



STREAM Goederenvervoer 2016

Emissies van modaliteiten in het
goederenvervoer



Topsector Logistiek



CE Delft

Committed to the Environment



STREAM Goederenvervoer 2016

Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer - Versie 2

Delft, CE Delft, Januari 2017

Dit rapport is geschreven door:

Matthijs Otten

Maarten 't Hoen

Eelco den Boer

Publicatienummer: 17.4H29.10

Goederenvervoer / Emissies / Gegevensbestanden/ Analyse / Overheidsbeleid
Wegverkeer / Railverkeer / Binnenvaart / Zeevaart

Opdrachtgever: Connekt namens Topsector Logistiek.

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Mathijs Otten, otten@ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Voorwoord

Dit rapport is geschreven in opdracht van Connekt namens de Topsector Logistiek. Het rapport is tot stand gebracht met een stuurgroep bestaande uit leden van Connekt, Stichting Stimular, Milieu Centraal en SKAO. We willen de leden van de stuurgroep graag bedanken voor hun inbreng in het tot stand komen van de rapportage.

Er zijn tijdens de studie ook twee workshops gehouden met deelnemers vanuit TLN, EVO, BLN, EICB, KNVR, KNV, PBL, het ministerie van Infrastructuur en Milieu en de leden van de stuurgroep. Vanuit de deelnemers is veel nuttige feedback gegeven tijdens de totstandkoming van deze rapportage. We willen allen hartelijk danken hiervoor.

Naast deze Nederlandse versie van STREAM Goederenvervoer 2016 is er een Engelstalige vertaling. De data in het rapport zijn gebaseerd op het Nederlandse voer- en vaartuigpark.

Aanpassingen Versie 2

In deze 2de versie van STREAM Goederenvervoer 2016 zijn de volgende aanpassingen gemaakt ten opzichten van Versie 1:

- De fijnstofemissies (PM_{10}) van kustvaart zijn naar boven bijgesteld. In STREAM wordt voor kustvaart uitgegaan van de emissies van laag-zwavelige diesel (MGO) vanwege de SECA-eisen. Op basis van een analyse van recente bronnen uit 2016 is geconcludeerd dat de emissies van varen op MGO hoger zijn dan in de eerste versie is aangenomen. Deze wijziging heeft invloed op alle tabellen en figuren waarin aan de fijnstofemissies van kustvaart wordt gerefereerd.
- In Tabel 29-Tabel 31 zijn de tank-to-wheel-kentallen voor CNG en LNG aangepast van 100 naar 84. Het is een correctie van een typefout.
- In Tabel 35 zijn de fijnstof indexkentallen voor 'HFO + scrubber' en 'LNG' aangepast, als gevolg van de wijziging in de fijnstofemissies van varen op MGO.
- In Tabel 60 zijn de well-to-tank fijnstof- (PM_{10}) en SO_2 -emissiekentallen aangepast. Het is een correctie van een typefout.
- Enkele bronvermeldingen zijn vervangen door recentere of directere bronnen (met dezelfde informatie).



Inhoud

Begrippenlijst	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doel en afbakening	7
1.3 Gebruik	9
1.4 Verschillen met STREAM Freight 2011	10
1.5 Leeswijzer	12
2 Overzicht van resultaten	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Representatieve emissiefactoren per modaliteit	13
2.3 Data overzicht	15
2.4 Gemiddelde vloot en nieuwe normen	18
3 Uitgebreide data per vervoerswijze	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Wegtransport	22
3.3 Spoor	26
3.4 Binnenvaart	28
3.5 Zeevaart (kustvaart)	32
3.6 Alternatieve technieken en brandstoffen	34
4 Beschrijving en aannames emissiedata	38
4.1 Inleiding	38
4.2 Methodiek algemeen	38
4.3 Wegvervoer	40
4.4 Spoor	44
4.5 Binnenvaart	47
4.6 Zeevaart (kustvaart)	52
4.7 Upstream-emissies	55
4.8 Alternatieve brandstoffen en technieken	57
4.9 Overslag	63
5 Logistieke data	64
5.1 Inleiding	64
5.2 Bulk- en stukgoederen	66
5.3 Containertransport	68



6	Vergelijking vervoerswijzen	69
6.1	Inleiding	69
6.2	Case 1: Rotterdam-Duisburg	69
6.3	Case 2: Amsterdam-Regensburg (staal)	72
6.4	Case 3: Rotterdam-Litouwen	74
6.5	Conclusie	77
7	Vergelijking resultaten met STREAM Freight 2011	78
8	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	79
9	Bibliografie	80
Bijlage A	Achtergrond data Wegvervoer	84
Bijlage B	Bruto tonnage goederentreinen	85
Bijlage C	Modelparameters binnenvaart	86
Bijlage D	Validatie binnenvaartmodel met praktijkcijfers	87



Begrippenlijst

CEMT	Conférence Européenne des Ministres de Transport.
CEMT-I-VI	Vaarwegklassen vastgelegd door de CEMT. Per klasse zijn de maximale afmetingen van het schip vastgelegd.
CNG	Compressed Natural Gas.
dwkt	Draagvermogen (Deadweight-tonnage in kton): De hoeveelheid massa die een schip kan vervoeren (lading, brandstof, ballastwater).
dwt	Draagvermogen (Deadweight-tonnage in ton): De hoeveelheid massa die een schip kan vervoeren (lading, brandstof, ballastwater).
GTL	Gas-to-Liquids, een synthetische diesel gemaakt van aardgas.
GTW	Gross Tonne Weight. Totaal gewicht van het voertuig inclusief lading.
GVW	Gross Vehicle Weight. Maximaal toegestane gewicht van het voertuig inclusief lading.
HFO	Heavy fuel oil; zware dieselolie.
IMO	International Maritime Organisation.
kWh	Kilowattuur.
LNG	Liquefied Natural Gas.
LZV	Lange Zware Voertuigen.
MGO	Marine Gas Oil.
MJ	MegaJoules.
NO _x	Verzamelnaam voor monostikstofoxiden (NO, NO ₂ en NO ₃). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
PM ₁₀	Stofdeeltjes kleiner dan tien micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM _v) als door slijtage (PM _{sl}) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek). Is bij inademing schadelijk voor de gezondheid.
PM _{sl}	Afkorting gebruikt voor PM ₁₀ -emissies door slijtage.
PM _v	Afkorting gebruikt voor PM ₁₀ -emissies door verbranding.
ppm	Parts per million.
SO ₂	Zwavel dioxide-emissies. Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu. Het kan leiden tot o.a. ademhalingsmoeilijkheden, oogirritatie en longproblemen.
TTW	Tank-to-wheel-emissies: Emissies die ontstaan door verbranding van brandstof tijdens het gebruik van het voertuig. In deze studie zijn in de tabellen ook de fijnstofslijtage-emissies opgenomen onder de kop tank-to-wheel.
TEU	Standaard containermaat om containervolume mee uit te drukken: Twenty feet Equivalent Unit.
tonkm	Tonkilometer: De tonkilometer is een eenheid die de transportprestatie definieert, uitgedrukt als het transport van één ton over een afstand van één kilometer. De afstand die in dit kader in aanmerking wordt genomen is de werkelijk afgelegde afstand om de goederen af te leveren. De tonkilometer geeft daarmee de transportprestatie uitgedrukt in zowel afstand als afgeleverd gewicht.
vkm	Voertuigkilometer.
WTT	Well-to-tank-emissies; Emissies die vrijkomen tijdens winning, het transport en het raffinageproces van brandstoffen of bij de productie en het transport van elektriciteit. Conform IPCC-afspraken zijn de tank-to-wheel-emissies van biobrandstoffen nul. De netto ketenemissies van biobrandstoffen worden als well-to-tank-emissies meegerekend.
WTW	Well-to-wheel-emissies; Totaal van well-to-tank- en tank-to-wheel-emissies.



Samenvatting

Inhoud

STREAM Goederenvervoer 2016 is een handboek met emissiefactoren per tonkilometer voor weg, spoor, binnenvaart en kustvaarttransport. Het rapport geeft representatieve gemiddelde emissiecijfers per vervoerswijze, die geschikt zijn voor globale (beleids)analyses waarbij gemiddelden volstaan. Daarnaast geeft het rapport gedetailleerde kentallen waarmee de emissies in specifieke situaties kunnen worden berekend door gebruikers die informatie hebben over het gebruikte type voer- of vaartuig en de inzet ervan (type goederen, (vaar)wegtype).

Naast parkgemiddelde kentallen voor het jaar 2014 worden ook kentallen gegeven voor verschillende voertuigtechnieken (zoals Euroklassen) en (alternatieve) brandstoffen.

Naast de emissiecijfers bevat het rapport uitgebreide informatie over de gebruikte bronnen en methodieken.

De kentallen in het rapport zijn niet bedoeld om direct modaliteiten te vergelijken. Wel kunnen op basis van de kentallen vergelijkingen worden gemaakt tussen verschillende vervoersopties, rekening houdend met de specifieke afstanden per modaliteit, voor- en natransport en overslag. Dit is geïllustreerd aan de hand van een aantal cases.

De emissiekentallen in STREAM betreffen broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O samen in CO₂eq) en de belangrijkste luchtvervuilende emissies door transport (PM₁₀, NO_x en SO₂). Zowel de uitlaat- en slijtage-emissies als de emissies die vrijkomen bij de winning, productie en transport van de brandstof en elektriciteit worden gegeven.

Resultaten

Een uitgebreid overzicht van de emissiekentallen wordt gegeven in Hoofdstuk 2. De overzichten laten zien dat er een grote bandbreedte aan emissiekentallen per modaliteit is op basis van de grootte (ladingcapaciteit) van het voer- of vaartuig en van het type goederen dat wordt vervoerd (licht, middel, zwaar).

De in het rapport opgenomen cases laten zien dat een emissievergelijking van modaliteiten voor een specifieke route, behalve van de emissiekentallen per tonkilometer, ook sterk afhangen van de afstand en van het voor- en natransport.

