminderingen worden gecompenseerd door een toename vanwege nabehandelingssystemen voor uitlaatgassen, zie Tabel 36.

Tabel 36 Energiegebruik en emissiefactoren voor bussen in 2010 en 2020

Bus	Energiegebruik		Emissiefactoren							
			CO ₂		NO _x		PM ₁₀		SO ₂	
	MJ/km		g/km		g/km		g/km		g/km	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
OV-bus	13,41		996		8,74	3,91	0,17	0,06	0,0063	0,0063
Touringcar	11,43		849		6,93	3,16	0,17	0,06	0,0052	0,0053

Bron: WLO, SE-scenario (NO_x, PM₁₀ en SO₂) en eigen inschatting (CO₂).

5.1.4 Motorfietsen en bromfietsen

Voor bromfietsen is momenteel Richtlijn 1997/24 van kracht. Voor motorfietsen is in 2002 een Richtlijn 2002/51 ingegaan, met aanscherpingen van de grenswaarden in 2003 en 2006. De Richtlijnen grijpen primair aan op vermindering van HC- en CO- emissies. Om dit doel te bereiken maken fabrikanten meer gebruik van direct ingespoten 2-takt en 4-takt motoren. Dit heeft tot gevolg dat de park-gemiddelde emissiefactoren van HC en CO sterk afnemen de komende jaren. De emissies van NO_x daarentegen nemen licht toe vanwege de toepassing van de nieuwe technologie. Er zijn nog geen aanwijzingen dat deze Richtlijnen worden aangescherpt. Daarom gaan we uit van de data uit de WLO-raming. Hierin blijft het brandstofverbruik in 2010 en 2020 gelijk aan dat in 2005, zie Tabel 37. Het vervoer per brom- en snorfiets zal in de toekomst schoner worden doordat voor deze voertuigen steeds meer elektrische varianten op de markt zullen komen. Dit is echter niet meegenomen.

Tabel 37 Emissiefactoren brom- en motorfietsen 2010 en 2020

Brom- en motorfietsen	Jaar	Energiegebruik	Emissiefactoren			
			CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		MJ/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Bromfiets	2010	0,824	59	0,15	0,060	0,0004
	2020	0,824	59	0,18	0,020	0,0004
Motorfiets	2010	1,88	136	0,33	0,016	0,0009
	2020	1,88	136	0,32	0,016	0,0009

Bron: WLO, SE-scenario.

5.2 Spoor

Nieuwe treinen zijn vaak lichter en energiezuiniger dan oude treinen. Deze trend is in het verleden te zien en zal zich met de vernieuwing van het treinenpark ook doorzetten in de toekomst. De NS en de Nederlandse overheid hebben in 1999 een MJA afgesloten, waarin een energiebesparing van 10% op het energiegebruik per zitplaatskilometer is afgesproken tussen 1997 en 2010. Deze doelstelling is reeds gehaald. Daarnaast heeft de NS Reiziger zich gecommitteerd aan het verminderen van de totale CO₂-emissies tussen 1990 en 2020 met 20%. Op basis van de besparingen in het verleden en de doelstelling voor de toekomst en de samenstelling van het huidige wagenpark, schatten we de afname van het energiegebruik in het personenvervoer ten opzichte van 2005 op 5% energie-reductie voor 2010 en 15% energie-reductie in 2020. De instroom van nieuw materieel en het toepassen van energiezuinig rijden (korte termijn) dragen het sterkst bij aan deze reducties.

In het goederenvervoer gaat de instroom van nieuwe voertuigen langzamer, en zijn bijvoorbeeld de mogelijkheden voor gewichtsbesparing beperkt. Het effect van nieuw materieel zal dus ook kleiner zijn. Het effect is hier geschat op 2,5% in 2010 en 5% in 2020. Omdat in het goederenvervoer minder stops worden gemaakt dan in het personenvervoer is de winst door energiezuinig rijden hier iets lager ingeschat namelijk op 3%, wat ook reeds behaald wordt in 2010.

Tot slot loopt de verbetering van de energie-efficiëntie in het elektrische spoorvervoer deels via de elektriciteitscentrale, welke is behandeld in paragraaf 2.7.

Motoren emitteren steeds minder NO_x en PM₁₀ en het wagenpark zal door de uitstroom van oud materiaal en de instroom van nieuw materiaal dus steeds schoner worden. Er is aangenomen dat vernieuwing dezelfde trend volgt als in het verleden. Op basis van deze aanname zijn gemiddelde emissiefactoren voor 2010 en 2020 geschat. Hierbij is gebruik gemaakt van emissiefactoren uit het SE-scenario uit de WLO-studie waarin nieuwe emissie-eisen voor treinen uit de Richtlijn Mobiele Werktuigen (2004/26/EC) verwerkt zijn. Voor zowel PM₁₀ als NO_x komt dit uit op ongeveer 40% afname in 2020.

De emissiefactor van SO₂ wordt bepaald door het zwavelgehalte in diesel. Per 1 oktober 2007 wordt er in zowel het personen- als het goederenvervoer (vrijwillig) zwavelvrije diesel gebruikt, die slechts 10 ppm zwavel bevat. Op basis



van aankomende wetgevingsinitiatieven is aangenomen dat het zwavelhalte in 2010 en 2020 10 ppm zal blijven.

Bovenstaande uitgangspunten leiden tot het energiegebruik en de emissiefactoren in Tabel 38, Tabel 39 en Tabel 40.

Tabel 38 Energiegebruik voor goederentreinen in 2010 en 2020

Treinen	Energieverbruik loc		Energiegebruik extra gewicht		Totaal energiegebruik	
	MJ/km		MJ/ton/km		MJ/km	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Bulk						
Elektrisch	2,84	2,76	0,047	0,046	155	151
Diesel	23,6	23,0	0,104	0,101	372	362
Containers						
Elektrisch	2,84	2,76	0,047	0,046	53	51
Diesel	23,6	23,0	0,104	0,101	131	128

Tabel 39 Energiegebruik voor personentreinen in 2010 en 2020

Treinen	Energiegebruik	
	MJ/ztp-km	
	2010	2020
Electrisch		
Stop	0,11	0,10
Intercity	0,08	0,07
Totaal (NS)	0,09	0,08
Lange afstand	0,19	0,16
Diesel		
Stop	0,21	0,18

Tabel 40 Emissiefactoren voor treinen in 2010 en 2020

Treinen	CO ₂		NO _x		PM ₁₀		SO ₂	
	g/MJ		g/MJ		g/MJ		g/MJ	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Goederen	73	73	1,53	1,10	0,025	0,018	0,0005	0,0005
Personen	73	73	0,80	0,49	0,070	0,043	0,0005	0,0005

Naast ontwikkelingen binnen elektrisch en diesel-aangedreven goederentreinen zal het totale goederenvervoer per spoor schoner worden doordat er steeds meer gebruik gemaakt gaat worden van elektrische aandrijving. Met name doordat een groot deel van het vervoer plaats zal gaan vinden via de Betuweroute waar elektrische aandrijving mogelijk is.

5.3 Binnenvaart

Nieuwe emissienormen voor binnenvaartschepen worden momenteel voorbereid door de Europese Commissie in een herziening van Richtlijn 97/68/EG. Dit gebeurt in overleg met de CCR (Centrale Commissie voor de Rijnvaart), lidstaten, binnenvaartsector en motorproducenten. Deze normen zullen in twee fasen worden aangescherpt (2012 en 2016). Er circuleren verschillende voorstellen voor aanscherping van de bestaande emissie-eisen. Voor fase IV gaan we uit van het huidige voorstel van de CCR: 0,4 g/Kwh NO_x en 0,025 g/Kwh PM₁₀.

Voor SO₂ is het zwavelgehalte in diesel van belang. In 2010 zal de binnenvaart, conform de huidige voorstellen op wegbrandstof gaan varen, dat wil zeggen dat het zwavelgehalte daalt naar 10 ppm. Scheepsmotoren zullen naast schoner ook steeds zuiniger worden. Het energiegebruik is daarom afhankelijk van de vernieuwing van het vaartuigenpark.

Parkemissiefactoren en energiegebruik zijn berekend met het parkmodel voor de binnenvaart gebruikt voor het maken van de WLO-ramingen, waarin de vernieuwing van vaartuigen in het park reeds is gemodelleerd. Het parkmodel is gevuld met de nieuwste inzichten omtrent de huidige emissiefactoren in de binnenvaart en de verwachte bovenstaande emissienormen.

Het gemiddelde rendement van binnenvaartschepen neemt toe in de tijd, door optimalisatie van motor, schroef en scheepsontwerp. Tabel 41 geeft het energiegebruik en de emissiefactoren voor 2010 en Tabel 42 deze gegevens voor 2020.

Tabel 41 Energiegebruik en emissiefactoren voor binnenvaartschepen in 2010

Binnenvaart	Jaar	Energie- gebruik MJ/km	Emissiefactoren			
			CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
			g/MJ	g/MJ	g/MJ	g/MJ
Bulk						
Spits (400 ton)	2010	97	73	1,01	0,045	0,0012
Kempenaar (650 ton)	2010	161				
Rhine Herne Canal ship (1.750 ton)	2010	350				
Koppelverband (5.500 ton)	2010	772				
Four barges convoy ship (12.000 ton)	2010	909				
Containers						
Neo Kemp (480 ton)	2010	172	"	"	"	"
Rhine Herne Canal ship (960 ton)	2010	350				
Container ship (Rhine) (2.000 ton)	2010	546				
Container ship (JOWI class) (47.00 ton)	2010	980				

Bron: Op basis van WLO.



Tabel 42 Energiegebruik en emissiefactoren voor binnenvaartschepen in 2020

Binnenvaart	Jaar	Energie- gebruik MJ/km	Emissiefactoren			
			CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
			g/MJ	g/MJ	g/MJ	g/MJ
Bulk						
Spits (400 ton)	2020	92	73	0,80	0,032	0,0011
Kempenaar (650 ton)	2020	152				
Rhine Herne Canal ship (1.750 ton)	2020	331				
Koppelerband (5.500 ton)	2020	730				
Four barges convoy ship (12.000 ton)	2020	860				
Containers						
Neo Kemp (480 ton)	2020	163	"	"	"	"
Rhine Herne Canal ship (960 ton)	2020	331				
Container ship (Rhine) (2.000 ton)	2020	516				
Container ship (JOWI class) (4.700 ton)	2020	926				

Bron: Op basis van WLO.

5.4 Luchtvaart

Analyses van het brandstofverbruik van vliegtuigen laten zien dat de efficiency de afgelopen decennia is toegenomen. Op basis van een studie van CE Delft en MMU (CE&MMU, 2007) nemen we aan dat de efficiency van de vloot jaarlijks met 0,75% toeneemt. Met de aanname dat een B737-400, B747-400 en F100 representatief zijn voor de gemiddelde efficiency van de vloot midden jaren negentig betekent dit dat de CO₂-emissies van de luchtvaart in 2010 en 2020 respectievelijk 10 en 16% lager zijn dan in de in STREAM gehanteerde modellen.

Er zijn een aantal elementen die een rol spelen bij de uitstoot van NO_x-emissies van vliegtuigen. Ten eerste bestaat er een wisselwerking tussen CO₂ en NO_x en tussen geluid en NO_x. Er bestaat echter wel een norm voor de NO_x-emissies van vliegtuigen, maar die laat ruimte om efficiëntere motoren (hogere *pressure ratio*: hogere vlamtemperatuur) te produceren, die meer NO_x mogen uitstoten. Moderne motoren en ontwerpen (B777/787 en A380) laten deze trend zien. Aanscherping van de NO_x-emissie-eisen zal niet eerder dan 2010 plaatsvinden, maar waarschijnlijk later. Het effect hiervan in de vloot zal waarschijnlijk licht positief zijn in 2020, maar daartegenover staat de hogere NO_x-emissies als gevolg van de toename van de *pressure ratio*.

Voor luchtvaartmaatschappijen lijkt er daarnaast een groter belang om CO₂ en geluid te verminderen dan NO_x-emissies, omdat dit geld bespaart en de toegestane luchthavencapaciteit vergroot.

Tegelijkertijd geeft de industrie aan de emissies van NO_x te gaan verminderen. Moderne motoren met low NO_x-technologie voor vliegtuigen die intracontinentale vluchten uitvoeren (vgl. CFM56-7) laten echter zien dat de technologische mogelijkheden voorhanden zijn. Bovendien geven fabrikanten (o.a. in ACARE-verband¹¹) zelf aan de ambitie te hebben om de NO_x-emissies te verminderen. Op vliegtuigen die intercontinentale vluchten uitvoeren is een dergelijke ontwikkeling echter nog niet zichtbaar. Het is echter onduidelijk hoe het gebruik van de low NO_x-technologie zal evolueren.

Op basis van het bovenstaande nemen we aan dat de NO_x-emissies per rzk-km in 2010 en 2020 niet toe- of afnemen voor intercontinentale vluchten, en geleidelijk met 30% afnemen voor intracontinentale (tot 2.778 km) vluchten. Voor PM₁₀- en SO₂-emissies nemen we aan dat er in de toekomst geen verandering optreedt.

We nemen aan dat de effecten van niet-CO₂-emissies in de toekomst even groot zijn als in 2000 (Sausen, 2005), alhoewel het duidelijk is dat de (afnemende) NO_x-emissies een grote rol spelen in de klimateffecten van niet-CO₂-emissies. Er is echter geen betere informatie voorhanden. Omdat de ontwikkeling van de effecten van niet-CO₂-emissies in de toekomst onduidelijk is presenteren we zowel CO₂-emissies als CO₂-equivalenten (incl. niet CO₂-emissies) in hoofdstuk 7.

De bovengenoemde getallen gelden zowel voor passagiers- als vrachttransport.

In Tabel 43 en Tabel 44 presenteren we de emissiedata voor 2010 en 2020.

Tabel 43 Emissiedata luchtvaart personenvervoer 2010/2020

	Afstand	Zitplaatsen	2010			2020		
			MJ/km	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)	MJ/km	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)
Korte afstand (vgl. F100)	463	103	170	12.728	39	158	11.880	30
Middenlange afstand (vgl. B737)	2.778	147	125	9.376	28	117	8.751	22
Lange afstand (vgl. B747)	6.482	426	408	30.567	150	380	28.529	150

Opmerking: PM₁₀ en SO₂ blijven onveranderd t.o.v. 2005.

Tabel 44 Emissiedata luchtvaart vrachtvervoer 2010/2020

Vrachtvliegtuig	Afstand	2010			2020		
	km	MJ/km	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)	MJ/km	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)
Full freighter (vgl. B747)	2.778	421	31.556	145	393	29.452	113
Full freighter (vgl. B747)	6.482	408	30.567	150	380	28.529	150
Full freighter (vgl. B747)	12.038	444	33.266	177	414	31.048	177

¹¹ <http://www.acare4europe.org/>.



5.5 Zeescheepvaart

Annex-6 bij de MARPOL¹²-conventie reguleert de emissies in de zeescheepvaart. Deze annex schrijft voor dat scheepvaartmotoren die na 2000 zijn gebouwd

dienen te voldoen aan een eis ten aanzien van de NO_x-emissies. Op dit moment wordt er binnen de IMO overlegd op welke wijze de NO_x-emissies van schepen verder verminderd zullen worden, maar de uitkomsten zijn nog onzeker. Een mogelijk scenario is dat de NO_x-emissiefactor van nieuwe scheepsmotoren 20-30% lager zullen worden per 1-1-2011. Ook de introductie van emissienormen voor bestaande scheepsmotoren is nog een optie (RA & CE Delft, 2008).

In een studie door Resource Analysis en CE Delft, waarin scenarioberekeningen zijn gemaakt, blijkt dat de parkgemiddelde emissies afnemen met 3% tussen 2005 en 2010 en 27% tussen 2005 en 2020. Daarbij is ervan uitgegaan dat alle bestaande 'slow speed'-motoren¹³ van voor 2000 in 2020 zijn voorzien van slide valves, resulterend in een NO_x-reductie van 20% en de NO_x-emissies van alle nieuwe scheepsmotoren vanaf 2010 30% lager zijn dan Annex-6 op dit moment voorschrijft.

In 2005 was het gemiddelde zwavelgehalte van scheepsbrandstof 2,7%. De EU heeft in 2005 een richtlijn (2005/33/EC) aangenomen waardoor de emissies van zwavel verder worden beperkt. In de richtlijn worden voor de als Sulphur Oxide Emission Control Area (SECA) aangewezen Baltische Zee en Noordzee grenzen gesteld aan het zwavelgehalte van de op deze zeeën gestookte brandstof. Vanaf augustus 2007 mag het zwavelgehalte van de gebruikte scheepbrandstof op de Noordzee niet hoger zijn dan 1,5%. Op dit moment zijn er aanwijzingen dat het SECA-regime zal worden uitgebreid met onder andere de Middellandse Zee. Daarom nemen we aan dat in 2010 het zwavelgehalte van de gebruikte scheepsbrandstof is gedaald tot 1,5% voor schepen tot 10.000 GT, die vooral op Europese wateren varen, en in 2020 voor alle schepen. Grotere schepen worden ingezet in de diepzeevaart, waar laagzwavelige brandstof maar zeer beperkt gebruikt wordt.

Uit een recente TNO-studie blijkt dat de PM-emissies afnemen met ongeveer 10% door de introductie van laagzwavelige brandstof.

De zeescheepvaart is de afgelopen decennia efficiënter geworden. Met name door het steeds groter worden van schepen is het vervoer per eenheid product efficiënter geworden. Naast de verschuiving naar steeds grotere schepen, zijn er ook technische maatregelen genomen die een verhoogde energie-efficiëntie teweeg heeft gebracht en een verbetering van de hydrodynamica (scheepsromp en schroef). Maar vanwege de lange levensduur van schepen is de invloed hiervan op de parkgemiddelde emissies beperkt. Daarnaast staat daartegenover de ontwikkeling dat er steeds sneller gevaren wordt, met name in het container-

¹² Marine pollution, kortweg MARPOL.

¹³ Het overgrote deel van de scheepsmotoren is van het type 'slow speed', zo'n 2/3.

vervoer. Per saldo gaan we er voor dit onderzoek vanuit dat het energieverbruik binnen de scheepsklassen constant blijft tot 2020.

In Tabel 45 vatten we de emissies voor de toekomstige jaren samen.

Tabel 45 Emissies van zeeschepen voor de zichtjaren 2010 en 2020

	2010				2020			
	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Droge bulk	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km	kg/km
1.300 GT	54	1,17	0,06	0,29	54	0,88	0,08	0,29
5.800 GT	87	2,22	0,09	0,62	87	1,67	0,18	0,62
20.000 GT	147	4,19	0,34	2,29	147	3,15	0,30	1,02
45.000 GT	186	5,27	0,39	2,64	186	3,97	0,35	1,18
80.000 GT	273	7,75	0,63	4,27	273	5,83	0,57	1,90
Containers								
1.300 GT	59	1,19	0,09	0,22	59	0,87	0,06	0,22
5.800 GT	116	2,32	0,09	0,36	116	1,69	0,09	0,36
20.000 GT	208	5,94	0,37	2,59	208	4,33	0,33	1,15
45.000 GT	358	10,51	0,81	5,47	358	7,67	0,73	2,43
80.000 GT	573	15,40	0,82	5,98	573	11,24	0,74	2,66

6 Vergelijkingen Vrachtvervoer

6.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de emissies per tonkilometer van het goederenvervoer gepresenteerd voor verschillende modaliteiten. Ook laten we zien wat het effect is van variatie in verschillende logistieke parameters. De vergelijkingen in dit hoofdstuk geven inzicht in de emissies van verschillende vervoersalternatieven die in meer of mindere mate met elkaar concurreren. De vergelijkingen worden gepresenteerd voor verschillende cases waarbij onderscheid wordt gemaakt naar afstandsklassen en het onderscheid tussen bulk en non-bulk (inclusief containervervoer).

De vergelijkingen zijn gebaseerd op gemiddelden. In specifieke gevallen kunnen emissies hier enorm van afwijken, door verschillen in logistieke parameters of gebruikte technologie. De conclusies die worden getrokken gelden daarom alleen voor de getoonde gemiddelden. In hoofdstuk 8 geven we een overzicht van de invloed van verschillende brandstoffen en technieken.

De getoonde emissies zijn inclusief de emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie. De emissies van fijn stof zijn alleen de emissies van verbranding, dus exclusief emissies van slijtage e.d.

6.2 Vergelijking binnen cases

In het vrachtvervoer zijn de volgende cases gedefinieerd:

- 1 Bulk, korte afstand (tot ca. 150 kilometer).
- 2 Bulk, lange afstand (>150 kilometer).
- 3 Non bulk/containers, korte afstand (tot ca. 150 kilometer).
- 4 Non bulk/containers, lange afstand (>150 kilometer).

De bovengenoemde afstandsgrenzen zijn ruwe inschattingen. Korte afstand betreft met name nationaal transport. Lange afstanden betreffen met name internationaal transport. Hierbij kunnen de afstanden oplopen tot meer dan 750 kilometer.

Algemeen geldt dat voor korte afstand vooral modaliteiten met een lage capaciteit zijn meegenomen en voor lange afstand modaliteiten met een hogere capaciteit.

Grote zeeschepen en vliegtuigen zijn niet opgenomen in de cases. Deze modaliteiten concurreren niet of nauwelijks met andere modaliteiten. De berekende emissies per tonkilometer en de uitgangspunten hierachter opgenomen in bijlage H.

6.3 Variatie in logistieke parameters

Emissies zijn berekend met een gemiddelde beladingsgraad, een gemiddeld aandeel voor- en natransport en een gemiddeld omwegpercentage. In de praktijk zullen deze factoren per situatie variëren. In de cases laten we deze variatie dan ook zien d.m.v. een range rond het gemiddelde. Tabel 46 geeft de aannames voor de worst- en best case-berekeningen.

Voor alle modaliteiten geldt dat voor- en natransport plaats vindt met een vrachtauto >20 ton. Voor- en natransport is verondersteld als schakel binnen de totale transportafstand. In het geval van vervoer per trein over een afstand van 500 kilometer betekent dit dat er bijvoorbeeld 50 kilometer per vrachtauto wordt afgelegd en 450 kilometer met de trein. Bij een omwegpercentage van 10% is de afstand van de modaliteit zelf met 10% verhoogd (in dit voorbeeld dus 495 km met de trein).

Tabel 46 Aannames voor worst en best case-berekeningen goederenvervoer

Worst case	Best case
Wel voor-en natransport	Geen voor- en natransport
Maximaal omrijden	Minimaal omrijden
15% lagere belading dan gemiddeld	15% hogere belading dan gemiddeld

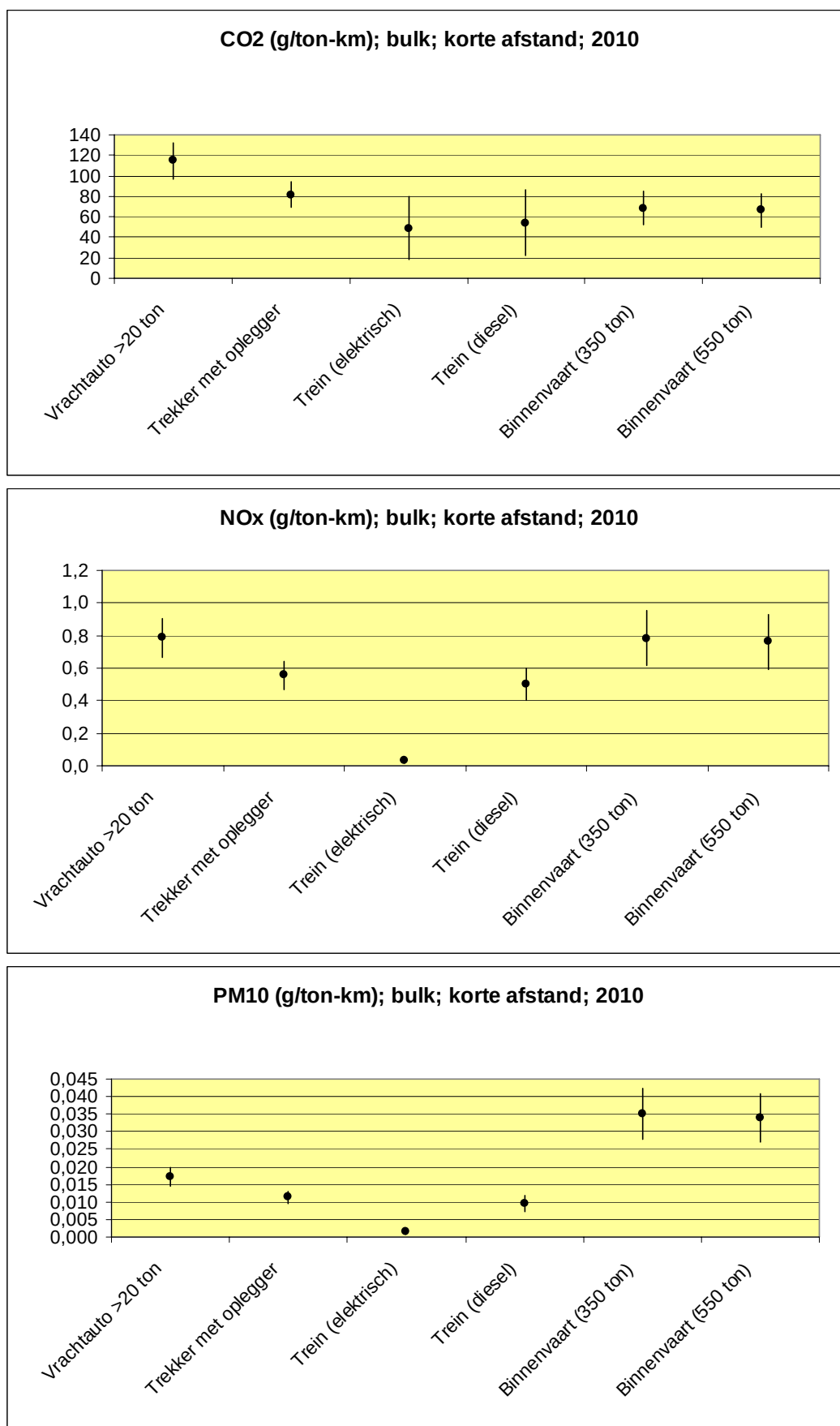
6.4 Resultaten vergelijkingen binnen cases

In Figuur 4 tot en met Figuur 7 presenteren we de resultaten per case. Ze geven een gemiddelde (de stip) en een range rond dit gemiddelde (de verticale lijn). Deze range wordt veroorzaakt door variatie (worst en best) in logistieke parameters (zie paragraaf 6.3). Het gemiddelde is berekend door voor alle logistieke parameters de waarde in het midden van de range te nemen.

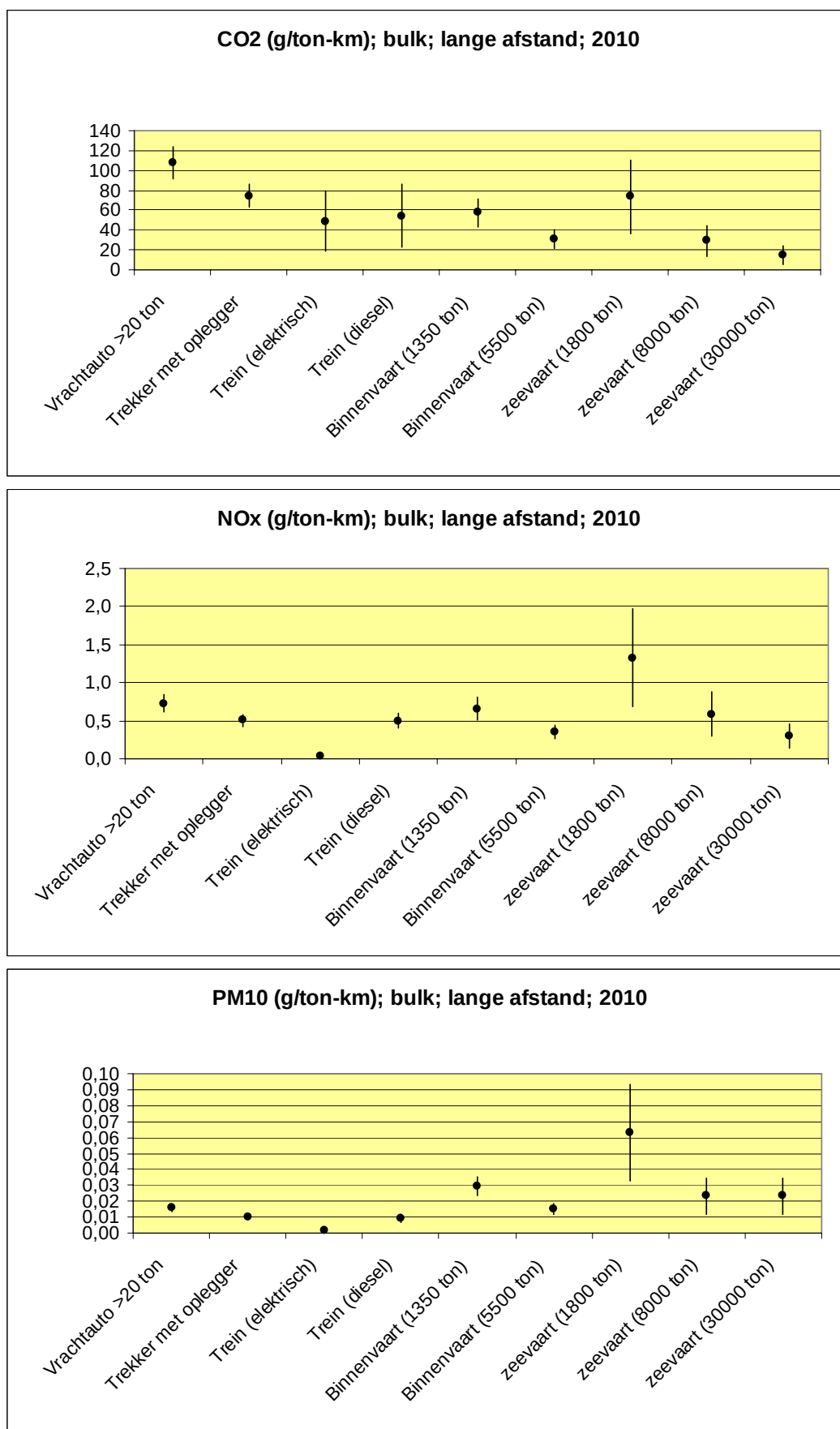
In het hoofdrapport worden figuren voor 2010 weergegeven; achterliggende data van deze figuren en figuren en data voor 2005 en 2020 zijn te vinden in bijlage H.



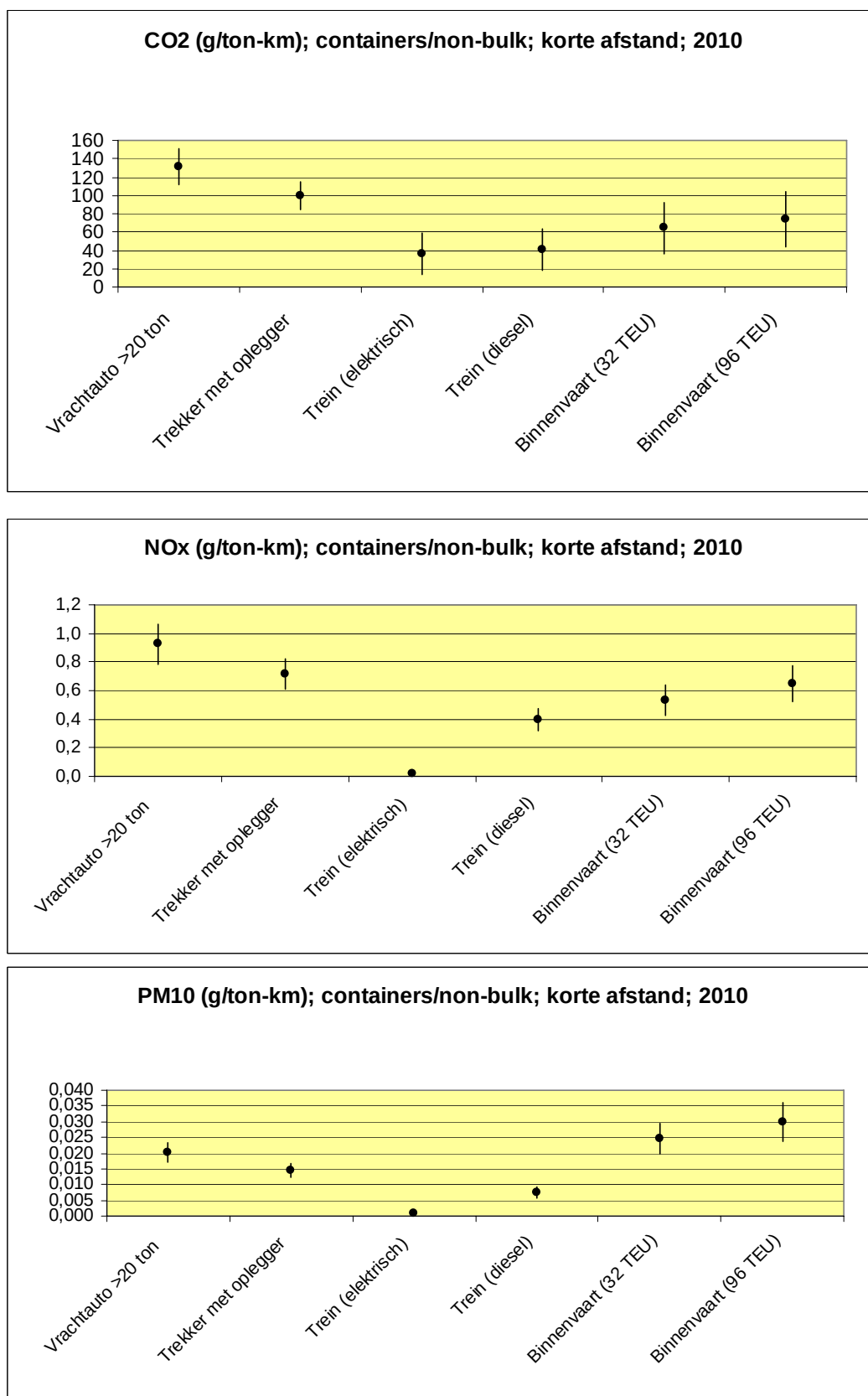
Figuur 4 Case 1: Korte afstand, bulk voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



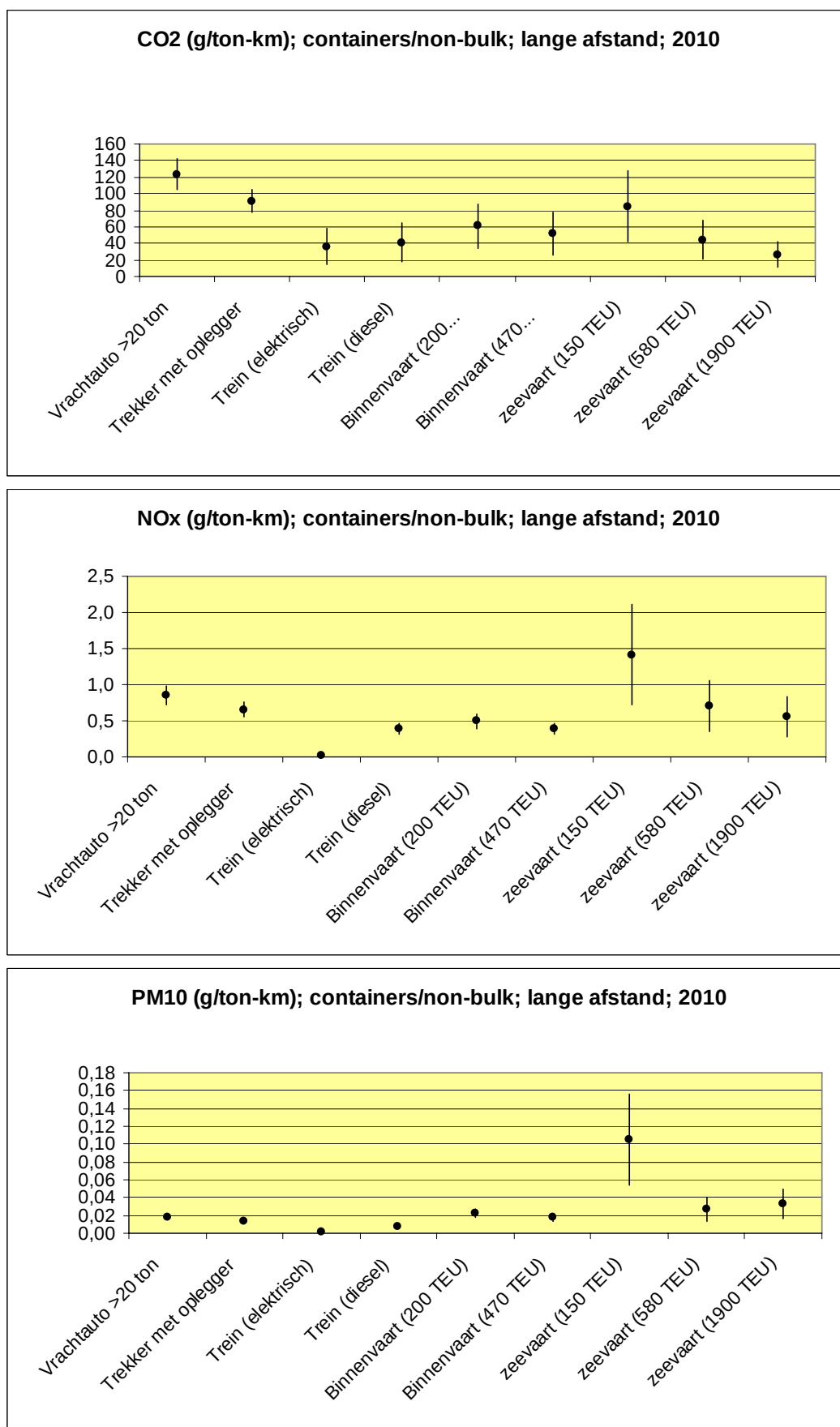
Figuur 5 Case 2: Lange afstand, bulk voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



Figuur 6 Case 3: Korte afstand, containers/non-bulk voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



Figuur 7 Case 4: Lange afstand, non-bulk voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



6.5 Analyse van de goederencases

6.5.1 Bulktransport

Verschillen in CO₂-emissies per tonkilometer *tussen* vervoerswijzen en *binnen* een vervoerswijze zijn in veel gevallen van dezelfde ordegrootte, met name voor de korte afstand. De schaal van het transport is daarmee vaak even belangrijk als de vervoerswijze.

CO₂-emissies van wegvervoer zijn gemiddeld het hoogst. Reden hiervoor is de lage beladingsgraad. Verschillen zijn in een aantal gevallen echter klein: op de korte afstand overlappen de gehanteerde bandbreedtes van treinen en kleine schepen met die van de logistieke variatie voor trekkers met oplegger, op lange afstand liggen kleine zeeschepen en vervoer over de weg ongeveer op gelijke hoogte. Grote schepen (zowel binnenvaart als zeevaart) en, in mindere mate treinen, hebben op de lange afstand echter duidelijk lagere emissies dan het wegtransport.

Gemiddeld zijn CO₂-emissies van kustvaart vergelijkbaar met die van binnenvaartschepen van ongeveer dezelfde grootte. De luchtverontreinigende emissies zijn significant hoger. Dit komt vooral door de beperkte regelgeving ten aanzien van emissies in deze sector.

Luchtverontreinigende emissies van elektrisch treinen zijn veel lager dan van alle andere vervoerswijzen. Dieseltreinen scoren wat NO_x betreft vrijwel gelijk aan de trekker met oplegger, vrachtauto's en scheepvaart hebben hogere emissies, de verschillen tussen de modaliteiten zijn echter beperkt. Bij PM₁₀ hebben de dieseltrein en het wegvervoer na de elektrische trein de laagste emissies. Binnenvaart en zeescheepvaart stoten meer luchtverontreinigende emissies uit. Met uitzondering van kleine zeeschepen zijn ook hier de verschillen tussen de modaliteiten klein.

Het omwegpercentage van de kustvaart is van grote invloed op haar positie ten opzichte van andere modaliteiten: voor transportrelaties waarbij de afstand over zee veel korter is dan over land, scoort zeescheepvaart gunstig, terwijl in situaties waar de afstand langer is vooral de kleinere kustvaart minder gunstig scoort. Grote zeeschepen, die gebruikt worden in de diepzeevaart, zijn het zuinigst beschikbare alternatief maar deze concurreren zelden met de andere vervoerswijzen en zijn daarom niet in de cases opgenomen.