In de cases zijn de CO₂-emissies over de weg over het algemeen het hoogst, maar andere modaliteiten kunnen hetzelfde emissieniveau naderen wanneer er veel voor- en natransport is en de route van de andere modaliteit langer is. Hoe de modaliteiten onderling scoren op fijnstof- (PM_v) en NO_x-emissies verschilt sterk per case. De hoogste emissies worden in de cases afwisselend veroorzaakt door de trekker-oplegger, dieseltrein, binnenvaartschip of kustvaart-schip, afhankelijk van de grootte van het voertuig, de afstand en het voor- en natransport. De elektrische trein heeft in alle gevallen de laagste emissies.



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Onder de naam STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) publiceert CE Delft al een aantal jaar rapporten met emissiekentallen van transport. De emissiekentallen uit de STREAM-studies worden veelvuldig gebruikt door beleidsmakers, bedrijven, onderzoekers en adviseurs voor het maken van beleidsafwegingen omtrent bijvoorbeeld vraagstukken op het gebied van modal shift, wagenparkvernieuwing en footprinting.

De huidige studie STREAM Goederenvervoer 2016 is een update van de STREAM International Freight 2011. STREAM Goederenvervoer 2016 geeft een overzicht van de emissiekentallen van vervoerswijzen in het goederentransport voor het jaar 2014. Reden voor de update is dat door Europese voertuignormen en vlootvernieuwing, overheidsbeleid en technische vooruitgang de emissies van transport sinds 2009 (basisjaar in STREAM 2011) zijn veranderd. Daarnaast zijn vanuit metingen aan voer- en vaartuigen nieuwe inzichten ontstaan over de werkelijke emissies van voertuigen. Deze rapportage geeft een update van de kentallen voor vrachtvervoer. Emissiekentallen voor personenvervoer zijn gerapporteerd in een aparte reportage. De laatste versie van STREAM Personenvervoer dateert van 2014.

1.2 Doel en afbakening

Het doel van de studie is:

Een actueel en toegankelijk overzicht maken van de emissiekentallen van de vervoerswijzen in het goederenvervoer ten behoeve van (beleids) analyse, vergelijken van modaliteiten en (carbon) footprinting.

STREAM Goederenvervoer geeft een overzicht van de klimaatemissies en de belangrijkste luchtvervuilende emissies van de verschillende modaliteiten van goederenvervoer per tonkilometer voor Nederland voor het jaar 2014.

Het rapport relateert het totaal van emissies van zowel beladen als leeg transport aan de vervoersprestatie. De vervoersprestatie wordt uitgedrukt in tonkilometer, het product van de hoeveelheid lading en de afstand waarover deze is verplaatst (zie ook Paragraaf 4.2 en de tekstbox op volgende pagina). Het uitdrukken van de emissies per tonkilometer maakt het mogelijk om:

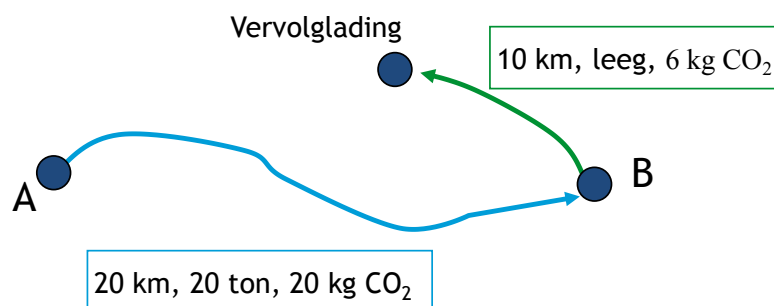
- inzicht te krijgen in hoe de emissies van verschillende modaliteiten en technieken zich tot elkaar verhouden in specifieke situaties;
- footprintberekeningen te maken op basis van tonkilometers per modaliteit en techniek.



Emissies per tonkilometer

Emissies per tonkilometer geven de relatie tussen de emissies en de vervoersprestatie. De vervoersprestatie wordt gegeven door voor elke rit het gewicht (in ton) te vermenigvuldigen met de afgelegde afstand (in km). Bij de CO₂-uitstoot horen alle CO₂-emissies die noodzakelijk zijn voor deze vervoersprestatie. Dit betekent dat zowel de CO₂-emissies van volle als lege ritten worden meegenomen.

STREAM presenteert emissiekentallen op basis van gemiddelde cijfers per vervoerswijze. Op ritniveau kan de berekening worden geïllustreerd zoals hieronder weergegeven.



Berekening CO₂-emissies per tonkm

- de afgelegde tonkilometers = 20 km * 20 ton = 400 tonkm;
- CO₂-emissies = 20 kg CO₂ + 6 kg CO₂ = 26 kg CO₂;
- emissies per tonkilometer = 65 g CO₂/tkm (26.000/400).

STREAM rekt met het gemiddelde van leegtransport en de gemiddelde lading per voertuigcategorie. De gebruiker van STREAM-kentallen kan op basis van tonkilometers (vervoerde hoeveelheid en afstand van A naar B) een inschatting maken van de totale CO₂-emissies van het transport inclusief een hoeveelheid noodzakelijk leegtransport.

De klimaatemissies omvatten de belangrijkste broeikasgasemissies, te weten de emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Deze worden tezamen uitgedrukt in CO₂-equivalenten¹. De luchtvervuilende emissies die in deze studie zijn opgenomen zijn: stikstofoxide (NO_x), fijnstof (PM₁₀), en zwaveldioxide (SO₂). Voor PM₁₀ wordt onderscheid gemaakt tussen de emissies van verbranding (PM_v) en de emissies door slijtage (PM_{sl}). Voor alle emissies wordt inzicht gegeven in zowel de uitlaatgasemissies (tank-to-wheel-emissies) als de emissies die optreden bij de winning, productie en transport van brandstoffen en bij elektriciteitsproductie (well-to-tank-emissies). Ook de fijnstofemissies door slijtage van voertuig en infrastructuur zijn in deze rapportage opgenomen. Emissies door aanleg van infrastructuur en fabricage van voertuigen zijn geen onderdeel van de studie. In Tabel 1 wordt het overzicht gegeven van de in dit rapport opgenomen emissies.

¹ In de rest van het rapport wordt met CO₂ altijd CO₂-equivalenten bedoeld.

Tabel 1 Overzicht gerapporteerde emissies in STREAM

	Verbranding	Slijtage (banden, bovenleidingen, etc.)	Brandstofproductie, elektriciteitsopwekking en transport in de voorketen
	(Tank-to-wheel)		(Well-to-tank)
CO ₂ -eq.	X		X
NO _x	X		X
PM ₁₀	X	X	X
SO ₂	X		X

De logistieke kenmerken voor verschillende type transport kunnen sterk verschillen en daarmee ook de emissiekentallen. Er wordt in STREAM daarom onderscheid gemaakt naar de emissiekentallen voor twee hoofdcategorieën van transport:

- bulk/stukgoederentransport;
- containertransport.

Daarnaast maakt STREAM voor bovengenoemde categorieën onderscheid tussen licht, middelzwaar en zwaar transport voor zowel bulk- en stukgoederen als containers. Naast de gemiddelde emissiekentallen voor het jaar 2014 geeft de studie ook inzicht in de emissiekentallen voor alternatieve brandstoffen en voertuigtechnieken. Tenslotte wordt in cases getoond hoe met de emissiekentallen voor specifieke situaties een vergelijking tussen modaliteiten kan worden gemaakt.

1.3 Gebruik

De data in het rapport kunnen voor verschillende type studies worden gebruikt. De belangrijkste zijn beleidsanalyse, vergelijken van modaliteiten en (carbon) footprinting. STREAM Goederenvervoer biedt een zeer uitgebreide selectie aan emissiekentallen voor verschillende voertuigtypen, goederenklassen, brandstoffen en (vaar)wegtypen. Tegelijkertijd wordt in Hoofdstuk 2 aangegeven welke kentallen per modaliteit het meest representatief zijn. Bij het gebruik van kentallen uit het huidige rapport is het van belang de volgende zaken te realiseren:

- De kentallen in dit rapport zijn karakteristiek voor de gedefinieerde voertuigcategorieën. De kentallen dienen echter beschouwd te worden als defaultkentallen voor analyses waar geen detailinformatie voor bekend is. Zo zal een CO₂-footprint op basis van werkelijk brandstofverbruik altijd de voorkeur verdienen boven een bepaling op basis van tonkilometers en STREAM-kentallen. Ook is een analyse van luchtvervuilende emissies op basis van gereden kilometers en emissiekentallen per kilometer nauwkeuriger dan op basis van kentallen per tonkilometer en tonkilometers.
- Met de kentallen in het rapport kan een vergelijking in emissies tussen modaliteiten worden gemaakt. De kentallen op zichzelf betreffen echter geen vergelijking tussen modaliteiten. Om een vergelijking te maken dient rekening te worden gehouden met de afstanden die worden afgelegd en het voor- en natransport benodigd om van herkomst tot bestemming te komen. In Hoofdstuk 6 wordt dit geïllustreerd.

- De definitie van de tonkilometer in deze rapportage betreft de tonkilometer op basis van de werkelijk afgelegde afstand per modaliteit en niet op basis van bijvoorbeeld vogelvluchtafstand² of kortste afstand.
- Wanneer voor een levering via groepage-vervoer of distributievervoer met STREAM- kentallen wordt gerekend, is het belangrijk te realiseren dat tonkilometers op basis van de kortste afstand tussen herkomst en bestemming de werkelijke tonkilometers onderschatten.

1.4 Verschillen met STREAM Freight 2011

Terwijl STREAM Freight een Europees perspectief had, heeft STREAM Goederen 2016 een Nederlands perspectief. Dit heeft met name invloed op de aangenomen samenstelling van het voer- en vaartuigenpark en de gebruikte bronnen daarvoor. In grote lijnen is echter dezelfde aanpak gevolgd als in 2011.

De belangrijkste veranderingen ten opzichte van 2011 worden hieronder per modaliteit beschreven.

Wegtransport

De categorieën voor het wegtransport zijn uitgebreid naar aanleiding van uitgebreidere gegevens die beschikbaar zijn gekomen over de voertuigen die worden gebruikt door de taakgroep Verkeer (Task Force on Transportation, 2016). Een vergelijking tussen de indeling van 2011 en de huidige studie is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Categorieën voor het wegtransport

Categorie 2011	Lading-capaciteit	Categorie 2016	Lading-capaciteit
Bestelauto < 2 ton	0,7	Bestelauto < 2 ton	0,7
Bestelauto > 2 ton	1,2	Bestelauto > 2 ton	1,2
Vrachtauto < 10 ton	3	Vrachtauto < 10 ton zonder aanhanger	3
Vrachtauto 10-20 ton	8	Vrachtauto 10-20 ton zonder aanhanger	7,5
		Vrachtauto 10-20 ton met aanhanger	18
Vrachtauto > 20 ton	16	Vrachtauto > 20 ton zonder aanhanger	13
		Vrachtauto > 20 ton met aanhanger	28
Trekker-oplegger	26	Trekker-oplegger licht	16
		Trekker-oplegger zwaar	29
LZV	39,5	LZV	41

Een aantal categorieën zijn opgesplitst in twee categorieën, waarvan het verbruik per tonkilometer voor de lichtere categorie iets hoger en voor de zwaardere categorie juist iets lager ligt dan de categorie uit 2011. De trekker-oplegger voor container vervoer (trekker-oplegger zwaar) is van een zwaardere categorie met een hogere uitstoot dan in 2011 werd verondersteld.

Tenslotte worden de bestelauto en kleine vrachtauto (< 10 ton) in recente rapportages van de taakgroep verkeer en TNO veel zuiniger ingeschat per kilometer dan in 2011.

² Tonkilometers op basis van vogelvluchtafstand worden met name toegepast in methodologieën om emissies van een vervoerder toe te delen aan afleveradressen, zie onder andere (Connekt, TNO, Cap Gemini, 2014).



Binnenvaart

- Voor binnenvaart zijn de emissies op eenzelfde wijze gemodelleerd als in 2011. De invoerparameters zijn echter op een aantal punten aangepast. De snelheden waarmee wordt gevaren zijn over het algemeen naar beneden bijgesteld op basis van nieuwe gegevens uit Prelude (Rijkswaterstaat, 2013) en praktijkgegevens geleverd door BLN-Schuttevaer. Het energiegebruik van de schepen valt hiermee over het algemeen lager uit.
- In 2011 werd voor alle schepen een gelijke emissiefactor voor NO_x en PM_v aangenomen (in g/kWh). De emissiefactoren in deze studie zijn gedifferentieerd naar grootteklasse. Voor de kleinere schepen wordt een hogere waarde dan voor de grotere schepen aangenomen, waarmee de emissiefactoren voor kleine schepen relatief hoger en voor grote schepen relatief lager zijn geworden.
- In 2011 werd voor het jaar 2009 rekening gehouden met een hoger zwavelpercentage in diesel voor spoor en binnenvaart. Sinds 2011 is het zwavelaandeel gelijk aan dat van wegverkeer (10 ppm).

Spoor

- Ten opzichte van 2011 is een kleine verbetering in energiegebruik en emissiefactoren doorgevoerd.
- In 2011 werd voor het jaar 2009 rekening gehouden met een hoger zwavelpercentage in diesel voor spoor en binnenvaart. Sinds 2011 is het zwavelaandeel gelijk aan dat van wegverkeer (10 ppm).

Zeevaart (kustvaart)

De berekeningen van emissies van zeeschepen (kustvaart) zijn gebaseerd op de derde IMO GHG-studie (IMO, 2014). In STREAM 2011 is de tweede IMO GHG-studie als basis gebruikt voor de berekeningen. In de nieuwe studie is de definitie van een aantal scheepsklassen veranderd. Zo zijn producttankers en olietankers samengenomen en zijn er meer categorieën van grootteklassen. Er zijn ook veranderingen in de eigenschappen van de vloot.

De belangrijkste zijn:

- Schepen zijn gemiddeld veel langzamer gaan varen (van 15 tot wel 35% afhankelijk van de scheepsklasse).
- Het geïnstalleerd motorvermogen is licht toegenomen, ondanks de snelheidsverlaging. Dit geldt met name voor General Cargo-schepen (10-20% toename).

Naast de veranderingen in de scheepsvloot is ook de regelgeving voor schepen erg veranderd. In de Noordzee en Oostzee mag sinds 1-1-2015 alleen nog met laagzwavelige brandstoffen worden gevaren. Vanwege de grote gevolgen voor de zwavel- en fijnstofemissies is deze regelgeving meegenomen in de cijfers. Hiermee wordt afgeweken van basisjaar 2014 als uitgangspunt.

Verder is grotendeels dezelfde methodiek toegepast voor berekeningen van de zeevaartemissies. Een belangrijk verschil is dat in de huidige studie het brandstofverbruik afhankelijk is van de belading van het schip, waar dit in STREAM 2011 constant was verondersteld.

Upstream-emissies

Upstream-emissies zijn de emissies die vrijkomen bij het winnen, transporteren en produceren van de brandstof of elektriciteit.

De well-to-tank CO₂-emissies van dieselgebruik zijn hoger ingeschat dan in 2011. Recent onderzoek schatten de CO₂-emissies voor de productie van olie veel hoger in dan voorheen (JRC, 2014b).



1.5 Leeswijzer

In deze studie worden de emissiekentallen per tonkilometer voor verschillende vervoerswijzen gepresenteerd. Deze data vormen de kern van het rapport en worden daarom centraal geplaatst. Het doel van de studie is een actueel en makkelijk toegankelijk overzicht te geven van emissies in het goederenvervoer.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de meest representatieve data per modaliteit. Deze data zijn een uitsnede van de gedetailleerde data die in Hoofdstuk 3 worden gepresenteerd. In Hoofdstuk 3 worden de data voor meer voertuigcategorieën en ladingtypen (licht, middel, zwaar) gegeven en wordt onderscheid gemaakt naar type weg en vaarwegklassen. Het hoofdstuk eindigt met indexcijfers van alternatieve brandstoffen en technologieën. De data in Hoofdstuk 3 worden toegelicht in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 wordt aandacht besteed aan de logistieke data die van belang zijn in de vergelijking van de emissies van verschillende transportvarianten. In Hoofdstuk 6 laten we tenslotte zien hoe de data toegepast kunnen worden in specifieke cases. In Hoofdstuk 7 wordt kort ingegaan op de verschillen in emissiekentallen tussen het huidige rapport en het rapport uit 2011 . Het rapport wordt afgesloten met enkele aanbevelingen.



2 Overzicht van resultaten

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden op een compacte manier de resultaten van STREAM gepresenteerd. Dit wordt gedaan door in Paragraaf 2.2 representatieve kentallen per modaliteit te presenteren. In Paragraaf 2.3 wordt juist een overzicht van de bandbreedte aan emissiekentallen per modaliteit gegeven. In Paragraaf 2.4 wordt vervolgens getoond hoe de gemiddelde kentallen zich verhouden tot de nieuwste voer- en vaartuigen in het park. Het hoofdstuk is een compacte presentatie van de resultaten in het verdere rapport. Voor gebruikte definities in dit hoofdstuk en rapport wordt verwezen naar de begrippenlijst aan het begin van dit rapport en de uitgebreide beschrijvingen in Hoofdstukken 3 en 4.

2.2 Representatieve emissiefactoren per modaliteit

In Tabel 3 en Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van representatieve voertuigen per modaliteit en het representatieve type goederen (licht, middelzwaar, zwaar)³ dat door deze voertuigen wordt vervoerd. Het betreft voer- en vaartuigen die het grootste aandeel hebben in de tonkilometers en/of kilometers:

- Het type goederen over de weg is gemiddeld genomen middelzwaar. Op de weg is de zware trekker-oplegger verantwoordelijk voor bijna 60% van de vrachtautokilometers en meer dan 75% van de tonkilometers. In het transport met kleinere vrachtauto's (laadcapaciteit onder de 20 ton) speelt de middelzware vrachtauto een belangrijke en qua emissiekentallen representatieve rol (CBS, 2015a). De grote bestelauto (> 2 ton GVW) neemt bijna 80% van de bestelautokilometers voor z'n rekening (CBS, 2015b).
- Het goederenvervoer per spoor wordt gedomineerd door de elektrische trein (70-90%)⁴. Per spoor worden voornamelijk zware goederen getransporteerd. De middellange trein (2.600 GTW vol, gemiddeld circa 1750 ton) is qua gewicht representatief voor het gemiddelde gewicht op het spoor (ProRail, 2016). Voor containertransport is dit de lange trein (90 TEU⁵).
- In de binnenvaart wordt bijna 50% van de goederen vervoerd door het R.H.K (Rijn Herne-kanaalschip, M6) en het Groot Rijnschip (M8). De goederen die door de binnenvaart worden vervoerd zijn voornamelijk zwaar (RWS, Chartasoftware, 2015).

³ Gebaseerd op analyses en bronnen uit (CE Delft, 2016) en (TNO, 2015b) voor weg, spoor en binnenvaart.

⁴ De range is ingegeven door twee inschattingen: ca. 70% in km en tonkm o.b.v. (Ricardo Rail, 2015) en 90% in aantal treinen op basis van inschatting ProRail).

⁵ Containermaat: Twenty foot Equivalent Unit.



- In het kustvaarttransport komen verschillende type schepen voor. Het General Cargo schip (10-20 dwkt) is qua emissies per tonkilometer representatief voor het gemiddelde van deze schepen⁶. Voor containertransport is dit het Panamax-like containerschip (4.060 TEU).

In de tabellen zijn de meest beleidsrelevante emissiefactoren weergegeven. Het betreft de well-to-wheel-broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O uitgedrukt in CO₂-equivalenten) en de uitlaatgasemissies (tank-to-wheel) voor fijnstof (PM_v) en NO_x.