6.5.2 Container/non-bulk

CO₂-emissies van grotere vrachtauto's en trekkers met oplegger zijn duidelijk hoger dan die van spoorvervoer. Ook de andere modaliteiten hebben gemiddeld lagere CO₂-emissies dan het vervoer over de weg, de verschillen zijn hier echter kleiner. Er is overlap tussen de bandbreedtes van het wegverkeer en de kleine schepen. De hoge emissies van wegvervoer worden vooral veroorzaakt door de lage benuttingsgraad die zij hebben ten opzichte van andere modaliteiten.

Wat luchtvervuilende emissies betreft is de elektrische trein duidelijk de schoonste vervoerswijze gevolgd door de dieseltrein. Wat betreft NO_x -emissies zijn vrachtauto's meer vervuilend dan binnenvaartschepen, voor PM_{10} is dit precies omgekeerd. De verschillen tussen grote vrachtauto's, trekkers met oplegger en de binnenvaart zijn echter klein. Zeescheepvaart is gemiddeld wat vervuilerder dan de andere modaliteiten, de grotere zeeschepen liggen qua NO_x -emissies ongeveer gelijk aan die van vrachtauto's.

Ter vergelijking: CO_2 -emissies van luchtvracht zijn veel hoger dan van andere vervoerswijzen. Luchtvracht (B747F) gaat gepaard met ruwweg 800 gram CO_2 -equivalenten per tonkilometer (inclusief de klimaateffecten van niet- CO_2 -emissies, voor zover kwantificeerbaar), zo'n acht keer hoger dan een grote vrachtauto en zelfs twintig keer hoger dan een elektrische trein. De onderlinge concurrentie is hier echter klein en daarom is luchttransport niet meegenomen in de figuren.

6.6 Doorkijk naar 2020

Er is momenteel geen beleid om CO_2 -emissie van goederenvervoer te verlagen en ook autonome ontwikkelingen laten weinig veranderingen zien, afgezien van de luchtvaart. Ondanks een gestage reductie van het brandstofverbruik en het terugdringen van NO_x -emissies (die op hoogte een klimaateffect hebben) blijft de klimaatbijdrage van luchtvaart per tonkilometer echter zeer hoog.

De luchtverontreinigende emissies van wegvervoer nemen relatief sterker af dan van de binnenvaart en de dieseltrein. In 2020 is het vervoer per vrachtauto daarvoor wat schoner dan de binnenvaart. Een zeeschip blijft de meest vervuilende modaliteit (hoogste luchtvervuilende emissies), maar in geval van grote schepen ook de meest zuinige (laagste CO_2 -emissies). De elektrische trein blijft het schoonst.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op de gemiddelden voor 2010. Logistieke factoren spelen een belangrijke rol. Een vol schip zonder omweg is schoner dan een bijna lege vrachtauto met omweg en vice versa. Daarom gelden de bovenstaande conclusies alleen voor gemiddelde omstandigheden, zoals afgeleid uit beschikbare data voor logistieke kenmerken. In andere studies is aangetoond dat emissieprestaties sterk samenhangen met specifieke logistieke factoren en de gebruikte technologie. Verschillende studies vanuit verschillende invalshoeken tonen dit ook aan, met name 'Binnenvaart voortdurend duurzaam' in opdracht van CBRB (Haskoning, 2004) en 'Comparative Analysis of Energy Consumption and CO_2 Emissions of Road Transport and Combined Transport Road/Rail' in opdracht van de IRU (IFEU, 2002).



7 Vergelijkingen Personenvervoer

7.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de emissies per reizigerskilometer van het personenvervoer gepresenteerd voor verschillende modaliteiten. Ook laten we zien wat het effect is van variatie in verschillende logistieke parameters. Net als bij het goederenvervoer geven de vergelijkingen in dit hoofdstuk inzicht in de emissies van verschillende vervoersalternatieven die in meer of mindere mate met elkaar concurreren. Er wordt onderscheid gemaakt naar verschillende afstandsklassen en marginale en gemiddelde emissies (voor toelichting, zie paragraaf 2.8).

De vergelijkingen zijn gebaseerd op gemiddelden. In specifieke gevallen kunnen emissies hier enorm van afwijken, door verschillen in logistieke parameters of gebruikte technologie. De conclusies die worden getrokken gelden daarom alleen voor de getoonde gemiddelden. In hoofdstuk 8 geven we een overzicht van de invloed van verschillende brandstoffen en technieken.

De getoonde emissies zijn net als bij het goederenvervoer inclusief de emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie. De emissies van fijn stof zijn wederom alleen de emissies van verbranding, dus exclusief emissies van slijtage e.d.

7.2 Vergelijking binnen cases

Bij een bepaald vervoersmotief, bijvoorbeeld winkelen, familiebezoek of vakantie, zijn slechts enkele modaliteiten een reëel alternatief. Zo is het vliegtuig geen realistische mogelijkheid voor het bezoeken van familie die tien kilometer verderop woont en de bromfiets geen alternatief voor een vakantiereis naar Zuid-Frankrijk. In de cases in dit hoofdstuk vergelijken we alleen modaliteiten die binnen een bepaalde markt met elkaar concurreren.

Door binnen een bepaalde markt te vergelijken, kunnen we ook rekening houden met verschillende emissiefactoren van een voertuig in verschillende situaties, en verschillende logistieke kenmerken.

Er zijn twee cases gedefinieerd, namelijk korte en lange afstand. Bij korte afstand moet vooral gedacht worden aan woon/werkverkeer en recreatief verkeer zoals bijvoorbeeld een bezoek aan familie of het winkelcentrum (ca. 10 tot 50 kilometer). Bij lange afstand gaat het om ritten langer dan 100 kilometer. Hierbij moet men dus vooral denken aan vakantieverkeer. Bij korte afstanden maakt het veel uit of men in spits- of daluren rijdt, zeker voor openbaar vervoer waarvoor wordt gerekend met marginale emissies (zie paragraaf 2.8).

De cases zijn daarom als volgt gedefinieerd:

- 1a Korte afstand spits.
- 1b Korte afstand dal.
- 1c Korte afstand daggemiddeld.
- 2 Lange afstand.

Bij korte afstand moet men denken aan 0 tot 50 km, typische afstanden voor woon/werkverkeer of binnenstedelijk verkeer. Bij lange afstand moet men denken aan (internationaal) vakantieverkeer of dagtripjes. De cases verschillen in de meegenomen modaliteiten, de logistieke parameters en, voor personenauto's, de emissiefactoren. Bijlage G geeft voor iedere case een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten.

7.3 Variatie in logistieke parameters

Emissies zijn berekend met een gemiddelde bezettingsgraad, een gemiddeld aandeel voor- en natransport en een gemiddeld omwegpercentage. In praktijk echter, zullen deze factoren per situatie variëren. In de cases laten we deze variatie zien d.m.v. een range rond het gemiddelde. Tabel 47 geeft de aannames voor de worst en best case-berekeningen. Voor- en natransport vindt plaats met een stadsbus. Wanneer er geen voor- en natransport plaatsvindt betekent dit in het personenvervoer dat er geen emissies zijn van voor- en natransport, in deze gevallen kan dus wel gebruik gemaakt worden van de fiets of kan te voet nog een stuk worden afgelegd.

Tabel 47 Aannames voor worst en best case-berekeningen personenvervoer

Worst case	Best case
Wel voor-en natransport	Geen voor- en natransport
Maximaal omrijden	Minimaal omrijden
15% lagere bezetting dan gemiddeld	15% hogere bezetting dan gemiddeld

7.4 Case-specifieke aannames

Emissiefactoren voor personenauto's zijn gegeven per wegtype. Korte afstanden worden vooral afgelegd in het binnenstedelijk gebied, vandaar dat het aandeel stadswegen in case 1 hoger is dan gemiddeld; het aandeel snelweg is hier laag. Op lange afstanden zal vooral gebruik gemaakt worden van snelwegen; in case 2 is dit aandeel dan ook hoog.

De bezettingsgraad van individuele voertuigen is afhankelijk van het motief van de reis. Woon/werkverkeer heeft veelal een lage bezettingsgraad terwijl vakantie-reizen worden gekenmerkt door een hoge bezettingsgraad. Om deze reden is in case 2 een hogere bezetting gehanteerd dan in case 1. Bijlage G geeft de case specifieke aannames voor de verdeling over wegtypes en bezettingsgraden.

In de spits en het dal (case 1a en b) maken we voor het openbaar vervoer gebruik van een marginale benadering (zie voor de gebruikte elasticiteiten paragraaf 2.8). Voor het daggemiddelde (case 1c) kan gebruik gemaakt



worden van de gemiddelde benadering. Ook voor lange afstand speelt het tijdstip slechts een kleine rol omdat de reis zich vaak uitstrekt over zowel spits- als daluren. In case 1c en case 2 is dan ook gebruik gemaakt van de gemiddelde benadering in plaats van een marginale benadering.

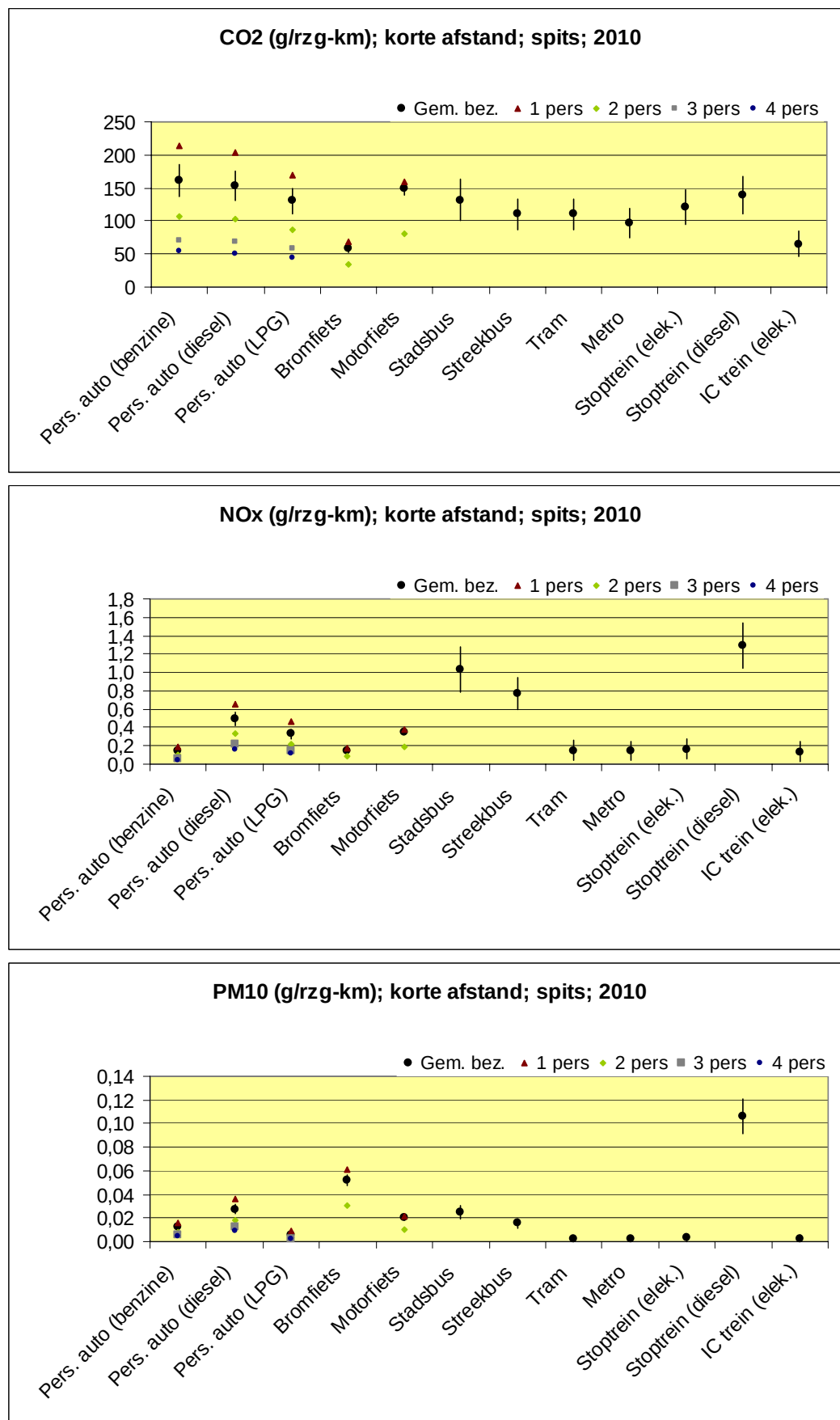
7.5 Resultaten vergelijkingen binnen cases

In Figuur 8 tot en met Figuur 11 presenteren we de resultaten per case. Ze geven een gemiddelde (de stip) en een range rond dit gemiddelde (de verticale lijn). Deze range wordt veroorzaakt door variatie (worst en best) in logistieke parameters (zie hoofdstuk 4). Het gemiddelde is berekend door voor alle logistieke parameters de waarde in het midden van de range te nemen. Voor individuele modaliteiten is naast de emissies bij gemiddelde bezettingsgraad ook de emissie voor een aantal mogelijke bezettingsgraden gegeven.

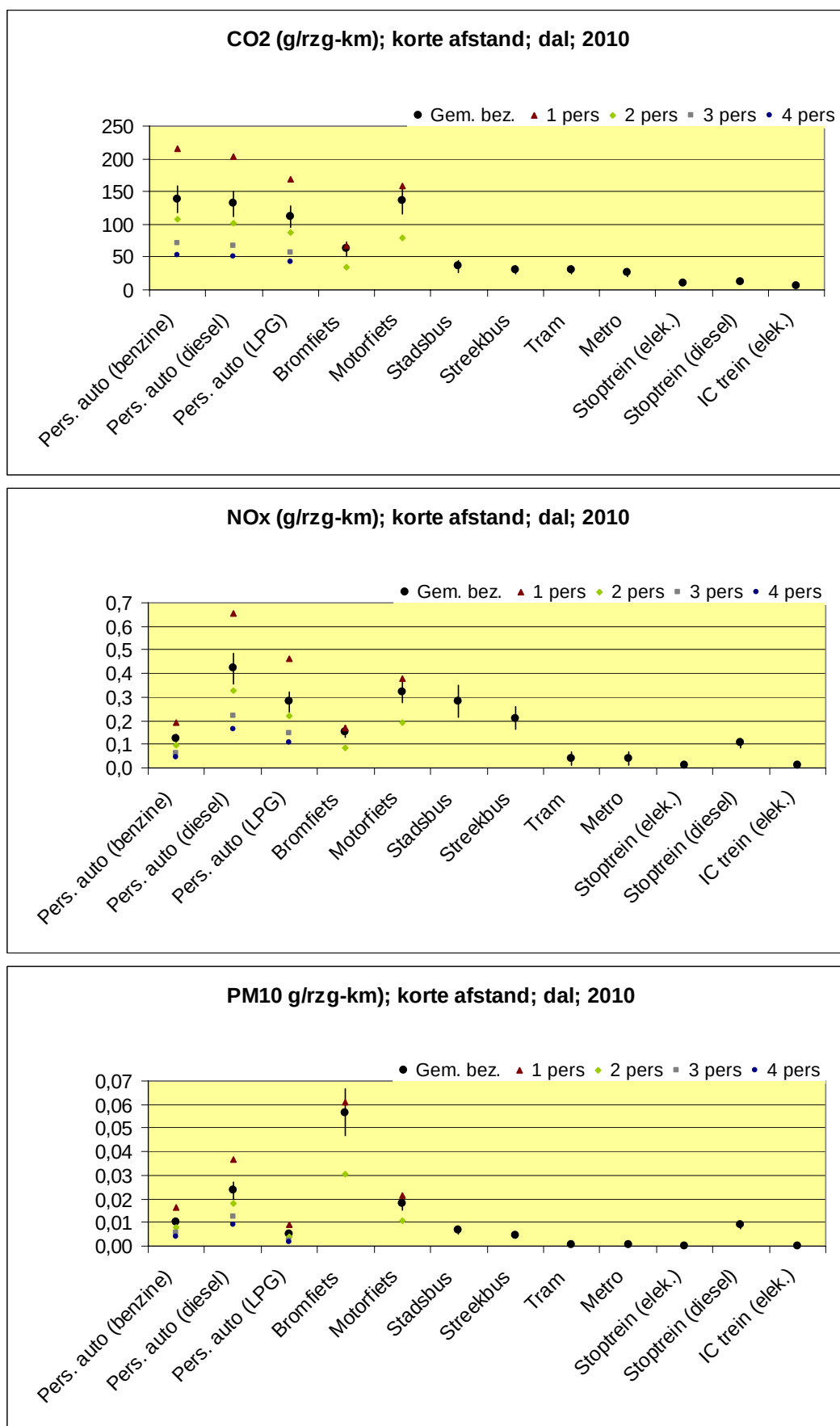
In het hoofdrapport worden figuren voor 2010 weergegeven, achterliggende data van deze figuren en figuren en data voor 2005 en 2020 zijn te vinden in bijlage G.

Figuur 8

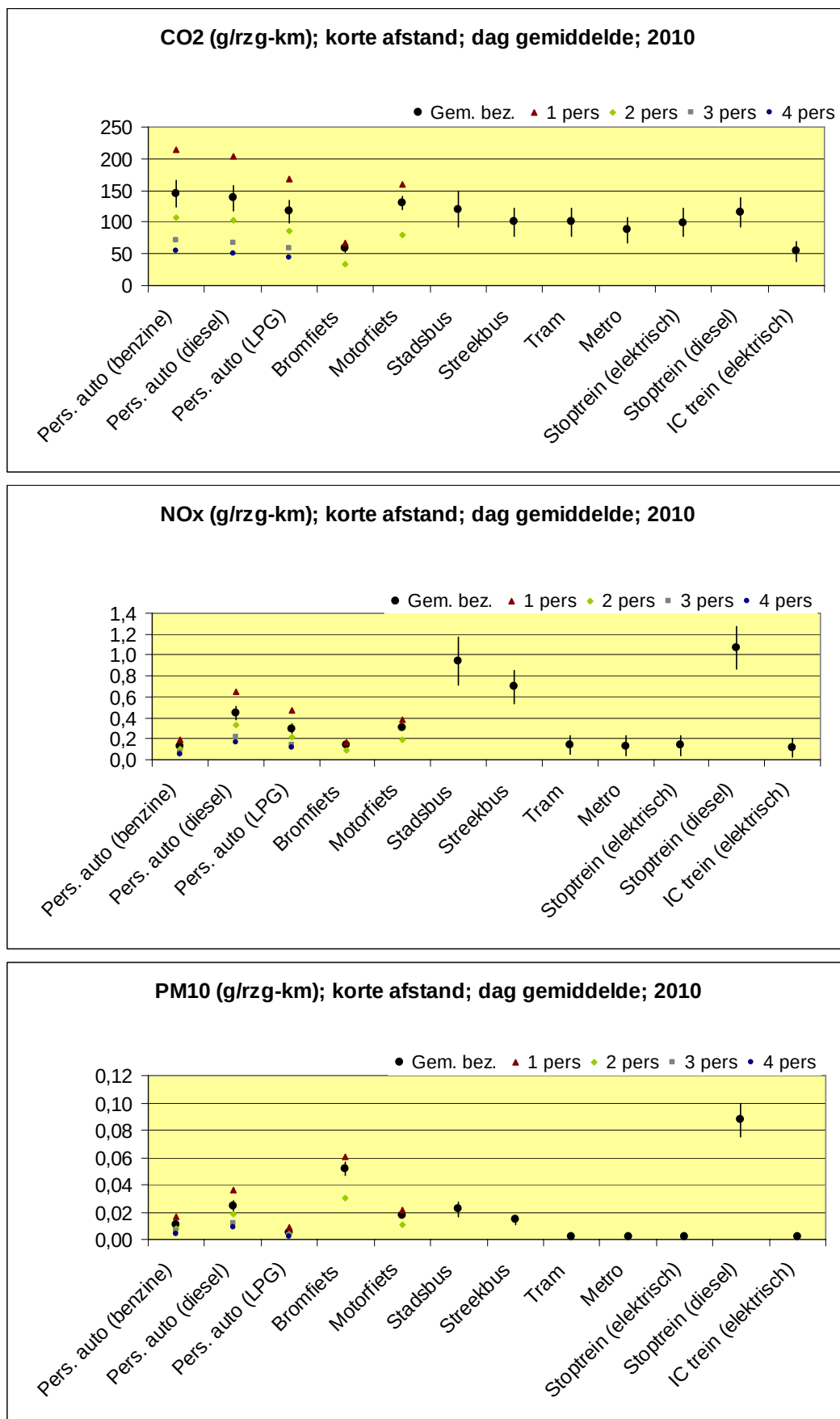
Case 1a: Korte afstand in de spits voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



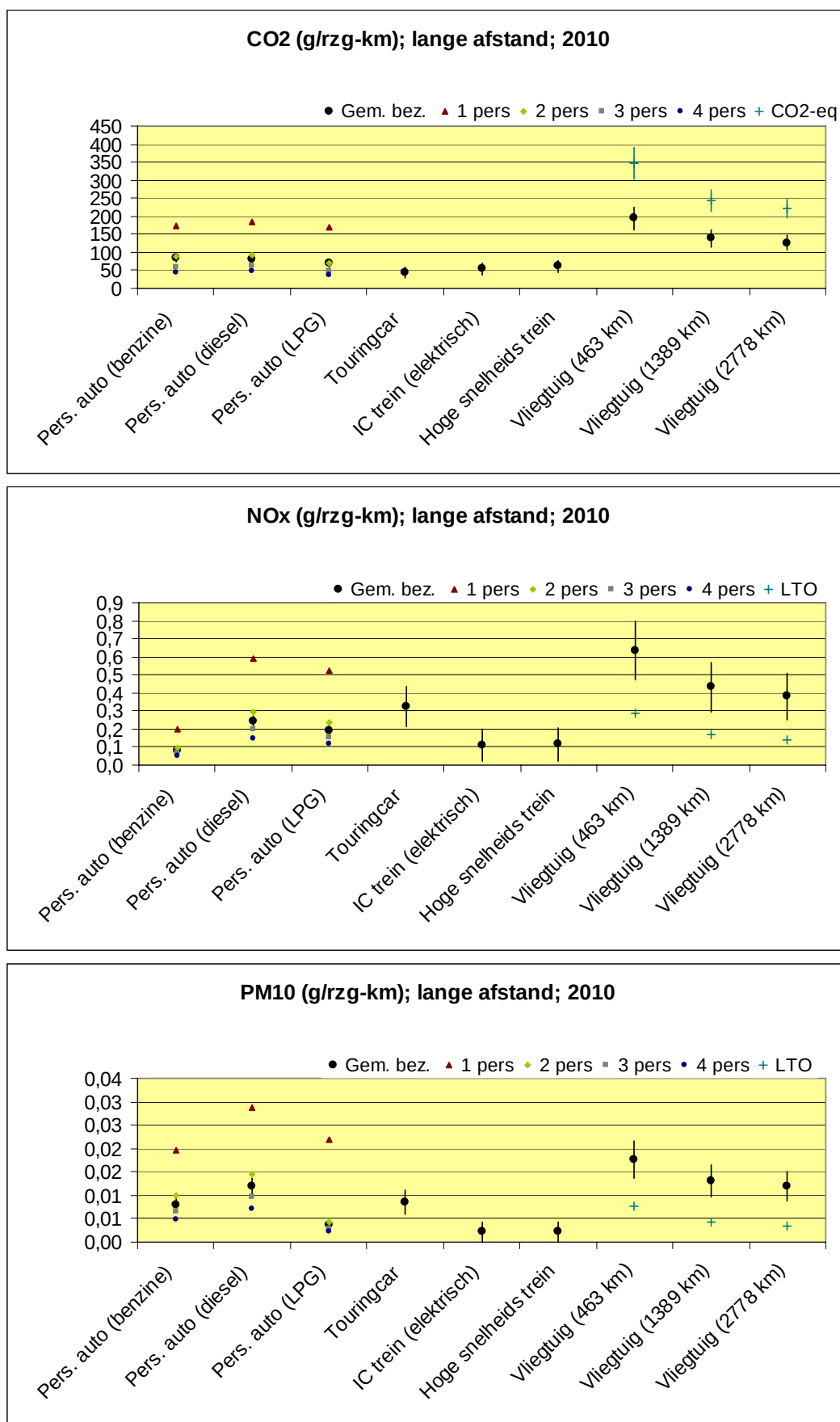
Figuur 9 Case 1b: Korte afstand in de dalperiode voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



Figuur 10 Case 1c: Korte afstand daggemiddeld voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



Figuur 11 Case 2: Lange afstand, daggemiddeld voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor 2010



7.6 Analyse van personencases

7.6.1 Korte afstand - Spits

In de spits zijn de verschillen in CO₂-emissies tussen de OV-modaliteiten en de personenauto klein, deze hangen af van het type collectief vervoermiddel, de bromfiets is een zuinig vervoermiddel. In de spits heeft de personenauto een gemiddelde bezetting van 1,16 persoon, bij een beladingsgraad van twee personen wordt de auto in de spits voor wat CO₂-emissies betreft concurrerend met het openbaar vervoer. Met drie of meer personen is de personenauto de zuinigste modaliteit in de spits.

Elektrisch aangedreven modaliteiten zijn de schoonste vervoersmiddelen wanneer wordt gekeken naar luchtvervuilende emissies. Voor NO_x behoren ook personenauto's op benzine en bromfietsen hiertoe. Wat PM₁₀ betreft behoren personenauto's op LPG bij de schonere modaliteiten. Bij NO_x valt op dat bussen en dieseltreinen veel meer vervuילend zijn dan andere modaliteiten. Wat PM₁₀ betreft zijn dieseltreinen en bromfietsen het meest vervuילend.

7.6.2 Korte afstand - Dal

In de dalperiode heeft het openbaar vervoer duidelijk lagere CO₂-emissies dan de individuele modaliteiten. Dit volgt direct uit de aanname dat marginale reizigers in de dalperiode weinig tot geen extra emissies veroorzaken.

Wat betreft NO_x is het spoorgebonden vervoer het schoonst. Hiervan ligt de dieseltrein het hoogst en daarmee concurreert deze met de bromfiets en personenauto op benzine. Bussen, de motorfiets, de diesel- en LPG-auto zijn het minst schoon. Voor wat betreft PM₁₀ is het openbaar vervoer, behalve de dieseltrein, schoner dan de individuele modaliteiten, zelfs wanneer deze met meer dan twee personen bezet zouden zijn, dit geldt niet voor personenauto's op LPG welke, zeker bij een hoge bezetting, concurrerend zijn met de bus. De brommer is wat PM₁₀ betreft duidelijk het minst schone vervoersmiddel.

7.6.3 Korte afstand - Gemiddeld

Gemiddeld zijn CO₂-emissies van de personenauto's en motorfietsen hoger dan van het openbaar vervoer. De bromfiets en de Intercity-trein zijn de zuinigste vervoersmiddelen. Een auto met een bovengemiddelde bezettingsgraad is ruim concurrerend met het openbaar vervoer.

Elektrische modaliteiten zijn het schoonst. De benzineauto en LPG-auto zijn schoner dan de dieselauto. Wat betreft NO_x worden de elektrische modaliteiten opgevolgd door de individuele modaliteiten, stadsbus, streekbus en dieseltrein laten de hoogste NO_x-emissies zien. Bij PM₁₀ geldt dat vooral de bromfiets en dieseltrein hoge emissies hebben.



7.6.4 Lange afstand

De touringcar is het zuinigste vervoermiddel, gevolgd door de trein. CO₂-emissies per reizigerskilometer van een HSL en een Intercity-trein zijn vergelijkbaar, omdat de gemiddeld veel hogere bezettingsgraad van een HSL het hogere energiegebruik compenseert. CO₂-emissies van een auto met vier inzittenden zijn per persoon ongeveer gelijk aan die bij vervoer per trein of touringcar. Bij de huidige gemiddelde bezetting zijn zij echter veel hoger. CO₂-emissie van luchtvaart zijn (inclusief effecten van niet CO₂-emissies) tweeënhalf tot vijf keer hoger dan een gemiddeld bezette personenauto en wel vier tot acht keer hoger dan een van een touringcar of trein. Zelfs een auto met alleen de bestuurder is klimaatvriendelijker dan een vliegreis.

Wat betreft luchtvervuilende emissies is de trein het schoonste alternatief. Voor NO_x is daarnaast de benzine auto een goede keus, wat betreft PM₁₀ is de personenauto op LPG een goed alternatief. De emissies van luchtvaart liggen relatief hoog ten opzichte van de andere modaliteiten, alleen wanneer zij worden vergeleken met een auto met alleen een bestuurder worden zij concurrerend. Als we alleen LTO-emissies beschouwen (en de raffinage emissies van de brandstof van de hele vlucht), zijn emissies van luchtvaart vergelijkbaar met of iets lager dan die van een auto met gemiddelde bezetting of van een touringcar. Er zijn echter indicaties dat emissies uitgestoten op cruisehoogte bijdragen aan de luchtkwaliteit op leefniveau (Met.No, 2004). Uit de figuren valt ook af te leiden dat in 2010 dieselmotoren nog relatief hoge emissies hebben ten opzichte van de andere aandrijftechnologieën. NO_x-emissies van LPG-auto's zijn hoger dan van benzineauto's, bij PM₁₀-emissies zijn LPG-auto's juist schoner dan auto's op benzine.

7.7 Doorkijk naar 2020

Op korte afstanden worden verschillen in CO₂-emissies tussen de modaliteiten tijdens de spitsperiode (en gemiddeld) steeds kleiner, uitgaande van een vergelijking op marginale basis en gemiddelde bezetting. Dit wordt veroorzaakt door steeds zuiniger wordende personenauto's. In de dalperiode blijven de OV-modaliteiten veel zuiniger.

Op lange afstand blijft het vliegtuig de modaliteit met de hoogste CO₂-emissies, ondanks de continue efficiencyverbetering. Trein en bus blijven de zuinigste modaliteiten voor lange afstanden.

Luchtverontreinigende emissies van verbrandingsmotoren dalen de komende 10-15 jaar door nieuwe emissienormen. Er blijft echter een verschil met spoorgebonden modaliteiten, deze blijven schoner. Emissies van brom- en motorfietsen worden relatief hoger, door het uitblijven van verdere emissiewetgeving. Ook dieseltreinen en bussen hebben nog relatief hoge emissies in 2020.

In bijlage G geven we alle data weer voor 2020 op basis van dezelfde uitgangspunten als voor 2010.



8 Verschillen binnen modaliteiten: Technologieën

In de vorige hoofdstukken zijn we ingegaan op gemiddelde emissies. Binnen vervoerswijzen bestaan echter grote verschillen, met name op het gebied van luchtvervuilende emissies. De introductie van Euronormen voor wegvoertuigen heeft er bijvoorbeeld voor gezorgd dat emissies van nieuwe voertuigen sinds de jaren '90 sterk zijn afgenomen. Voor andere modaliteiten zijn dergelijke ontwikkelingen recenter ook zichtbaar geworden.

In dit hoofdstuk laten we grafisch zien hoe groot verschillen binnen modaliteiten zijn. We laten alleen technologieën zien die momenteel commercieel beschikbaar zijn en die sterk afwijken van gemiddelde prestaties binnen de modaliteit. De data in dit hoofdstuk kunnen worden gebruikt als aanvulling op de basisdata in hoofdstuk 3 en 4. De data zijn gepresenteerd zonder emissies van elektriciteitsproductie en raffinage. In bijlage I geven we data behorend bij de grafieken weer.

8.1 Algemeen

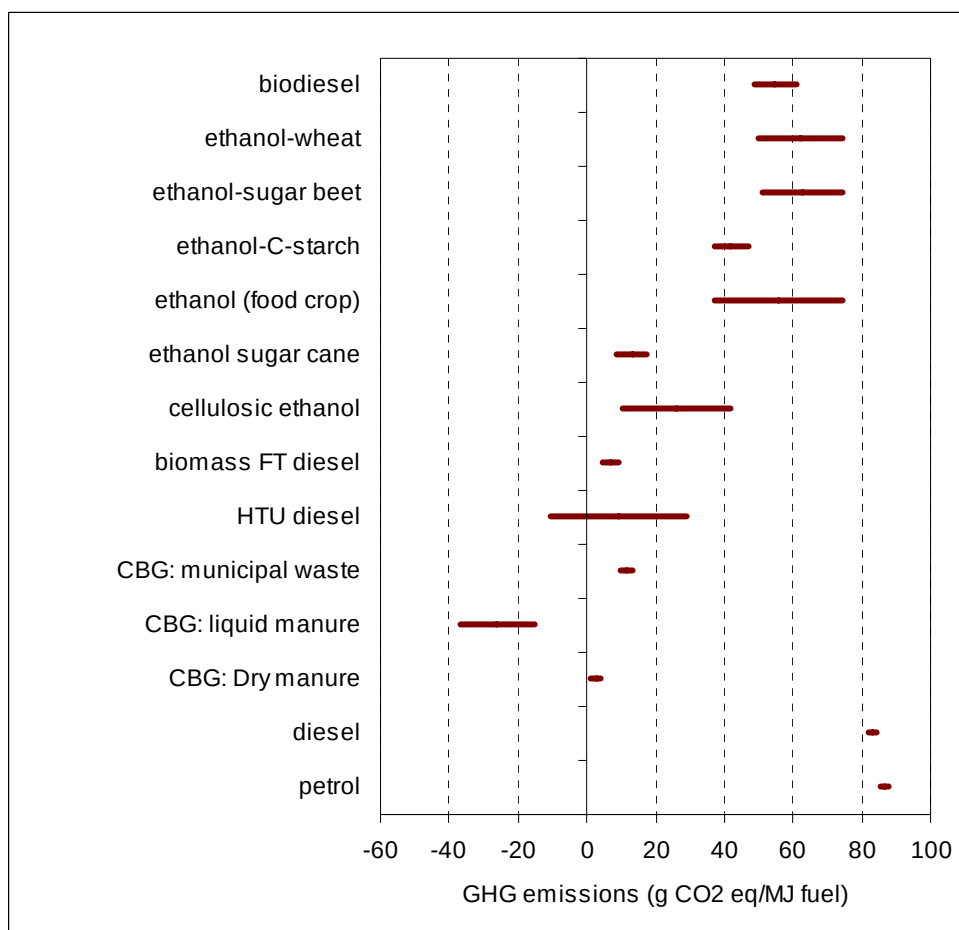
8.1.1 Biobrandstoffen en groene stroom

Biobrandstoffen zijn gemaakt van plantaardige grondstoffen. Omdat deze grondstoffen eerder CO₂ aan de atmosfeer hebben onttrokken wordt aangenomen dat er netto minder CO₂ wordt uitgestoten bij het gebruik van deze brandstoffen. Gebruik van energie en meststoffen tijdens productie draagt echter bij aan de emissie van verschillende broeikasgassen. Daarnaast is er momenteel veel discussie over ontbossing en verdringing van voedselgewassen als (in)direct gevolg van het verbouwen van energiegewassen. Om deze redenen zijn biobrandstoffen niet per definitie beter voor het klimaat dan fossiele brandstoffen en kunnen ze zelfs een negatief effect hebben. Er zijn nog weinig kwantitatieve data voorhanden.

In Figuur 12 zijn de broeikasgasemissies van verschillende biobrandstoffen opgenomen. Het effect van mogelijke ontbossing door verdringing en substitutie is in deze figuur echter niet meegenomen. Dit effect is erg moeilijk te kwantificeren omdat de relatie tussen Nederlandse biobrandstoffen en het verdwijnen van tropisch regenwoud nog onduidelijk is. Verschillende studies laten wel zien dat landconversie van onder andere tropisch regenwoud gepaard kan gaan met enorme emissies van CO₂, waardoor decennia tot eeuwen biobrandstofproductie noodzakelijk is om deze emissie van landconversie te compenseren.

Vanwege de lage energetische opbrengsten speelt landgebruik en daarmee ontbossing de grootste rol bij biodiesel uit soja, koolzaad en zonnepitten en ethanol uit tarwe (CE, 2007).

Figuur 12 Emissiefactoren van de verschillende biobrandstoffen ten opzichte van benzine en diesel



Bron: CE, 2005 op basis van CONCAWE.

Noot: Bandbreedte afhankelijk van gewasopbrengst, kunstmestgebruik, toepassing van bijproducten en proces.

De teelt van biomassa voor de grootschalige inzet van biobrandstoffen heeft net als klimaatverandering negatieve gevolgen voor de biodiversiteit (zie onderstaand kader).

Het netto effect van biobrandstoffen op biodiversiteit

Klimaatverandering heeft een negatief effect op biodiversiteit. Daarom draagt het reduceren van broeikasgasemissies (door o.a. biobrandstoffen) bij aan het behoud van biodiversiteit. Dit heeft echter een keerzijde. Grootschalige teelt van biomassa heeft een negatief effect op de biodiversiteit, omdat gecultiveerd land een lagere biodiversiteit heeft dan ongecultiveerd land. Het MNP heeft deze effecten bekeken en concludeert dat het netto effect van de teelt van biomassa negatief is voor minimaal de eerste 50 jaar. Daarna kan het netto effect positief zijn (MNP, 2006a).

Biobrandstoffen kunnen worden toegepast ter vervanging van benzine of diesel.

Voor elektrische modaliteiten kan in plaats van gewone elektriciteit gekozen worden voor groene stroom. Met deze maatregel kan een forse reductie van de CO₂-emissies worden behaald. De mate van reductie is sterk afhankelijk van de gebruikte techniek voor het opwekken van groene stroom. Modaliteiten over het spoor rijden momenteel al gedeeltelijk op groene stroom, dit is om een goede vergelijking mogelijk te maken nog niet meegenomen in de berekende emissies.

8.1.2 Energiezuinig gedrag

Toepassen van energiezuinig rijgedrag is mogelijk in alle modaliteiten. Voor wegverkeer loopt het programma Het Nieuwe Rijden (HNR) al geruime tijd. Door toepassing van een energiezuinige rijstijl kan ruwweg 5-10% energie bespaard worden (SenterNovem, 2007). Verschillende praktijkcases laten dit zien. Voor de binnenvaart bestaat het Programma Voortvarendbesparen¹⁴.

Binnen het spoorvervoer zijn er serieuze plannen voor het trainen van personeel. Omdat het hier om beperkte groepen machinisten gaat, die face-to-face de principes uitgelegd krijgen, zijn de effecten hier naar verwachting groter dan in het wegverkeer. Bij deze laatste categorie betreft het een zeer grote groep bestuurders die niet of incidenteel getraind zijn en die mogelijk de HNR-principes na enkele maanden weer loslaten indien er verder geen aandacht aan wordt besteed (door bijvoorbeeld een werkgever).

8.2 Personenvervoer

8.2.1 Personenauto's

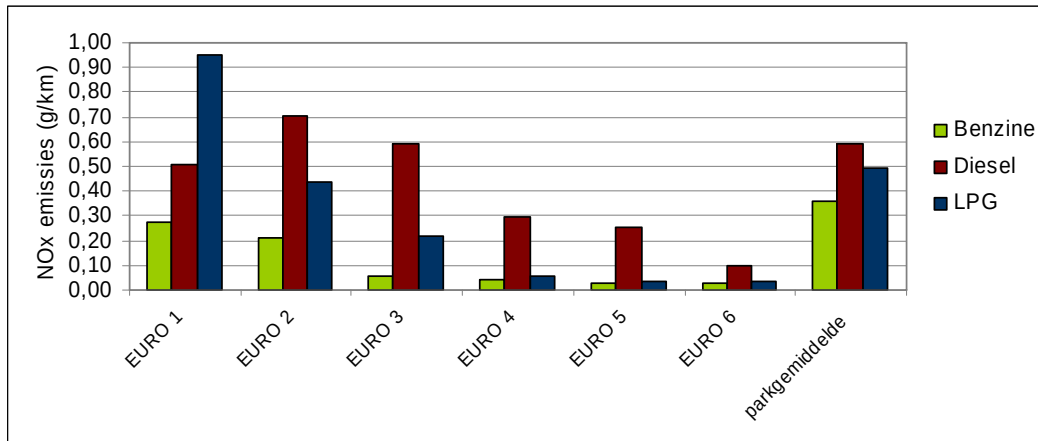
Voor personenauto's wordt veelal gerekend met gemiddelde emissies per brandstofsoort. Ook binnen brandstofsoorten treden echter forse verschillen op in voertuigemissies. Oorzaak hiervan is de introductie van de zogenaamde Euronormen in het begin van de jaren '90. De Euronormen reguleren de luchtvervuilende emissies van onder andere personenauto's, Figuur 13 en Figuur 14 geven de emissiefactoren voor NO_x en PM₁₀ behorende bij de verschillende Euronormen per brandstofsoort. Uit de grafieken blijkt dat de emissies van Euro 1 vele malen hoger zijn, dan die van Euro 6, ook valt op dat er forse verschillen tussen de brandstoffen bestaan.