Tabel 3 Representatieve emissiefactoren per modaliteit voor transport van bulk- en stukgoederen

Modaliteit	Voer-/vaartuig	Type goederen	CO ₂ (g/tkm) (WTW)	PM _v (g/tkm) (TTW)	NO _x (g/tkm) (TTW)
Weg	Bestelauto groot	Middelzwaar	1.153	0,148	5,03
	Vrachtauto middelzwaar	Middelzwaar	259	0,017	1,75
	Trekker-oplegger	Middelzwaar	82	0,003	0,29
Spoor	Elektrisch middellang*	Zwaar	10	0	0
	Diesel middellang*	Zwaar	18	0,005	0,19
Binnenvaart	R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	Zwaar	38	0,017	0,46
	Groot Rijnschip	Zwaar	21	0,008	0,23
Kustvaart	General Cargo 10-20 dwkt	Zwaar	15	0,005	0,25

* Aandeel elektrisch 70-90%; aandeel diesel 10-30%.

Tabel 4 Representatieve emissiefactoren per modaliteit voor containers

Modaliteit	Voer-/vaartuig	Type goederen	CO ₂ (g/tkm) (WTW)	PM _v (g/tkm) (TTW)	NO _x (g/tkm) (TTW)
Weg	Trekker-oplegger Zwaar (2 TEU)	Middelzwaar	102	0,004	0,36
Spoor	Elektrisch lange trein (90 TEU)*	Middelzwaar	16		
	Diesel lange trein (90 TEU)*	Middelzwaar	30	0,009	0,309
Binnenvaart	R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) (96 TEU)	Middelzwaar	44	0,019	0,53
	Groot Rijnschip (208 TEU)	Middelzwaar	24	0,009	0,26
Kustvaart	Container (like panamax, 4.060 TEU)	Middelzwaar	21	0,008	0,35

* Aandeel elektrisch 70-90%; aandeel diesel 10-30%.

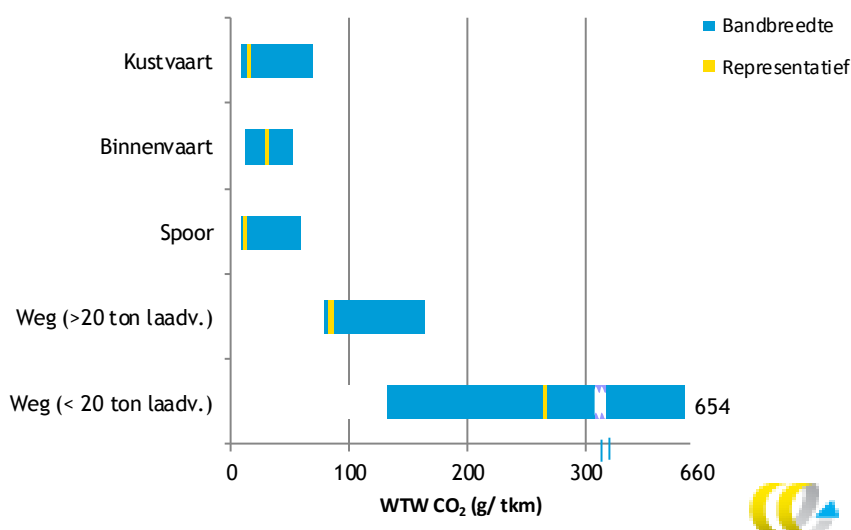
⁶ Gebaseerd op aantal schepen en capaciteit per type schip uit (IMO, 2014).



2.3 Data overzicht

De emissiekentallen per modaliteit zijn sterk afhankelijk van het type voertuig en van het type goederen (licht, middelzwaar of zwaar). Dit wordt geïllustreerd in Figuur 1 tot Figuur 6 voor de CO₂-eq-, NO_x- en PM_v-emissies van zowel bulk- en stukgoederen als containers.⁷ In de figuren zijn de representatieve waarden van Tabel 3 en Tabel 4 steeds in het geel weergegeven. In blauw is aangegeven hoe de emissiekentallen kunnen variëren afhankelijk van het voertuigtype en het goederentype (licht, middel, zwaar) voor de voertuigen die worden behandeld in Hoofdstuk 3. De figuren laten de emissiekentallen per tonkilometer voor verschillende modaliteiten naast elkaar zien. Het is echter niet juist om op basis hiervan modaliteiten te vergelijken. Modaliteiten kunnen alleen goed worden vergeleken in specifieke cases, waarbij rekening wordt gehouden met de afstanden die per modaliteit worden afgelegd en het benodigde voor- en natransport dat nodig is om van A naar B te komen. Om dit te illustreren zijn in Hoofdstuk 6 een drietal cases uitwerkt waarin rekening wordt gehouden met verschillende afstanden per modaliteit en voor- en natransport of ketentransport.

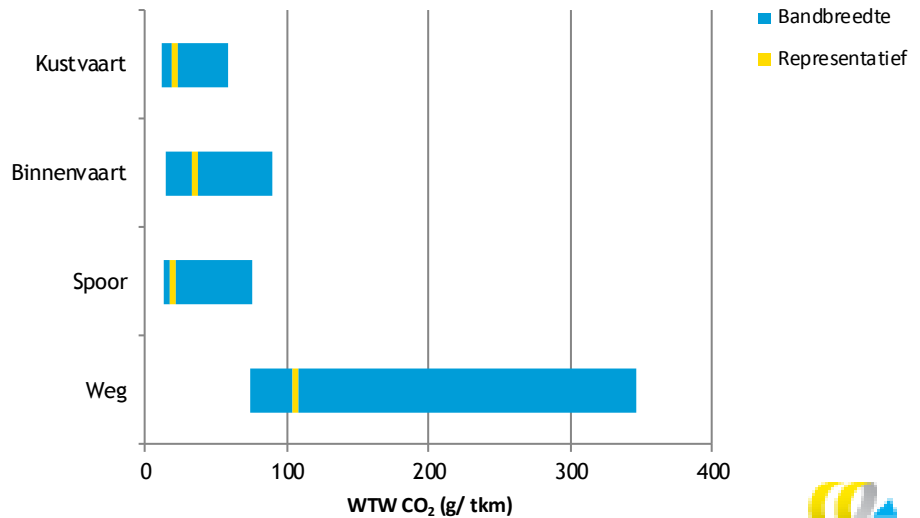
Figuur 1 Overzicht emissiefactoren CO₂ - bulk/stuks (well-to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijschip genomen.

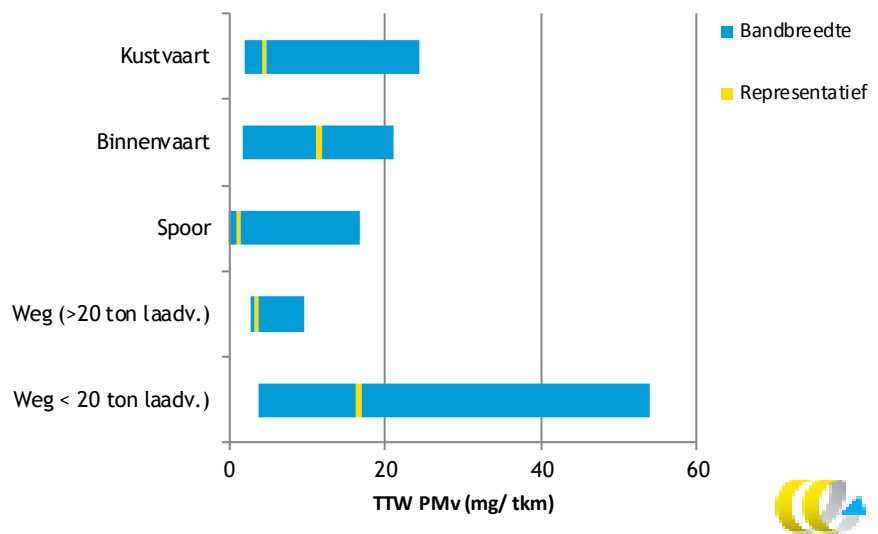
⁷ De bestelauto is niet weergegeven omdat emissies per tonkilometer zeer hoog zijn. Dit heeft te maken met het feit dat de bestelauto relatief weinig goederen tegelijk kan vervoeren en typisch bedoeld is voor distributie van goederen.

Figuur 2 Overzicht emissiefactoren CO₂ - containertransport (well-to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.

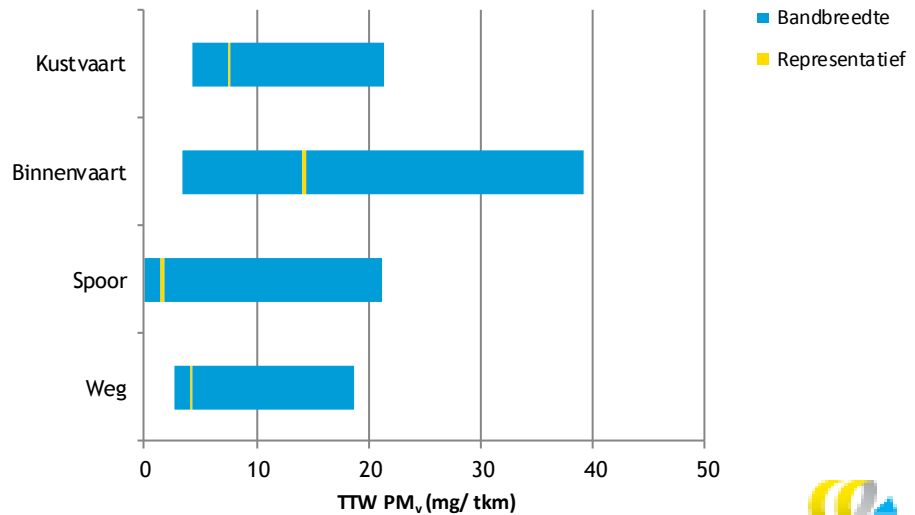
Figuur 3 Overzicht emissiefactoren fijnstof (PM_v) - bulk/stuks (tank -to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.

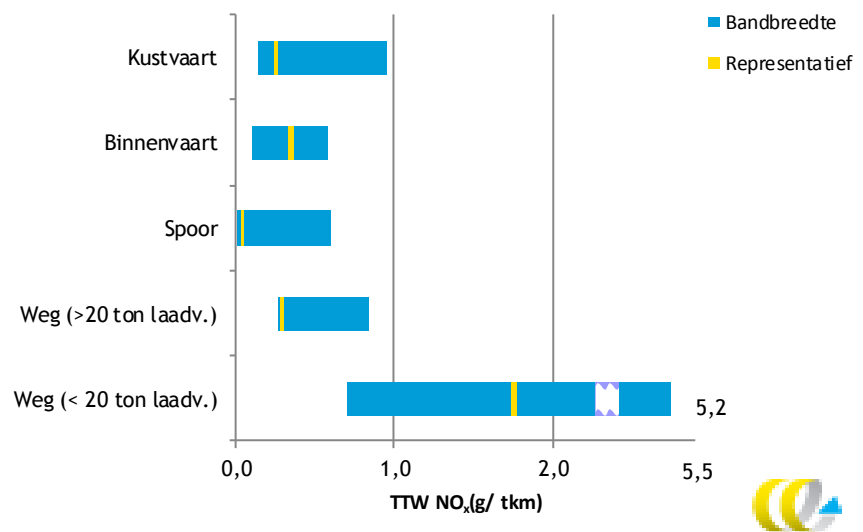


Figuur 4 Overzicht emissiefactoren fijnstof (PM_v) - containers (tank -to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.

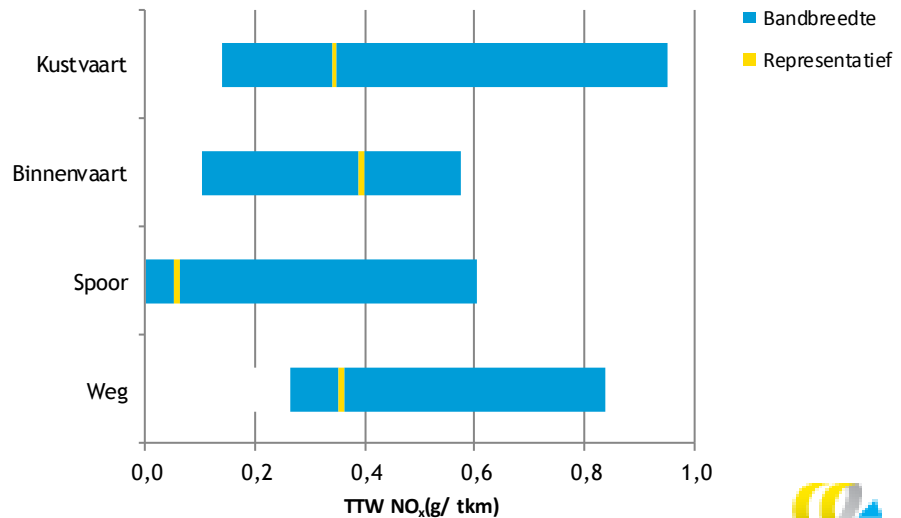
Figuur 5 Overzicht emissiefactoren NO_x - bulk/stuks (tank-to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.



Figuur 6 Overzicht emissiefactoren NO_x - containers (tank-to-wheel) (g/tkm)



Noot: De representatieve waarden zijn overgenomen uit Tabel 3 en Tabel 4. Voor spoor is 80% elektrisch en 20% diesel als representatieve waarde genomen. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.

2.4 Gemiddelde vloot en nieuwe normen

De data in Hoofdstuk 3 van het rapport geven de gemiddelde waarden van vervoerswijzen voor het jaar 2014 weer. De vloot blijft echter vernieuwen door strengere milieuwetgeving op het gebied van luchtvervuilende emissies, zoals de Euro VI-norm voor vrachtauto's en de Fase V-norm voor spoor en binnenvaart. Daarnaast (en mede daardoor) komen er ook steeds meer alternatieve brandstoffen en aandrijvingen op de markt, zoals CNG, LNG, biobrandstoffen en elektrische aandrijving.

In Paragraaf 3.6 wordt een overzicht gegeven van het effect van deze technieken en brandstoffen op de emissies met behulp van indexcijfers.

In Figuur 7 en Figuur 8 wordt voor de representatieve voer- en vaartuigen uit Paragraaf 2.2 weergegeven hoe de parkgemiddelde tank-to-wheel-emissies (TTW) per tonkilometer van PM_v en NO_x zich verhouden tot voer- en vaartuigen met nieuwe motoren en voer- en vaartuigen die aan toekomstige normen gaan voldoen. Voor de emissiekentallen behorend bij toekomstige normen is aangenomen dat de motoren de norm halen.

In werkelijkheid kunnen toekomstige emissies in de praktijk hoger of lager zijn en kunnen bijvoorbeeld alternatieve brandstoffen en aandrijvingen een belangrijke rol gaan spelen waardoor de emissies lager gaan uitvallen.

Nieuwe motoren voor het wegverkeer moeten sinds 2013 aan de Euro VI-norm voldoen (geldende norm). De figuren laten zien dat de Euro VI-voertuigen 80-90% lagere PM_v- en NO_x-emissies hebben dan het wagenparkgemiddelde in 2014. Er zijn op dit moment nog geen toekomstige normen vastgesteld voor het wegverkeer.

Nieuwe motoren voor locomotieven moeten sinds 2012 aan Fase IIIb voldoen (geldende norm). De emissies van deze motoren zijn voor PM_{10} circa 90% lager en voor NO_x 55% lager dan parkgemiddeld in 2014. De Fase V-norm die in 2021 van kracht wordt (toekomstige norm) is qua emissie-eis voor fijnstof en NO_x gelijk aan Fase IIIb.⁸ Een toename van Fase IIIb- en V-motoren in het locomotievenpark zal de parkgemiddelde emissies van diesellocomotieven fors doen dalen. Elektrische treinen veroorzaken geen verbrandingsemissies, de waarden zijn daarom 0.

Voor de binnenvaart geldt dat met name de kleinere scheeptypen relatief oudere motoren hebben. De huidige CCR2-norm⁹ (geldende norm sinds 2007) ligt met name voor de kleinere schepen daarom nog behoorlijk lager dan parkgemiddeld in 2014. Motoren die aan de Fase V-norm (toekomstige norm) gaan voldoen (2019-2021) zullen 70 tot 90% minder emissies veroorzaken.

Voor zeevaartmotoren geldt sinds 2011 de IMO Tier II-norm (geldende norm in 2014). Vanaf dit jaar (2016) is de IMO Tier III-norm van kracht in zogenaamde NECA's (NO_x Emission Control Area's). Op de Noordzee is momenteel nog geen NECA ingesteld. De IMO-normen hebben alleen betrekking op de NO_x -emissies. De gemiddelde emissies in 2014 liggen iets hoger dan de Tier II-norm. De NO_x -emissies van motoren met Tier III-norm (toekomstige norm in 2014) zijn circa 80% lager.

Met betrekking tot de fijnstofemissies is voor kustvaart de sinds 2015 geldende SECA¹⁰ voor de Noordzee en Oostzee als uitgangspunt genomen. Er is uitgaande van de SECA-norm geen verdere verlaging van emissies voorzien.

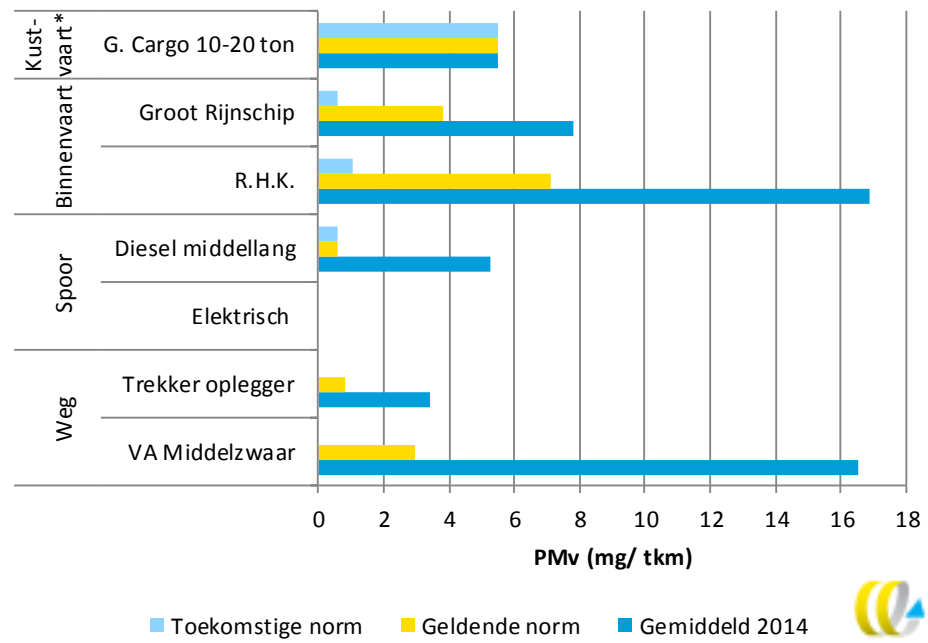
⁸ Wel is er een aanvullende eis op aantal deeltjes vanaf 2021.

⁹ Of de ongeveer gelijkwaardige Fase IIIA-norm.

¹⁰ De SECA op de Noordzee en Oostzee geldt met ingang van 1 januari 2015.