Naast de euroklasse van het voertuig kan ook het type brandstof een positief effect hebben op de uitstoot van luchtverontreinigende emissies van personenauto's. Een meetcampagne aan Euro 4-voertuigen laat een lagere uitstoot van NO_x en fijn stof zien voor voertuigen op ethanol (E85) dan voor voertuigen op benzine. Ook de directe CO₂-emissies zijn 5% lager, vanwege de hogere compressie-verhouding, die resulteert in een hogere motorefficiëntie. Auto's

¹⁴ www.voortvarendbesparen.nl.

op aardgas hebben zeer lage emissies van NO_x en PM. Een voertuig op aardgas is zo'n 10% zuiniger dan een vergelijkbaar benzinevoertuig.

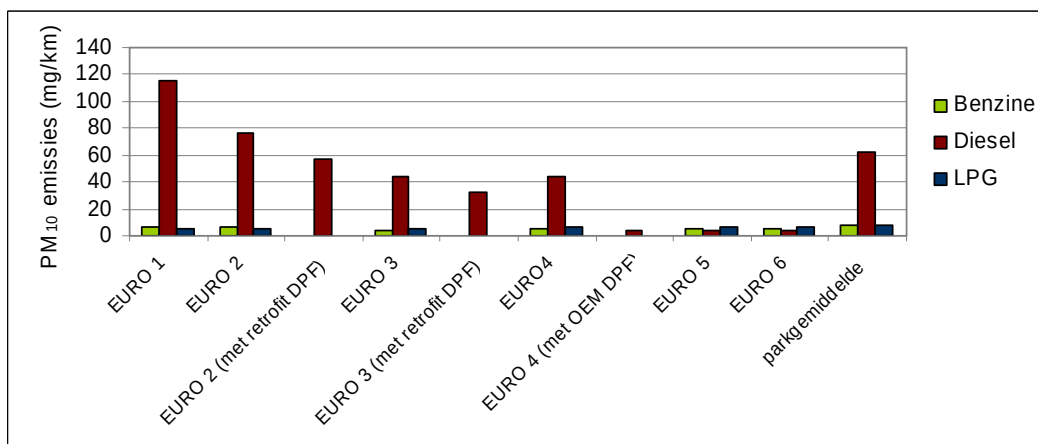
Figuur 13 Emissiefactoren per brandstofsoort voor de verschillende Euroklassen (NO_x)



Bron: TNO, 2007b.

Noot: Parkgemiddelden zijn inclusief auto's ouder dan Euro 1, en daarom soms relatief hoog.

Figuur 14 Emissiefactoren per brandstofsoort voor de verschillende Euroklassen (PM₁₀)

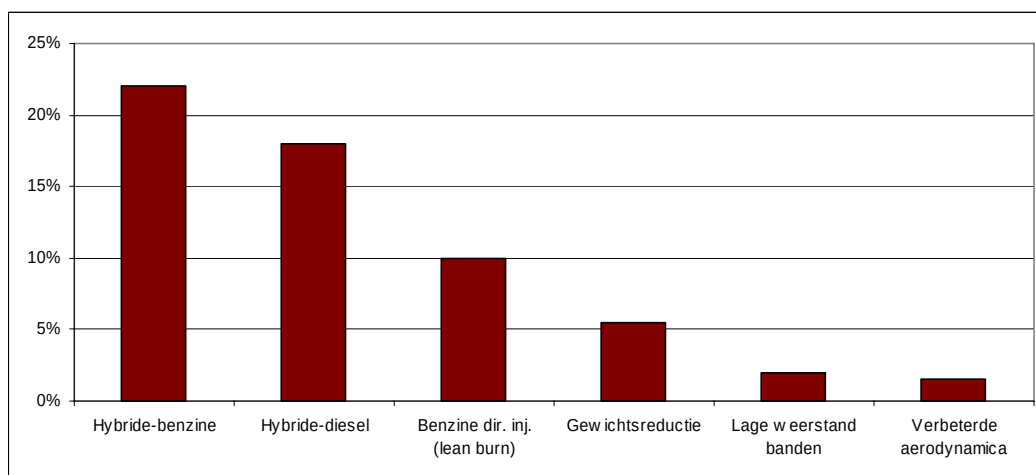


Bron: TNO, 2007a.

Noot: Parkgemiddelden zijn inclusief auto's ouder dan Euro 1, en daarom soms relatief hoog.

Voor personenauto's bestaan er verschillende brandstofbesparende technieken. Veelal betreft het hier maatregelen in de motor of aan de transmissie. In Figuur 15 presenteert het potentieel van enkele brandstofbesparende technieken die toegepast worden in nieuwe auto's (TNO, 2007).

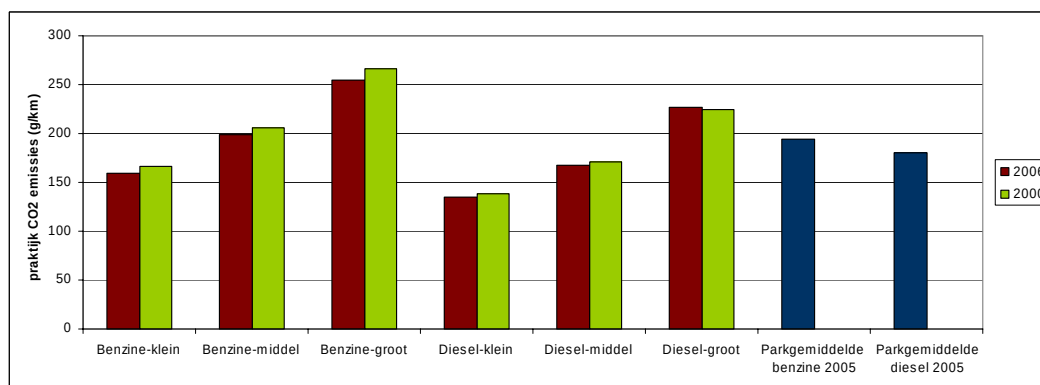
Figuur 15 Energiebesparende technieken voor personenauto's



Bron: Afgeleid van TNO, 2007.

In Figuur 16 laten we het onderscheid zien tussen nieuwe kleine, middelgrote en grote auto's. Het betreft Europese verkoopcijfers. Deze zijn echter representatief voor Nederland.

Figuur 16 CO₂-emissies van nieuwe kleine, middelgrote en grote auto's



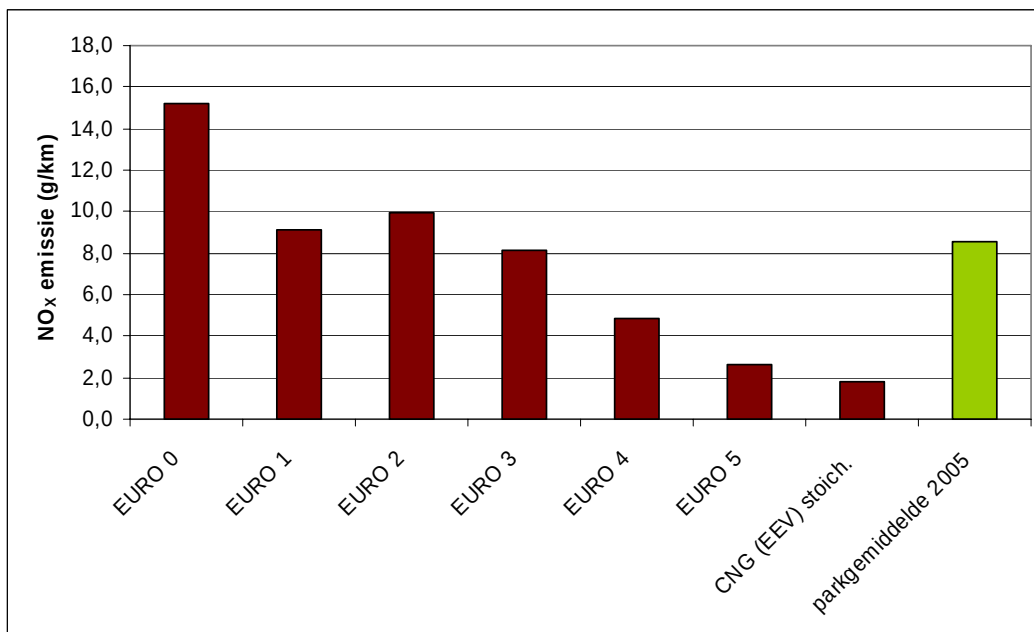
Bron: Afgeleid van TNO, 2007.

Noot: Kleine auto's betreft mini en kleine auto's, grote auto's betreft luxe auto's, SUV's en MPV's.

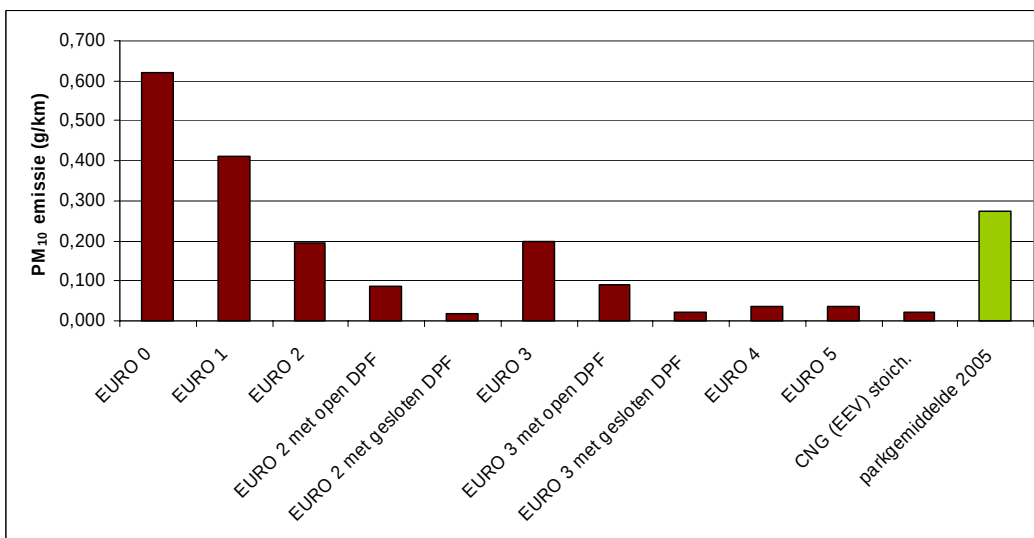
8.2.2 Bussen

Ook bij bussen is het verschil tussen oude en nieuwe bussen groot als gevolg van de invoering van Euronormen. Figuur 17 en Figuur 18 presenteren het verschil in emissiefactoren tussen de verschillende Euronormen.

Figuur 17 Emissiefactoren NO_x voor bussen voor verschillende brandstoffen en Euroklassen



Figuur 18 Emissiefactoren PM₁₀ voor bussen voor verschillende brandstoffen en Euroklassen



Noot: DPF staat voor Diesel Particulate Filter (roetfilter).

Voor bussen zijn er verschillende technieken om brandstof te besparen. De meest aansprekende zijn hybridisering en lichtgewicht chassis en opbouw. De laatste wordt al veel toegepast in het busvervoer in Nederland¹⁵. De toepassing van hybride aandrijving in bussen staat nog in de kinderschoenen. Met lichtgewicht-bussen kan een besparing van ongeveer 3% per 1.000 kg gewichtsreductie worden behaald, terwijl hybridisering het energiegebruik kan terugdringen met zo'n 25%, afhankelijk van het rittype (CE, 2004).

Het verschil in CO₂-emissies van aardgasbussen ten opzichte van dieselbussen is nagenoeg nul.

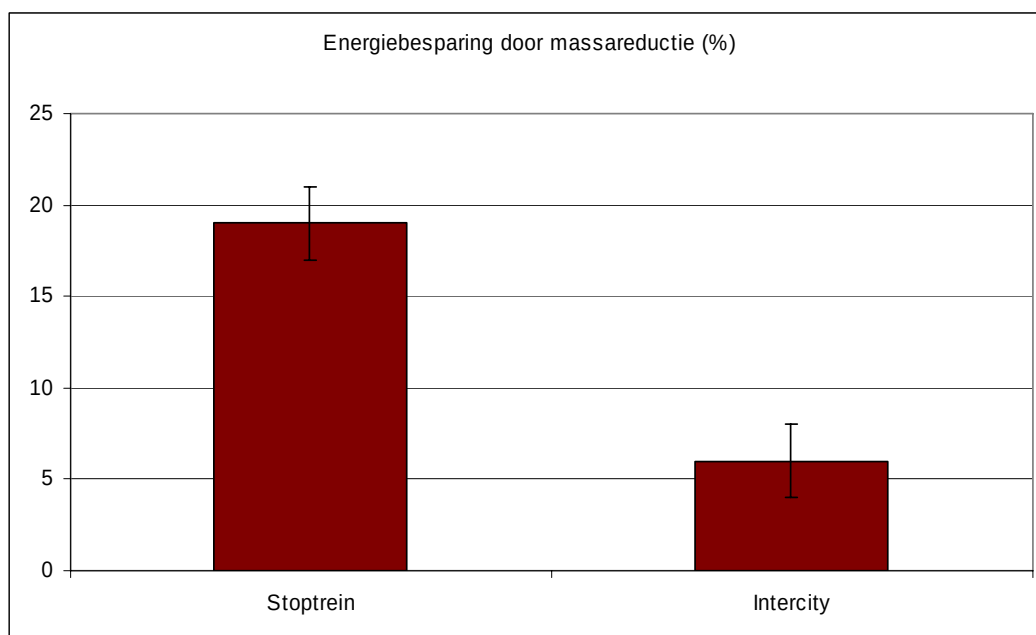
8.2.3 Trein, tram en metro

Er bestaat een groot verschil in de energieconsumptie van treinen, ook binnen verschillende series van de NS. Het gewicht per zitplaats speelt daarin een grote rol, met name voor stoptreinen.

Een voorbeeld van een lichtgewicht trein is de Copenhagen Suburban-trein. Deze is per zitplaats ruwweg 35% lichter dan de relatief jonge Nederlandse dubbeldekker stoptreinserie (type DD-AR). Deze gewichtsreductie kan een reductie in het energiegebruik van 17 tot 21% opleveren, zie. Voor Intercitytreinen en Hogesnelheidstreinen is de potentiële besparing veel kleiner, omdat de relatie tussen gewicht en energiegebruik veel minder sterk is. CE Delft (2005) concludeert dat op de lange termijn een energiebesparing van 15% voor het Nederlandse treinenpark mogelijk is door de inzet van lichtere treinen.

¹⁵ Binnen het DEMO-programma is de zeer succesvolle Berkhof-Ambassador ontwikkeld.

Figuur 19 Energiebesparing trein door massareductie



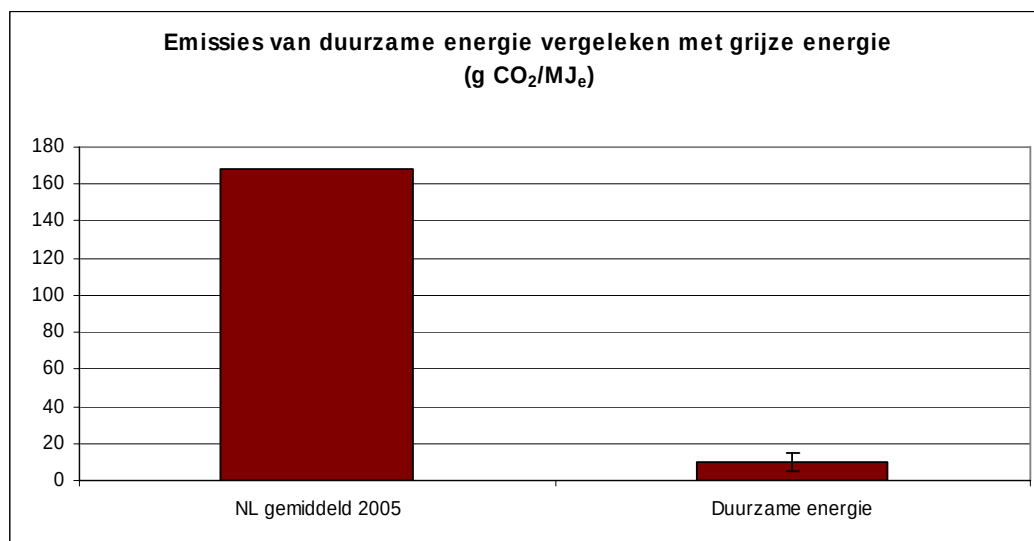
Bron: CE, 2005.

Ook bij de bouw van trams en metro's bestaat er aandacht voor het gebruik van aluminium en vezelversterkte polymeren en lichtgewicht materialen zoals sandwich panelen. Volgens de UIC kan het gebruik van lichte materialen tot 5% energie te besparen. De nieuwe Amsterdamse 'Combino'- en de Rotterdamse 'Citadis'-trams zijn gebouwd op basis van bovengenoemde principes maar weliswaar zwaarder dan het oude type doordat o.a. het glasoppervlak flink is vergroot (CE, 2004).

Daarnaast kunnen ook de verhoogde inzet van dubbeldekkers en het terugwinnen van remenergie een bijdrage leveren aan het reduceren van het energiegebruik.

Naast energiebesparing is er de mogelijkheid van gebruik van duurzame energie. Die wordt momenteel al benut, om de uitstoot van CO₂ van (elektrische) treinen, trams en metro's te beperken. De CO₂-reductie hierbij is relatief groot. Ten opzichte van conventionele energie kan een reductie van 80 tot bijna 100% behaald worden, zie Figuur 20. Windenergie, bijstoken van biomassa-afval en energie uit waterkracht liggen allemaal in deze range. Wel moet opgemerkt worden dat de 'voorraad' van deze brandstoffen beperkt is. Met name biomassa-afval en waterkracht zijn beperkt voorhanden en kunnen niet ongelimiteerd worden ingezet tegen bovengenoemde reductiepercentages.

Figuur 20 Emissies van duurzame energie ten opzichte van grijze energie



Bron: Öko-Institut.

8.2.4 Tweewielers

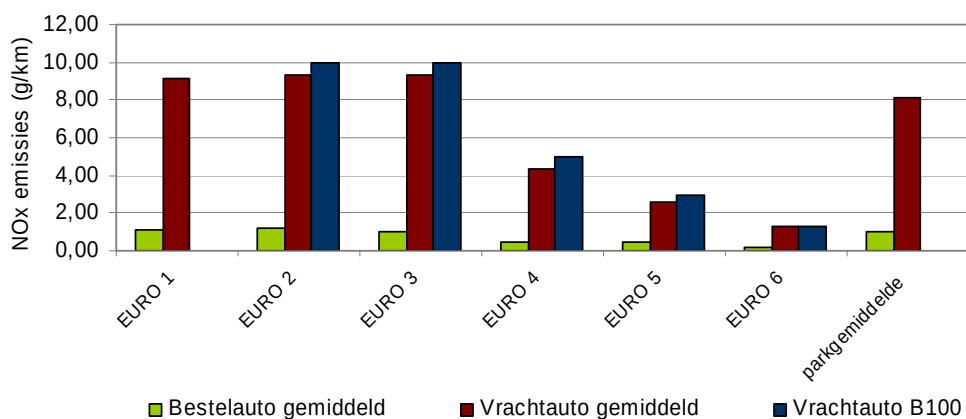
Elektrische bromfietsen hebben lagere emissies dan brommers met een verbrandingsmotor. Lokaal zijn de emissies nihil. In de keten zijn de luchtvervuilende emissies lager. Dit geldt ook voor de emissies van CO₂. Deze zijn meer dan 50% lager (Weinert, 2007). De elektrische bromfiets is met name in China populair, daar zijn de verkoopcijfers gelijk aan die van conventionele bromfietsen. Ook in Nederland lijkt de populariteit te stijgen.

8.3 Goederenvervoer

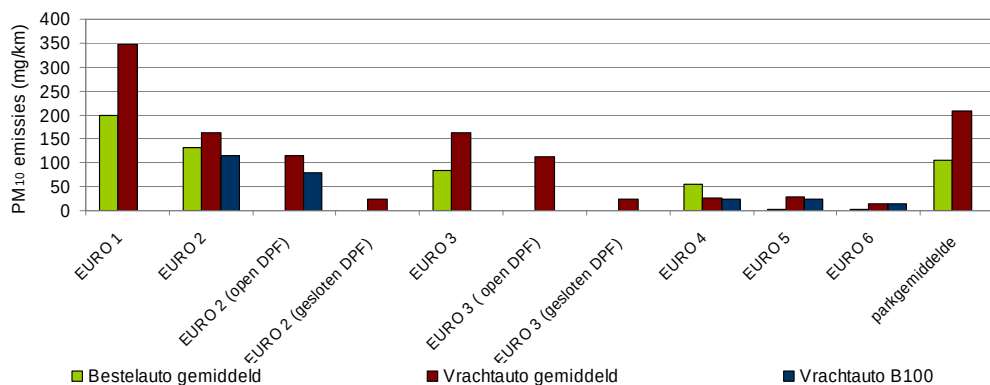
8.3.1 Wegvervoer

In het begin van de jaren negentig zijn Euronormen ingevoerd, hierdoor is de technologie van vrachtauto's in de afgelopen jaren verbeterd, waardoor luchtvervuilende emissies per kilometer sterk zijn afgenomen. De verschillen in emissies tussen nieuwe en oude vrachtauto's zijn afgebeeld in Figuur 21 en Figuur 22. Ook laten we, aanvullend op de broeikasgasemissies van biobrandstoffen in Figuur 12, in deze figuren de effecten van biodiesel (B100) op de luchtvervuilende emissies zien. Deze zijn licht hoger voor NO_x en lager voor PM₁₀.

Figuur 21 NO_x-emissie van vrachtauto's voor de verschillende Euroklassen



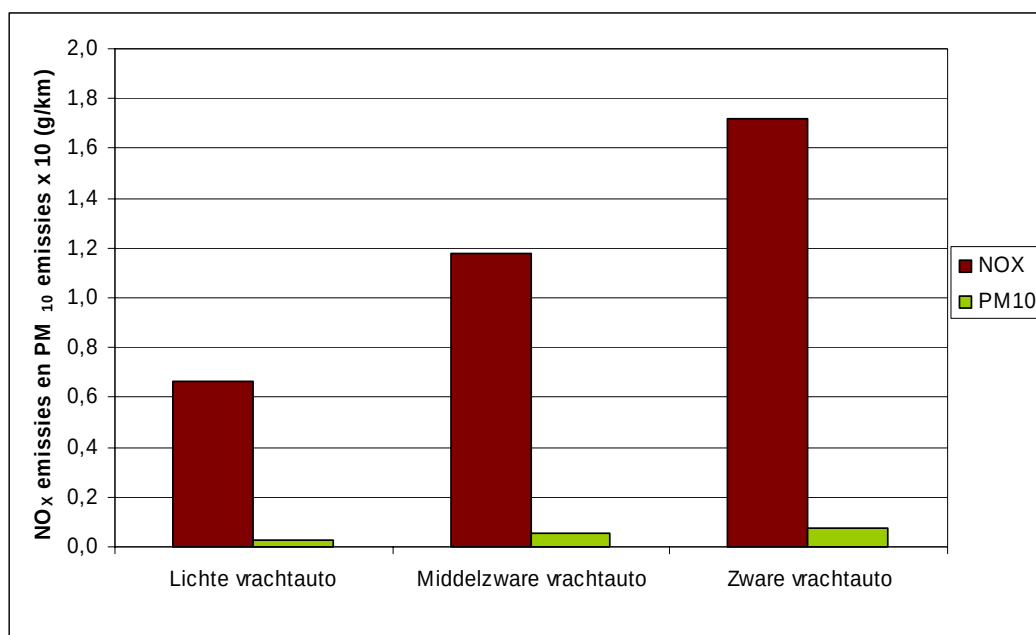
Figuur 22 PM₁₀-emissies van vrachtauto's voor de verschillende Euroklassen



Noot: DPF staat voor Diesel Particulate Filter (retrofit roetfilter).

In Figuur 23 presenteren we de emissies van een vrachtauto op aardgas, die voldoet aan de EEV-norm. Emissies van nieuwe aardgasvoertuigen zijn lager dan de emissies van Euro 5-voertuigen.

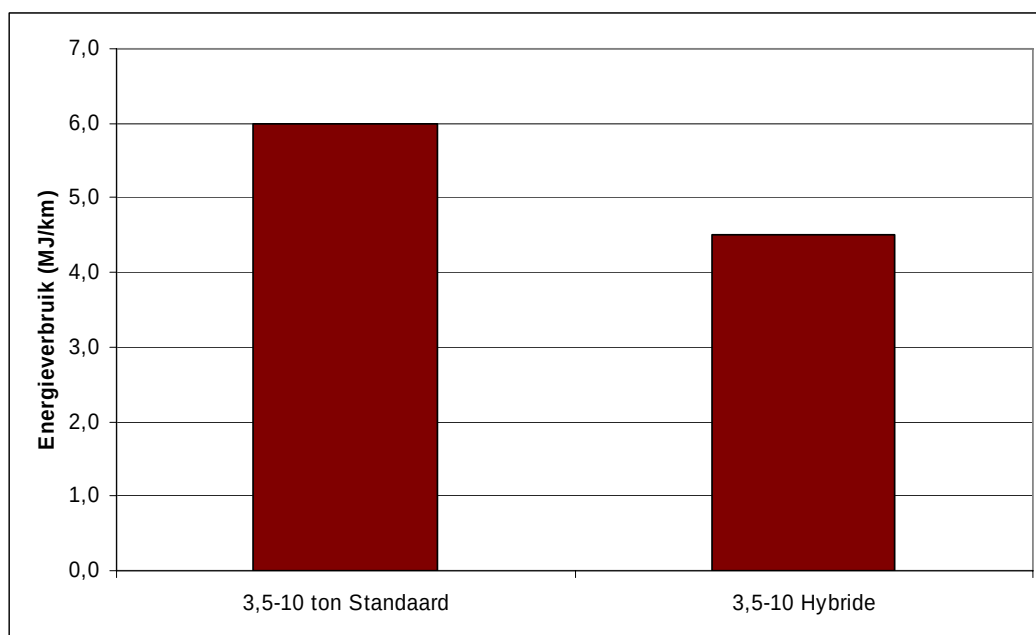
Figuur 23 Emissies van lichte, middelzware en zware vrachtauto's op aardgas (EEV-norm, g/km)



Let op: PM₁₀-emissies x 10.

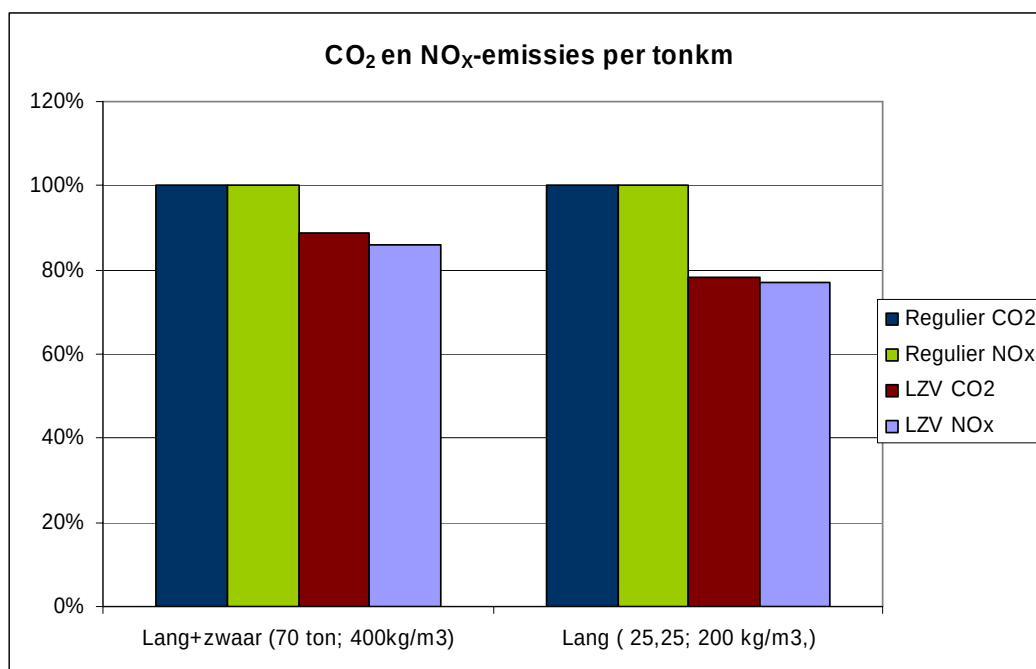
Een nieuwe aandrijftechnologie voor toepassing binnen het distributievervoer is de hybride aandrijving. Verschillende vrachtautofabrikanten ontwikkelen vrachtauto's met een hybride aandrijving. Bij deze technologie wordt remenergie teruggewonnen en opgeslagen in accu's. Bij lage snelheden en optrekken wordt de elektromotor bijgeschakeld. Zo kan het rendement van de dieselmotor verhoogd worden. Het brandstofverbruik van vrachtauto's kan hierdoor met maximaal zo'n 25% teruggedrongen worden, met name in situaties met veel snelheidswisselingen zoals in distributievervoer. Het effect van hybridisering op luchtverontreinigende emissies is nog onduidelijk, omdat de dieselmotor op een andere wijze gebruikt wordt. In Figuur 24 geven we het effect van hybridisering op het energiegebruik grafisch weer.

Figuur 24 Brandstofverbruik van een standaard en een hybride vrachtauto



De afgelopen jaren zijn er verschillende proeven uitgevoerd met het beperkt toelaten van langere en zwaardere vrachtauto's (LZV's). Met behulp van LZV's kan de efficiency van het goederenwegvervoer worden vergroot. Voor volumetransport is het efficiencyvoordeel groter dan voor bulktransport, omdat het laadvermogen sterker toeneemt dan bij bulktransport. Een toename van het GVW van 50 naar 60 ton levert een kleinere toename van het laadvermogen op (20%) dan een toename van de volumecapaciteit van 2 naar 3 TEU (50%). Op dit moment mag een LZV niet zwaarder zijn dan 50 ton. Het is nog onduidelijk of een toename van het GVW van 50 naar 60 ton wordt toegestaan in verband met mogelijke overbelasting van kunstwerken. In Figuur 25 laten we de relatieve afname van de emissies per tkm zien.

Figuur 25 CO₂-en NO_x-emissies per tkm



Bron: CE, 2000; Arcadis, 2006.

Bovenstaande emissiereducties gelden als gemiddelde voor individuele ritten. Vanwege verbeterde efficiëntie wordt transport echter ook goedkoper, waardoor de vraag naar transport toe kan nemen. Hierdoor kan het netto effect op de emissies geringer zijn.

8.3.2 Binnenvaart

Tot voor kort werd er vanuit gegaan dat NO_x-emissies van oudere scheepsmotoren hoger waren dan van moderne scheepsmotoren. Dit is ook verwerkt in de EMS-methodiek. Een recente meetcampagne uit 2007 (TNO, 2007a) laat echter zien dat de emissies van schepen niet zo sterk afhankelijk zijn van de leeftijd dan eerder gedacht.

Ter reductie van NO_x-emissies in de binnenvaart kan een SCR-katalysator worden geïnstalleerd. Dit leidt tot een reductie van 85%. Binnen de door de overheid opgestelde VERS-regeling kunnen ondernemers hiervoor subsidie ontvangen. De toepassing van SCR-katalysatoren in de praktijk is echter nog zeer beperkt.

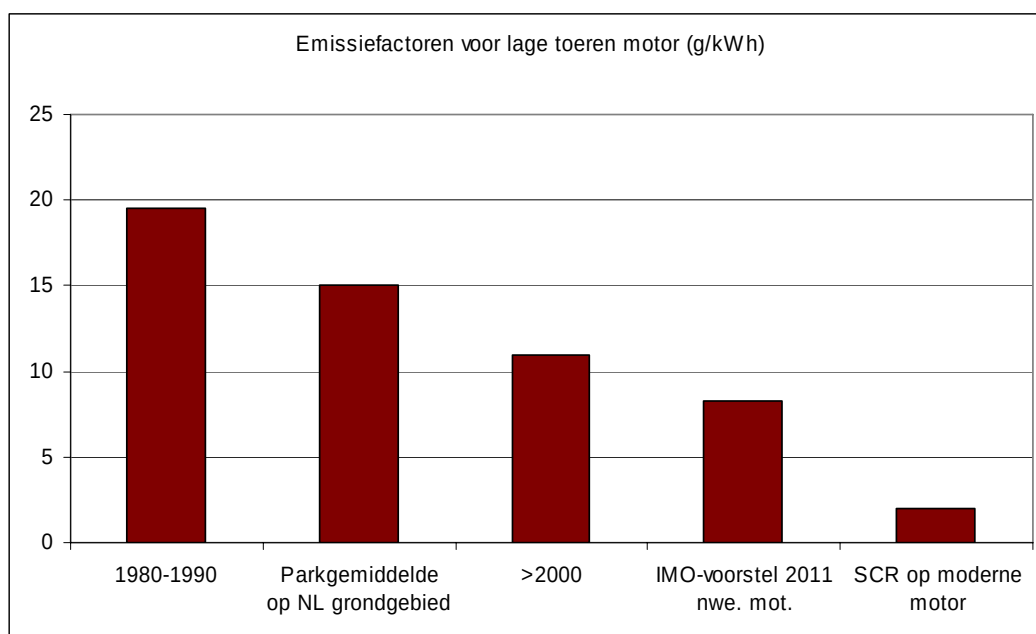
CO₂-emissies van binnenvaart schepen kunnen worden gereduceerd door het rendement van de schroef te optimaliseren. Met verschillende technieken kan tussen de 10 en 25% energie, en dus CO₂, bespaard worden. Ook optimalisatie van de vorm van de scheepsrump kan bijdragen aan CO₂ reductie. Het effect hiervan hangt af van de uitgangssituatie. Moderne schepen zijn doorgaans al zo goed vormgegeven dat de besparing beperkt is tot enkele procenten. Ten opzichte van oudere schepen kan de besparing groter zijn, ca. 20%. Daarnaast kan het

gebruik van de adviserende Tempomaat het energiegebruik met zo'n 6% verminderen.

8.3.3 Zeescheepvaart

In de zeescheepvaart zijn verschillen in emissies tussen schepen relatief groot. Het verschil tussen de emissies van relatief oude schepen en de huidige generatie schepen is een factor 1,8. SCR-techniek wordt op een klein aantal schepen toegepast. De techniek is commercieel aantrekkelijk doordat sommige verladers expliciet om schepen uitgerust met SCR-katalysatoren vragen. In Figuur 26 geven we de bestaande variatie in emissiefactoren weer.

Figuur 26 Verskil in NO_x-emissiefactoren in de zeescheepvaart



Bron: EMS; ENTEC, 2005; IMO.

Ook op het gebied van zwaveluitstoot bestaan er verschillen, deze worden echter niet bepaald door scheepstechnologie, maar door de gebruikte brandstof. Sinds 2006/2007 mag op de Noordzee en de Baltische Zee niet meer gevaren worden met brandstof met een zwavelgehalte hoger dan 1,5%. Dit heeft tot gevolg dat voor de kustvaart op deze wateren brandstof wordt gebruikt met een laag zwavelgehalte, terwijl in de diepzeevaart nog altijd met name de standaard brandstof met een gemiddeld zwavelgehalte van 2,7% wordt gebruikt.

De efficiëntie en daarmee de CO₂ uitstoot, van zeeschepen kan verbeterd worden door warmteterugwinning uit uitlaatgassen. Dit systeem levert een besparing op van ongeveer 10% en wordt beperkt commercieel toegepast. Daarnaast kan het gebruik van anti-fouling verf het brandstofverbruik verminderen met zo'n 5%. Dit wordt reeds op grotere schaal toegepast.



9 Conclusies en aanbevelingen voor gebruik van deze studie

9.1 Introductie

In STREAM is een grote hoeveelheid basisdata opgenomen, die gebruikt kunnen worden voor specifieke situaties. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van officiële Nederlandse bronnen. Waar nodig is dit aangevuld met ander schattingen, waarmee in deze studie de meest betrouwbare data gebruikt zijn die voor de Nederlandse situatie voorhanden zijn. Er is zowel data verzameld voor praktijk-gemiddelden als voor specifieke technologieën.

STREAM staat voor een benadering van emissies, waarbij emissies in de hele transportketen in beschouwing worden genomen. Er wordt rekening gehouden met emissies van transport, brandstofproductie en -distributie, met eventueel omrijden vanwege een minder fijn vertakte infrastructuur en met voor- en natransport.

STREAM geeft de mogelijkheid om berekeningen te maken voor specifieke situaties, waarvoor in dit rapport een aanpak gedefinieerd is. Daarnaast geeft STREAM inzicht in de emissieprestatie in een aantal vergelijkende cases voor de verschillende zichtjaren. STREAM kan mede hierdoor gebruikt worden door diverse partijen bijvoorbeeld om inzicht te verkrijgen in emissieprestaties en verbetermogelijkheden.

9.2 Algemene trends in emissies 2005-2020

Voor alle modaliteiten bestaat wetgeving voor luchtverontreiniging, maar deze is niet overal even streng. Ten aanzien van CO₂-emissies heeft de Europese Commissie een voorstel gepresenteerd voor het verminderen van de CO₂-emissies van nieuwe auto's. Voor de andere modaliteiten bestaat geen wetgeving en circuleren ook geen voorstellen, afgezien van emissiehandel (ETS) voor de luchtvaart.

Ten aanzien van het verminderen van luchtverontreinigende emissies is het aantal technieken en brandstoffen die toegepast kunnen worden relatief groot. Voor CO₂-reductie is het aantal technieken waarmee significante stappen gemaakt kunnen worden veel kleiner. Daarmee is het ook moeilijker de CO₂-emissies van de transportsector te verlagen. Overigens kan dit ook deels verklaard worden door het gebrek aan regelgeving hiervoor.

9.2.1 Personenvervoer

Vanwege de in Brussel in voorbereiding zijnde wetgeving ten aanzien van CO₂-emissies van personenauto's nemen de parkgemiddelde emissies af tussen 2008 en 2012/13. Ook de luchtvaart en het spoor laten een relatief grote daling van de CO₂-emissies per kilometer zien. De andere modaliteiten laten een min of meer constant patroon zien.

Alle modaliteiten, met uitzondering van de luchtvaart op de lange afstand, laten tussen 2005 en 2020 per rzk-km, een daling van de luchtverontreinigende emissies zien voor één of meer componenten.

9.2.2 Goederenvervoer

In het goederenvervoer nemen de luchtverontreinigende emissies per kilometer van de wegmodaliteiten in de toekomst het snelst af, vanwege de introductie van Euro 5- en 6-motoren en de relatief snelle vervanging van voertuigen. Vanwege de langere levensduur van locomotieven en (binnen-)scheepsmotoren nemen de gemiddelde emissiefactoren bij dieseltreinen en de binnenvaart minder snel af. De effecten van Richtlijn 2004/26 en de aanscherping van IMO Annex-6 worden echter wel zichtbaar in de toekomst.

In het goederenvervoer nemen de CO₂-emissiefactoren nauwelijks af. Voor bijna alle modaliteiten blijft het energiegebruik nagenoeg gelijk tussen 2005 en 2020.

9.3 Modaliteiten vergeleken

De schoonste modaliteit bestaat niet. De schaal van het transport is heel belangrijk, vaak belangrijker dan de modaliteit. Daarnaast spelen logistieke factoren een belangrijke rol. Dit geldt voor zowel goederen- als voor personenvervoer. Een auto met vier personen is vier keer zuiniger dan een auto met één persoon. Een vol schip is schoner dan een lege vrachtauto of trein en vice versa. Daarom moeten de in hoofdstuk 7 getrokken conclusies geplaatst worden binnen de in de casebeschrijvingen gestelde randvoorwaarden.

Ook het effect van de emissietechnologie is heel groot. Een Euro 5- of aardgasvoertuig is makkelijk vier tot tien keer schoner dan een Euro 1-voertuig. De invloed van techniek op het brandstofverbruik is echter veel kleiner. Het effect van hybride techniek is bijvoorbeeld niet groter dan 25%. Voor langere en zwaardere vrachtauto's (LZV's) kunnen de emissies per tkm in potentie met eenzelfde ordegrootte verminderd worden.

Hieronder worden algemene conclusies gegeven op basis van gemiddelde emissietechnologie en brandstofverbruiken (2010).



9.3.1 Personenvervoer

- De auto kan een relatief schoon en zuinig vervoermiddel zijn, indien de bezettingsgraad voldoende hoog is. Een auto met maar één persoon is per reizigerskilometer meer vervuilend dan het openbaar vervoer.
- Als het gaat om marginale emissies zijn de CO₂-emissies van de personenauto buiten de spits veel hoger dan van het openbaar vervoer. In de spits is het verschil kleiner, maar nog steeds in het voordeel van het openbaar vervoer.
- De elektrisch aangedreven spoorgebonden modaliteiten zijn relatief schoon en zuinig. De dieseltrein is wel zuinig, maar niet schoon.
- Luchtvaart stoot zo'n 2,5 tot 4 keer meer CO₂ uit dan een gemiddeld bezette personenauto op de lange afstand.