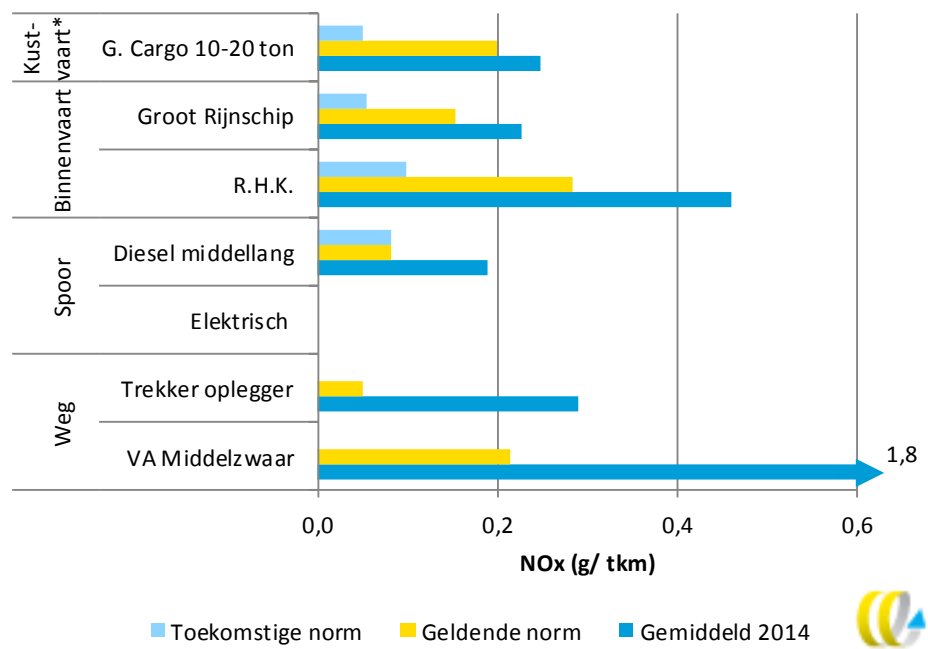


Figuur 7 TTW fijnstof (PM_v)-emissies voor bulk transport. Gemiddeld 2014, geldende norm 2014 en toekomstige norm vergeleken



* Voor kustvaart zijn de aangescherpte SECA-eisen per 2015 als uitgangspunt genomen.

Figuur 8 TTW NO_x-emissies voor bulk transport. Gemiddeld 2014, geldende norm 2014 en toekomstige norm vergeleken



3 Uitgebreide data per vervoerswijze

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft in meer detail dan in Paragraaf 2.1 de emissiefactoren per tonkilometer van goederenvervoer. Met de data in dit hoofdstuk is het mogelijk onderscheid te maken naar verschillende wegtypen en wordt inzicht gegeven in alle well-to-tank-emissies. Voor elke modaliteit worden de emissiekentallen in een aparte paragraaf beschreven.

Per modaliteit zijn er twee sub-paragrafen. In de eerste sub-paragraaf worden de parkgemiddelde emissiekentallen gegeven voor bulk- en stukgoederen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen:

- licht transport: apparatuur, meubels, post, textiel, vormgegeven producten (circa < 0,4 kg/liter in laadruim);
- middelzwaar transport: voedselproducten, hout, papier, plastics, chemicaliën, metalenproducten, auto's, afval (circa 0,5-1,2 kg/liter in laadruim);
- zwaar transport: ertsen, mineralen, kolen, cokes, olie (typisch voor vloeistoffen en lading > 1,3 kg/liter).

De tweede sub-paragraaf geeft de emissiekentallen voor containervervoer. Ook voor containertransport is er onderscheid gemaakt naar gewicht van de container:

- lichte containers: 6 ton/TEU¹¹;
- middelzware containers: 10,5 ton/TEU;
- zware containers: 14 ton/TEU.

De tabellen vermelden naast de emissiekentallen ook steeds de benutting en de gemiddelde hoeveelheid lading per voertuig, representatief voor de transportcategorie.

Voor alternatieve brandstoffen en technieken worden in Paragraaf 3.6 indexfactoren gegeven voor energiegebruik en CO₂-, PM_v- en NO_x-emissies. Daarmee wordt aangegeven hoe de emissiekentallen van alternatieve (of specifieke) technieken en brandstoffen zich verhouden tot de aangegeven referentie. Er wordt steeds ook een index factor voor het parkgemiddelde gegeven zodat de emissiekentallen voor het alternatief kunnen worden berekend via:

$$EF_{tkm- alternatief} = \frac{index_{alternatief}}{index_{2014\ gemiddeld}} \times EF_{tkm-2014\ gemiddeld}$$

Waarbij EF_{tkm} staat voor de emissiekentallen per tonkilometer. De emissiekentallen in dit hoofdstuk geven veel detailniveau. De kentallen houden voor een specifieke reis geen rekening met het effect van weersomstandigheden, rijstijl, specifieke snelheid, enzovoort.

¹¹ Containermaat: Twenty Foot Equivalent Unit.



3.2 Wegtransport

3.2.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen wegtransport

Tabel 5 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer licht transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{si}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Kleine bestelauto GVW < 2 ton											
Gemiddeld	0,7	17,1	1.230	0,008	0,413	5,9	0,13	1.585	1,6	0,473	6,5
Stad	0,7	21,4	1.537	0,010	0,673	6,6	0,22	1.980	2,0	0,749	7,3
Buiten	0,7	12,7	909	0,006	0,363	5,0	0,11	1.171	1,2	0,407	5,4
Snelweg	0,7	18,6	1.334	0,008	0,364	6,3	0,12	1.718	1,8	0,429	6,9
Grote bestelauto GVW > 2 ton											
Gemiddeld	1,2	14,5	1.042	0,006	0,173	5,9	0,08	1.342	1,4	0,224	6,3
Stad	1,2	17,5	1.256	0,008	0,247	6,8	0,13	1.617	1,7	0,308	7,4
Buiten	1,2	10,7	772	0,005	0,135	4,8	0,07	995	1,0	0,172	5,1
Snelweg	1,2	15,9	1.141	0,007	0,174	6,2	0,07	1.470	1,5	0,230	6,8
Vrachtauto < 10 ton											
Gemiddeld	3	6,8	493	0,003	0,054	5,2	0,11	634	0,7	0,078	5,5
Stad	3	9,2	666	0,004	0,078	7,5	0,16	856	0,9	0,111	7,8
Buiten	3	6,2	446	0,003	0,049	4,7	0,09	574	0,6	0,071	4,9
Snelweg	3	5,6	403	0,002	0,039	4,0	0,09	518	0,5	0,059	4,2
Vrachtauto 10-20 ton											
Gemiddeld	7,5	4,1	301	0,002	0,025	2,7	0,04	387	0,4	0,040	2,8
Stad	7,5	6,3	457	0,003	0,042	4,5	0,06	588	0,6	0,065	4,8
Buiten	7,5	4,1	296	0,002	0,025	2,7	0,03	381	0,4	0,039	2,8
Snelweg	7,5	3,5	251	0,002	0,019	2,0	0,03	323	0,3	0,032	2,2
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	18	2,1	155	0,001	0,013	1,1	0,02	200	0,2	0,021	1,2
Stad	18	3,3	237	0,001	0,021	1,9	0,02	305	0,3	0,032	2,0
Buiten	18	2,1	153	0,001	0,013	1,1	0,01	196	0,2	0,020	1,1
Snelweg	18	1,8	130	0,001	0,011	0,9	0,01	167	0,2	0,017	1,0
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	13	3,3	236	0,001	0,017	1,9	0,02	304	0,3	0,028	2,0
Stad	13	5,3	381	0,002	0,030	3,4	0,04	490	0,5	0,048	3,6
Buiten	13	3,4	246	0,002	0,018	2,0	0,02	317	0,3	0,030	2,1
Snelweg	13	2,8	202	0,001	0,014	1,5	0,02	260	0,3	0,024	1,6
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	28	1,7	124	0,001	0,010	0,8	0,01	160	0,2	0,016	0,9
Stad	28	2,8	201	0,001	0,017	1,5	0,02	259	0,3	0,027	1,6
Buiten	28	1,8	128	0,001	0,010	0,8	0,01	164	0,2	0,016	0,9
Snelweg	28	1,5	107	0,001	0,008	0,7	0,01	137	0,1	0,013	0,7
Trekker-oplegger Licht											
Gemiddeld	15,7	2,7	195	0,001	0,006	1,5	0,02	250	0,3	0,015	1,5
Stad	15,7	4,9	352	0,002	0,011	2,9	0,03	452	0,5	0,028	3,1
Buiten	15,7	3,1	227	0,001	0,007	1,7	0,01	292	0,3	0,018	1,8
Snelweg	15,7	2,5	183	0,001	0,006	1,3	0,02	235	0,2	0,014	1,4
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	29,2	1,3	91	0,001	0,005	0,4	0,01	117	0,1	0,009	0,5
Stad	29,2	2,6	190	0,001	0,011	1,1	0,01	245	0,3	0,020	1,2
Buiten	29,2	1,6	119	0,001	0,007	0,6	0,01	153	0,2	0,012	0,6
Snelweg	29,2	1,1	83	0,001	0,005	0,4	0,01	106	0,1	0,009	0,4
LZV											
Gemiddeld	40,8	1,2	88	0,001	0,004	0,4	0,01	113	0,1	0,009	0,5
Stad	40,8	2,5	184	0,001	0,009	1,0	0,01	237	0,2	0,018	1,1
Buiten	40,8	1,6	115	0,001	0,006	0,5	0,01	147	0,2	0,011	0,6
Snelweg	40,8	1,1	80	0,0005	0,004	0,4	0,01	103	0,1	0,008	0,4



Tabel 6 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer middelzwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{st}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Kleine bestelauto GVW < 2 ton											
Gemiddeld	0,7	14,7	1.057	0,007	0,354	5,1	0,11	1.362	1,4	0,406	5,6
Stad	0,7	18,4	1.321	0,008	0,578	5,7	0,19	1.701	1,8	0,643	6,3
Buiten	0,7	10,9	781	0,005	0,311	4,3	0,10	1.006	1,0	0,349	4,6
Snelweg	0,7	15,9	1.146	0,007	0,312	5,4	0,10	1.476	1,5	0,368	5,9
Grote bestelauto GVW > 2 ton											
Gemiddeld	1,2	12,5	895	0,006	0,148	5,0	0,07	1.153	1,2	0,192	5,4
Stad	1,2	15,0	1.079	0,007	0,212	5,9	0,11	1.390	1,4	0,265	6,4
Buiten	1,2	9,2	664	0,004	0,116	4,1	0,06	855	0,9	0,148	4,4
Snelweg	1,2	13,6	981	0,006	0,149	5,3	0,06	1.264	1,3	0,197	5,8
Vrachtauto < 10 ton											
Gemiddeld	3	4,6	336	0,002	0,036	3,5	0,08	432	0,4	0,053	3,7
Stad	3	6,3	454	0,003	0,053	5,1	0,11	583	0,6	0,075	5,3
Buiten	3	4,2	304	0,002	0,033	3,2	0,06	391	0,4	0,048	3,3
Snelweg	3	3,8	275	0,002	0,027	2,7	0,06	353	0,4	0,040	2,8
Vrachtauto 10-20 ton											
Gemiddeld	7,5	2,8	201	0,001	0,017	1,8	0,02	259	0,3	0,026	1,8
Stad	7,5	4,2	306	0,002	0,028	3,0	0,04	393	0,4	0,043	3,1
Buiten	7,5	2,7	198	0,001	0,016	1,8	0,02	255	0,3	0,026	1,8
Snelweg	7,5	2,3	168	0,001	0,013	1,3	0,02	216	0,2	0,021	1,4
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	18	1,5	106	0,001	0,009	0,8	0,01	136	0,1	0,014	0,8
Stad	18	2,2	162	0,001	0,014	1,3	0,02	208	0,2	0,022	1,4
Buiten	18	1,4	104	0,001	0,009	0,7	0,01	134	0,1	0,014	0,7
Snelweg	18	1,2	88	0,001	0,007	0,6	0,01	114	0,1	0,011	0,6
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	13	2,2	159	0,001	0,011	1,3	0,02	204	0,2	0,019	1,3
Stad	13	3,5	256	0,002	0,020	2,3	0,02	329	0,3	0,032	2,4
Buiten	13	2,3	166	0,001	0,012	1,3	0,01	213	0,2	0,020	1,4
Snelweg	13	1,9	136	0,001	0,009	1,0	0,01	175	0,2	0,016	1,1
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	28	1,2	86	0,001	0,006	0,6	0,01	110	0,1	0,011	0,6
Stad	28	1,9	139	0,001	0,011	1,0	0,01	179	0,2	0,018	1,1
Buiten	28	1,2	88	0,001	0,007	0,5	0,01	113	0,1	0,011	0,6
Snelweg	28	1,0	74	0,0005	0,005	0,5	0,01	95	0,1	0,009	0,5
Trekker-oplegger Licht											
Gemiddeld	15,7	1,8	134	0,001	0,004	1,0	0,01	172	0,2	0,010	1,0
Stad	15,7	3,3	242	0,001	0,007	2,0	0,02	311	0,3	0,019	2,1
Buiten	15,7	2,2	156	0,001	0,005	1,2	0,01	201	0,2	0,012	1,2
Snelweg	15,7	1,7	126	0,001	0,004	0,9	0,01	162	0,2	0,010	1,0
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	29,2	0,9	64	0,0004	0,003	0,3	0,004	82	0,1	0,007	0,3
Stad	29,2	1,8	133	0,001	0,007	0,7	0,01	171	0,2	0,014	0,8
Buiten	29,2	1,1	83	0,0005	0,004	0,4	0,004	107	0,1	0,008	0,4
Snelweg	29,2	0,8	58	0,0004	0,003	0,3	0,004	74	0,1	0,006	0,3
LZV											
Gemiddeld	40,8	0,8	61	0,0004	0,003	0,3	0,005	79	0,1	0,006	0,3
Stad	40,8	1,8	129	0,001	0,006	0,7	0,01	166	0,2	0,012	0,7
Buiten	40,8	1,1	80	0,0005	0,004	0,3	0,004	103	0,1	0,008	0,4
Snelweg	40,8	0,8	56	0,0003	0,003	0,2	0,004	72	0,1	0,005	0,3



Tabel 7 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer zwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{si}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Vrachtauto 10-20 ton											
Gemiddeld	7,5	2,6	189	0,001	0,016	1,6	0,02	243	0,2	0,025	1,7
Stad	7,5	4,0	288	0,002	0,026	2,8	0,04	370	0,4	0,040	2,9
Buiten	7,5	2,6	186	0,001	0,015	1,6	0,02	240	0,2	0,024	1,7
Snelweg	7,5	2,2	158	0,001	0,012	1,3	0,02	203	0,2	0,020	1,3
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	18	1,4	100	0,001	0,008	0,7	0,01	129	0,1	0,013	0,8
Stad	18	2,1	153	0,001	0,013	1,2	0,02	197	0,2	0,021	1,3
Buiten	18	1,4	98	0,001	0,008	0,7	0,01	127	0,1	0,013	0,7
Snelweg	18	1,2	84	0,001	0,007	0,6	0,01	107	0,1	0,011	0,6
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	13	2,1	150	0,001	0,011	1,2	0,01	193	0,2	0,018	1,2
Stad	13	3,3	242	0,001	0,019	2,1	0,02	311	0,3	0,030	2,2
Buiten	13	2,2	156	0,001	0,011	1,2	0,01	201	0,2	0,019	1,3
Snelweg	13	1,8	128	0,001	0,009	1,0	0,01	165	0,2	0,015	1,0
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	28	1,1	81	0,0005	0,006	0,5	0,01	104	0,1	0,010	0,6
Stad	28	1,8	132	0,001	0,011	1,0	0,01	169	0,2	0,017	1,0
Buiten	28	1,2	84	0,001	0,006	0,5	0,01	107	0,1	0,010	0,6
Snelweg	28	1,0	70	0,0004	0,005	0,4	0,01	90	0,1	0,008	0,5
Trekker-oplegger Licht											
Gemiddeld	15,7	1,8	129	0,001	0,004	0,9	0,01	166	0,2	0,010	1,0
Stad	15,7	3,2	233	0,001	0,007	1,9	0,02	300	0,3	0,018	2,0
Buiten	15,7	2,1	151	0,001	0,004	1,1	0,01	194	0,2	0,012	1,2
Snelweg	15,7	1,7	121	0,001	0,004	0,9	0,01	156	0,2	0,009	0,9
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	29,2	0,8	61	0,0004	0,003	0,3	0,004	78	0,1	0,006	0,3
Stad	29,2	1,8	128	0,001	0,007	0,7	0,01	164	0,2	0,013	0,7
Buiten	29,2	1,1	80	0,0005	0,004	0,3	0,004	102	0,1	0,008	0,4
Snelweg	29,2	0,8	56	0,0003	0,003	0,2	0,004	71	0,1	0,006	0,3
LZV											
Gemiddeld	40,8	0,8	59	0,0004	0,003	0,3	0,004	76	0,1	0,006	0,3
Stad	40,8	1,7	124	0,001	0,006	0,6	0,01	159	0,2	0,012	0,7
Buiten	40,8	1,1	77	0,0005	0,004	0,3	0,004	99	0,1	0,007	0,4
Snelweg	40,8	0,7	54	0,0003	0,003	0,2	0,004	69	0,1	0,005	0,3



3.2.2 Data parkgemiddeld containers wegtransport

Tabel 8 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer licht transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	1	3,6	262	0,002	0,019	2,1	0,025	337	0,35	0,031	2,2
Stad	1	5,8	423	0,003	0,033	3,8	0,039	543	0,56	0,053	4,0
Buiten	1	3,8	273	0,002	0,020	2,2	0,021	352	0,36	0,033	2,3
Snelweg	1	3,1	224	0,001	0,015	1,7	0,024	288	0,30	0,026	1,8
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	2	2,1	149	0,001	0,011	1,0	0,013	192	0,20	0,019	1,1
Stad	2	3,3	242	0,001	0,020	1,8	0,019	311	0,32	0,032	1,9
Buiten	2	2,1	154	0,001	0,012	1,0	0,011	198	0,20	0,019	1,0
Snelweg	2	1,8	128	0,001	0,010	0,8	0,012	165	0,17	0,016	0,9
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	2	1,8	129	0,001	0,007	0,6	0,009	166	0,17	0,013	0,7
Stad	2	3,7	271	0,002	0,015	1,5	0,014	349	0,36	0,028	1,7
Buiten	2	2,3	169	0,001	0,009	0,8	0,008	217	0,22	0,017	0,9
Snelweg	2	1,6	118	0,001	0,007	0,6	0,009	151	0,16	0,012	0,6
LZV											
Gemiddeld	3	1,6	118	0,001	0,006	0,6	0,009	151	0,16	0,012	0,6
Stad	3	3,4	247	0,002	0,012	1,4	0,014	317	0,33	0,024	1,5
Buiten	3	2,1	154	0,001	0,008	0,7	0,008	198	0,20	0,015	0,8
Snelweg	3	1,5	107	0,001	0,005	0,5	0,009	138	0,14	0,010	0,5

Tabel 9 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer middelzwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	1	2,1	155	0,001	0,011	1,2	0,015	200	0,20	0,018	1,3
Stad	1	3,5	251	0,002	0,019	2,2	0,023	322	0,33	0,031	2,3
Buiten	1	2,2	162	0,001	0,011	1,3	0,013	208	0,21	0,019	1,3
Snelweg	1	1,8	133	0,001	0,009	1,0	0,014	171	0,18	0,015	1,0
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	2	1,3	91	0,001	0,007	0,6	0,008	117	0,12	0,011	0,6
Stad	2	2,0	147	0,001	0,012	1,1	0,012	190	0,19	0,019	1,1
Buiten	2	1,3	94	0,001	0,007	0,6	0,007	120	0,12	0,012	0,6
Snelweg	2	1,1	78	0,0005	0,006	0,5	0,007	100	0,10	0,009	0,5
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	2	1,1	80	0,0005	0,004	0,4	0,006	102	0,10	0,008	0,4
Stad	2	2,3	167	0,001	0,009	0,9	0,009	214	0,22	0,017	1,0
Buiten	2	1,4	104	0,001	0,006	0,5	0,005	134	0,14	0,011	0,5
Snelweg	2	1,0	72	0,0004	0,004	0,3	0,005	93	0,10	0,007	0,4
LZV											
Gemiddeld	3	1,0	73	0,0004	0,003	0,3	0,005	93	0,10	0,007	0,4
Stad	3	2,1	152	0,001	0,007	0,8	0,009	196	0,20	0,015	0,9
Buiten	3	1,3	95	0,001	0,004	0,4	0,005	122	0,13	0,009	0,4
Snelweg	3	0,9	66	0,0004	0,003	0,3	0,005	85	0,09	0,006	0,3