9.3.2 Goederenvervoer

- Verschillen in CO₂-emissies per tonkilometer *tussen* vervoerswijzen en *binnen* een vervoerswijze zijn in veel gevallen van dezelfde orde grootte, met name voor de korte afstand. De schaal van het transport is vaak even belangrijk als de vervoerswijze.
- Op de korte afstand zijn de CO₂-emissies van grotere vrachtauto's en trekkers met oplegger hoger dan van spoorvervoer en gemiddeld ook wat hoger dan van binnenvaartschepen. Op de lange afstand stoten de binnenvaart en de trein duidelijk minder CO₂ uit dan vervoer over de weg.
- Op gebied van luchtkwaliteit wint de grote vrachtauto het vaak van de binnenvaart. Dit geldt vooral voor PM₁₀, qua NO_x liggen deze modaliteiten vaak dicht bij elkaar.
- Een elektrische goederentrein is relatief schoon en zuinig.
- Luchtvracht (B747) stoot acht keer meer CO₂ uit dan de weg en nog een hogere factor meer dan de andere modaliteiten.
- Zeescheepvaart is alleen zuinig wanneer de schaal groot is. Schepen die typisch worden gebruikt in de kustvaart zijn gemiddeld niet zuiniger dan de andere modaliteiten. Diepzeevaart is dat wel. Zeescheepvaart kent hogere luchtvervuilende emissies dan de andere modaliteiten. Het omwegpercentage is van groot belang. Is deze laag, dan scoort zeescheepvaart gunstig, terwijl in situaties waar de afstand langer is vooral de kleinere kustvaart minder gunstig scoort.

9.4 Onzekerheden en aanbevelingen voor nader onderzoek

De trein is een schoon en zuinig alternatief. Maar wanneer emissies van aanleg van infrastructuur en voertuigproductie, onderhoud en sloop meegenomen worden kunnen de verhoudingen tussen modaliteiten veranderen, omdat de emissies tijdens aanleg van de infrastructuur een grote invloed op het totaal uit lijken te oefenen. Hiernaar is meer onderzoek nodig, om tot onderbouwde conclusies te kunnen komen.

Ook voor het energiegebruik van een personenauto zijn infrastructuur en productie, onderhoud en sloop van voertuigen van belang, met name de

voertuigproductiefase. Het aandeel van het gebruik van auto's in de totale emissies (inclusief die gerelateerd aan het voertuig zelf en de infrastructuur) worden geschat op zo'n 80%.

Omdat vervoerswijzen steeds zuiniger worden, wordt het aandeel van voertuigproductie en infrastructuuraanleg steeds groter. Aanvullend onderzoek hiernaar is dan ook een aanbeveling.

Voor beladingsgraden hebben we gebruik gemaakt van een groot aantal bronnen, die in sommige gevallen onderling inconsistenties laten zien. Omdat de beladingsgraad direct van invloed is op de emissies per tkm, is het belang van deze parameter hoog. Extra onderzoek hiernaar is daarom een aanbeveling.

Naast de onzekerheden in beladingsgraden zijn ook de emissiefactoren niet in alle gevallen even betrouwbaar. De emissiefactoren van het wegverkeer zijn goed onderbouwd, maar voor de andere modaliteiten is de onzekerheid veel groter.



10 Referenties

AEA, 2007

AEA yearbook 2007

Brussels : Association of European Airlines (AEA), 2007

Arcadis, 2006

G. Hagen, N.A. Götz, R.B.T. Lieshout, F.A. Rosenberg

Monitoringsonderzoek vervolgprouf LZV : resultaten van de vervolgprouf met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen

Arnhem : ARCADIS Ruimte & Milieu BV, 2006

CBS, 2000

OVG : Onderzoek VerplaatsingsGedrag

Voorburg ; Heerlen : Centraal bureau voor de Statistiek (CBS), 2000

CBS, 2007

Mobiliteit van personen

Voorburg ; Heerlen : Centraal bureau voor de Statistiek (CBS), 2007

CE, 2000

Inzet van langere en/of zwaardere vrachtauto's in het intermodaal vervoer in Nederland; effecten op de uitstoot van CO₂ en NO_xJ.M.W. (Jos) Dings, P.B. (Balthasar) Klimbie

Delft : CE Delft, 2000

CE, 2003

H. van Essen, O. Bello, J. Dings, R. van den Brink (RIVM)

To shift or not to shift, that's the question : the environmental performance of freight and passenger transport modes in the light of policy making

Delft : CE Delft, 2003.

CE, 2004

L.C. (Eelco) de Boer, J. (Jessica) van Swigchem, M. (Kiek) Singels, J.P.L. (Joost) Vermeulen

Wie doet er mee met MJA-OV? : Een studie naar de mogelijkheden van uitbreiding van de MJA-NS met het OV en goederenvervoer per spoor

Delft : CE Delft, 2004

CE, 2005

J. (Jens) Buurgaard Nielsen, H.P. (Huib) van Essen, L.C. (Eelco) den Boer

Tracks for saving energy : Energy saving options for NS Reizigers

Delft : CE Delft, 2005

CE, 2006

M.I. (Margret) Groot
Achtergrondgegevens Stroometikettering 2005
Delft : CE Delft, 2006

CE, 2007

Geert Bergsma, Bettina Kampman, Harry Croezen, Maartje Sevenster
Biofuels and their global influence on land availability for agriculture and nature: A first evaluation and a proposal for further fact finding
Delft : CE Delft, 2007

CE & MMU, 2007

J. Faber, G. van de Vreede, D.S. Lee
The Impacts of the Use of Different Benchmarking Methodologies on the Initial Allocation of Emission Trading Scheme Permits to Airlines : Final Report to DfT Aviation Environmental Division and the Environment Agency
Delft ; Manchester : CE-Delft ; Manchester Metropolitan University, 2007
<http://www.dft.gov.uk/pgr/aviation/environmentalissues/benchmarkingmethodologies/benchmarking>

EC, 2004

Richtlijn 2004/26/EG van het Europees Parlement en de Raad van 21 april 2004 tot wijziging van Richtlijn 97/68/EG betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gasen en deeltjes door inwendige verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines
Brussel : Commissie van de Europese gemeenschappen, 2004

EC, 2007

Voorstel voor een Verordening van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van emissienormen voor nieuwe personenauto's, in het kader van de communautaire geïntegreerde benadering om de CO₂-emissies van lichte voertuigen te beperken COM (2007)856
Brussel : Commissie van de Europese gemeenschappen, 2007

ECN, 2005

A.J. Seebregts, C.H. Volkers
Monitoring Nederlandse elektriciteitscentrales 2000 – 2004
Petten : ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland), 2005

ENTEC, 2005

Emily de Jonge, Christoph Hugli, David Cooper (IVL)
Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments : Task 2b - NO_x Abatement, Final Report
Northwich : Entec UK Limited, 2005



Ford, 2007

Wulf-Peter Schmidt
Product Sustainability Index
Köln : Ford of Europe, 2007

Haskoning, 2004

H.A. Schilperoord (Royal Haskoning)
Binnenvaart voortdurend duurzaam : Milieupformance van de binnenvaart =
Environmental Performance of Inland Shipping
Rotterdam : Centraal Bureau Rijn- en Binnenvaart (CBRB), 2004

IFEU, 2002

IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH) ; SGKV
(Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V.)
Comparative Analysis of Energy Consumption and CO₂ Emissions of Road
Transport and Combined Transport Road/Rail
Geneva ; Frankfurt am Main : IRU ; BGL, 2002

IPCC 1999

Aviation and the global atmosphere : A special report of IPCC working groups I
and III. Intergovernmental Panel on Climate Change
Cambridge : Cambridge University Press, UK, 1999

KLM, 2006

Milieucijfers KLM 2005/2006
Amsterdam : KLM, 2006

MNP, 2006a

Rob Alkemade, ...(et al.)
MNP ; UNEP-WCMC ; UNEP-GRID Arendal ; WUR-LEI
Cross-roads of Planet Earth's Life : Exploring means to meet the 2010 bio-
diversity target. Study performed for the Global Biodiversity Outlook 2 : Chapter
solutions-oriented scenario's
Bilthoven : Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), 2006

MNP, 2006

A. Hoen, R.M.M. van den Brink, J.A. Annema
Verkeer en vervoer in de Welvaart en Leefomgeving : Achtergronddocument bij
Emissieprognoses Verkeer en Vervoer
Bilthoven : Milieu en Natuur Planbureau, 2006

NEA/Sterc/Transcare, 2002

Vergelijkingskader modaliteiten : database (R20020183 / 14110000)
Rijswijk : NEA Transport onderzoek en opleiding (NEA), 2002

Rietveld, 2002

Piet Rietveld

Why railway passengers are more polluting in the peak than in off-peak; environmental effects of capacity management by railway companies under conditions of fluctuating demand

In : Transport Research Part D7 (2002); p. 347-356

Sausen, 2005

R. (Robert) Sausen, I. (Ivar) Isaksen, V. (Volker) Grewe, D. (Didier) Hauglustaine, D.S. (David) Lee, G. (Gunnar) Myhre, M. (Marcus) O. Köhler, G. (Giovanni) Pitari, U. (Ulrich) Schumann, F. (Frode) Stordal, en C. (Christos) Zerefos

Aviation radiative forcing in 2000 : and update on IPCC (1999)

In : Meteorologische Zeitschrift Vol. 14, No. 4, (August 2005) 114, p. 555 - 561

SenterNovem, 2007

Factsheet praktijkresultaten het nieuwe rijden

S.l. : SenterNovem, 2007

Taakgroep, 2007

Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland,

Bilthoven : MNP, Taakgroep Verkeer en Vervoer van het project Emissie-registratie, 2007

TNO, 2003

Evaluation of the environmental impact of modern passenger cars on petrol, diesel automotive LPG, CNG

Delft : TNO, 2003

TNO, 2006

Richard Smokers, Robin Vermeulen, Robert van Mieghem & Raymond Gense
Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂-emissions from passenger cars, Final Report,
Delft : TNO Science and Industry, business unit Automotive, 2006

TNO, 2007a

Jan Duyzer (TNO), Hilbrand Weststrate (TNO), Arjan Hensen (ECN), Aline Kraai (ECN). Onderzoek naar emissiefactoren voor fijn stof en stikstofoxiden voor de binnenvaart (eindrapport)

TNO-rapport 2007-A-R0791/B

TNO, 2007b

'Addendum voor Rapportage VERSIT+ Emissiefactoren voor Standaardrekenmethode 1 (CAR II) t.a.v. directe NO_x-emissiefactoren'
TNO-Rapport MON-RPT-033-DTS-2007-00709-01855

TNO, 2008

Persoonlijke communicatie met Dhr. B. Bos en R. de Lange



Vihermaa, 2006

L. Vihermaa, M. Lettenmeier, A. Saari

Natural resource consumption in rail transport: A note analysing two Finnish railway Lines

In: Transportation Research Part D 11(2006); p. 227 - 232

Weinert, 2007

Jonathan Xavier Weinert

The Rise of Electric Two-wheelers in China: Factors for their Success and Implications for the Future,

Los Angeles : University of California, 2007



CE Delft

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

STREAM

Studie naar
TRansport Emissies van
Alle Modaliteiten

Bijlagen

Versie 2.0

Rapport

Delft, september 2008

Opgesteld door: L.C. (Eelco) den Boer
F.P.E. (Femke) Brouwer
H.P. (Huib) van Essen





A Deelnemers workshop STREAM

De volgende personen hebben deelgenomen aan de workshop 'STREAM' waarin de methodiek en de basisdata voor deze studie besproken zijn:

Jan Anne Annema	KiM
Rob Bouman	VROM
Jan Fransen	SNM
Gerben Geilenkirchen	MNP
Judith Hoetelmans	EVO
Jan Hulskotte	TNO
Robert Tieman	CBRB
Ronaldo Valadares Fonseca	KNVR

Daarnaast zijn er met enkele andere organisaties bilaterale contacten geweest: Milieu Centraal, ProRail, NS, ANWB, TLN, Railion, V&W-programma Binnenvaart en Vaarwegen en V&W-programma Zeevaart.



B Berekening energieverbruik en emissies

B.1 Vrachtverkeer

In deze bijlage gaan we in op de emissieberekening. De totale berekening bestaat uit 5 stappen; om tot de totale emissie per tkm te komen moeten de uitkomsten van deze stappen bij elkaar worden opgeteld. De 5 stappen zijn:

- 1 Energiegebruik voertuig.
- 2 Emissies voertuig.
- 3 Emissies tijdens raffinage.
- 4 Emissies tijdens elektriciteitsproductie.
- 5 Emissies tijdens voor- en natransport.

Hieronder worden deze stappen één voor één toegelicht.

Totale emissies

$$EM_{\text{totaal}} = [(1+OM) * (EM_{\text{vrt}} + EM_{\text{raff}} + EM_{\text{electr}}) * (1-\%_{\text{v/n transport}})] + [\%_{\text{v/n transport}} * EM_{\text{v/n transport}}]$$

EM_{totaal}	: Emissies per ladingtonkilometer (g/tkm).
OM	: Omwegpercentage t.o.v. wegtransport (%).
EM_{vrt}	: Directe emissies vervoermiddel (g/tkm).
EM_{raff}	: Emissies tijdens brandstofraffinage (g/tkm).
EM_{electr}	: Emissies tijdens elektriciteitsopwekking (g/tkm).
$EM_{\text{v/n transport}}$	: Emissies tijdens voor- en natransport (g/tkm).

Stap 1: Energiegebruik voertuig

$$E_{\text{vrt}} = e_{\text{vrt}} / (L * p)$$

E_{vrt}	:	Energiegebruik voertuig in MJ (brandstof) per tkm.
e_{vrt}	:	Energiegebruik voertuig in MJ (brandstof) per voertuig-km.
L	:	Gemiddelde belading in tonnen per voertuig.
p	:	Percentage productieve ritten in %.

Voor vrachtauto's is het energiegebruik sterk afhankelijk van de beladingsgraad. Daarom bepalen we het energiegebruik voor vrachtwagens op basis van lineaire interpolatie tussen het brandstofverbruik van een volle en een lege vrachtauto:

$$e_{vrt} = I * (e_{vol} - e_{leeg}) + e_{leeg}$$

e_{vrt}	:	Energiegebruik van een voertuig met beladingsgraad I, in MJ brandstof per voertuigkilometer.
I	:	Beladingsgraad in %.
e_{vol}	:	Energiegebruik van een vol voertuig in MJ (brandstof) per km.
e_{leeg}	:	Energiegebruik van een leeg voertuig in MJ (brandstof) per km.

Het gemiddelde energiegebruik per tonkilometer van een vrachtauto kan als volgt worden berekend.

$$E_{vrt} = [e_{vol} * p + e_{leeg} * (1-p)] / (L * p)$$

Ook voor treinen en schepen is het energiegebruik afhankelijk van de belading. In de basisdata voor goederentreinen (paragraaf 3.2) is te zien dat het energieverbruik van een trein wordt berekend op basis van het gewicht van de trein. De afhankelijkheid van de beladingsgraad wordt op deze manier automatisch meegenomen. Voor binnenvaartschepen is het energieverbruik berekend met het EMS-model, de beladingsgraad van een schip is hier een invoerparameter.

Stap 2: Voertuigemissies

$$EM_{vrt} = em_{MJ-brandstof} * E_{vrt}$$

EM_{vrt}	:	Emissiefactor voertuig in g per tkm.
$em_{MJ-brandstof}$	:	Emissiefactor voertuig in g per MJ fuel.

Stap 3: Raffinage-emissies

Voor alle niet-elektrische modaliteiten worden de raffinage-emissies berekend aan de hand van het energiegebruik van het voertuig en de emissiefactor van de raffinaderij:

$$EM_{raffinage} = em_{raffinage} * E_{vrt}$$

$EM_{raffinage}$	:	Emissiefactor raffinage in g per tkm.
$em_{raffinage}$	:	Emissiefactor raffinage in g per MJ fuel.



Stap 4: Emissies tijdens elektriciteitsproductie

Voor elektrische modaliteiten worden de emissies tijdens elektriciteitsproductie berekend aan de hand van het energieverbruik van het voertuig en de emissiefactor van de elektriciteitscentrale:

$$EM_{\text{elektriciteit}} = em_{\text{elektriciteit}} * E_{\text{vrt}}$$

$EM_{\text{elektriciteit}}$	:	Emissiefactor elektriciteitsproductie in g per tkm.
$em_{\text{elektriciteit}}$	:	Emissiefactor elektriciteitsproductie in g per MJ.

Stap 5: Voor- en natransport

Emissies van voor- en natransport zijn afhankelijk van de transportafstand en de gebruikte modaliteit. De bijdrage van voor- en natransport kan als volgt worden berekend:

$$EM_{\text{v/n transport}} = EM_{\text{mode}}$$

$EM_{\text{v/n transport}}$	:	Emissiefactor van voor- en natransport in g per tkm.
EM_{mode}	:	Emissiefactor van de modaliteit gebruikt voor voor- en natransport in g per tkm.

B.2 Personenvervoer

Net als voor goederenvervoer bestaat de emissieberekening voor personenvervoer uit 5 stappen waarvan de uitkomsten moeten worden opgeteld om tot de totale emissie per rzg-km te komen:

- 1 Energiegebruik voertuig.
- 2 Emissies voertuig.
- 3 Emissies tijdens raffinage.
- 4 Emissies tijdens elektriciteitsproductie.
- 5 Emissies tijdens voor- en natransport.

Hieronder worden deze stappen één voor één toegelicht.

Totale emissies

De totale emissies zijn een som van de voertuigemissies, raffinage en transport en voor- en natransport.

$$EM_{\text{totaal}} = [OM * \{ EM_{\text{vrt}} + EM_{\text{raff}} + EM_{\text{electr}} \} * (1 - \%_{\text{v/n transport}})] + [\%_{\text{v/n transport}} * EM_{\text{v/n transport}}]$$

EM_{totaal}	: Emissies per ladingtonkilometer (g/rzg-km).
ORF	: Omwegpercentage t.o.v. wegtransport.
EM_{vrt}	: Directe emissies vervoermiddel (g/rzg-km).
EM_{raff}	: Emissies tijdens brandstofraffinage (g/rzg-km).
EM_{electr}	: Emissies tijdens elektriciteitsopwekking (g/rzg-km).
$EM_{\text{v/n transport}}$	: Emissies tijdens voor- en natransport (g/rzg-km).

Hieronder gaan we dieper in de berekening van de afzonderlijke componenten uit de bovenstaande vergelijking.

Stap 1: Energiegebruik voertuig

De eerste stap is het berekenen van de emissies per reizigerskilometer.

$$E_{\text{vrt}} = e_{\text{vrt}} / (L * p)$$

E_{vrt}	:	Energiegebruik voertuig in MJ (brandstof) per rzg-km.
e_{vrt}	:	Energiegebruik voertuig in MJ (brandstof) per voertuig-km.
L	:	Gemiddelde belading in aantallen personen per voertuig.
p	:	Percentage productieve ritten in %.

In het geval van treinen is het energiegebruik bekend per zitplaatskilometer. Het energiegebruik wordt dan als volgt berekend:

$$E_{\text{vrt}} = e_{\text{zitpl}} (l * p)$$

e_{seat}	:	Energiegebruik per zitplaatskilometer.
l	:	Beladingsgraad in %.

Voor wat betreft vliegtuigen is het energiegebruik voor verschillende afstanden berekend op basis van energiegebruik in de LTO-fase en tijdens de cruisefase. Het totale energiegebruik is vervolgens door de vluchtafstand gedeeld.



Stap 2: Voertuigemissies per reizigerskilometer

Voor niet-elektrische vervoerswijzen kunnen emissies op dezelfde wijze worden berekend als het energiegebruik:

$$EM_{vrt} = em_{vrt} / (L * p)$$

EM_{vrt}	:	Emissiefactor van het voertuig per rzg-km.
em_{vrt}	:	Emissiefactor van het voertuig per voertuig km.

Voor elektrische modaliteiten worden emissies berekend op basis van het energiegebruik van het voertuig en de emissiefactoren van een elektriciteitscentrale.

Stap 3: Raffinage-emissies

Voor alle niet-elektrische modaliteiten worden de raffinage-emissies berekend aan de hand van het energiegebruik van het voertuig en de emissiefactor van de raffinaderij:

$$EM_{raffinage} = em_{raffinage} * E_{vrt}$$

$EM_{raffinage}$	:	Emissiefactor raffinage in g per rzg-km
$em_{raffinage}$	:	Emissiefactor raffinage in g per MJ brandstof

Stap 4: Emissies tijdens elektriciteitsproductie

Voor elektrische modaliteiten worden emissies berekend op basis van het energiegebruik van het voertuig en emissiefactoren van de elektriciteitscentrale:

$$EM_{elektriciteit} = em_{elektriciteit} * E_{vrt}$$

$EM_{elektriciteit}$	:	Emissiefactor elektriciteitsproductie in g per rzg-km.
$em_{elektriciteit}$	:	Emissiefactor elektriciteitsproductie in g per MJ <i>elektrische</i> energie

Stap 5: Voor- en natransport

Emissies tijdens voor- en natransport zijn afhankelijk van de afstand van dit transport en de gekozen modaliteit. De bijdrage van voor- en natransport kan als volgt worden berekend:

$$EM_{v/n \text{ transport}} = EM_{mode}$$

$EM_{v/n \text{ transport}}$	:	Emissiefactor van voor- en natransport in g per tkm.
EM_{mode}	:	Emission factor van de modaliteit gebruikt voor voor- en natransport in g per rzg-km.



C Energiegebruik bij aanleg infrastructuur en productie vervoermiddelen

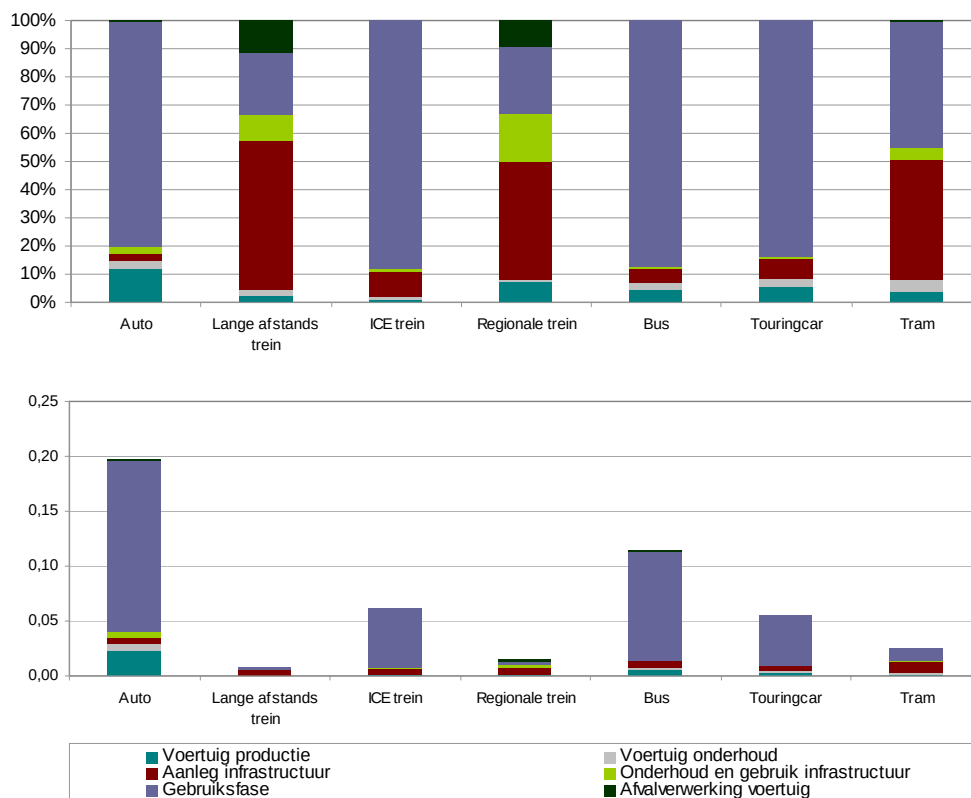
Wanneer wordt gekeken naar milieubelasting van vervoer wordt vooral gekeken naar de milieubelasting tijdens het gebruik van het voertuig. Zo wordt voor wegvervoer gekeken naar de uitstoot van luchtvervuilende stoffen en CO₂ en voor vervoer per spoor naar het elektriciteitsverbruik van de trein. Dit zijn echter niet de enige milieueffecten die vervoer met zich meebrengt. Voordat een voertuig gebruikt kan worden moet het geproduceerd worden, dit productieproces en de verwerkte materialen zorgen voor een extra milieudruk, daarnaast moeten afgedankte voertuigen verwerkt worden. De gebruikte infrastructuur moet aangelegd en onderhouden worden, ook dit zorgt voor een verhoging van de milieudruk.

Wanneer vervoerstypes met elkaar worden vergeleken op basis van milieueffect zou de hele vervoerscyclus - dus infrastructuur, voertuigproductie, voertuiggebruik en afvalverwerking - in beschouwing genomen moeten worden om een eerlijke vergelijking te maken. Algemeen wordt aangenomen dat milieubelasting van vervoer het grootst is tijdens de gebruiksfase, hierop wordt dan ook gefocust in de meeste onderzoeken. Om deze reden is er weinig informatie over de milieubelasting van de overige processen. Toch lijkt het zinnig om een grof beeld te schetsen van de milieudruk van voertuigproductie, infrastructuur aanleg en onderhoud en afvalverwerking, nu voertuigen steeds schoner en zuiniger worden.

In deze studie zijn twee methodes gebruikt om de milieudruk van de processen in kaart te brengen. Als eerste is gebruik gemaakt van het LCA-programma Simapro, wat gebaseerd is op de Ecoinvent-database. Daarnaast is er een beknopte literatuurstudie gedaan en zijn praktijkgegevens opgevraagd bij fabrikanten.

Figuur 27 geeft de verdeling van de milieubelasting (uitgedrukt in CO₂-eq per reizigerskilometer) over de verschillende stadia van de levenscyclus voor verschillende voertuigen, zoals deze met Simapro is bepaald.

Figuur 27 Verdeling van de milieubelasting (kg CO₂-eq/pers. km) over verschillende stadia van de levenscyclus van een voertuig in Europa



Bron: Simapro.

Noot De emissies in deze figuur zijn niet gelijk aan die berekend in deze studie, opvallend is vooral de lage emissie van lange afstands treinen. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door een hoog aandeel kern stroom (met lage CO₂-emissies) in de gebruikte elektriciteit.

Opvallend is dat vooral voor de tram, de regionale en de lange afstand-trein het aandeel van de gebruiksphase relatief klein is, dit wordt vooral veroorzaakt door de aanleg van infrastructuur. Wat ook opvalt is de relatief grote bijdrage van voertuigproductie bij de auto. Reden hiervoor is de beperkte kilometrage gedurende de levensduur van een personenauto ten opzichte van een commercieel ingezette bus of trein. Simapro houdt rekening met allocatie van infrastructuur naar personen- en goederenvervoer.

De weergave moet relatief gezien worden, er kan dus niet gezegd worden dat de milieubelasting van de aanleg van infrastructuur voor de tram per reizigers-kilometer meer belastend is dan de aanleg van een weg voor een bus. Wel kan gezegd worden dat de aanleg van de infrastructuur voor de tram een groter aandeel heeft in de totale milieubelasting van de tram dan dat de aanleg van de infrastructuur heeft in de totale belasting van de bus.

Simapro¹⁶ is een veel gebruikt programma voor het uitvoeren van LCA's. Dit programma werkt met de Ecoinvent-database¹⁷, die uitgaat van Europese

¹⁶ <http://www.pre.nl/simapro/>.

¹⁷ <http://www.ecoinvent.ch/>.



gemiddelden. De hierboven getoonde percentages gaan dus uit van Europese gemiddelden en gelden dus niet specifiek voor de Nederlandse situatie. Aangezien voertuigproductie geen specifiek Nederlands proces is zal een Europees gemiddelde een goed beeld geven. Aanleg, onderhoud en gebruik van infrastructuur, het gebruik van voertuigen en de afvalverwerking van voertuigen zal in verschillende landen echter tot een andere milieubelasting leiden. Daarnaast worden in Simapro aannames gedaan zoals het aantal kilometers dat over een weg of spoorvak wordt gereden, het aantal kilometers dat een voertuig gedurende zijn levenscyclus aflegt en de bezettingsgraad van een voertuig. Deze aannames bepalen mede de boven getoonde percentages. Nederland heeft het drukst bereden spoor van Europa, waardoor het aandeel energie gebruikt voor de aanleg van infrastructuur waarschijnlijk kleiner is dan weergegeven in Figuur 27.

Er is weinig literatuur beschikbaar over de milieubelasting van infrastructuur en voertuigproductie. De beschikbare literatuur is gebruikt om de resultaten van Simapro te verifiëren. Autoproducent Ford heeft zelf een levenscyclusanalyse uitgevoerd van hun product. In hun studie is o.a. bekeken hoe productie, gebruik en afvalverwerking van een auto bijdragen aan de totale milieubelasting. Uit deze studie valt te concluderen dat ca. 23% van de totale broeikasgas-productie plaats vindt tijdens de voertuigproductie, de overige 77% wordt geëmitteerd in de gebruiksfase. Precieze percentages zijn afhankelijk van het autotype. Deze waarden komen ongeveer overeen met de percentages in Figuur 27.

Een volgende studie heeft de milieubelasting van vervoer per spoor in Finland in kaart gebracht. Vihermaa (2006) concludeert dat het materiaal en energiegebruik tijdens de aanleg van spoor veel groter is dan het verbruik tijdens het gebruik van dit spoor. Wanneer gekeken wordt naar de regionale en lange afstand-trein strookt deze conclusie met de data uit Simapro, wanneer echter naar de ICE-trein wordt gekeken kan juist het omgekeerde geconcludeerd worden. De Finse studie gaat echter uit van passagierstreinen die maximaal 200 km/uur rijden, terwijl de ICE hogere snelheden bereikt met een hoog energiegebruik.



D Fijn stof emissies door slijtage (PM₁₀)

In STREAM worden alleen emissies door verbranding in kaart gebracht. Stof komt echter ook vrij als gevolg van slijtage. Het gaat dan bijvoorbeeld om slijtage van wegdek, banden en remvoeringen voor het wegverkeer en van bovenleidingen en koolsleepstukken voor treinen.

Voor wegverkeer gaat het over de volgende bijdrage door slijtage (in mg/km):

Tabel 48 Fijn stof-emissies van wegverkeer door slijtage van banden, remmen en wegdek (PM₁₀ in mg/km)

	Personen- auto	Motor- fiets	Brom- fiets	Bestel- auto	Vracht- auto	Trekker met oplegger	Bus
Banden	4,6	2,3	1,2	6,0	25	25	18
Remmen							
Stadsweg	7,9	2,9	0,0	8,5	26	24	19
Buitenweg	3,1	1,1	0,0	3,4	10	9,5	7,9
Snelweg	3,1	1,1	0,0	3,4	10	9,5	7,9
Wegdek (asfalt)	7,3	3,6	1,8	9,5	39	39	28
Wegdek (steen)	7,3	3,6	1,8	9,5	39	39	28
Verbranding ¹	23	16	39	102	212 ²	178	274

¹ Gemiddeld over wegtypen en brandstofsoorten, data voor 2005.

² Vrachtauto 10-20 ton.

Bron: Tabellen methoderapport, Taakgroep Verkeer en Vervoer.

Door slijtage van de bovenleiding en van koolsleepstukken komt ca. 6,9 mg stof per MJ vrij (Bron: Methodenrapport Taakgroep Verkeer en Vervoer). Dit ten opzichte van 70 mg/MJ voor een diesel stoptrein en 27 mg/MJ voor diesel goederentreinen. Ongeveer 20% van dit stof is fijn stof, de overige 80% bestaat uit grover stof dat sneller neerslaat.

De bijdrage van slijtage aan de totale fijn stof uitstoot lijkt vooral voor het wegverkeer aanzienlijk. Met name in de toekomst zal het aandeel van slijtage-emissies hoger worden in de totale PM₁₀-emissies. Toch is deze bijdrage niet opgenomen in het hoofdrapport, reden hiervoor is dat de gezondheidseffecten van slijtagestof mogelijk minder gezondheidseffecten veroorzaken dan verbrandingsemissies vanwege een andere samenstelling en deeltjesgrootteverdeling.



E Berekeningen energieverbruik binnenvaart

E.1 Modelparameters

In het EMS-model, waarmee het energieverbruik voor binnenvaart is berekend moeten een aantal parameters ingevuld worden, namelijk de beladingsgraad en het percentage productieve kilometers. Er is uitgegaan van een beladingsgraad van 66% en een percentage productieve kilometers van 78%.

E.2 Energiegebruik per scheepstype en vaarweg

Het energieverbruik van een schip is sterk afhankelijk van het type vaarweg waarop het vaart. Zo zal het schip meer weerstand ondervinden wanneer het door een ondiep kanaal vaart dan wanneer het over een diep kanaal vaart. Ook de stroomsterkte van het water is natuurlijk van belang. Om het gemiddelde energieverbruik van een schip uit te rekenen is er vanuit gegaan dat het schip de helft van zijn kilometers op de Waal vaart en de andere helft op een kanaal.

Er zijn verschillende typen kanalen, deze typen hebben steeds verschillende afmetingen. Niet alle kanalen worden bevaren door dezelfde typen schepen. Zo zullen kleine schepen vooral op kleine kanalen worden ingezet en grote schepen op bredere en diepere kanalen. Kanalen zijn ingedeeld in klassen, zodat er per scheepstype kan worden bekeken of het op een bepaald kanaal kan varen. In STREAM is per scheepstype een aanname gemaakt over op welke kanalen het schip vooral zal varen, vervolgens is hiervan het gemiddelde energieverbruik berekend. Er is aangenomen dat de schepen 50% van de tijd op de Waal varen en 50% van de tijd op kanalen. Tabel 49 geeft per scheepstype het energieverbruik op de Waal en op de relevante kanalen.

Tabel 49 Energiegebruik op verschillende vaarwegen voor verschillende scheepstypen

Scheeps- type	Waal	Kanaal I	Kanaal II	Kanaal III	Kanaal IV	Kanaal Va	Kanaal Vb	Kanaal VI	Gemiddeld
	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/vkm
Bulk									
M1	77	163	134						113
M2	150		171	238					178
M6	358						480	451	412
C3L	487						906	744	656
BII-4	759							1181	970
Containers									
M2	123		152	198					149
M6	321						412	398	363
M8	501						700	577	570
M8	702						1.656	1.100	1.040



F Berekening belading zeeschepen

Het EMS-model voor de zeescheepvaart berekent het energieverbruik en de emissies van zeeschepen op basis van het Gross Tonnage¹⁸ (GT), zie Tabel 50. We gaan er in deze studie van uit dat het gemiddelde schip representatief is voor de klasse.

Tabel 50 GT-klassen en gemiddelde GT

GT-klasse (ton)	Gemiddeld GT (ton)
999 -1.599	1.300
1.599 - 9.999	5.800
9.999 - 29.999	20.000
29.999 - 59.999	45.000
59.999 - 99.999	80.000

GT is echter een inhoudsmaat, die weinig zegt over het laadvermogen van een schip. Het draagvermogen geeft aan hoeveel lading een schip kan vervoeren, inclusief crew en brandstof. Omdat dit een betere indicator is voor het laadvermogen, is de correlatie bepaald tussen het GT en het draagvermogen (DWT) van een schip, in samenwerking met de redersvereniging (KNVR). In Tabel 51 gaan we in op de correlatie tussen GT en DWT.

¹⁸ GT is een functie van het volume van alle ruimten die het schip bevat.

Tabel 51 Correlatie tussen GT en DWT

Naam	GT	DWT	DWT/GT
Gratia	916	1.360	
Galatea	998	1.492	
Gelre	1.567	2.249	
Kelt	1.682	2.504	
Totaal	5.163	7.605	
Gemiddeld (1.300 ton)	1.291	1.901	1,47
Naam	GT	DWT	DWT/GT
L-Type	5.998	9.653	
Zuiderdiep	5.638	8.350	
Zeus	6.142	8.700	
Flintersun II	6.577	8.514	
Totaal	24.355	35.217	
Gemiddeld (5.800 ton)	6.089	8.804	1,45
Naam	GT	DWT	DWT/GT
Pittsburg	25.461	38.393	
Calcutta	16.270	27.366	
Totaal	41.731	65.759	1,58
Gemiddeld (20.000 ton)	20.866	32.880	
Naam	GT	DWT	DWT/GT
New Orleans	37.550	70.338	
Ismiraki	38.864	74.577	
Angelina	40.121	74.540	
Western bridge	55.695	98.725	
Port Kembla	68.243	126.268	
Samatan	40.437	74.823	
Totaal	280.910	519.271	
Gemiddeld (45.000 ton)	46.818	86.545	1,85
Naam	GT	DWT	DWT/GT
Gladstone	110.541	207.391	
Manasota	88.129	171.061	
Alameda	86.743	170.662	
Samsara	77.255	150.393	
Totaal	362.668	699.507	
Gemiddeld (80.000 ton)	90.667	174.877	1,93

Bron: Steekproef KNVR.

Uit Tabel 51 blijkt dat het draagvermogen meer dan evenredig oploopt bij groter wordende Gross Tonnage. Op basis van deze correlatie en de aanname dat 95% van het draagvermogen beschikbaar is voor lading, is het laadvermogen van de schepen van verschillende grootte bepaald, zie Tabel 50.

Op basis van een studie van het Havenbedrijf Rotterdam, waarin een scheeps-database is opgenomen, is ook de correlatie bepaald tussen GT en het laadvermogen van een containerschip. Het blijkt dat voor 1 TEU ruwweg 9-11 GT benodigd is. Opvallend is dat het laadvermogen niet evenredig toeneemt bij oplopende GT, zie Tabel 52. Dit kan mogelijk verklaard worden door het feit dat kleine containerschepen zeer dicht tegen de bestaande ontwerplimieten worden gebouwd. We kunnen nu voor verschillende scheepsklassen de gemiddelde TEU-capaciteit bepalen.

Tabel 52 Correlatie GT en TEU-capaciteit

Gemiddeld GT (ton)	GT/TEU
1.300	9,0
5.800	10,0
20.000	10,5
45.000	11,0
80.000	11,5



G Invoerdata en resultaten cases in het personenvervoer

G.1 Tabellen

Tabel 53 Personenauto's, korte afstand, spits

Personenauto's Korte afstand Spits		Omrij- factor	Voor- en na- transport	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
					g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Benzine	0%	0%	1,57	146	0,28	0,010	0,12	137	0,12	0,010	0,10	112	0,05	0,007	0,08
	Totaal				194	0,37	0,014	0,16	176	0,15	0,013	0,13	134	0,08	0,009	0,10
	Stad				122	0,21	0,008	0,10	116	0,10	0,005	0,09	99	0,04	0,004	0,07
	Buiten				139	0,29	0,010	0,11	133	0,13	0,014	0,10	113	0,04	0,008	0,08
	Snelweg	0%	0%	1,57	139	0,41	0,043	0,09	130	0,42	0,023	0,08	119	0,20	0,007	0,07
	Totaal				176	0,59	0,066	0,11	162	0,57	0,037	0,10	143	0,28	0,008	0,08
	Stad				118	0,33	0,031	0,07	112	0,37	0,020	0,07	103	0,18	0,005	0,06
	Buiten				136	0,38	0,042	0,08	129	0,36	0,017	0,08	119	0,16	0,009	0,07
	Snelweg	0%	0%	1,57	122	0,32	0,005	0,00	111	0,28	0,005	0,00	91	0,17	0,003	0,00
	Totaal				165	0,40	0,006	0,00	142	0,33	0,006	0,00	108	0,15	0,004	0,00
	Stad				104	0,29	0,004	0,00	94	0,22	0,003	0,00	79	0,15	0,002	0,00
	Buiten				113	0,28	0,005	0,00	108	0,31	0,006	0,00	91	0,19	0,003	0,00
	Snelweg	0%	0%	1,57	143	0,31	0,019	0,10	133	0,23	0,014	0,09	114	0,12	0,007	0,07
	Totaal				189	0,41	0,025	0,14	171	0,28	0,020	0,11	137	0,15	0,008	0,09
	Stad				120	0,24	0,013	0,09	114	0,19	0,010	0,08	100	0,10	0,005	0,06
	Buiten				136	0,32	0,022	0,10	129	0,26	0,015	0,09	115	0,11	0,009	0,07
	Snelweg	0%	0%	1,16	197	0,38	0,014	0,16	185	0,16	0,014	0,14	152	0,07	0,009	0,11
Worst case	Benzine				262	0,50	0,020	0,21	238	0,20	0,018	0,18	182	0,11	0,012	0,13
	Totaal				165	0,29	0,010	0,13	157	0,13	0,007	0,12	133	0,05	0,006	0,09
	Stad				188	0,39	0,013	0,15	180	0,18	0,019	0,14	153	0,05	0,010	0,11
	Buiten				188	0,39	0,013	0,15	180	0,18	0,019	0,14	153	0,05	0,010	0,11
	Snelweg	0%	0%	1,16	188	0,56	0,059	0,12	176	0,57	0,031	0,10	161	0,27	0,010	0,09
	Totaal				238	0,80	0,090	0,15	220	0,78	0,050	0,13	194	0,37	0,011	0,11
	Stad				159	0,44	0,041	0,10	151	0,50	0,028	0,09	140	0,25	0,007	0,08
	Buiten				184	0,52	0,056	0,11	174	0,49	0,023	0,10	161	0,21	0,013	0,09
	Snelweg	0%	0%	1,16	165	0,43	0,007	0,00	150	0,38	0,007	0,00	123	0,23	0,004	0,00
	Totaal				223	0,54	0,008	0,00	192	0,45	0,009	0,00	147	0,21	0,005	0,00
	Stad				141	0,40	0,005	0,00	127	0,30	0,004	0,00	107	0,21	0,003	0,00
	Buiten				152	0,39	0,007	0,00	146	0,42	0,008	0,00	123	0,26	0,003	0,00
	Snelweg	0%	0%	1,16	193	0,42	0,026	0,14	180	0,32	0,019	0,12	155	0,16	0,010	0,10
	Totaal				256	0,56	0,034	0,18	231	0,37	0,027	0,16	185	0,21	0,011	0,12
	Stad				162	0,33	0,017	0,12	154	0,26	0,014	0,10	135	0,13	0,006	0,08
	Buiten				184	0,44	0,030	0,13	175	0,35	0,021	0,12	156	0,15	0,012	0,10
	Snelweg															

Voor korte afstand is de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 25% stads-, 40% buiten- en 35% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 54 Personenauto's, korte afstand, dal

Personenauto's Korte afstand Dal		Omrij- factor %	Voor- en na- transport %	Bezetting rzg	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
					g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Benzine															
	Totaal				125	0,24	0,009	0,10	117	0,10	0,009	0,09	96	0,04	0,006	0,07
	Stad	0%	0%	1,83	166	0,32	0,012	0,13	151	0,13	0,011	0,11	115	0,07	0,007	0,08
	Buiten				104	0,18	0,007	0,08	100	0,08	0,005	0,08	84	0,03	0,004	0,06
	Snelweg				119	0,24	0,008	0,10	114	0,11	0,012	0,09	97	0,03	0,007	0,07
	Diesel															
	Totaal				119	0,35	0,037	0,07	111	0,36	0,020	0,07	102	0,17	0,006	0,06
	Stad	0%	0%	1,83	151	0,50	0,057	0,09	139	0,49	0,031	0,08	123	0,24	0,007	0,07
	Buiten				101	0,28	0,026	0,06	95	0,32	0,017	0,06	89	0,16	0,004	0,05
	Snelweg				116	0,33	0,036	0,07	110	0,31	0,014	0,07	102	0,13	0,008	0,06
	LPG															
	Totaal				105	0,27	0,004	0,00	95	0,24	0,004	0,00	78	0,14	0,002	0,00
	Stad	0%	0%	1,83	141	0,34	0,005	0,00	122	0,28	0,005	0,00	93	0,13	0,003	0,00
	Buiten				89	0,25	0,003	0,00	80	0,19	0,002	0,00	68	0,13	0,002	0,00
	Snelweg				96	0,24	0,005	0,00	92	0,26	0,005	0,00	78	0,16	0,002	0,00
	Totaal															
	Totaal	0%	0%	1,83	122	0,27	0,016	0,09	114	0,20	0,012	0,08	98	0,10	0,006	0,06
	Stad				162	0,35	0,021	0,12	146	0,24	0,017	0,10	117	0,13	0,007	0,07
	Buiten				103	0,21	0,011	0,07	97	0,16	0,009	0,07	85	0,08	0,004	0,05
	Snelweg				117	0,28	0,019	0,08	111	0,22	0,013	0,07	99	0,10	0,008	0,06
Worst case	Benzine															
	Totaal				169	0,32	0,012	0,14	159	0,14	0,012	0,12	130	0,06	0,008	0,09
	Stad	0%	0%	1,35	224	0,43	0,017	0,18	204	0,17	0,015	0,16	156	0,09	0,010	0,11
	Buiten				141	0,25	0,009	0,11	135	0,11	0,006	0,10	114	0,04	0,005	0,08
	Snelweg				161	0,33	0,011	0,13	154	0,15	0,016	0,12	131	0,05	0,009	0,09
	Diesel															
	Totaal				161	0,48	0,050	0,10	151	0,48	0,027	0,09	138	0,23	0,009	0,08
	Stad	0%	0%	1,35	204	0,68	0,077	0,13	188	0,66	0,043	0,11	166	0,32	0,010	0,09
	Buiten				137	0,38	0,035	0,08	129	0,43	0,024	0,08	120	0,21	0,006	0,07
	Snelweg				157	0,44	0,048	0,10	149	0,42	0,020	0,09	138	0,18	0,011	0,08
	LPG															
	Totaal				142	0,37	0,006	0,00	128	0,32	0,006	0,00	105	0,19	0,003	0,00
	Stad	0%	0%	1,35	191	0,46	0,007	0,00	165	0,38	0,007	0,00	125	0,18	0,005	0,00
	Buiten				121	0,34	0,004	0,00	109	0,26	0,003	0,00	92	0,18	0,002	0,00
	Snelweg				130	0,33	0,006	0,00	125	0,36	0,007	0,00	105	0,22	0,003	0,00
	Totaal															
	Totaal	0%	0%	1,35	166	0,36	0,022	0,12	155	0,27	0,017	0,10	132	0,13	0,008	0,08
	Stad				219	0,48	0,029	0,16	198	0,32	0,023	0,13	158	0,18	0,010	0,10
	Buiten				139	0,28	0,015	0,10	132	0,22	0,012	0,09	116	0,11	0,005	0,07
	Snelweg				158	0,37	0,025	0,11	150	0,30	0,018	0,10	133	0,13	0,010	0,08

Voor korte afstand is de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 25% stads-, 40% buiten- en 35% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 55 Personenauto's, korte afstand, daggemiddeld

Personenauto's Korte afstand Daggemiddeld		Omrij- factor	Voor- en na- transport	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
					g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Benzine															
	Totaal				131	0,25	0,009	0,11	123	0,11	0,009	0,09	101	0,04	0,006	0,07
	Stad	0%	0%	1,74	174	0,33	0,013	0,14	158	0,13	0,012	0,12	121	0,07	0,008	0,09
	Buiten				109	0,19	0,007	0,09	105	0,09	0,005	0,08	89	0,03	0,004	0,06
	Snelweg				125	0,26	0,009	0,10	120	0,12	0,013	0,09	101	0,04	0,007	0,07
	Diesel															
	Totaal				125	0,37	0,039	0,08	117	0,38	0,021	0,07	107	0,18	0,007	0,06
	Stad	0%	0%	1,74	158	0,53	0,060	0,10	146	0,52	0,033	0,09	129	0,25	0,008	0,07
	Buiten				106	0,29	0,028	0,07	100	0,33	0,018	0,06	93	0,17	0,005	0,05
	Snelweg				122	0,34	0,037	0,08	116	0,33	0,015	0,07	107	0,14	0,008	0,06
	LPG															
	Totaal				110	0,28	0,004	0,00	100	0,25	0,004	0,00	82	0,15	0,002	0,00
	Stad	0%	0%	1,74	148	0,36	0,006	0,00	128	0,30	0,006	0,00	97	0,14	0,004	0,00
	Buiten				94	0,26	0,003	0,00	84	0,20	0,003	0,00	71	0,14	0,002	0,00
	Snelweg				101	0,26	0,005	0,00	97	0,28	0,005	0,00	82	0,17	0,002	0,00
	Totaal															
	Totaal	0%	0%	1,74	128	0,28	0,017	0,09	120	0,21	0,013	0,08	103	0,10	0,006	0,06
Worst case	Stad				170	0,37	0,022	0,12	153	0,25	0,018	0,10	123	0,14	0,008	0,08
	Buiten				108	0,22	0,011	0,08	102	0,17	0,009	0,07	90	0,09	0,004	0,06
	Snelweg				122	0,29	0,020	0,09	116	0,23	0,014	0,08	104	0,10	0,008	0,06
	Benzine															
	Totaal				177	0,34	0,012	0,14	167	0,15	0,013	0,13	137	0,06	0,008	0,10
	Stad	0%	0%	1,29	236	0,45	0,018	0,19	214	0,18	0,016	0,16	163	0,10	0,011	0,12
	Buiten				148	0,26	0,009	0,12	141	0,12	0,007	0,11	120	0,04	0,005	0,09
	Snelweg				169	0,35	0,012	0,14	162	0,16	0,017	0,12	137	0,05	0,009	0,10
	Diesel															
	Totaal				169	0,50	0,053	0,10	158	0,51	0,028	0,09	145	0,24	0,009	0,08
	Stad	0%	0%	1,29	214	0,72	0,081	0,13	198	0,70	0,045	0,12	174	0,34	0,010	0,10
	Buiten				143	0,40	0,037	0,09	136	0,45	0,025	0,08	126	0,22	0,006	0,07
	Snelweg				165	0,47	0,050	0,10	156	0,44	0,021	0,09	145	0,19	0,011	0,08
	LPG															
	Totaal				149	0,39	0,006	0,00	135	0,34	0,006	0,00	110	0,20	0,003	0,00
	Stad	0%	0%	1,9	201	0,49	0,008	0,00	173	0,40	0,008	0,00	132	0,19	0,005	0,00
	Buiten				127	0,36	0,005	0,00	114	0,27	0,003	0,00	97	0,19	0,003	0,00
	Snelweg				137	0,35	0,007	0,00	131	0,38	0,007	0,00	111	0,23	0,003	0,00
	Totaal															
	Totaal	0%	0%	1,29	174	0,38	0,023	0,12	162	0,28	0,017	0,11	139	0,14	0,009	0,09
	Stad				230	0,50	0,030	0,16	208	0,34	0,024	0,14	166	0,18	0,010	0,10
	Buiten				146	0,30	0,015	0,10	138	0,23	0,012	0,09	121	0,12	0,006	0,08
	Snelweg				166	0,39	0,027	0,12	157	0,31	0,019	0,11	140	0,14	0,011	0,09

Voor korte afstand is de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 25% stads-, 40% buiten- en 35% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie

Tabel 56 Personenauto's, lange afstand

Personenauto's Lange afstand		Omrij- factor	Voor- en na- trans- port	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	rzg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Benzine	0%	0%	2,88	76	0,15	0,005	0,061	72	0,07	0,007	0,055	61	0,02	0,004	0,043
	Diesel	0%	0%	2,88	74	0,21	0,022	0,046	70	0,20	0,010	0,041	64	0,09	0,005	0,036
	LPG	0%	0%	2,88	62	0,16	0,003	0,000	58	0,16	0,003	0,000	49	0,10	0,001	0,000
Worst case	Benzine	0%	0%	2,13	103	0,21	0,007	0,083	98	0,09	0,009	0,075	82	0,03	0,005	0,058
	Diesel	0%	0%	2,13	100	0,28	0,030	0,062	94	0,28	0,014	0,056	87	0,12	0,006	0,048
	LPG	0%	0%	2,13	84	0,22	0,004	0,000	79	0,22	0,004	0,000	66	0,13	0,002	0,000

Voor lange afstanden is de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 5% stads-, 15% buiten- en 80% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 57 Bromfietsen

Bromfietsen		Omrij- factor	Voor- en na- trans- port	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	rzg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Spits			1,2	58	0,060	0,035	0,047	53	0,13	0,047	0,044	53	0,15	0,017	0,041
	Dag	-5%	0%	1,4	48	0,050	0,029	0,039	51	0,13	0,047	0,037	51	0,15	0,017	0,034
	Daggemiddeld			1,3	52	0,054	0,031	0,042	52	0,13	0,047	0,040	52	0,15	0,017	0,037
Worst case	Spits			1,0	70	0,073	0,042	0,056	64	0,16	0,057	0,053	64	0,18	0,020	0,049
	Dal	0%	0%	1,0	68	0,071	0,041	0,055	73	0,18	0,066	0,052	73	0,21	0,024	0,049
	Daggemiddeld			1,0	64	0,068	0,038	0,056	64	0,16	0,057	0,053	64	0,18	0,020	0,049

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 58 Motorfietsen

Motorfietsen		Omrij- factor	Voor- en na- trans- port	Bezete- ting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	rzg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Spits			1,2	138	0,24	0,018	0,11	139	0,33	0,019	0,11	139	0,32	0,018	0,10
	Dag	0%	0%	1,4	115	0,20	0,015	0,09	116	0,27	0,016	0,09	116	0,26	0,015	0,08
	Daggemiddeld			1,3	120	0,21	0,016	0,10	121	0,29	0,016	0,09	121	0,27	0,016	0,09
Worst case	Spits			1,0	159	0,28	0,021	0,13	160	0,38	0,021	0,12	160	0,36	0,021	0,11
	Dal	0%	15%	1,0	156	0,27	0,021	0,13	156	0,37	0,021	0,12	156	0,36	0,021	0,11
	Daggemiddeld			1,0	142	0,25	0,019	0,13	142	0,34	0,019	0,12	142	0,32	0,019	0,11

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 59 Bussen

Bussen		Productieve km's	Omrij-factor	Voor- en natransport	Bezetting	2005				2010				2020			
						CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	rzg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Stadsbus Spits	93%	0%	0%	15	102	0,96	0,035	0,063	100	0,79	0,019	0,059	101	0,40	0,010	0,056
	Dal					28	0,26	0,009	0,017	27	0,22	0,005	0,016	28	0,11	0,003	0,015
	Daggemiddeld					92	0,87	0,032	0,058	91	0,72	0,017	0,054	92	0,37	0,009	0,051
	Streekbus Spits	93%	0%	0%	16	87	0,73	0,025	0,054	80	0,59	0,012	0,047	81	0,23	0,004	0,045
	Dal					24	0,20	0,007	0,015	22	0,16	0,003	0,013	22	0,06	0,001	0,012
	Daggemiddeld					79	0,67	0,023	0,049	72	0,54	0,011	0,043	74	0,21	0,003	0,041
	Touringcar	76%	0%	0%	44	30	0,24	0,008	0,019	29	0,22	0,006	0,018	30	0,10	0,002	0,017
	Daggemiddeld																
Worst case	Stadsbus Spits	93%	20%	0%	11	165	1,55	0,056	0,103	162	1,28	0,030	0,096	164	0,66	0,016	0,091
	Dal					45	0,42	0,015	0,028	44	0,35	0,008	0,026	45	0,18	0,004	0,025
	Daggemiddeld					150	1,41	0,051	0,093	147	1,17	0,027	0,088	149	0,60	0,015	0,083
	Streekbus Spits	93%	10%	15%	12	135	1,16	0,041	0,084	125	0,94	0,019	0,074	127	0,40	0,007	0,070
	Dal					37	0,32	0,011	0,023	34	0,26	0,005	0,020	35	0,11	0,002	0,019
	Daggemiddeld					123	1,06	0,037	0,076	114	0,86	0,017	0,068	115	0,36	0,006	0,064
	Touringcar	76%	5%	15%	32	58	0,21	0,005	0,032	58	0,44	0,011	0,034	58	0,21	0,005	0,032
	Daggemiddeld																

Voor stadsbussen is aangenomen dat ze 100% van de km over stadswegen rijden, voor streekbussen is de volgende verhouding tussen de wegtypen aangenomen: 50% stads- en 50% buitenwegen, voor touringcars is de volgende verhouding tussen de wegtypen aangenomen: 25% stads-, 25% buiten- en 50% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 60 Tram

Trams		Omrij-factor	Voor- en na-transport	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	rzg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Spits	0%	0%	33	86	0,11	0,003	0,042	86	0,09	0,003	0,042	86	0,09	0,003	0,042
	Dal				23	0,03	0,001	0,011	23	0,02	0,001	0,011	23	0,02	0,001	0,011
	Daggemiddeld				78	0,10	0,003	0,038	78	0,08	0,003	0,038	78	0,08	0,003	0,038
Worst case	Spits	10%	15%	24	133	0,37	0,012	0,068	133	0,30	0,008	0,068	133	0,21	0,006	0,067
	Dal				36	0,10	0,003	0,019	36	0,08	0,002	0,018	36	0,06	0,002	0,018
	Daggemiddeld				121	0,33	0,011	0,062	121	0,28	0,008	0,062	121	0,19	0,006	0,061

Omdat waarden voortkomen uit praktijkdata zijn niet productieve kilometers reeds in de emissiefactoren verwerkt. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 61 Treinen, spits

Treinen Spits		Omrij- factor	Voor- en na- transport	Bezet- ting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
					g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg-km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km
Best case	Elektrisch															
	Stoptrein	0%	0%	26%	99	0,12	0,0035	0,048	94	0,10	0,0034	0,046	84	0,09	0,0030	0,041
	IC trein	0%	0%	39%	48	0,06	0,0017	0,023	45	0,05	0,0016	0,022	40	0,04	0,0015	0,020
Worst case	Diesel															
	Stoptrein	0	0%	26%	118	1,13	0,097	0,122	111	1,04	0,091	0,068	99	0,58	0,051	0,056
	Elektrisch															
Worst case	Stoptrein	10%	15%	19%	152	0,41	0,014	0,078	145	0,33	0,009	0,074	133	0,22	0,006	0,067
	IC trein	10%	15%	29%	87	0,33	0,011	0,046	84	0,27	0,007	0,044	78	0,16	0,005	0,040
	Diesel															
Worst case	Stoptrein	10%	15%	19%	177	1,69	0,133	0,171	167	1,53	0,121	0,102	152	0,84	0,067	0,087

Tabel 62 Treinen, dal

Treinen Dal		Omrij- factor	Voor- en natransport	Bezet- ting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
					g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg-km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km
Best case	Elektrisch															
	Stoptrein	0%	0%	26%	8,1	0,010	0,000293	0,0040	8	0,008	0,000278	0,0038	7	0,007	0,000249	0,0034
	IC trein	0%	0%	39%	3,9	0,005	0,000141	0,0019	4	0,004	0,000134	0,0018	3	0,003	0,000120	0,0016
Worst case	Diesel															
	Stoptrein	0%	0%	26%	9,8	0,094	0,0081	0,0100	9	0,086	0,0075	0,0056	8	0,048	0,0042	0,0047
	Elektrisch															
Worst case	Stoptrein	10%	15%	19%	12,6	0,034	0,0011	0,0064	12	0,027	0,0008	0,0061	11	0,018	0,0005	0,0055
	IC trein	10%	15%	29%	7,2	0,027	0,0009	0,0038	7	0,022	0,0006	0,0036	6	0,013	0,0004	0,0033
	Diesel															
Worst case	Stoptrein	10%	15%	19%	14,6	0,140	0,0110	0,0141	14	0,127	0,0100	0,0084	13	0,069	0,0055	0,0072

Tabel 63 Treinen, daggemiddeld

Treinen Daggemiddeld		Omrij- factor	Voor- en natransport	Bezetting	2005				2010				2020			
					CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km
Best case	Elektrisch															
	Stoptrein	0%	0%	26%	81	0,101	0,0029	0,040	77	0,079	0,0028	0,038	69	0,070	0,00249	0,034
	IC Trein	0%	0%	39%	39	0,049	0,0014	0,019	37	0,038	0,0013	0,018	33	0,034	0,00120	0,016
	Hoge snelheidstrein	0%	0%	34%	46	0,057	0,0017	0,022	44	0,044	0,0016	0,021	39	0,040	0,00140	0,019
Worst case	Diesel															
	Stoptrein	0%	0%	26%	98	0,94	0,081	0,100	91	0,86	0,075	0,056	82	0,48	0,042	0,047
	Elektrisch															
	Stoptrein	10%	15%	19%	126	0,34	0,0114	0,064	120	0,27	0,0077	0,061	110	0,18	0,005	0,055
	IC trein	10%	15%	29%	72	0,27	0,0095	0,038	70	0,22	0,0058	0,036	65	0,13	0,004	0,033
	Hoge snelheidstrein	10%	15%	25%	81	0,28	0,0098	0,042	77	0,23	0,0061	0,040	72	0,14	0,004	0,037
	Diesel															
	Stoptrein	10%	15%	19%	146	1,40	0,110	0,141	138	1,27	0,100	0,084	126	0,69	0,055	0,072

Omdat waarden voortkomen uit praktijkdata zijn niet productieve kilometers reeds in de emissiefactoren verwerkt. In de praktijksituatie in Nederland hebben dieseltreinen een hogere bezetting dan elektrische treinen, dit is echter te wijten aan logistieke kenmerken en niet aan het treintype. Om een eerlijke vergelijking te maken is voor dieseltreinen aangenomen dat zij dezelfde bezetting als elektrische treinen hebben. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie. Emissies van dieselstoptreinen zijn gebaseerd op een gewogen gemiddelde van 53 DM90 treinen en van 24 LINT Lightrail-treinen, een afspiegeling van de Nederlandse situatie.

Tabel 64 Vliegtuigen, LTO + cruise

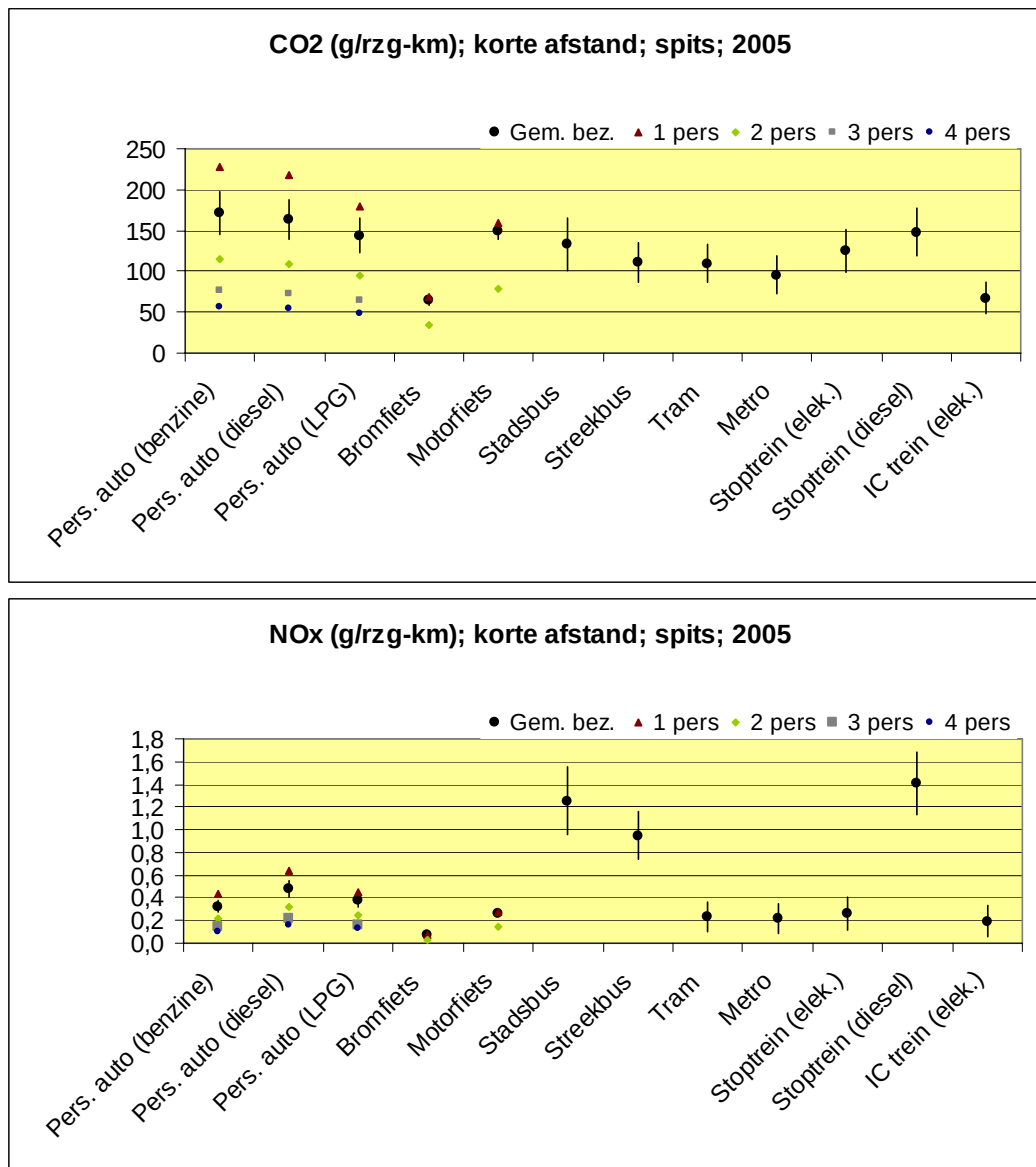
Vliegtuigen LTO + cruise		Afstand	Omrij- factor	Voor- en natransport	Bezetting	2005					2010					2020				
						CO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		km	%	%	Rzg/vlgtg	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km	g/rzg- km
Best case	Passagiers																			
	B737-400	463	0%	0%	116	158	291	0,48	0,012	0,14	142	262	0,43	0,012	0,12	133	244	0,33	0,011	0,11
	F-100	463	0%	0%	81	207	380	0,58	0,016	0,18	186	342	0,52	0,015	0,16	174	320	0,41	0,015	0,15
	B737-400	1.389	0%	0%	116	115	212	0,33	0,009	0,10	104	191	0,30	0,009	0,09	97	178	0,23	0,008	0,08
	F-100	1.389	0%	0%	81	142	261	0,33	0,011	0,12	128	235	0,30	0,011	0,11	119	220	0,23	0,010	0,10
	B737-400	2.778	0%	0%	116	107	196	0,29	0,008	0,09	96	177	0,26	0,008	0,08	90	165	0,21	0,008	0,08
	F-100	2.778	0%	0%	81	129	238	0,27	0,010	0,11	116	214	0,24	0,010	0,10	109	200	0,19	0,009	0,09
	Belly hold																			
Worst case	B747-400 pax	6.482	0%	0%	382	86	159	0,34	0,007	0,08	78	143	0,34	0,006	0,07	72	133	0,34	0,006	0,06
	B747-400 pax	12.038	0%	0%	382	94	173	0,40	0,007	0,08	84	155	0,40	0,007	0,07	79	145	0,39	0,007	0,07
	Passagiers																			
	B737-400	463	10%	20%	86	218	376	0,85	0,025	0,18	199	341	0,74	0,019	0,17	188	321	0,52	0,016	0,15
	F-100	463	10%	20%	60	276	483	0,98	0,029	0,23	251	437	0,86	0,024	0,21	236	410	0,60	0,021	0,19
	B737-400	1.389	5%	20%	86	161	271	0,66	0,020	0,13	148	247	0,57	0,015	0,12	140	232	0,38	0,012	0,11
	F-100	1.389	5%	20%	60	191	327	0,66	0,023	0,16	175	297	0,57	0,018	0,15	165	279	0,38	0,015	0,13
	B737-400	2.778	2%	20%	86	148	247	0,61	0,019	0,12	136	225	0,52	0,014	0,11	129	212	0,35	0,011	0,10
	F-100	2.778	2%	20%	60	173	293	0,58	0,021	0,14	158	266	0,50	0,016	0,13	150	250	0,33	0,013	0,12
	Belly hold																			
	B747-400 pax	6.482	2%	5%	282	121	216	0,52	0,011	0,10	109	195	0,50	0,010	0,09	102	182	0,47	0,009	0,09
	B747-400 pax	12.038	2%	5%	282	131	234	0,60	0,012	0,11	118	211	0,58	0,011	0,10	111	198	0,55	0,010	0,09

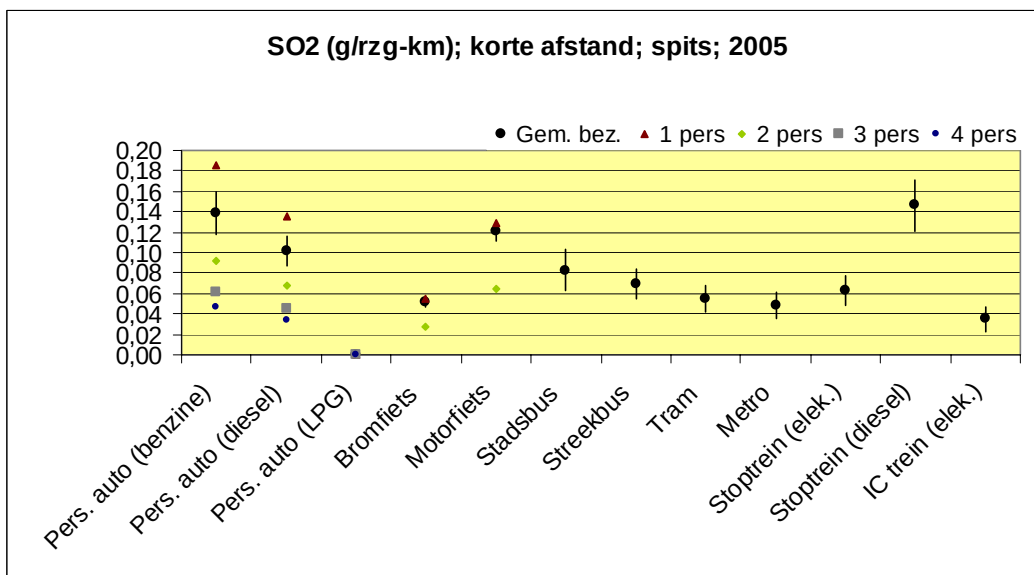
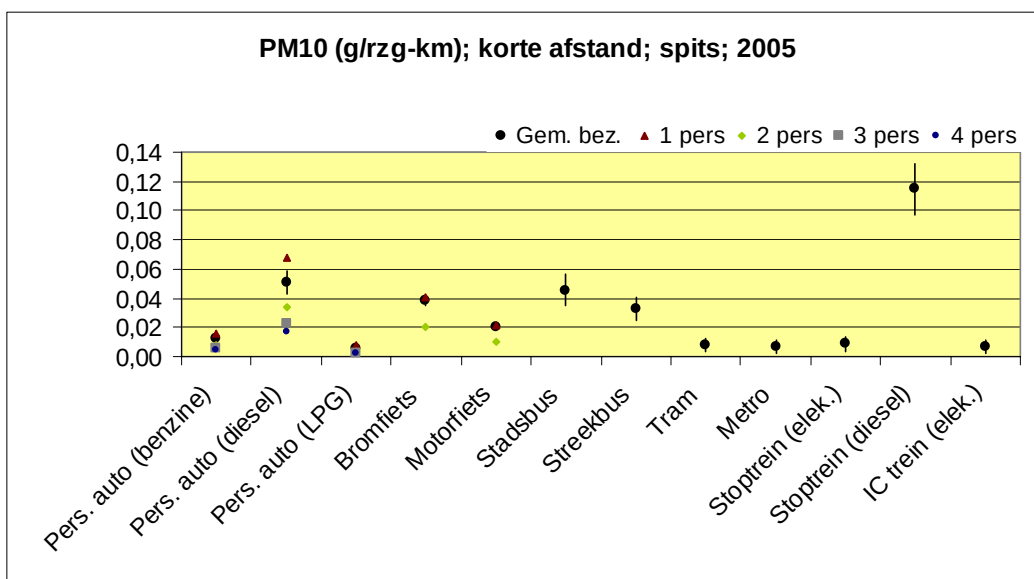
Tabel 65 Vliegtuigen, LTO

Vliegtuigen LTO		Afstand	Omrij- factor	Voor- en natransport	Bezetting	2005			2010			2020		
						NO _x	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		km	%	%	Rzg/vlgtg	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km	g/rzg-km
Best case	Passagiers													
	B737-400	463	0%	0%	116	0,17	0,0045	0,050	0,15	0,0040	0,044	0,12	0,0030	0,032
	F-100	463	0%	0%	81	0,17	0,0057	0,063	0,15	0,0051	0,056	0,12	0,0039	0,041
	B737-400	1.389	0%	0%	116	0,056	0,0015	0,017	0,050	0,0013	0,015	0,039	0,0010	0,011
	F-100	1.389	0%	0%	81	0,058	0,0019	0,021	0,052	0,0017	0,019	0,039	0,0013	0,014
	B737-400	2.778	0%	0%	116	0,028	0,0007	0,008	0,025	0,0007	0,007	0,019	0,0005	0,005
	F-100	2.778	0%	0%	81	0,029	0,0010	0,011	0,026	0,0009	0,009	0,020	0,0006	0,007
	Belly hold													
Worst case	B747-400 pax	6.482	0%	0%	382	0,030	0,0005	0,005	0,030	0,0005	0,005	0,029	0,0005	0,005
	B747-400 pax	12.038	0%	0%	382	0,016	0,0003	0,003	0,016	0,0003	0,003	0,016	0,0003	0,003
	Passagiers													
	B737-400	463	10%	20%	86	0,48	0,016	0,078	0,41	0,010	0,070	0,26	0,0066	0,055
	F-100	463	10%	20%	60	0,49	0,017	0,094	0,42	0,012	0,084	0,26	0,008	0,066
	B737-400	1.389	5%	20%	86	0,35	0,012	0,038	0,29	0,0070	0,034	0,16	0,0041	0,029
	F-100	1.389	5%	20%	60	0,35	0,012	0,043	0,29	0,0074	0,039	0,16	0,0044	0,032
	B737-400	2.778	2%	20%	86	0,31	0,011	0,028	0,26	0,0062	0,026	0,14	0,0035	0,023
	F-100	2.778	2%	20%	60	0,31	0,011	0,030	0,26	0,0065	0,028	0,14	0,0037	0,024
	Belly hold													
	B747-400 pax	6.482	2%	5%	282	0,11	0,003	0,012	0,10	0,0020	0,012	0,07	0,0014	0,011
	B747-400 pax	12.038	2%	5%	282	0,09	0,003	0,009	0,08	0,0017	0,008	0,05	0,001	0,008

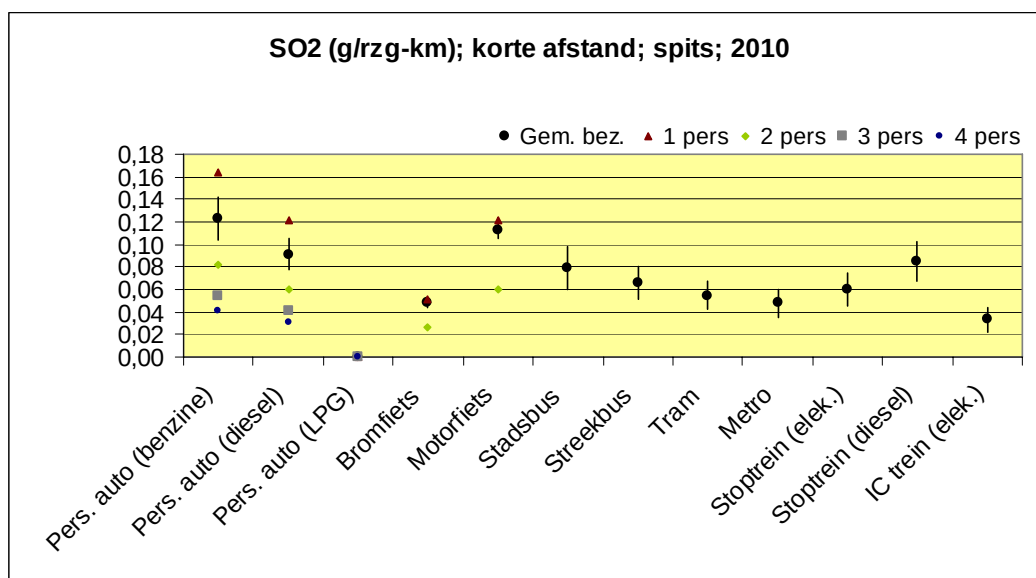
G.2 Figuren

Figuur 28 Case 1a; Korte afstand; spits; 2005



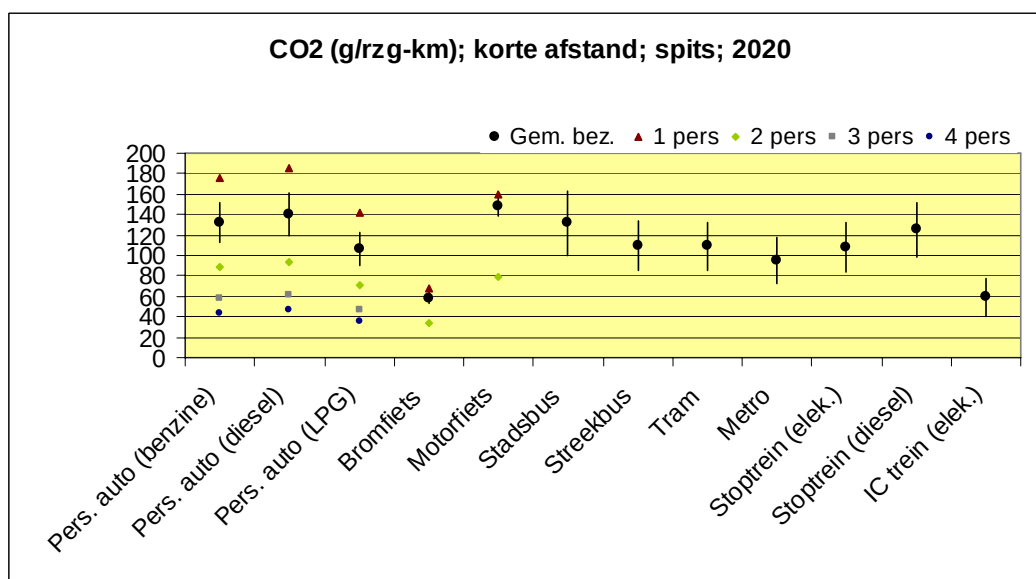


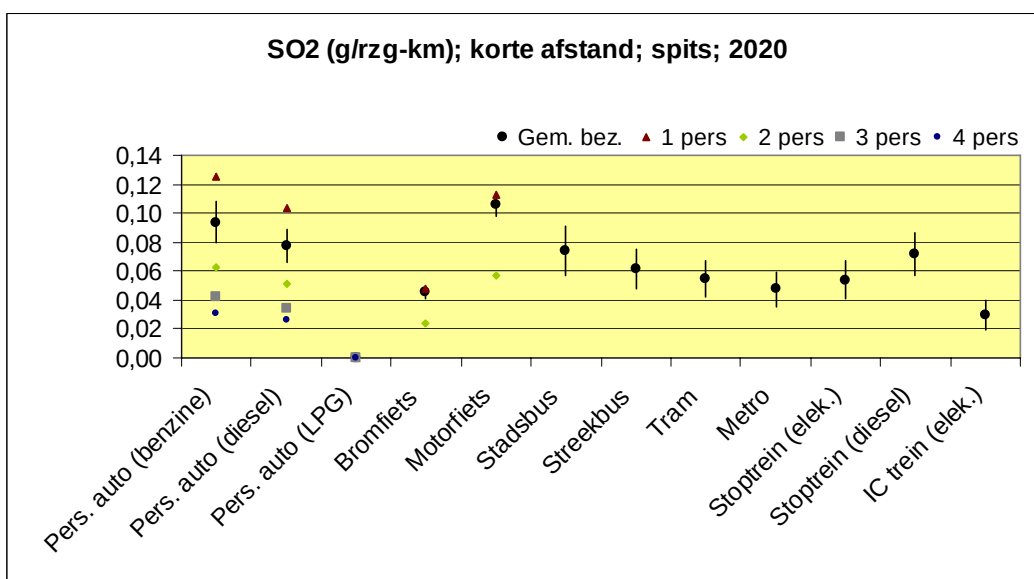
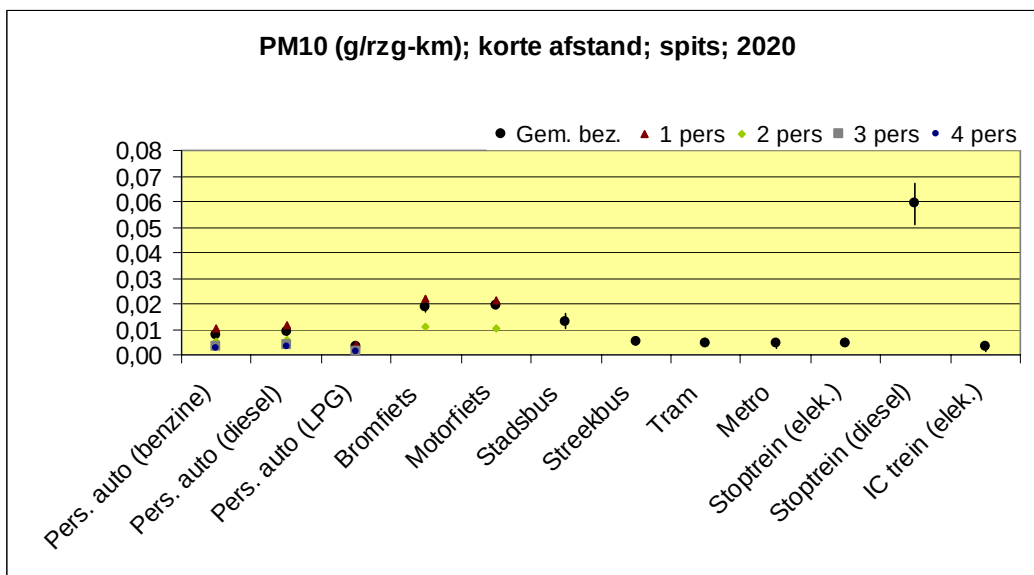
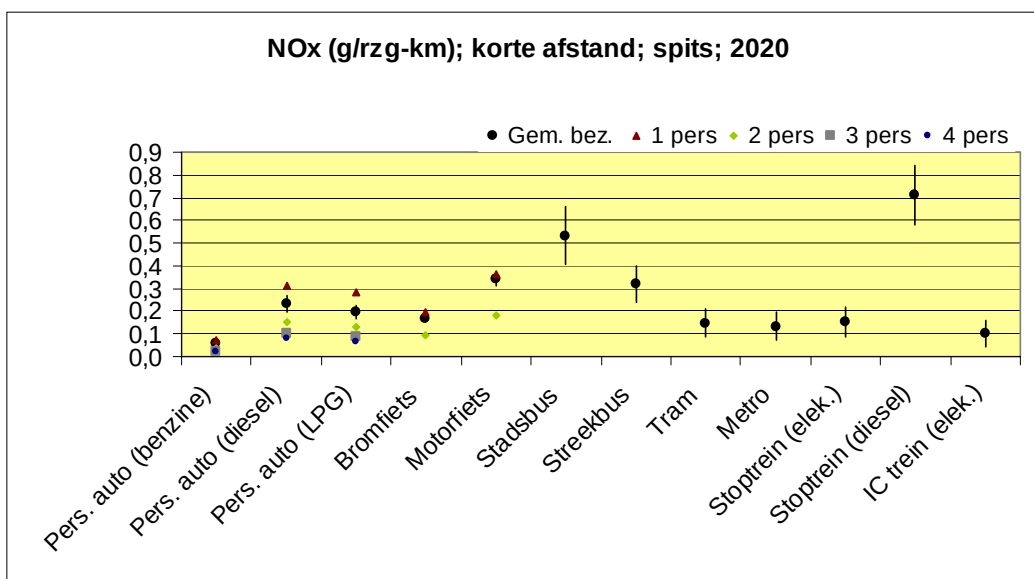
Figuur 29 Case 1a; Korte afstand; spits, 2010



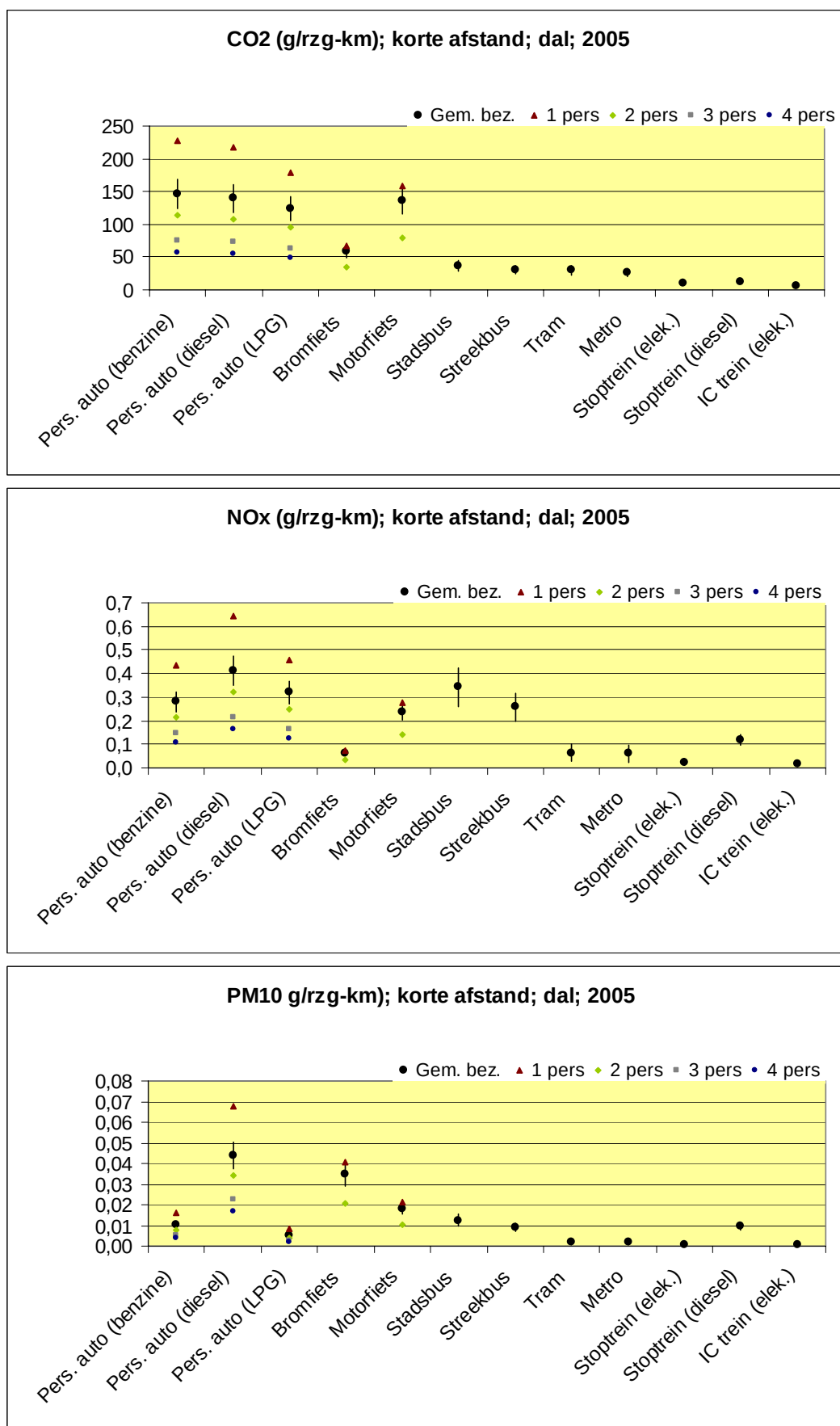
Voor CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

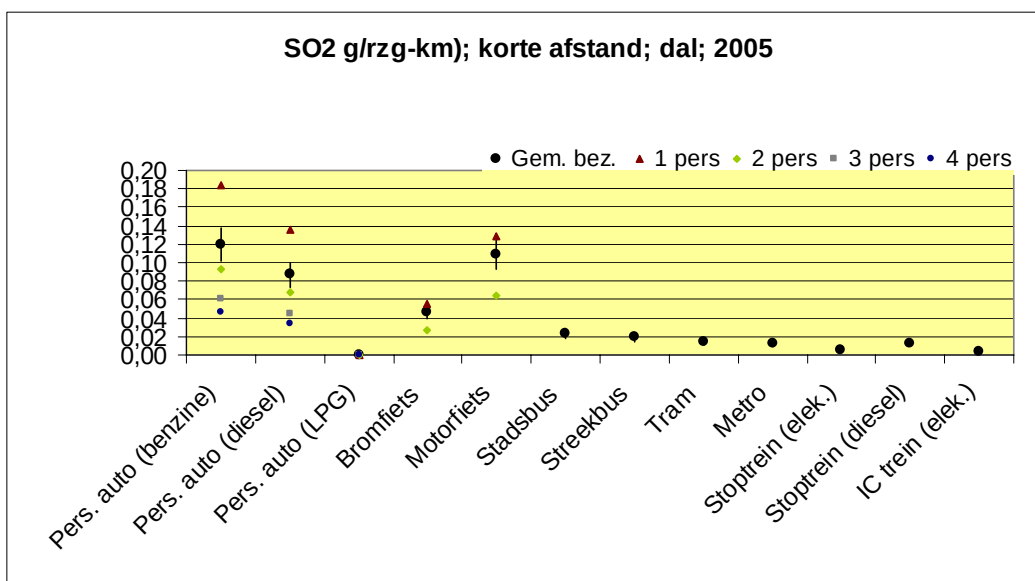
Figuur 30 Case 1a; Korte afstand; spits; 2020



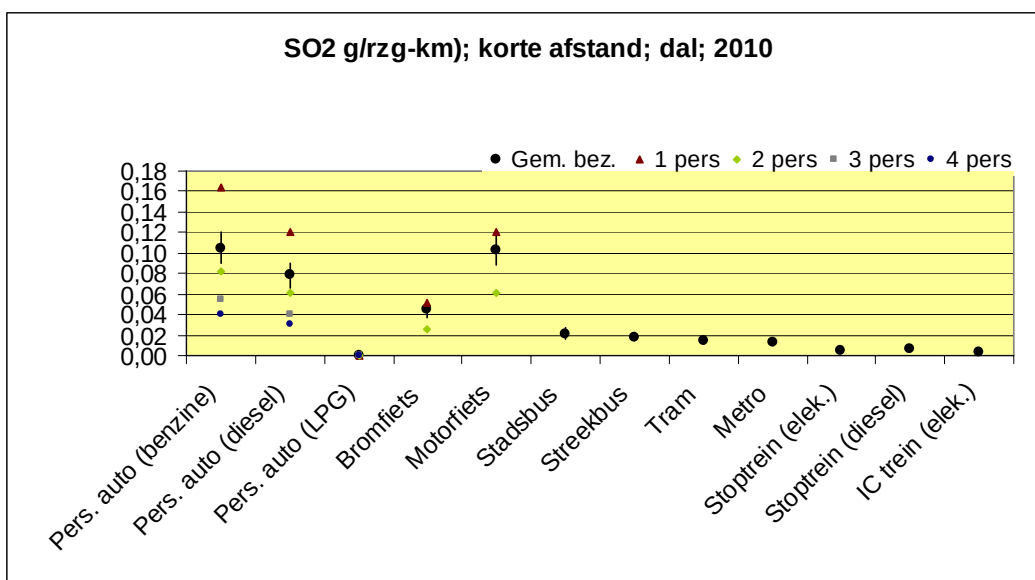


Figuur 31 Case 1b; Korte afstand; dal; marginaal; 2005



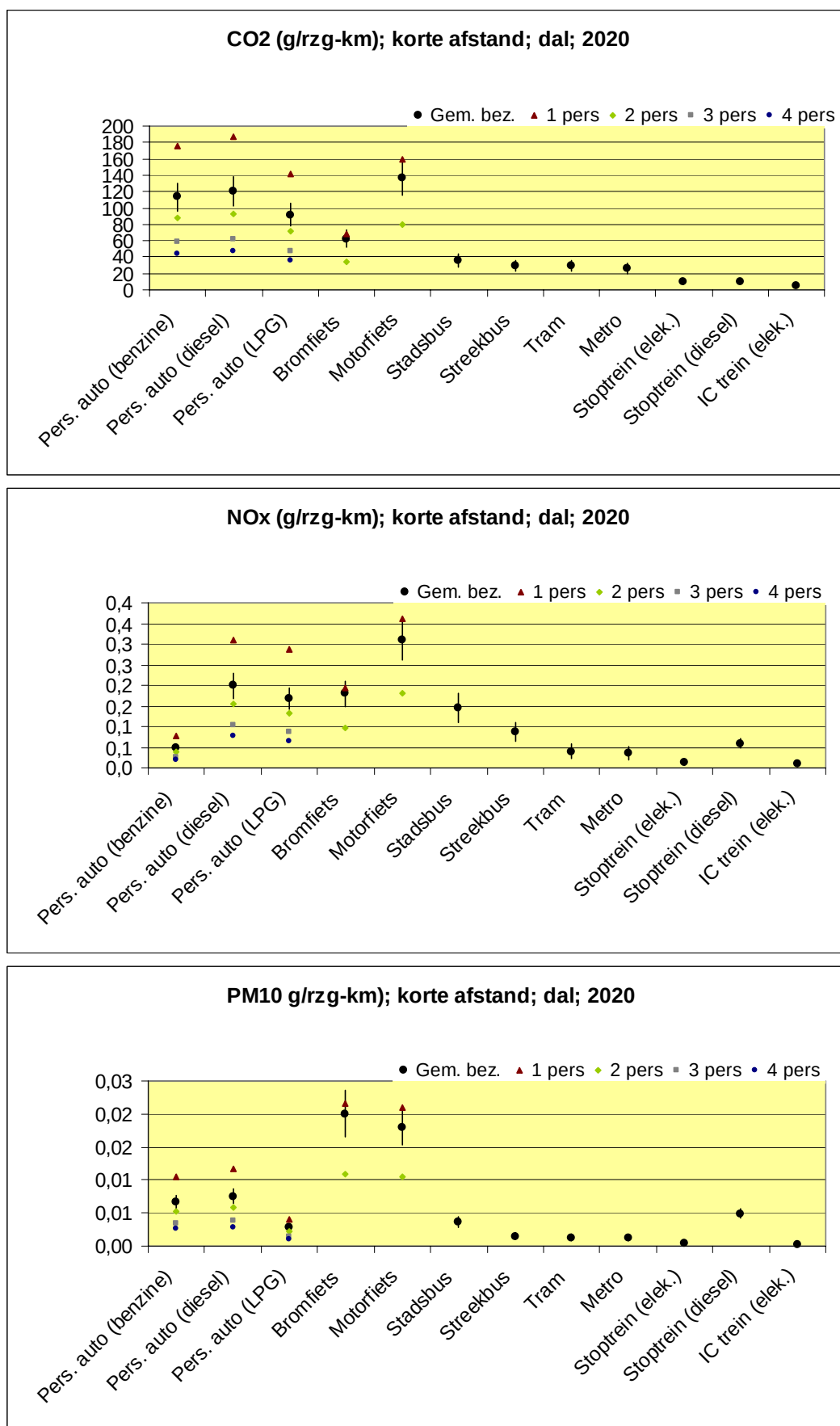


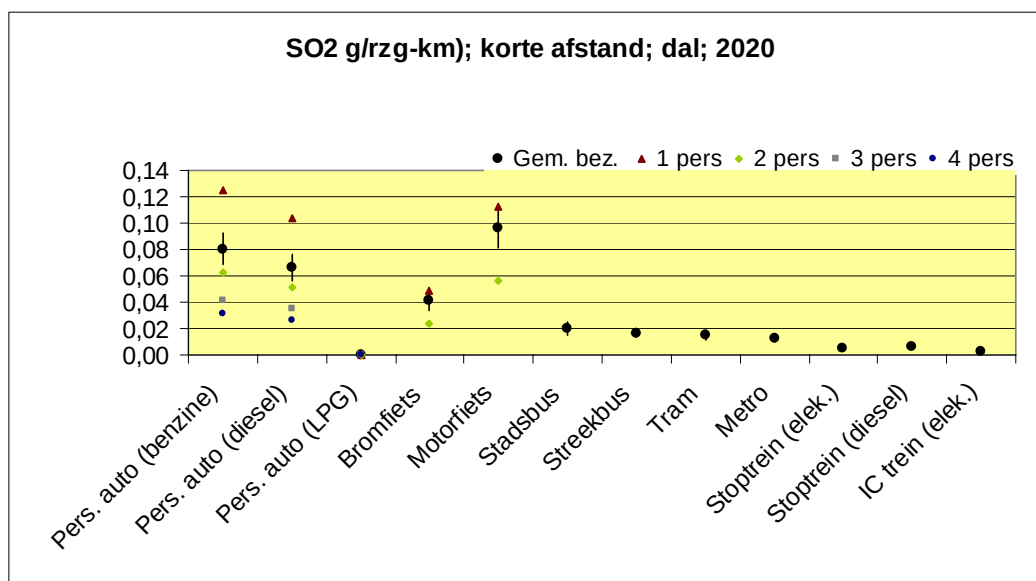
Figuur 32 Case 1b; Korte afstand; dal; marginaal; 2010



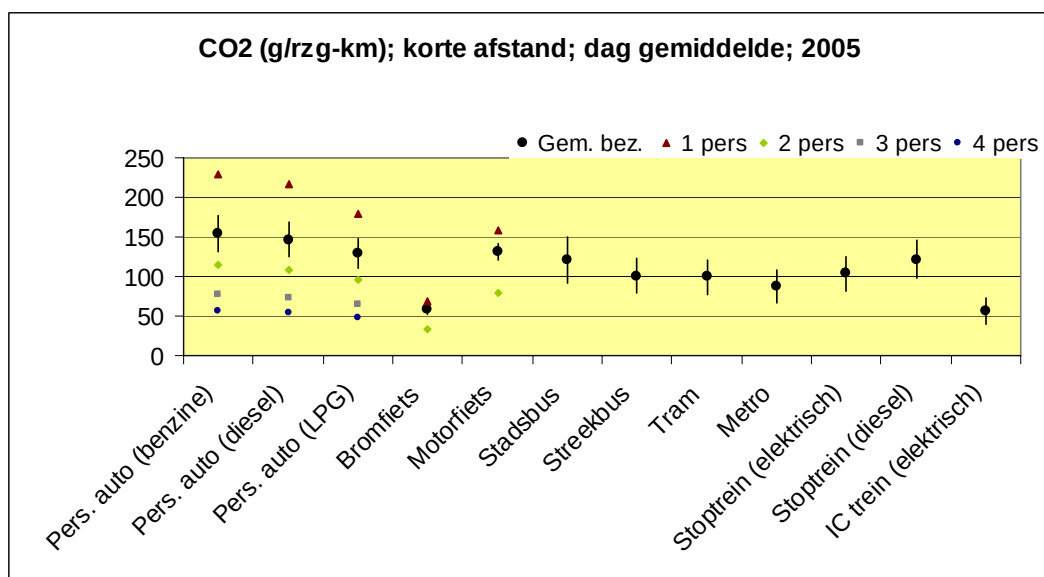
Voor figuren CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

Figuur 33 Case 1b; Korte afstand; dal; marginaal; 2020

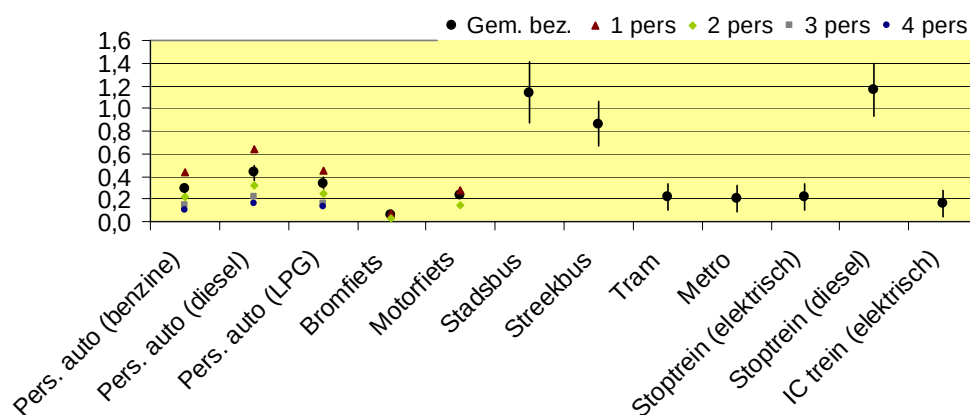




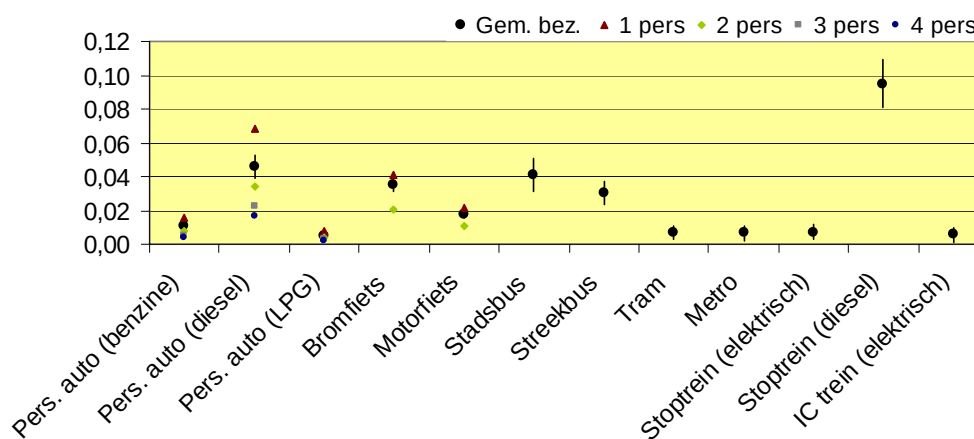
Figuur 34 Case 1c; Korte afstand; daggemiddeld; 2005



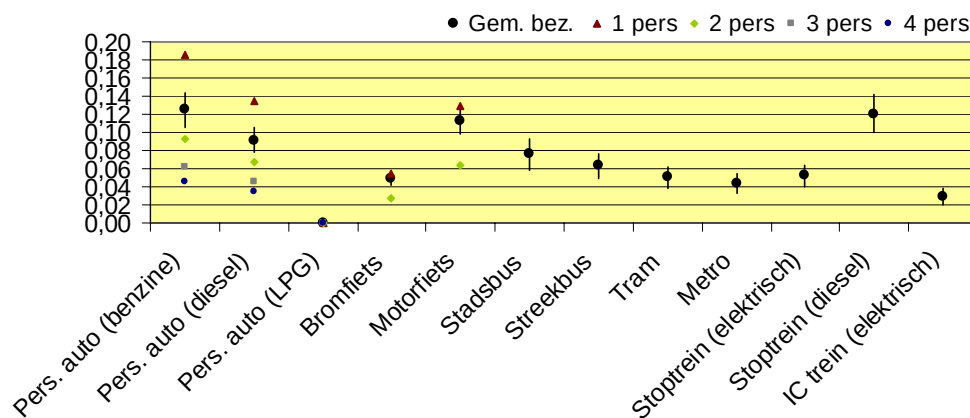
NOx (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2005



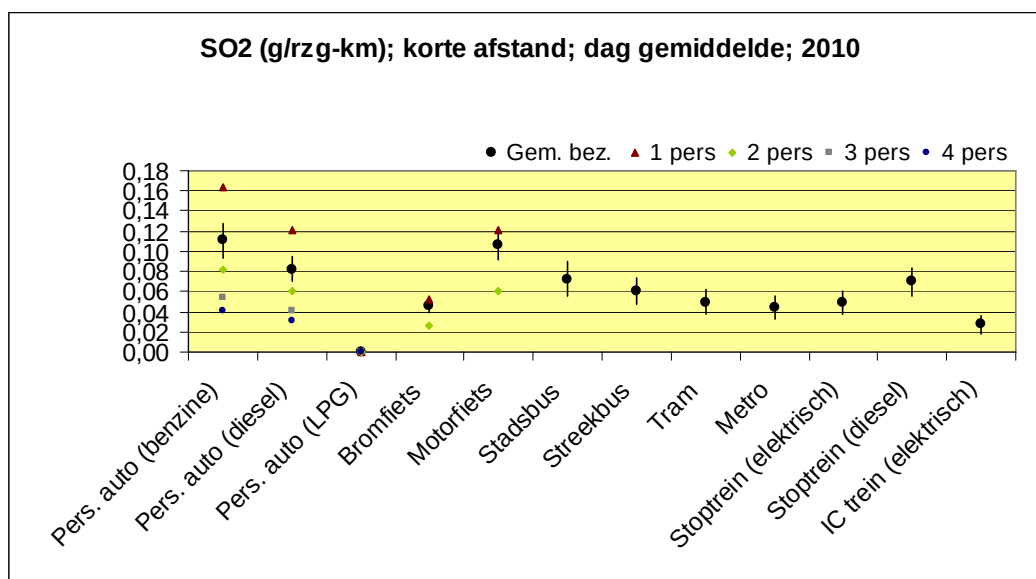
PM10 (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2005



SO2 (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2005

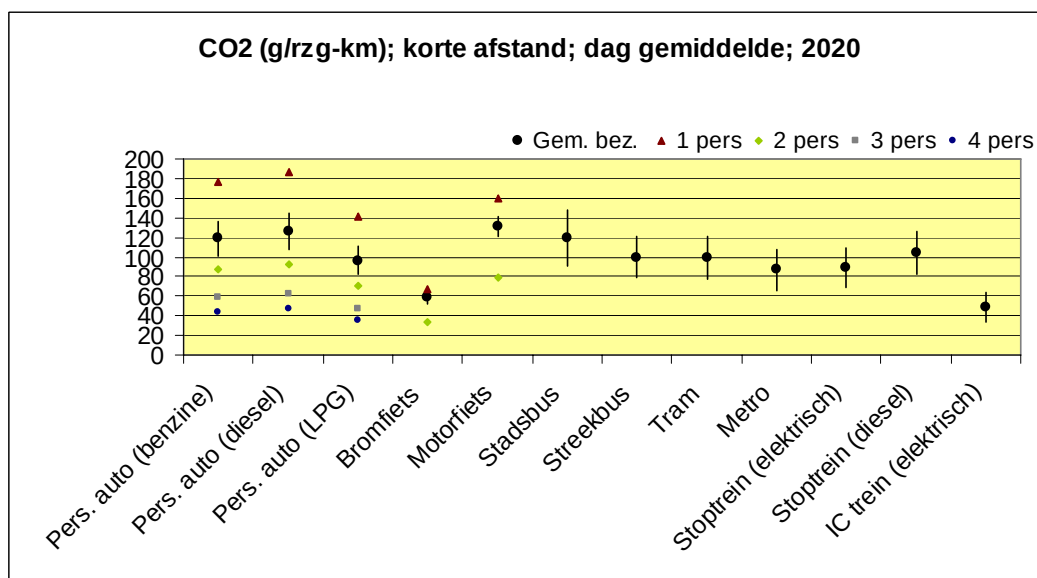


Figuur 35 Case 1c; Korte afstand; daggemiddeld; 2010

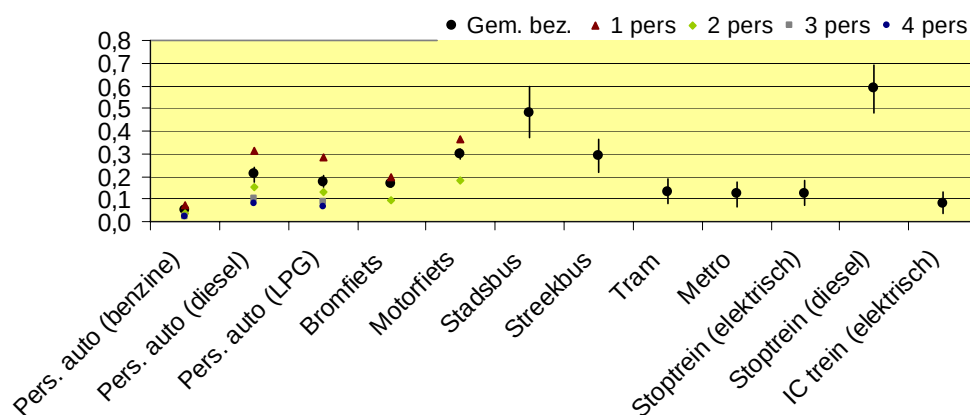


Voor figuren CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport

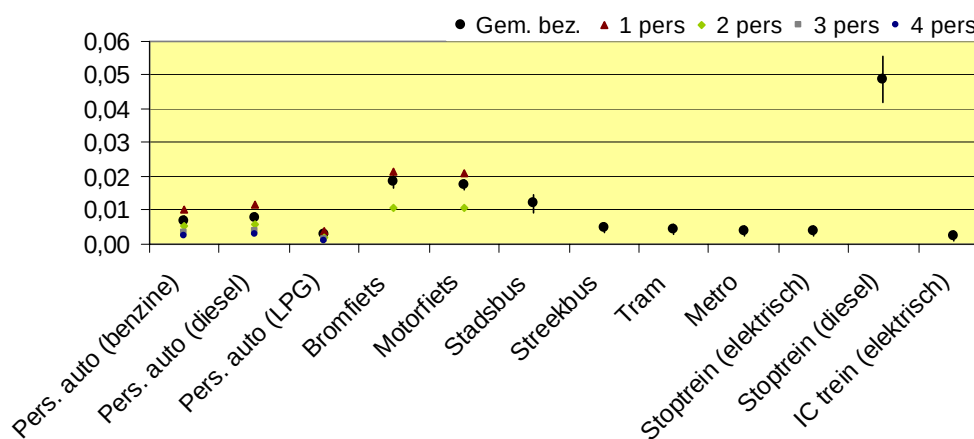
Figuur 36 Case 1c; Korte afstand; daggemiddeld; 2020



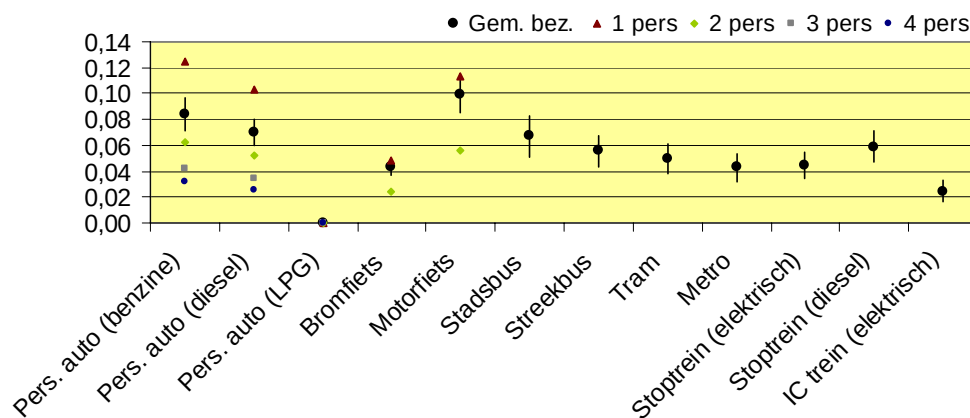
NOx (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2020



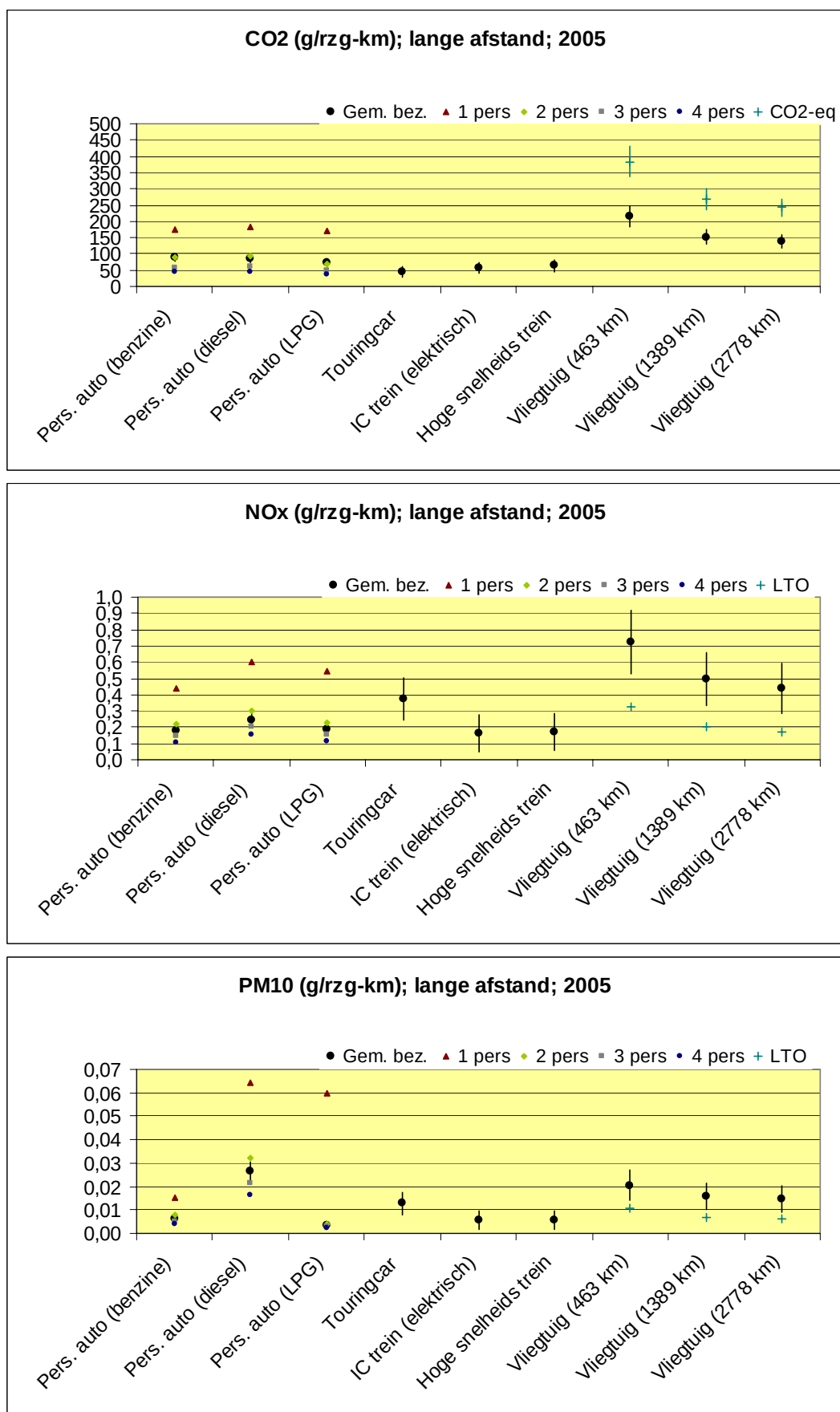
PM10 (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2020

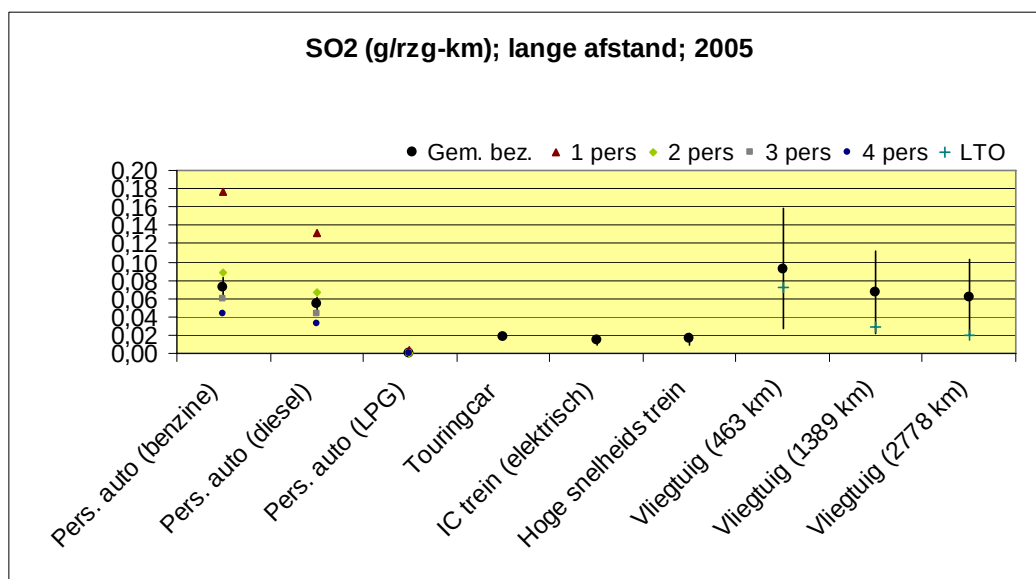


SO2 (g/rzg-km); korte afstand; dag gemiddelde; 2020

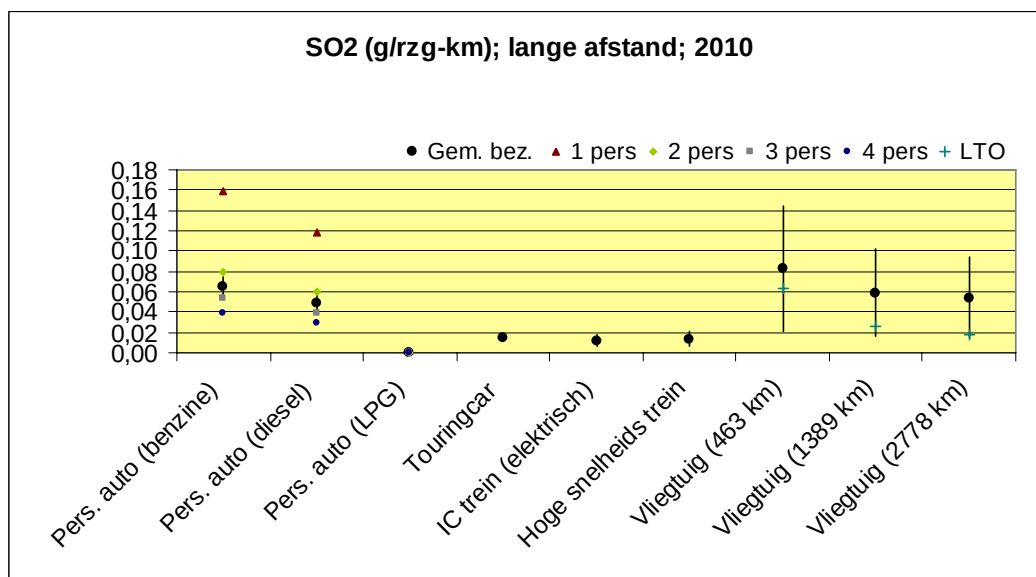


Figuur 37 Case 2; Lange afstand; daggemiddeld; 2005



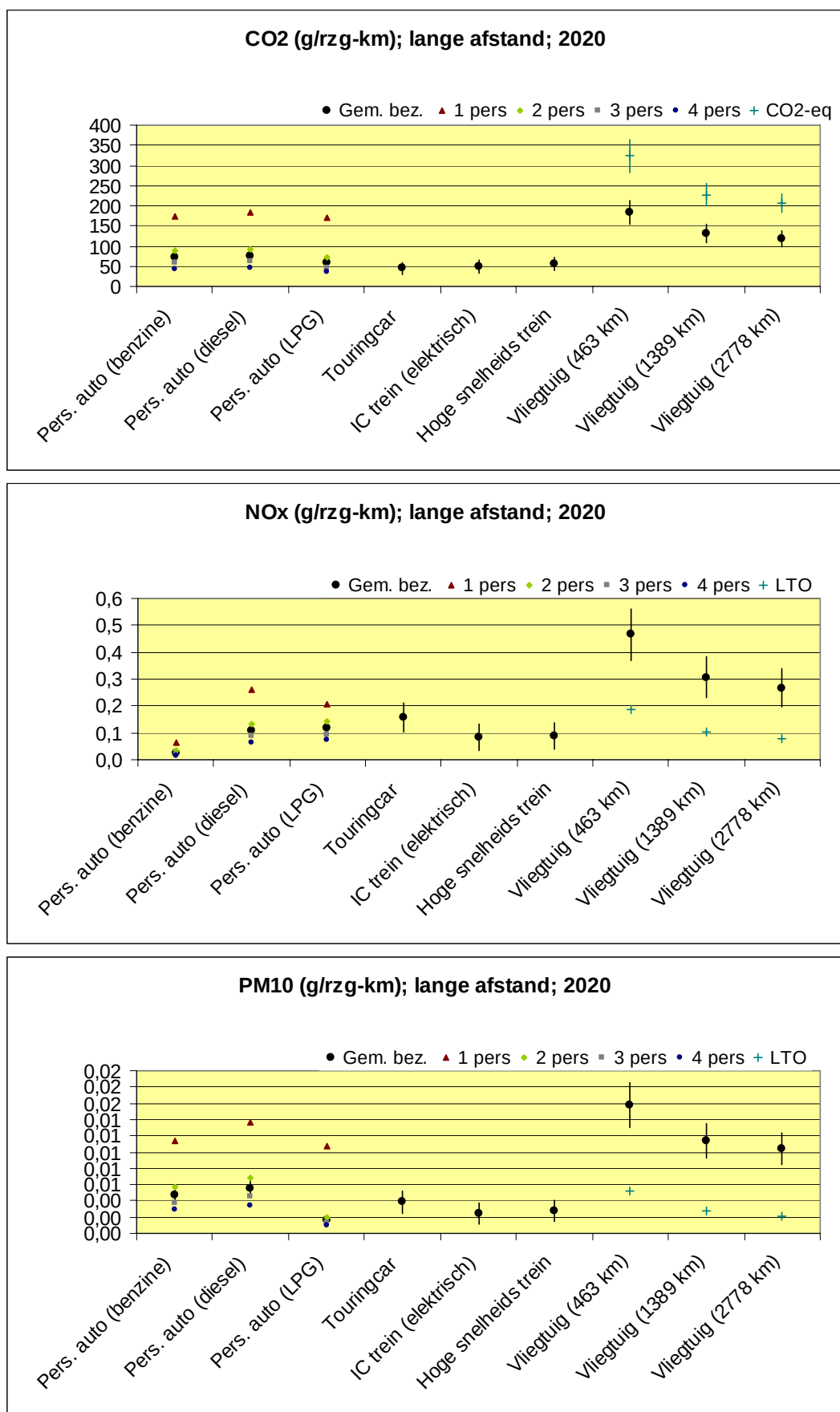


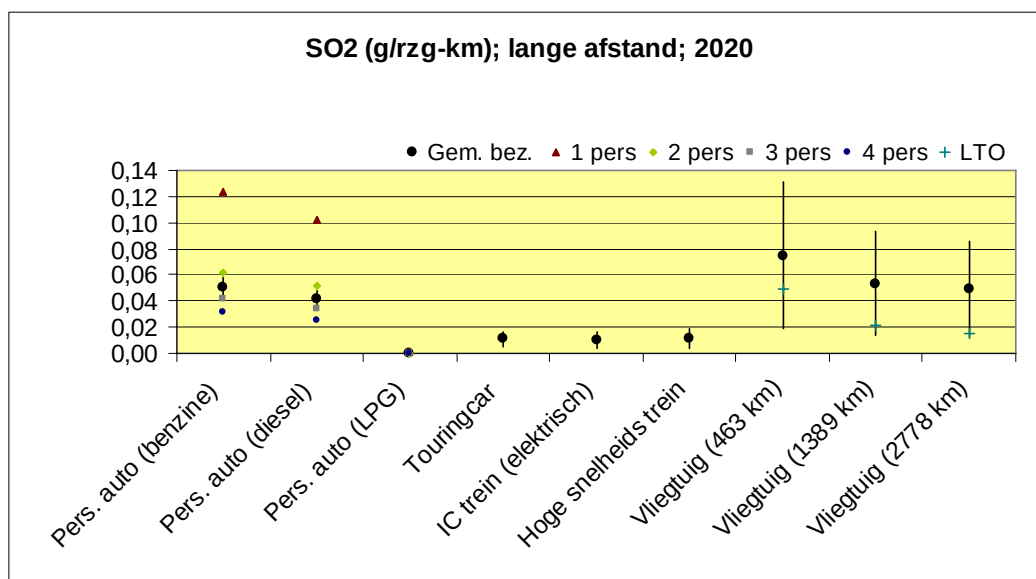
Figuur 38 Case 2; Lange afstand; daggemiddeld; 2010



Voor figuren CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

Figuur 39 Case 2; Lange afstand; daggemiddeld; 2020





H Invoerdata en resultaten cases goederenvervoer

H.1 Tabellen

Tabel 66 Vrachtauto's korte afstand

Vrachtauto's Korte afstand		Best case								Worst case							
		Omweg- percentage	Voor- en natransport	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en natransport	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	ton	g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km	%	%	%		g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km
2005	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton	0%	0%	50%	23	97	0,94	0,022	0,063	0%	0%	50%	17	132	1,27	0,030	0,085
	Trekker met oplegger			59%	23	69	0,65	0,014	0,045			59%	17	94	0,87	0,020	0,061
	Container/non-bulk																
	Bestelauto			61%	0,6	815	3,00	0,29	0,527			61%	0,5	1103	4,06	0,40	0,713
	Vrachtauto 3,5-10 ton			74%	1,7	409	4,06	0,15	0,264			74%	1,2	553	5,49	0,20	0,357
	Vrachtauto 10-20 ton			73%	4,2	252	2,63	0,073	0,163			73%	3,1	341	3,56	0,098	0,220
2010	Vrachtauto >20 ton			67%	12	112	1,08	0,025	0,072			67%	9	151	1,46	0,034	0,098
	Trekker met oplegger			87%	12	85	0,79	0,018	0,055			87%	9	114	1,06	0,024	0,074
	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton			50%	23	97	0,67	0,015	0,060			50%	17	132	0,90	0,020	0,082
	Trekker met oplegger			59%	23	69	0,47	0,010	0,043			59%	17	94	0,64	0,013	0,058
	Container/non-bulk																
	Bestelauto			61%	0,6	534	1,72	0,129	0,330			61%	0,5	722	2,33	0,175	0,446
2020	Vrachtauto 3,5-10 ton			74%	1,7	409	2,88	0,089	0,252			74%	1,2	553	3,90	0,121	0,342
	Vrachtauto 10-20 ton			73%	4,2	252	1,83	0,045	0,156			73%	3,1	341	2,48	0,061	0,211
	Vrachtauto >20 ton			67%	12	112	0,79	0,017	0,069			67%	9	151	1,07	0,023	0,094
	Trekker met oplegger			87%	12	85	0,61	0,012	0,052			87%	9	114	0,83	0,017	0,071
	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton			50%	23	97	0,25	0,006	0,056			50%	17	132	0,34	0,008	0,076
	Trekker met oplegger			59%	23	69	0,16	0,004	0,040			59%	17	94	0,22	0,005	0,054
2020	Container/non-bulk																
	Bestelauto			61%	0,6	501	0,74	0,029	0,288			61%	0,5	678	1,00	0,039	0,390
	Vrachtauto 3,5-10 ton			74%	1,7	409	1,64	0,038	0,235			74%	1,2	553	2,22	0,052	0,318
	Vrachtauto 10-20 ton			73%	4,2	252	0,83	0,019	0,145			73%	3,1	341	1,12	0,025	0,197
	Vrachtauto >20 ton			67%	12	112	0,29	0,007	0,065			67%	9	151	0,40	0,009	0,087
	Trekker met oplegger			87%	12	85	0,21	0,005	0,049			87%	9	114	0,28	0,007	0,066

Voor korte afstand is voor vrachtauto's van 3,5 tot 10 ton de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 30% stads-, 30% buiten- en 40% snelwegen, voor vrachtauto's van 10-20 ton: 20% stads-, 30% buiten- en 50% snelwegen, voor vrachtauto's >20 ton en trekkers met oplegger is de volgende verhouding aangenomen: 10% stads-, 30% buiten- en 60% snelwegen. Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 67 Vrachtauto's; lange afstand

Vrachtauto's Lange afstand		Best case								Worst case							
		Omweg- percentage	Voor- en natranspor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en na-transpor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	ton	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	%	%	%		g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km
2005	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton	0%	0%	50%	23	91	0,9	0,020	0,059	0%	0%	50%	17	123	1,2	0,027	0,08
	Trekker met oplegger			59%	23	63	0,59	0,013	0,041			59%	17	86	0,8	0,017	0,055
	Container/non-bulk																
	Vrachtauto >20 ton			67%	12	105	1,00	0,023	0,068			67%	9	142	1,4	0,031	0,092
	Trekker met oplegger			87%	12	77	0,72	0,016	0,050			87%	9	104	0,97	0,021	0,067
2010	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton			50%	23	91	0,62	0,013	0,056			50%	17	123	0,84	0,018	0,08
	Trekker met oplegger			59%	23	63	0,43	0,009	0,039			59%	17	86	0,58	0,012	0,053
	Container/non-bulk																
	Vrachtauto >20 ton			67%	12	105	0,73	0,016	0,065			67%	9	142	0,99	0,021	0,088
	Trekker met oplegger			87%	12	77	0,56	0,011	0,048			87%	9	104	0,75	0,015	0,065
2020	Bulk																
	Vrachtauto >20 ton			50%	23	91	0,23	0,005	0,053			50%	17	123	0,31	0,0071	0,07
	Trekker met oplegger			59%	23	63	0,15	0,003	0,037			59%	17	86	0,20	0,0047	0,049
	Container/non-bulk																
	Vrachtauto >20 ton			67%	12	105	0,27	0,006	0,060			67%	9	142	0,37	0,0083	0,082
	Trekker met oplegger			87%	12	77	0,19	0,004	0,045			87%	9	104	0,25	0,0059	0,060

Voor lange afstand is voor vrachtauto's >10 ton en trekkers met oplegger de volgende verhouding tussen wegtypen aangenomen: 5% stads-, 10% buiten- en 85% snelwegen.

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 68

Treinen

Treinen		Best case								Worst case							
		Omweg- percentage	Voor- en na-transport	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en na-transport	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	ton	g/ton- km	g/ton- km	g/ton-km	g/ton- km	%	%	%		g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km
2005	Bulk																
	Elektrisch	0%	0%	50%	100%	19,6	0,015	0,00006	0,0037	20%	10%	50%	85%	35,5	0,09	0,0021	0,0099
	Diesel					23,9	0,392	0,0080	0,0249					41,9	0,64	0,014	0,041
2010	Container																
	Elektrisch	0%	0%	98%	100%	14,8	0,012	0,00005	0,0028	20%	10%	98%	74%	32,3	0,12	0,0031	0,011
	Diesel					19	0,308	0,0063	0,020					38,1	0,55	0,012	0,036
2020	Bulk																
	Elektrisch	0%	0%	50%	100%	18,5	0,011	0,00006	0,0035	20%	10%	50%	85%	79,9	0,028	0,0013	0,0375
	Diesel					22,6	0,402	0,0071	0,0140					85,9	0,60	0,0117	0,0528
2020	Container																
	Elektrisch	0%	0%	98%	100%	14,0	0,008	0,00004	0,0027	20%	10%	98%	74%	65,4	0,023	0,0011	0,0314
	Diesel					17,8	0,315	0,0056	0,0110					70,9	0,47	0,0092	0,0435
2020	Bulk																
	Elektrisch	0%	0%	50%	100%	18,0	0,010	0,00006	0,0034	20%	10%	50%	85%	79,2	0,026	0,0013	0,0351
	Diesel					22,0	0,283	0,0051	0,0127					85,1	0,42	0,0087	0,0486
2020	Container																
	Elektrisch	0%	0%	98%	100%	13,6	0,008	0,00004	0,0026	20%	10%	98%	74%	64,9	0,021	0,0011	0,0294
	Diesel					17,3	0,222	0,0040	0,0099					70,2	0,33	0,0069	0,0401

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 69 Binnenvaart

Binnenvaart		Best case								Worst case							
		Omweg- percentage	Voor- en na-transpor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en na-transpor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	ton	g/ton- km	g/ton- km	g/ton-km	g/ton- km	%	%	%		g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km
2005	Bulk																
	Spits	0%	0%	78%	265	62	0,77	0,036	0,073	20%	10%	78%	196	99	1,21	0,055	0,112
	Kempenaar				416	62	0,77	0,036	0,073				307	99	1,21	0,055	0,112
	Rhine Herne Canal ship				1.021	58	0,73	0,034	0,069				754	94	1,15	0,052	0,106
	Koppolverband				4.158	23	0,28	0,013	0,027				3.073	42	0,50	0,022	0,045
	Four barges convoy set				9.071	15	0,19	0,009	0,018				6.705	31	0,37	0,016	0,032
	Container																
	Neo Kemp	0%	0%	98%	24	57	0,71	0,033	0,067	20%	10%	98%	18	129	1,50	0,064	0,127
	Rhine Herne Canal ship				72	46	0,58	0,027	0,054				53	113	1,31	0,065	0,109
	Container ship (Rhine)				150	35	0,43	0,020	0,041				111	97	1,10	0,045	0,090
	Container ship (JOWI class)				351	27	0,34	0,016	0,032				260	85	0,96	0,039	0,076
2010	Bulk																
	Spits	0%	0%	78%	265	52	0,61	0,028	0,033	20%	10%	78%	196	85	0,96	0,042	0,053
	Kempenaar				416	50	0,59	0,027	0,031				307	82	0,93	0,041	0,052
	Rhine Herne Canal ship				1.021	43	0,51	0,023	0,027				754	72	0,81	0,035	0,045
	Koppolverband				4.158	22	0,26	0,012	0,014				3.073	41	0,44	0,019	0,026
	Four barges convoy set				9.071	15	0,18	0,008	0,009				6.705	30	0,32	0,013	0,019
	Container																
	Neo Kemp	0%	0%	98%	24	36	0,43	0,020	0,023	20%	10%	98%	18	99	0,64	0,030	0,061
	Rhine Herne Canal ship				72	44	0,52	0,024	0,028				53	111	0,78	0,036	0,069
	Container ship (Rhine)				150	33	0,40	0,018	0,021				111	95	0,59	0,027	0,059
	Container ship (JOWI class)				351	26	0,31	0,014	0,016				260	84	0,46	0,022	0,052
2020	Bulk																
	Spits	0%	0%	78%	265	49	0,46	0,019	0,029	20%	10%	78%	196	81	0,70	0,029	0,047
	Kempenaar				416	48	0,45	0,019	0,028				307	78	0,68	0,028	0,046
	Rhine Herne Canal ship				1.021	41	0,39	0,016	0,024				754	69	0,59	0,024	0,040
	Koppolverband				4.158	21	0,20	0,006	0,012				3.073	39	0,31	0,012	0,023
	Four barges convoy set				9.071	14	0,13	0,006	0,008				6.705	29	0,22	0,009	0,017
	Container																
	Neo Kemp	0%	0%	98%	24	34	0,32	0,013	0,020	20%	10%	98%	18	96	0,48	0,021	0,055
	Rhine Herne Canal ship				72	42	0,39	0,016	0,024				53	107	0,59	0,025	0,062
	Container ship (Rhine)	0%	0%		150	32	0,30	0,012	0,018				111	92	0,44	0,019	0,063
	Container ship (JOWI class)				351	25	0,23	0,010	0,014				260	82	0,35	0,015	0,047

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

Tabel 70 Zeescheepvaart

Zeescheepvaart		Best case								Worst case							
		Omweg- percentage	Voor- en nat- ranspor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en na- transpor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
		%	%	%	ton	g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton-km	g/ton- -km	%	%	%		g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km	g/ton- -km
2005	Droge bulk	-40%	0%	50%						40%	10%	50%					
	1300 GT				1.044	37	0,70	0,053	0,40				772	111	2,1	0,15	1,1
	5800 GT				4.562	13	0,30	0,027	0,19				3.372	45	0,9	0,078	0,55
	20000 GT				17.262	6,0	0,15	0,012	0,083				12.759	24	0,50	0,036	0,24
	45000 GT				45.475	2,9	0,19	0,014	0,037				33.612	15	0,61	0,041	0,11
	80000 GT				84.341	2,3	0,28	0,022	0,032				62.339	13	0,86	0,065	0,09
	Containers	-40%	0%	98%						40%	10%	98%					
	1300 GT				987	43	0,74	0,039	0,32				729	132	2,2	0,11	0,93
	5800 GT				3.961	21	0,36	0,016	0,14				2.928	70	1,1	0,047	0,40
	20000 GT				13.009	11	0,28	0,018	0,13				9.615	43	0,90	0,053	0,37
	45000 GT				28.025	9	0,23	0,018	0,12				20.714	37	0,76	0,054	0,36
	80000 GT				47.510	9	0,20	0,011	0,081				35.116	35	0,67	0,033	0,24
2010	Droge bulk	-40%	0%	50%						40%	10%	50%					
	1300 GT				1.044	37	0,68	0,032	0,19				772	111	2,0	0,093	0,54
	5800 GT				4.562	13	0,29	0,012	0,089				3.372	45	0,88	0,035	0,26
	20000 GT				17.262	6,0	0,15	0,012	0,083				12.759	24	0,46	0,035	0,24
	45000 GT				45.475	2,9	0,07	0,005	0,037				33.612	15	0,25	0,016	0,11
	80000 GT				84.341	2,3	0,06	0,005	0,032				62.339	13	0,20	0,014	0,09
	Containers	-40%	0%	98%						40%	10%	98%					
	1300 GT				987	41	0,72	0,055	0,15				729	128	2,1	0,16	0,44
	5800 GT				3.961	20	0,35	0,014	0,066				2.928	68	1,1	0,041	0,19
	20000 GT				13.009	11,1	0,27	0,017	0,12				9.615	42	0,84	0,050	0,36
	45000 GT				28.025	8,9	0,22	0,017	0,12				20.714	36	0,70	0,051	0,35
	80000 GT				47.510	8,4	0,19	0,010	0,079				35.116	34	0,62	0,031	0,23
2020	Droge bulk	-40%	0%	50%						40%	10%	50%					
	1300 GT				1.044		0,51	0,047	0,19				772	111	1,5	0,14	0,54
	5800 GT				4.562		0,22	0,024	0,088				3.372	45	0,65	0,069	0,26
	20000 GT				17.262		0,11	0,011	0,039				12.759	24	0,33	0,031	0,11
	45000 GT				45.475		0,05	0,005	0,017				33.612	15	0,17	0,014	0,05
	80000 GT				84.341		0,04	0,004	0,015				62.339	13	0,14	0,012	0,05
	Containers	-40%	0%	98%						40%	10%	98%					
	1300 GT				987		0,53	0,034	0,15				729	128	1,5	0,096	0,43
	5800 GT				3.961		0,26	0,014	0,065				2.928	68	0,75	0,039	0,19
	20000 GT				13.009		0,20	0,015	0,058				9.615	42	0,59	0,044	0,17
	45000 GT				28.025		0,16	0,016	0,056				20.714	36	0,49	0,045	0,16
	80000 GT				47.510		0,14	0,009	0,037				35.116	34	0,43	0,027	0,11

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie.

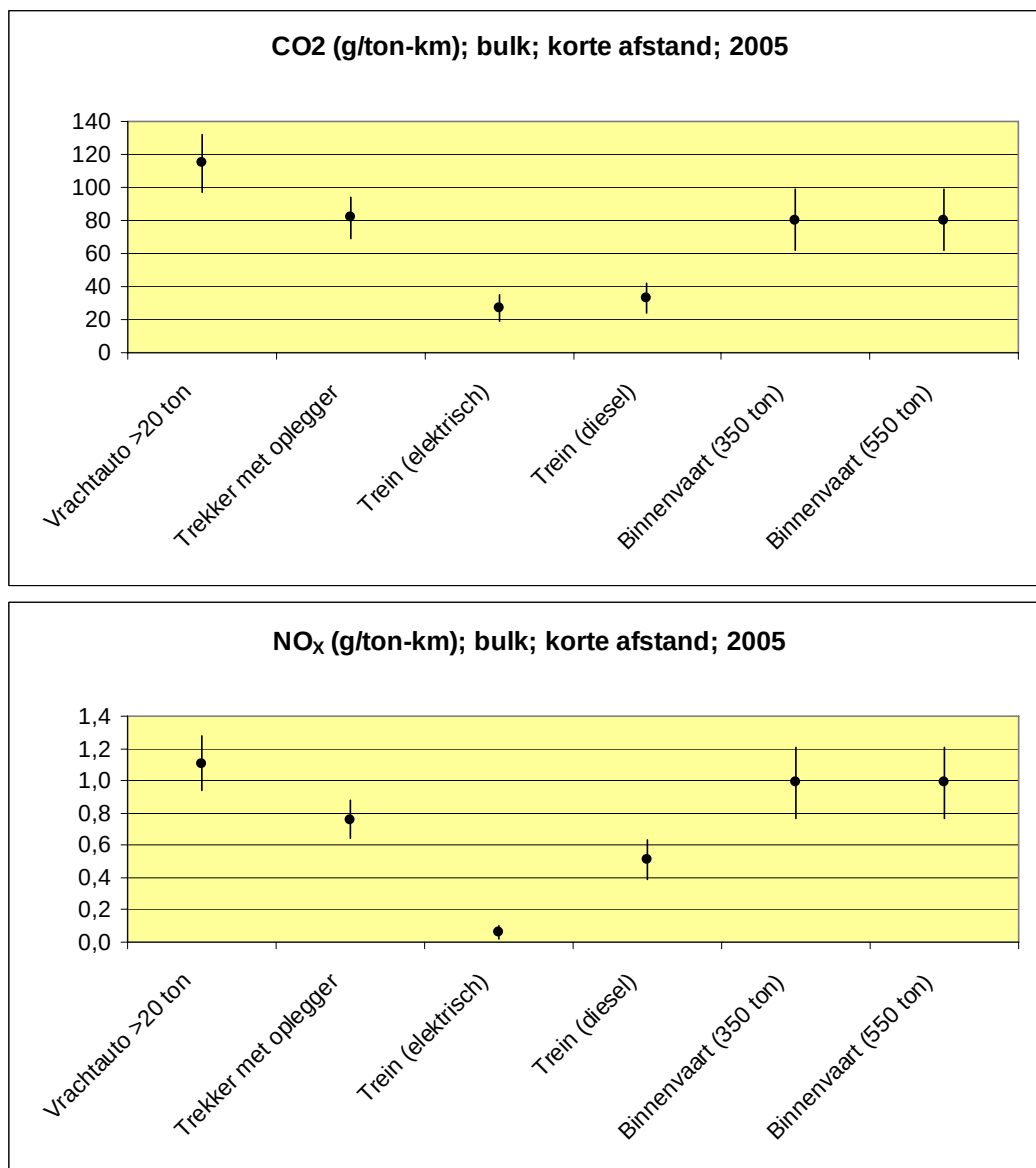
Tabel 71 Luchtvaart

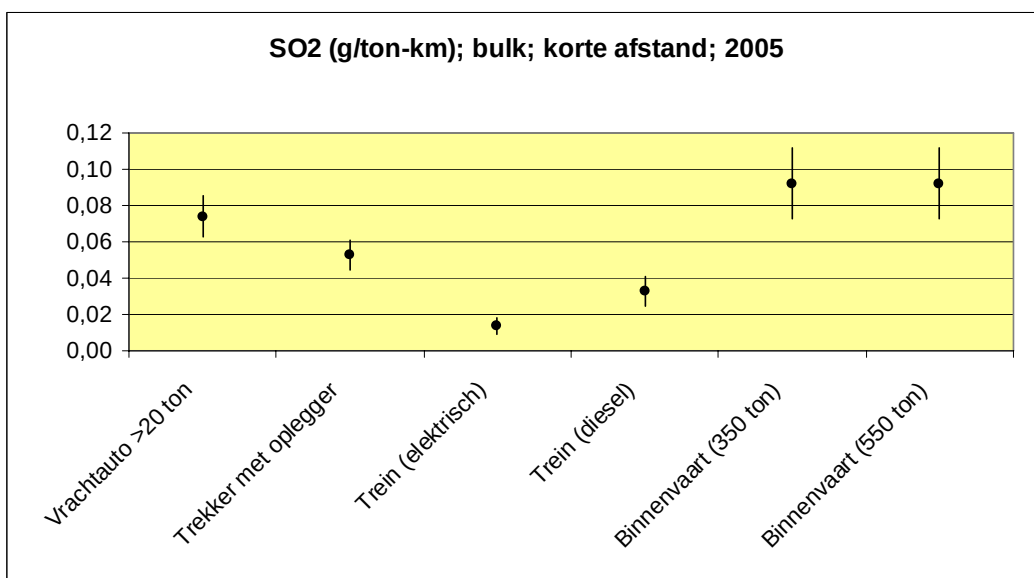
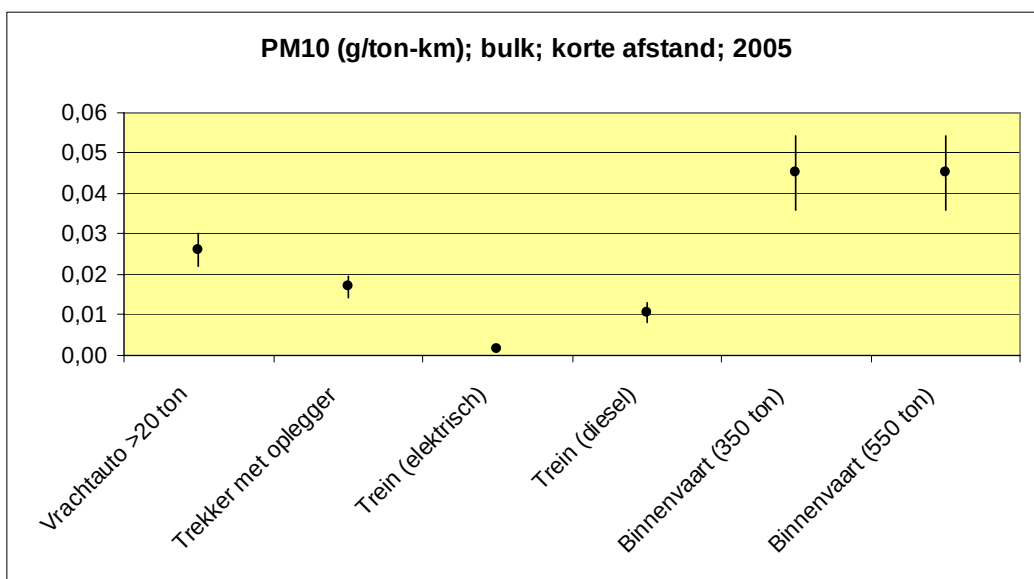
Luchtvaart		Afstand	Best case									Worst case								
			Omweg- percentage	Voor- en natranspor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	CO ₂ - eq	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	Omweg- percentage	Voor- en na-transpor	Produc- tieve km's	Belading	CO ₂	CO ₂ -eq	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
			%	%	%	ton	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	g/ton- km	%	%	%	%	g/ton- km	g/ton- km	g/to n- km	g/ton- km	g/ton- km
2005	Belly-hold cargo																			
	B737-400	2.778	0%	0%	100%	3,5	664	664	1,8	0,051	0,59	2%	20%	100%	2,6	747	747	2,2	0,061	747
	B747-400 pax	6.482				8,6	613	1.128	2,4	0,047	0,54		5%		6,4	807	1.482	3,2	0,063	807
	B747-400 pax	12.038				8,6	667	1.227	2,9	0,052	0,59		5%		6,4	877	1.612	3,8	0,069	877
	Vrachtvliegtuig																			
	B747 F	2.778	0%	0%	100%	90	463	852	1,9	0,036	0,41	2%	20%	100%	67	525	954	2,2	0,044	525
2010	Belly-hold cargo																			
	B737-400	2.778	0%	0%	100%	3,5	597	1.100	1,8	0,049	0,54	2%	20%	100%	2,6	673	1.228	2,1	0,056	673
	B747-400 pax	6.482				8,6	551	1.015	2,4	0,046	0,49		5%		6,4	726	1.334	3,2	0,060	726
	B747-400 pax	12.038				8,6	600	1.104	2,8	0,050	0,54		5%		6,4	790	1.451	3,7	0,065	790
	Vrachtvliegtuig																			
	B747 F	2.778	0%	0%	100%	90	416	766	1,7	0,034	0,37	2%	20%	100%	67	473	860	2,0	0,040	473
2020	Belly-hold cargo																			
	B737-400	2.778	0%	0%	100%	3,5	575	1.222	1,8	0,050	0,55	2%	20%	100%	2,6	648	1.363	2,0	0,056	648
	B747-400 pax	6.482				8,6	530	1.128	2,4	0,046	0,51		5%		6,4	698	1.482	3,2	0,060	698
	B747-400 pax	12.038				8,6	577	1.227	2,8	0,050	0,55		5%		6,4	760	1.612	3,7	0,066	760
	Vrachtvliegtuig																			
	B747 F	2.778				90	389	715	1,3	0,033	0,34	2%	20%	100%	67	443	804	1,5	0,037	443
	B747 F	6.482				90	376	693	1,7	0,032	0,33		5%		67	497	912	2,3	0,042	497
	B747 F	12.038				90	410	754	2,0	0,035	0,36		5%		67	540	992	2,7	0,046	540

Emissies zijn inclusief emissies tijdens raffinage en elektriciteitsproductie. CO₂-emissies zijn inclusief de klimaateffecten van non-CO₂-emissies.

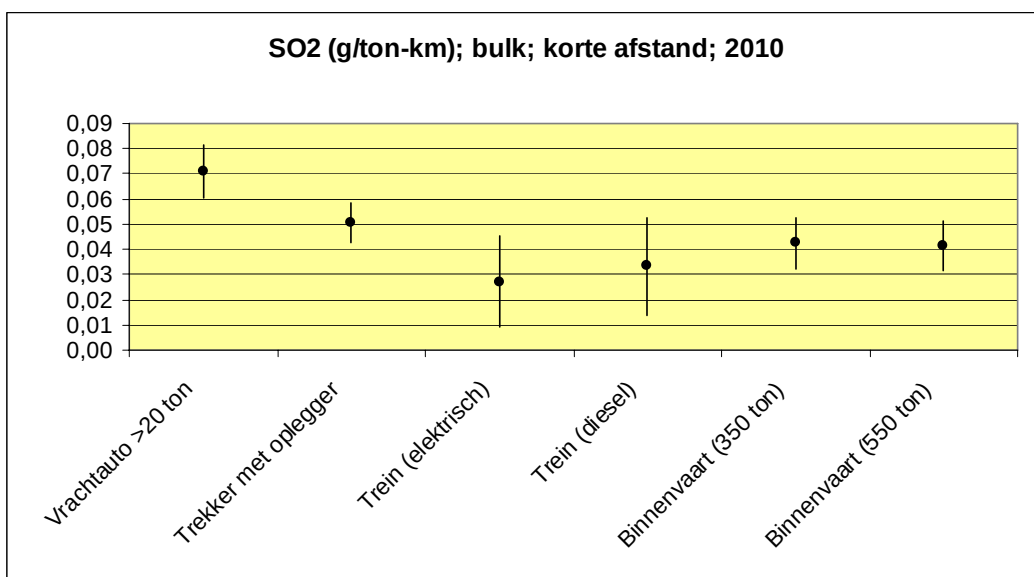
H.2 Figuren

Figuur 40 Case 1; Korte afstand, bulk, 2005



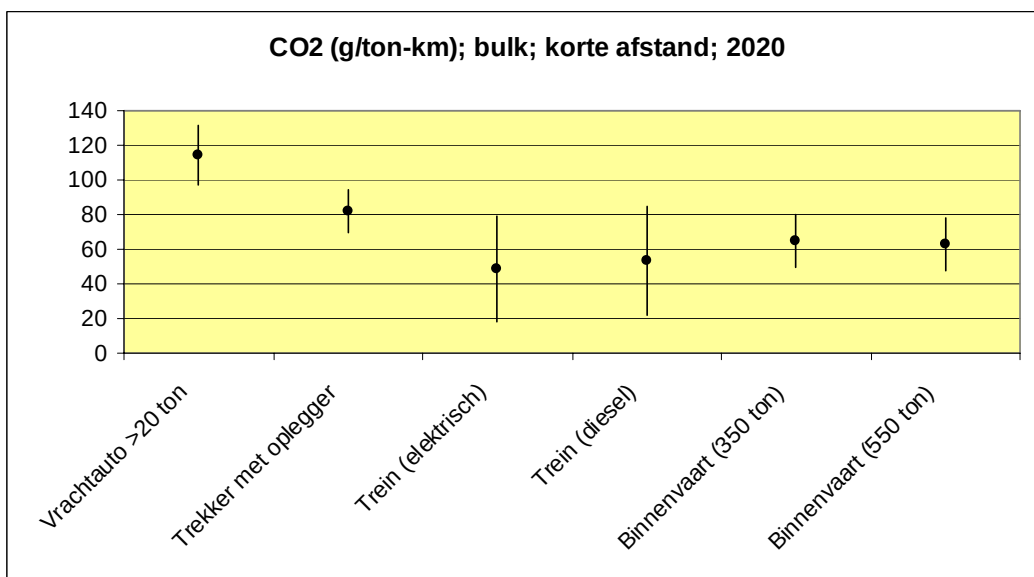


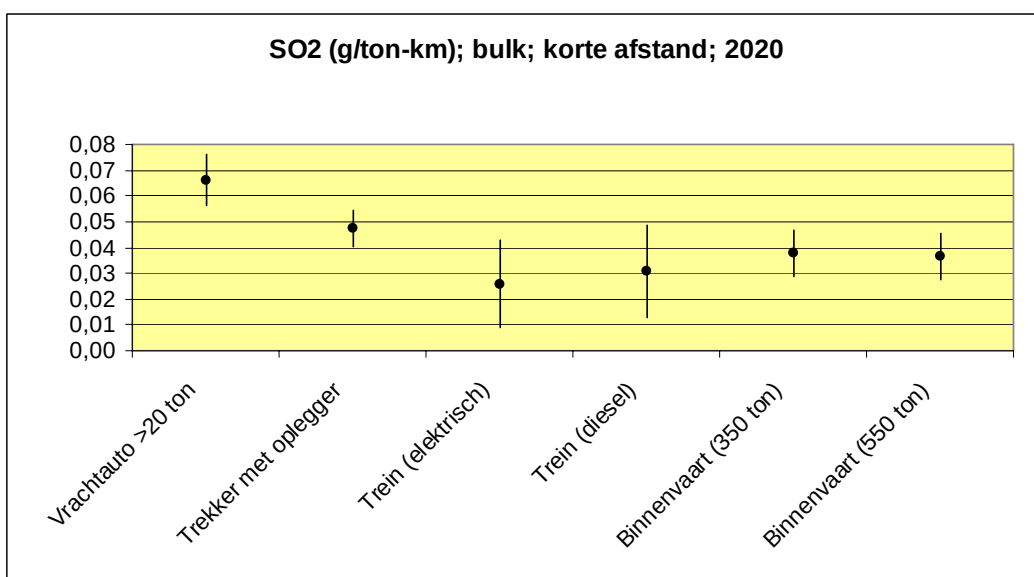
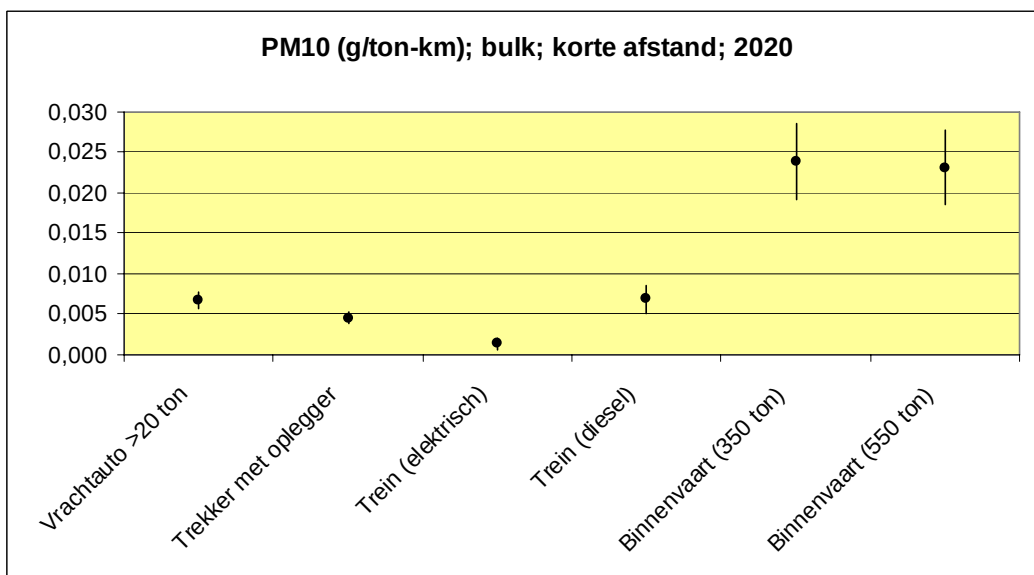
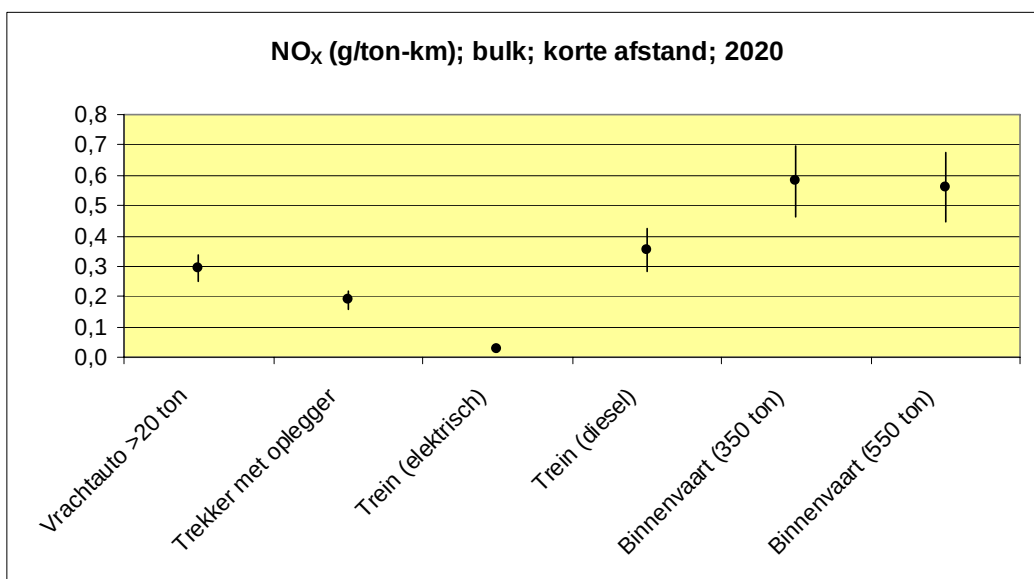
Figuur 41 Case 1; Korte afstand, bulk, 2010



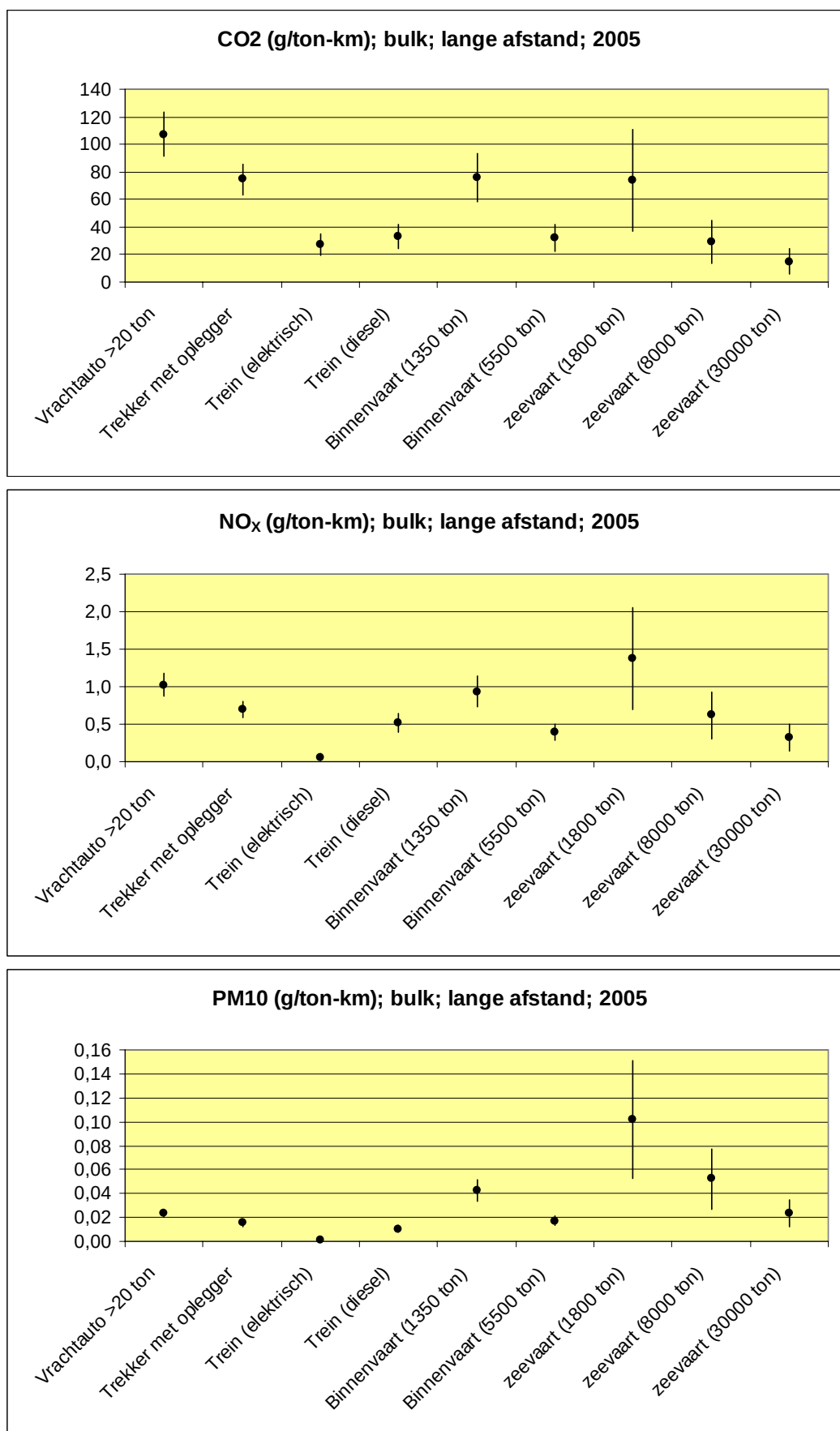
Voor CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

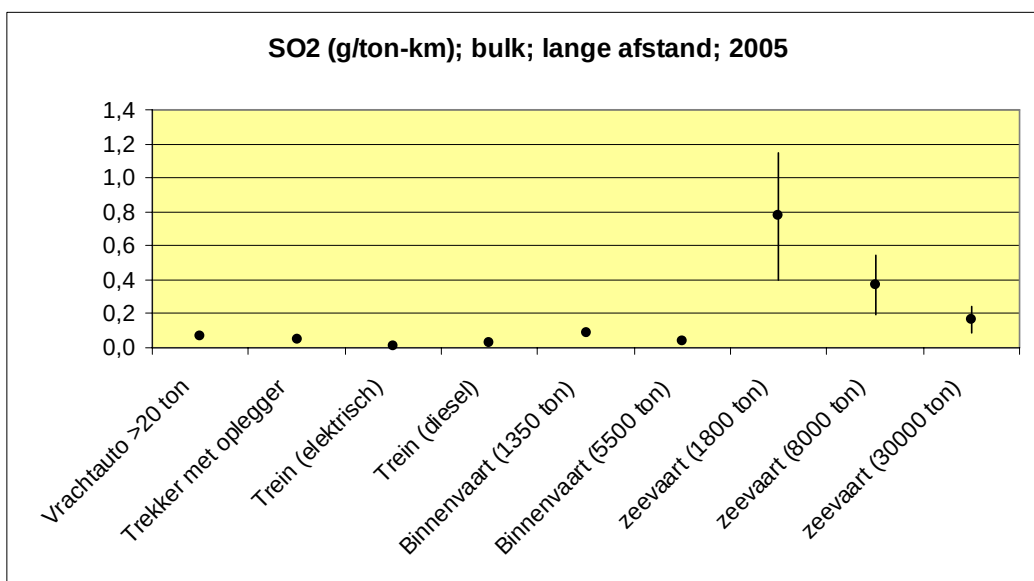
Figuur 42 Case 1; Korte afstand, bulk, 2020



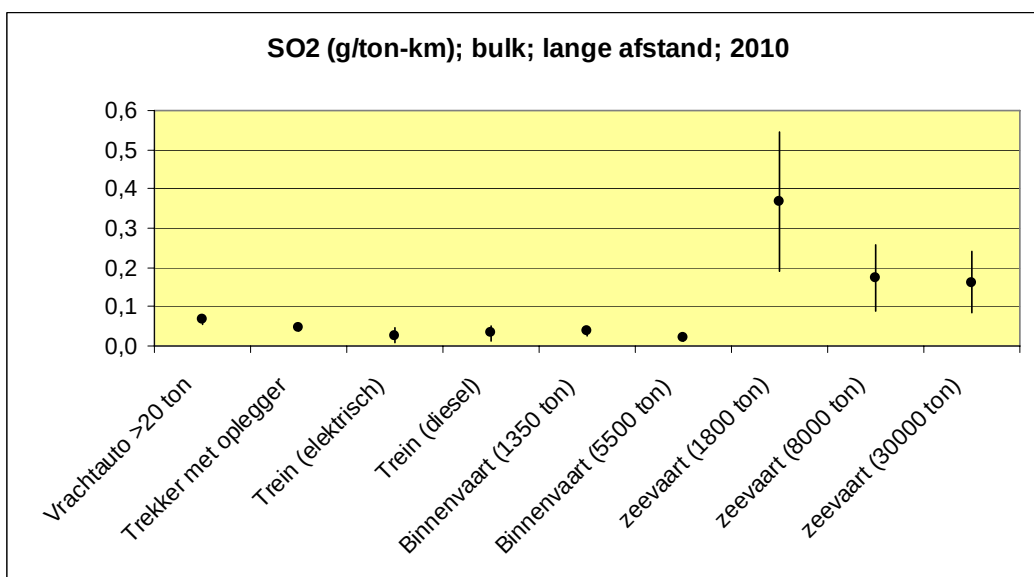


Figuur 43 Case 2; Lange afstand, bulk, 2005



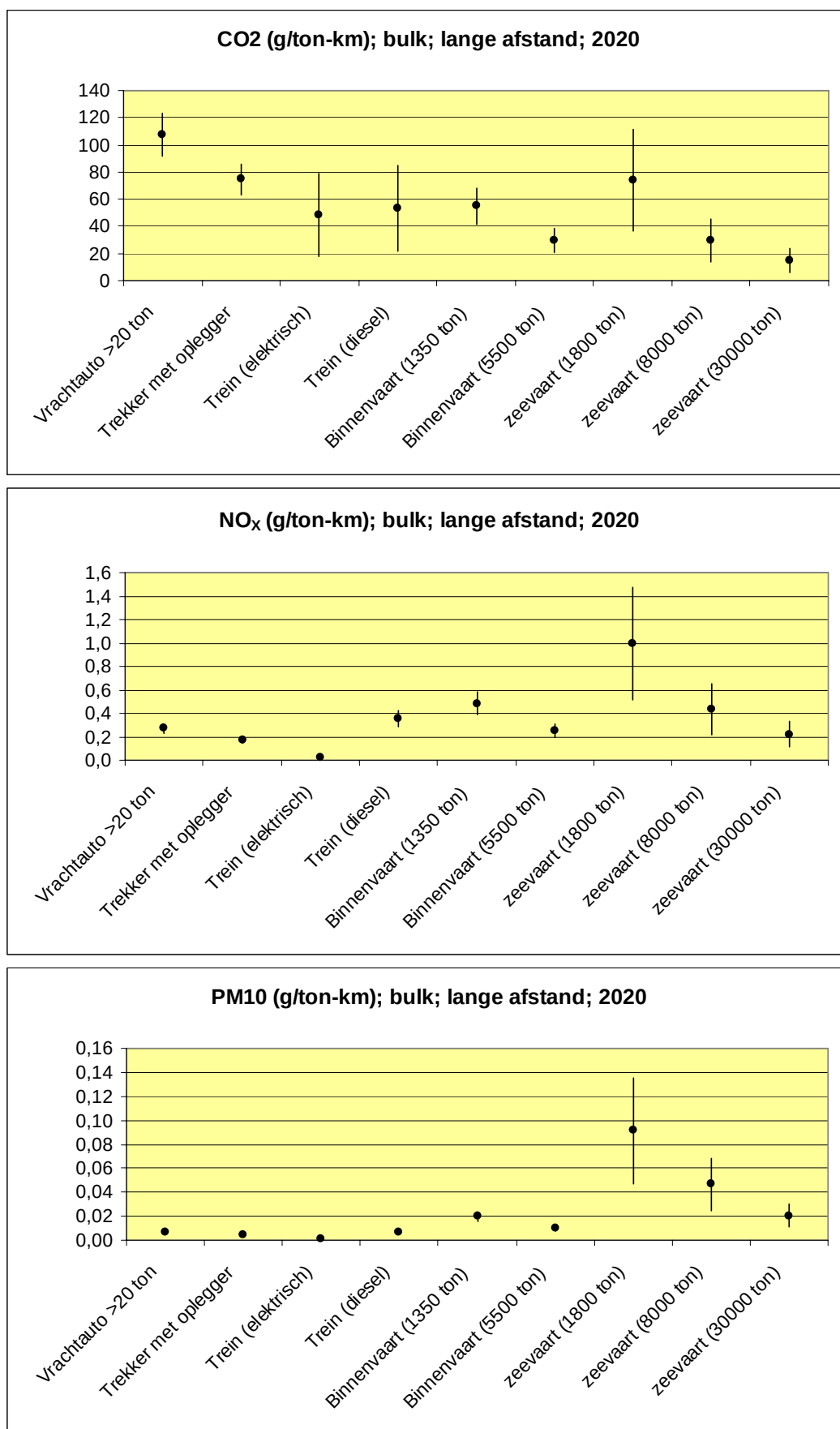


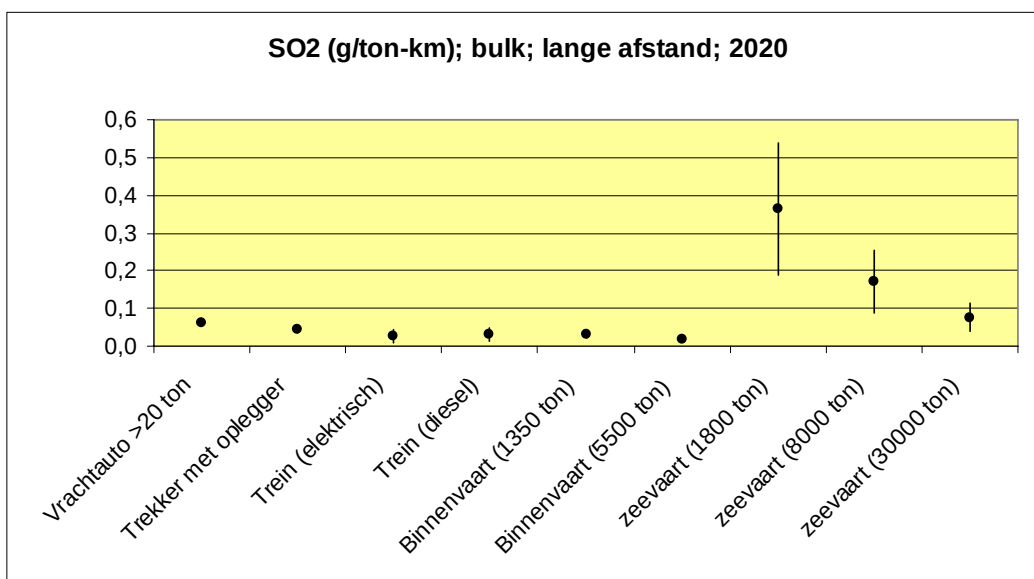
Figuur 44 Case 2; Lange afstand, bulk, 2010



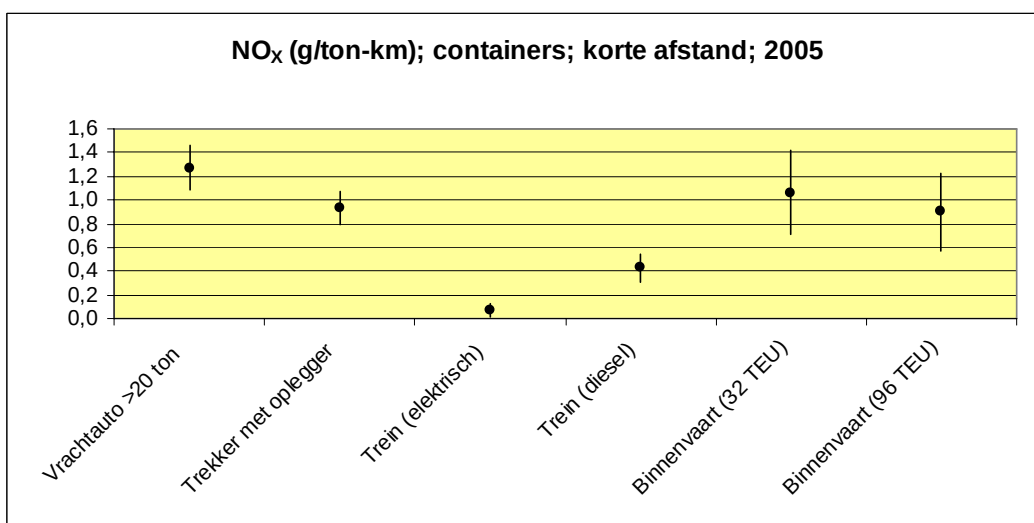
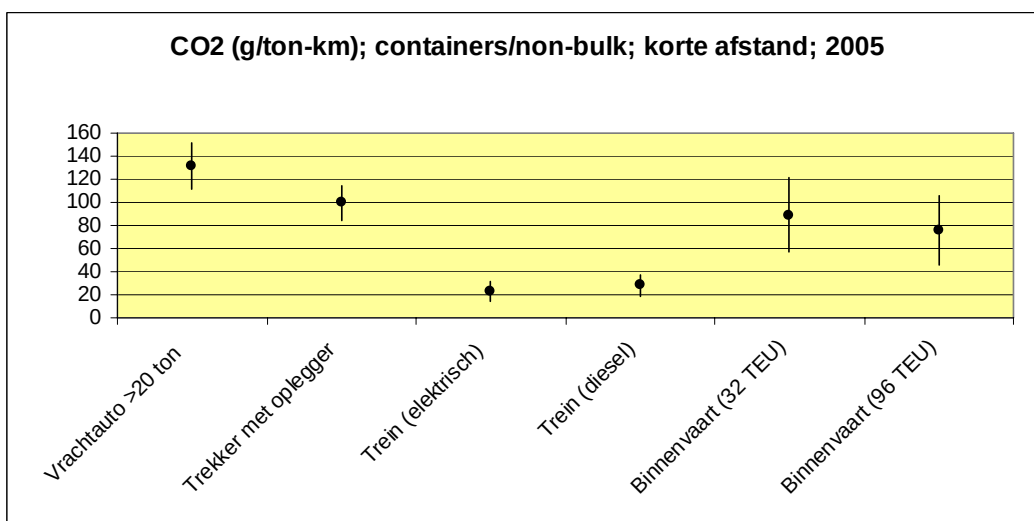
Voor CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

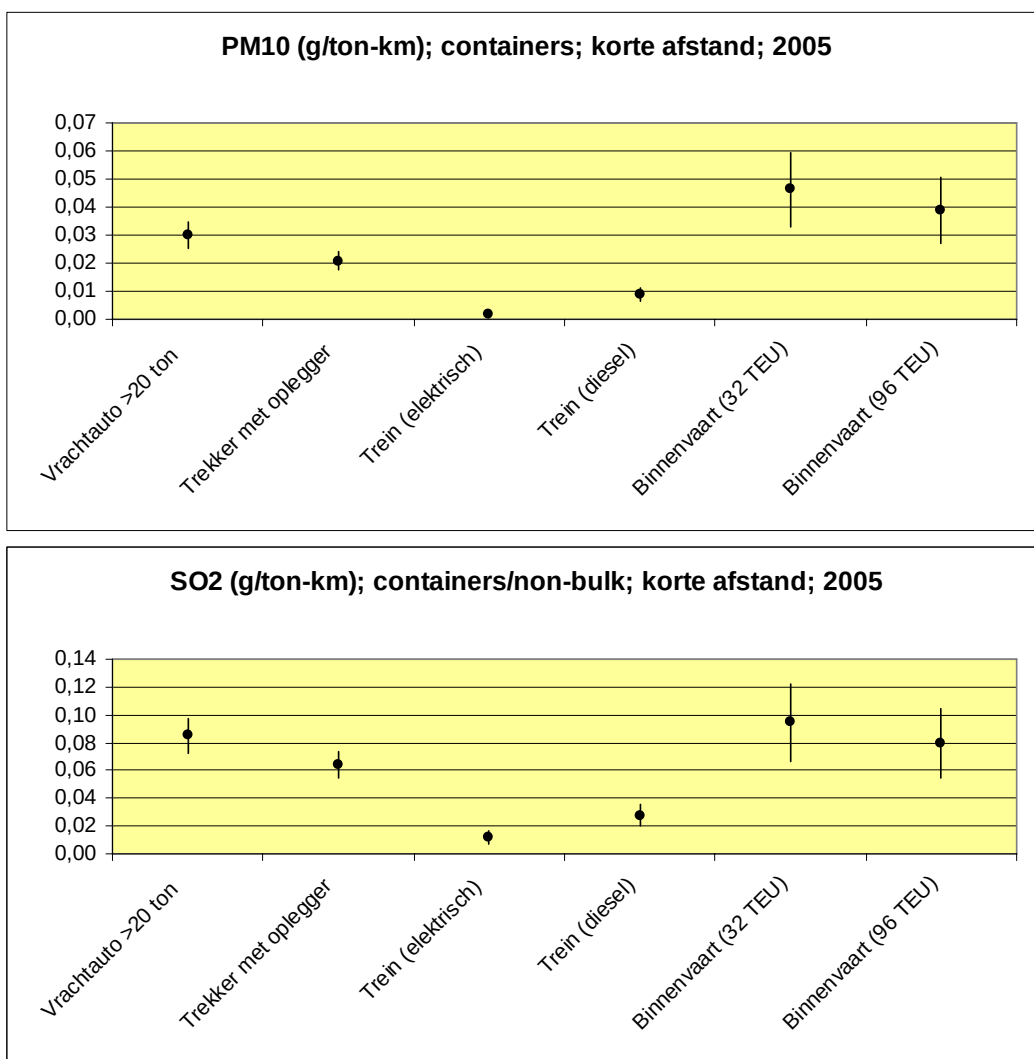
Figuur 45 Case 2; Lange afstand, bulk, 2020



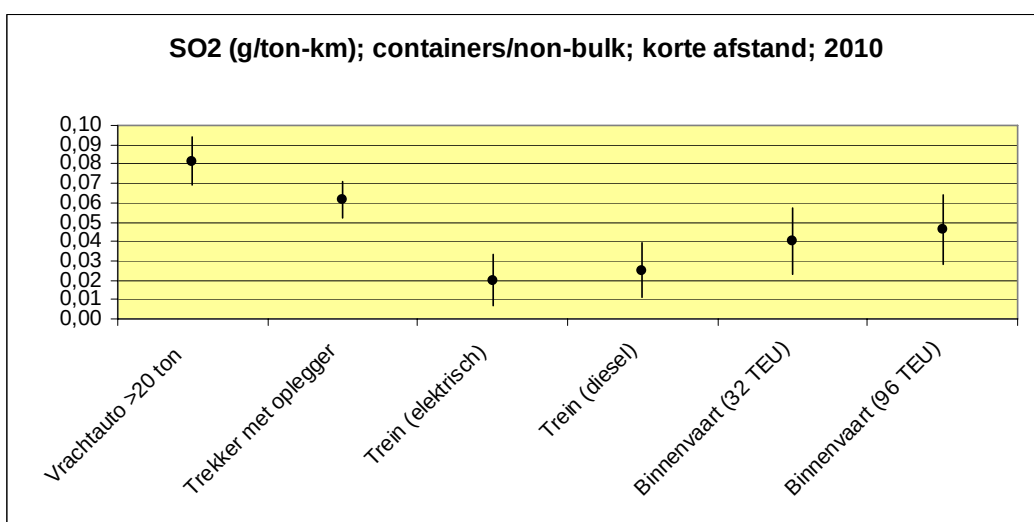


Figuur 46 Case 3; Korte afstand, containers/non-bulk, 2005



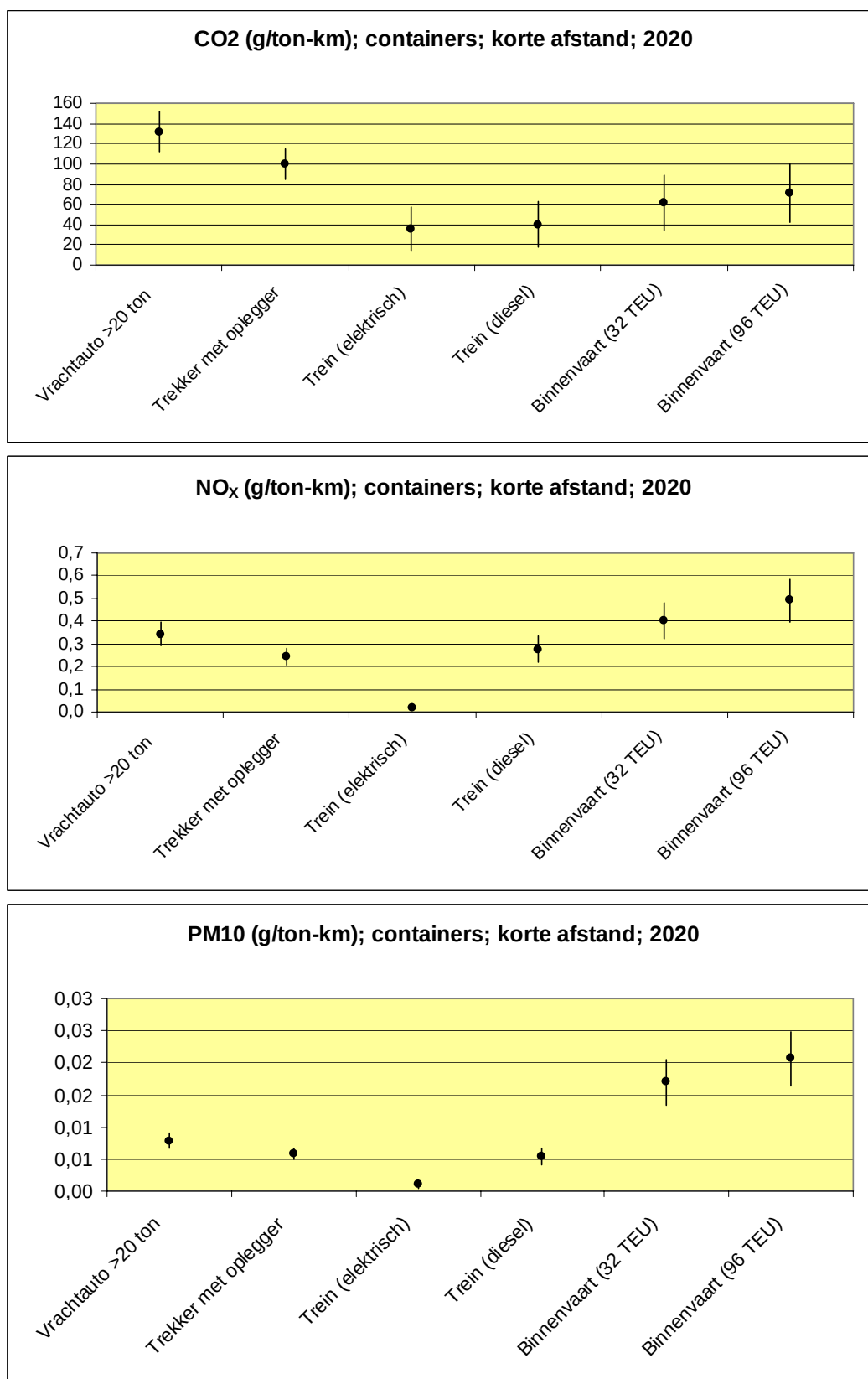


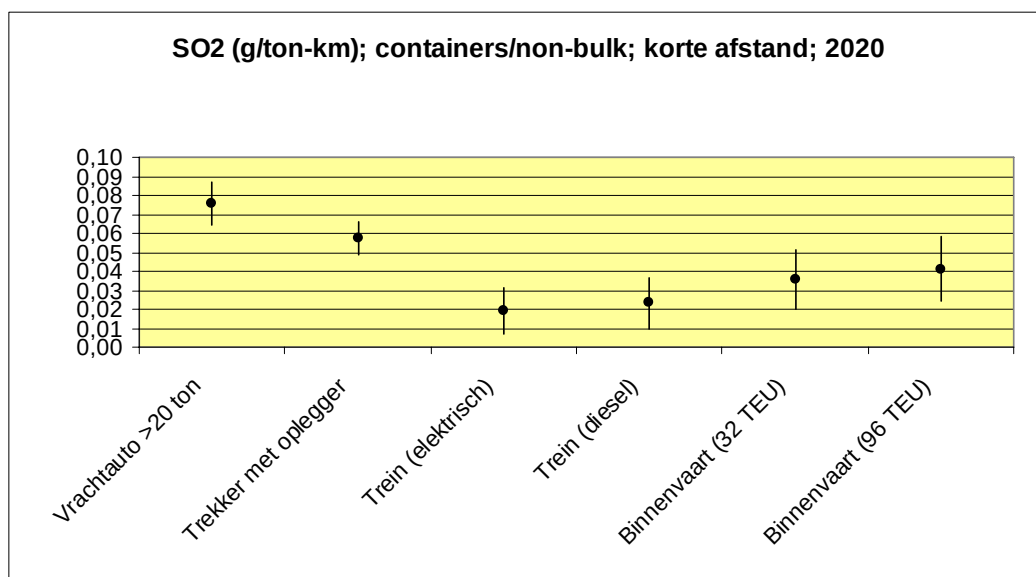
Figuur 47 Case 3; Korte afstand, containers/non-bulk, 2010



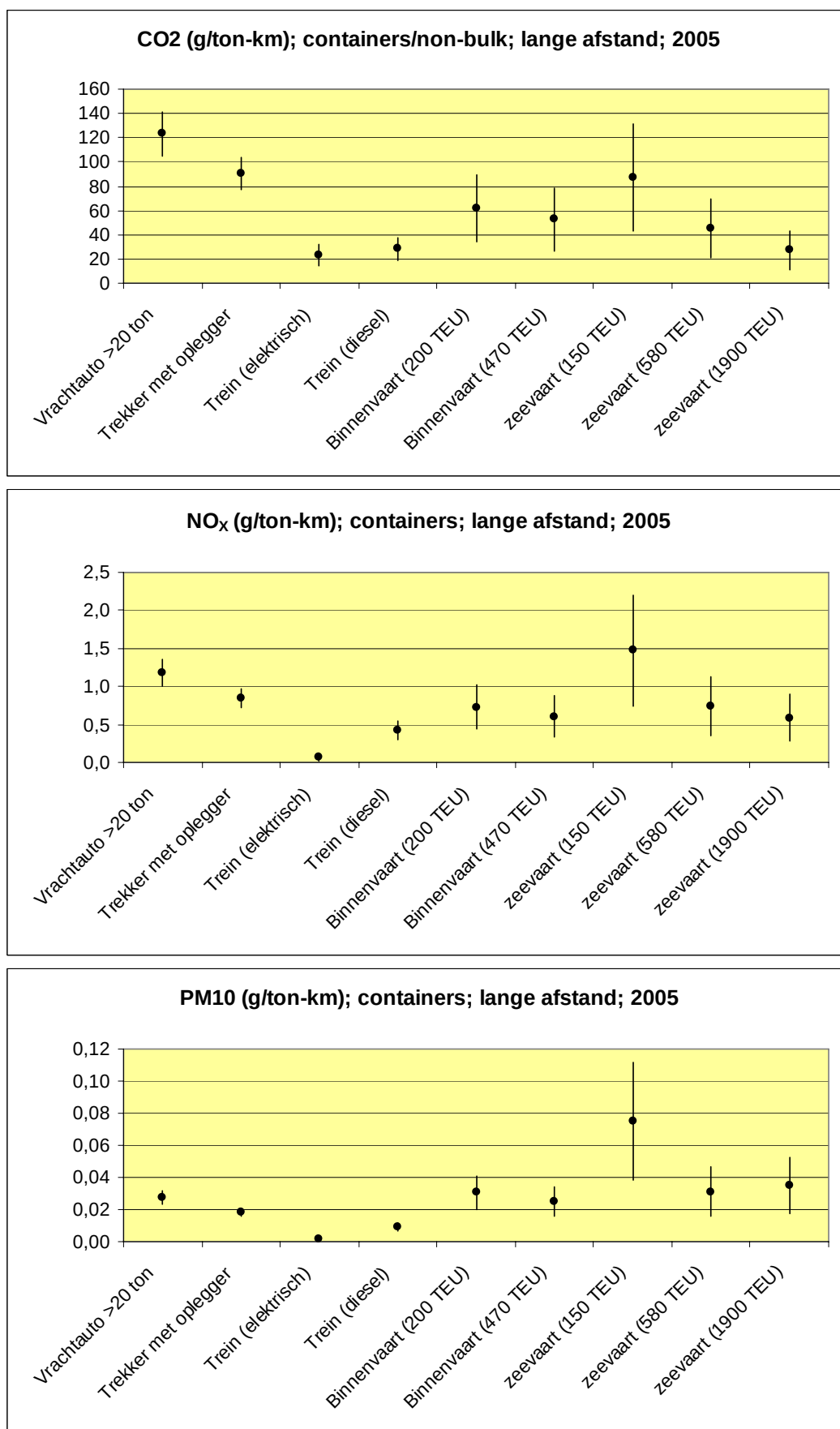
Voor CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

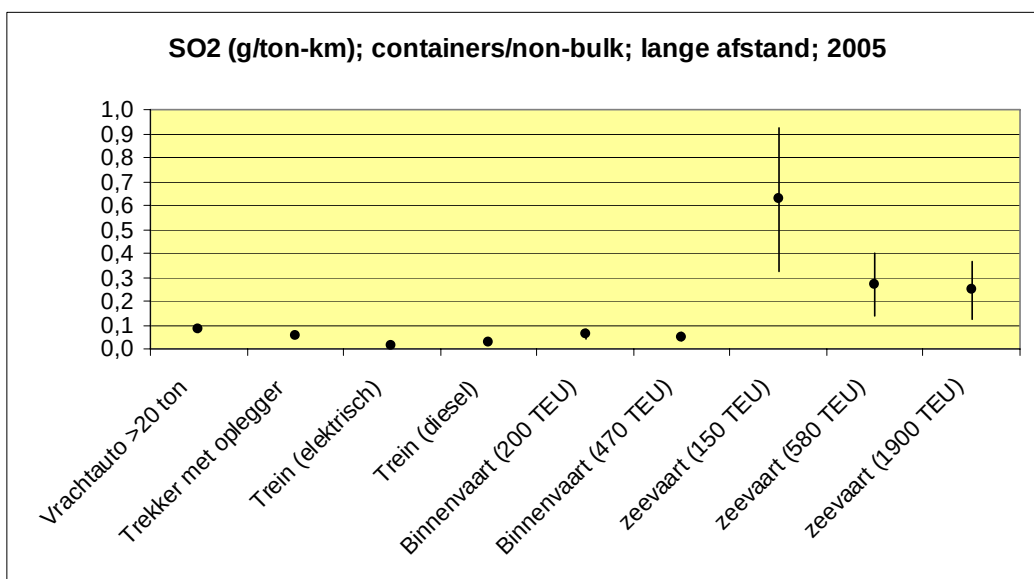
Figuur 48 Case 3; Korte afstand, containers/non-bulk, 2020



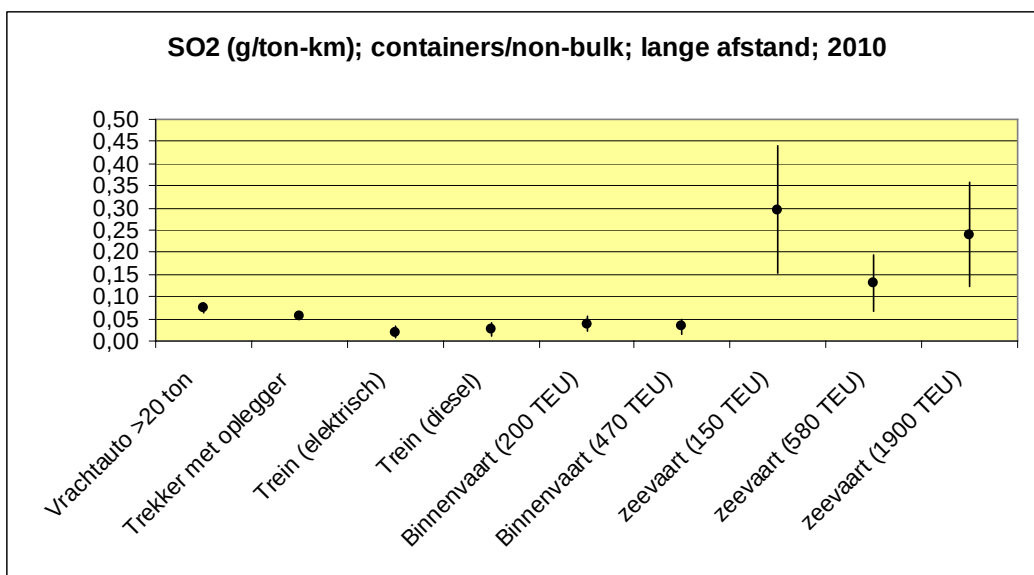


Figuur 49 Case 4; Lange afstand, containers/non-bulk, 2005



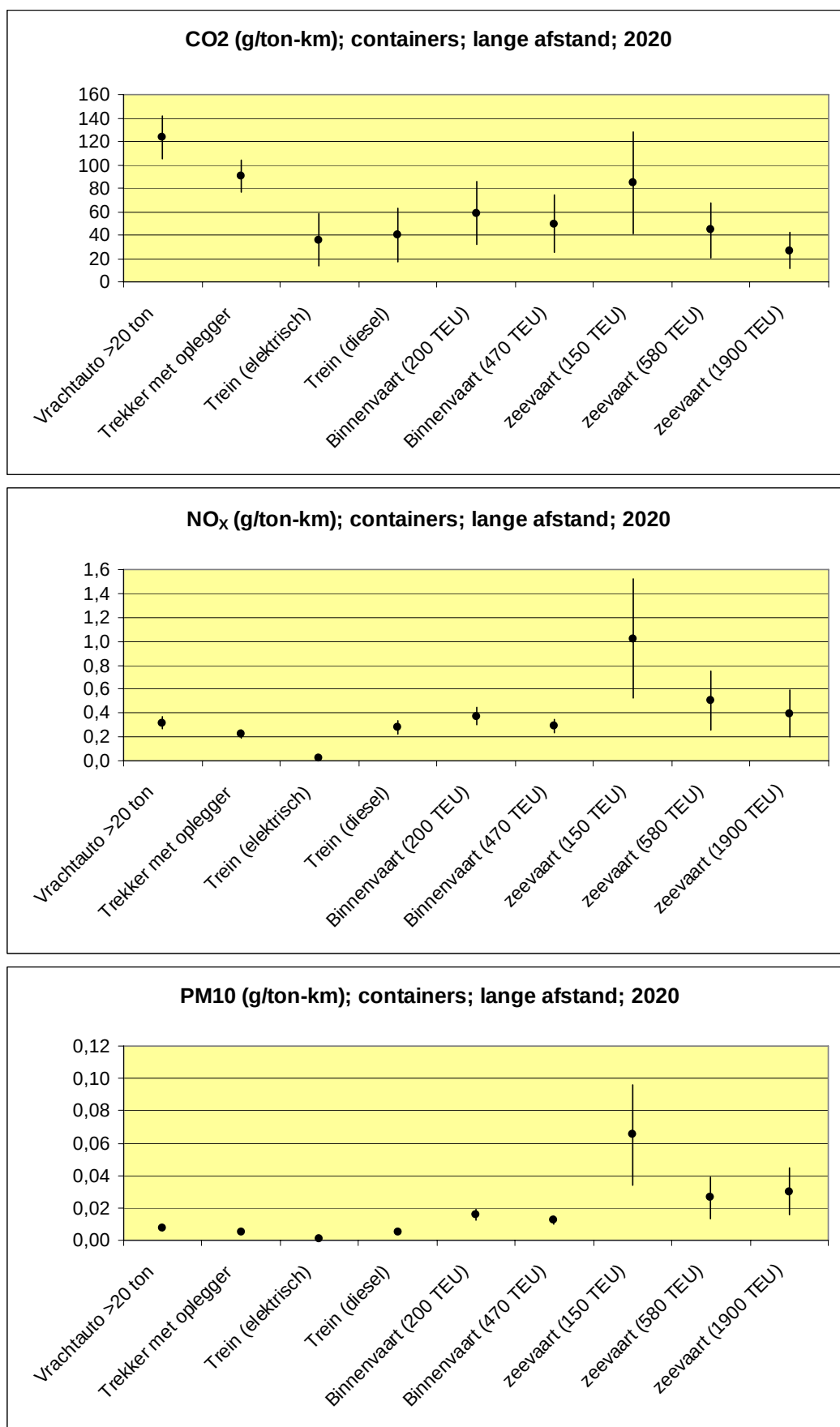


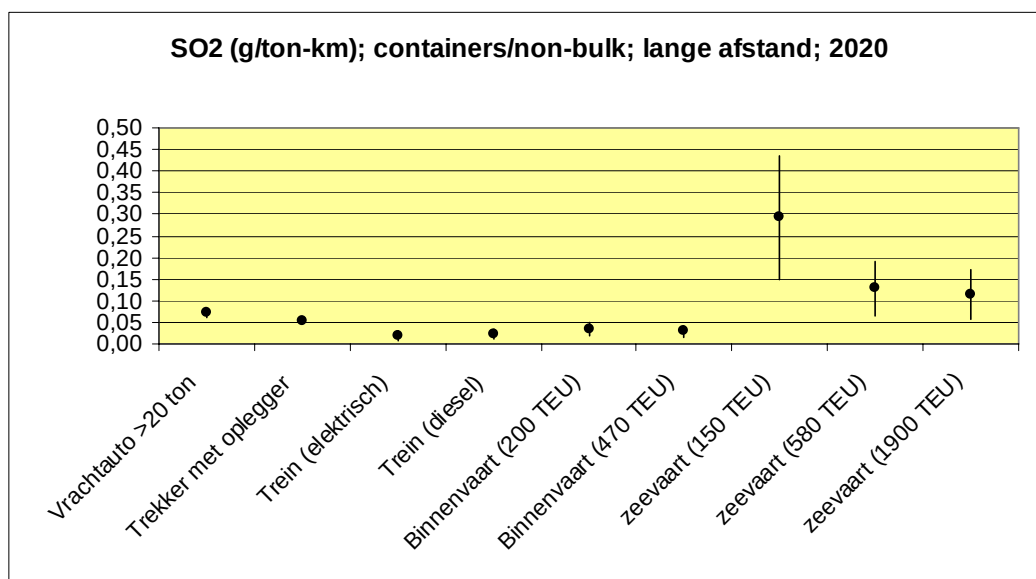
Figuur 50 Case 4; Lange afstand, containers/non-bulk, 2010



Voor CO₂, NO_x en PM₁₀ zie hoofdrapport.

Figuur 51 Case 4; Lange afstand, containers/non-bulk, 2020







I Data technologieën

Tabel 72 CO₂-emissies van verschillende biobrandstoffen

	GHG-emission (CO ₂ -eq./MJfuel)	
	Min.	Max.
Biodiesel	49	61
Ethanol-wheat	50	74
Ethanol-sugar beet	51	74
Ethanol-C-starch	37	47
Ethanol (food crop)	37	74
Ethanol sugar cane	9	18
Cellulosic ethanol	10	42
Biomass FT diesel	5	9
HTU diesel	-10	29
Diesel	82	84
Petrol	86	88
MTBE	97	99

Noot: Met behulp van de energiegebruiken van voertuigen zijn deze getallen om te rekenen tot gCO₂/km.

Tabel 73 Gemiddelde NO_x-emissiefactoren afhankelijk van brandstof en Euroklasse

	Benzine	Diesel	LPG	CNG	E85
Euro 1	0,27	0,51	0,95		
Euro 2	0,21	0,70	0,44		
Euro 3	0,05	0,59	0,22	0,03	
Euro 4	0,04	0,29	0,06		0,02
Euro 5	0,03	0,25	0,03		
Euro 6	0,03	0,10	0,03		

Tabel 74 PM₁₀-emissiefactoren afhankelijk van brandstof en Euroklasse

	Benzine	Diesel	LPG	CNG	E85
Euro 1	7	115	6		
Euro 2	7	76	6		
Euro 2 (met retrofit DPF)		57			
Euro 3	4	44	5		
Euro 3 (met retrofit DPF)		33		1	4
Euro 4	5	44	7		
Euro 4 (met OEM DPF)		3			
Euro 5	6	3	7		
Euro 6	6	3	7		

Tabel 75 Effect van verschillende technieken op het brandstofverbruik van een personenauto

Hybride-benzine	22%
Hybride-diesel	18%
Benzine directe injectie (lean burn)	10%
Gewichtsreductie	6%
Lage weerstand banden	2%
Verbeterde aerodynamica	2%

Tabel 76 CO₂-emissies en bijbehorende massa's voor verschillende grootteklassen auto's in 2000 en 2006

2006	Benzine-S	Benzine-M	Benzine-L	Parkgemiddelde Benzine 2005	Diesel-S	Diesel-M	Diesel-L	Parkgemiddelde Diesel 2005
ETG	142	177	227		121	150	202	
Praktijk	159	198	254	194	135	168	227	180
Massa	990	1.287	1.500		1.106	1.396	1.757	
2000								
ETG	149	184	238		123	153	201	
Praktijk	166	206	267		138	171	225	
Massa	959	1.265	1.506		1.028	1.365	1.689	

Noot: De verhouding tussen de emissies over de type goedkeuringscyclus en de praktijk is geschat op 1,12.

Tabel 77 Figuur 23: Emissiefactoren voor aardgas vrachtauto's (g/km)

CNG-stoichiometrisch (EEV)		
	Totaal	Totaal
Lichte vrachtauto	0,7	0,028
Middelzware vrachtauto	1,2	0,053
Zware vrachtauto	1,7	0,074

Tabel 78 Figuur 24: Energiegebruik hybride distributievrachtauto

	MJ/km
3,5-10 ton standaard	6,0
3,5-10 hybride	4,5

Tabel 79 NO_x-emissiefactoren zeescheepvaart op Nederlands grondgebied

	g/kWh	%
Bouwjaar 1980-1990	19,50	130
Parkgemiddelde op NL grondgebied	15,00	100
Bouwjaar >2000	11,00	73
IMO-voorstel 2011 nieuwe motoren	8,25	55
SCR op moderne motor	2,00	13