Tabel 10 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-wegvervoer zwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Vrachtauto > 20 ton											
Gemiddeld	1	1,6	116	0,001	0,008	0,9	0,011	149	0,15	0,014	0,9
Stad	1	2,6	187	0,001	0,014	1,6	0,017	241	0,25	0,023	1,7
Buiten	1	1,7	121	0,001	0,008	0,9	0,009	156	0,16	0,014	1,0
Snelweg	1	1,4	99	0,001	0,007	0,7	0,010	128	0,13	0,011	0,8
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger											
Gemiddeld	2	1,0	70	0,0004	0,005	0,4	0,006	89	0,09	0,008	0,5
Stad	2	1,6	113	0,001	0,009	0,8	0,009	145	0,15	0,014	0,8
Buiten	2	1,0	71	0,0004	0,005	0,4	0,005	92	0,09	0,009	0,5
Snelweg	2	0,8	60	0,0004	0,004	0,4	0,006	77	0,08	0,007	0,4
Trekker-oplegger Zwaar											
Gemiddeld	2	0,8	61	0,0004	0,003	0,3	0,004	79	0,08	0,006	0,3
Stad	2	1,8	128	0,001	0,007	0,7	0,007	165	0,17	0,013	0,7
Buiten	2	1,1	80	0,0005	0,004	0,3	0,004	103	0,11	0,008	0,4
Snelweg	2	0,8	56	0,0003	0,003	0,2	0,004	72	0,07	0,006	0,3
LZV											
Gemiddeld	3	0,8	56	0,0003	0,003	0,2	0,004	72	0,07	0,005	0,3
Stad	3	1,6	118	0,001	0,005	0,6	0,007	151	0,16	0,011	0,6
Buiten	3	1,0	73	0,0004	0,003	0,3	0,004	94	0,10	0,007	0,3
Snelweg	3	0,7	51	0,0003	0,002	0,2	0,004	66	0,07	0,005	0,2

3.3 Spoor

3.3.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen spoor

Tabel 11 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor licht transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	594	0,23	-	-	-	-	0,01	31	0,017	0,001	0,029
Middellange trein	891	0,18	-	-	-	-	0,01	24	0,013	0,001	0,023
Lange trein	1.188	0,15	-	-	-	-	0,01	20	0,011	0,001	0,019
Trein diesel											
Korte trein	594	0,62	44	0,0003	0,017	0,60	0,01	57	0,059	0,019	0,624
Middellange trein	891	0,48	34	0,0002	0,013	0,47	0,01	44	0,046	0,015	0,485
Lange trein	1.188	0,40	29	0,0002	0,011	0,39	0,01	37	0,038	0,012	0,406



Tabel 12 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor middelzwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	935	0,12	-	-	-	-	0,01	16	0,009	0,001	0,015
Middellange trein	1.403	0,09	-	-	-	-	0,01	12	0,007	0,001	0,012
Lange trein	1.870	0,08	-	-	-	-	0,00	10	0,006	0,000	0,010
Trein diesel											
Korte trein	935	0,32	23	0,0001	0,009	0,31	0,01	29	0,030	0,010	0,322
Middellange trein	1.403	0,25	18	0,0001	0,007	0,24	0,01	23	0,024	0,008	0,250
Lange trein	1.870	0,21	15	0,0001	0,006	0,20	0,00	19	0,020	0,006	0,209

Tabel 13 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor zwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	1.276	0,09	-	-	-	-	0,01	12	0,006	0,001	0,011
Middellange trein	1.914	0,07	-	-	-	-	0,00	10	0,005	0,000	0,009
Lange trein	2.668	0,07	-	-	-	-	0,00	9	0,005	0,000	0,009
Trein diesel											
Korte trein	1.276	0,23	17	0,0001	0,006	0,23	0,01	22	0,022	0,007	0,237
Middellange trein	1.914	0,19	14	0,0001	0,005	0,19	0,00	18	0,018	0,006	0,195
Lange trein	2.668	0,18	13	0,0001	0,005	0,18	0,00	17	0,017	0,006	0,184

3.3.2 Data parkgemiddeld containers spoor

Tabel 14 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor licht transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	45	0,29	-	-	-	-	0,019	39	0,021	0,002	0,037
Middellange trein	70	0,22	-	-	-	-	0,014	30	0,016	0,001	0,028
Lange trein	90	0,19	-	-	-	-	0,012	26	0,014	0,001	0,024
Trein diesel											
Korte trein	45	0,78	57	0,0004	0,021	0,76	0,018	73	0,075	0,024	0,787
Middellange trein	70	0,59	44	0,0003	0,016	0,58	0,014	56	0,057	0,018	0,599
Lange trein	90	0,51	37	0,0002	0,014	0,50	0,012	48	0,048	0,016	0,512



Tabel 15 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor middelzwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{si}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	45	0,18	-	-	-	-	0,012	24	0,013	0,001	0,023
Middellange trein	70	0,14	-	-	-	-	0,009	19	0,010	0,001	0,017
Lange trein	90	0,12	-	-	-	-	0,008	16	0,009	0,001	0,015
Trein diesel											
Korte trein	45	0,49	36	0,0002	0,013	0,47	0,011	46	0,046	0,015	0,491
Middellange trein	70	0,37	27	0,0002	0,010	0,36	0,009	35	0,035	0,011	0,373
Lange trein	90	0,32	23	0,0001	0,009	0,31	0,007	30	0,030	0,010	0,319

Tabel 16 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-spoor zwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{si}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Trein elektrisch											
Korte trein	45	0,14	-	-	-	-	0,009	19	0,010	0,001	0,018
Middellange trein	70	0,11	-	-	-	-	0,007	14	0,008	0,001	0,013
Lange trein	90	0,09	-	-	-	-	0,006	12	0,007	0,001	0,011
Trein diesel											
Korte trein	45	0,37	28	0,0002	0,010	0,37	0,009	35	0,036	0,011	0,378
Middellange trein	70	0,28	21	0,0001	0,008	0,28	0,007	27	0,027	0,009	0,288
Lange trein	90	0,24	18	0,0001	0,007	0,24	0,006	23	0,023	0,007	0,246

3.4 Binnenvaart

3.4.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen binnenvaart

Tabel 17 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart licht transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{si}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Spits											
CEMT-I	365	0,55	40	0,0002	0,025	0,6	-	51	0,053	0,027	0,67
CEMT-Va	365	0,55	39	0,0002	0,024	0,6	-	51	0,053	0,026	0,67
CEMT-VIb	365	0,48	34	0,0002	0,022	0,6	-	44	0,046	0,024	0,58
Waal	365	0,50	35	0,0002	0,022	0,6	-	45	0,047	0,024	0,59
Kempenaar											
CEMT-II	617	0,49	35	0,0002	0,022	0,6	-	45	0,047	0,023	0,58
CEMT-Va	617	0,56	40	0,0002	0,024	0,6	-	51	0,053	0,026	0,67
CEMT-VIb	617	0,51	37	0,0002	0,023	0,6	-	47	0,049	0,024	0,61
Waal	617	0,55	39	0,0002	0,024	0,6	-	51	0,052	0,026	0,65
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip											
CEMT-IV	1.537	0,35	25	0,0002	0,014	0,4	-	32	0,033	0,015	0,40
CEMT-Va	1.537	0,51	36	0,0002	0,021	0,6	-	47	0,049	0,022	0,58
CEMT-VIb	1.537	0,52	37	0,0002	0,021	0,6	-	48	0,050	0,023	0,60
Waal	1.537	0,51	37	0,0002	0,021	0,6	-	47	0,049	0,023	0,59



Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Groot Rijnschip											
CEMT-Va	3.013	0,24	17	0,0001	0,008	0,2	-	22	0,023	0,009	0,25
CEMT-VIb	3.013	0,32	23	0,0001	0,011	0,3	-	29	0,031	0,012	0,34
Waal	3.013	0,28	20	0,0001	0,010	0,3	-	26	0,027	0,011	0,30
Koppelverband Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed											
CEMT-VIb	5.046	0,21	15	0,0001	0,007	0,2	-	19	0,020	0,008	0,22
Waal	5.046	0,29	20	0,0001	0,010	0,3	-	26	0,027	0,011	0,30
4-baksduwstel											
CEMT-VIb	11.181	0,20	14	0,0001	0,004	0,2	-	19	0,019	0,005	0,16
Waal	11.181	0,24	17	0,0001	0,005	0,2	-	22	0,023	0,006	0,19
6-baksduwstel (lang)											
CEMT-VIb	16.444	0,14	10	0,0001	0,003	0,1	-	13	0,014	0,003	0,11
Waal	16.444	0,17	12	0,0001	0,003	0,1	-	15	0,016	0,004	0,13

Tabel 18 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart middelzwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Spits											
CEMT-I	365	0,49	35	0,0002	0,022	0,6	-	45	0,046	0,024	0,59
CEMT-Va	365	0,45	32	0,0002	0,020	0,5	-	41	0,043	0,022	0,55
CEMT-VIb	365	0,39	27	0,0002	0,017	0,5	-	35	0,037	0,019	0,47
Waal	365	0,40	28	0,0002	0,018	0,5	-	36	0,038	0,019	0,48
Kempenaar											
CEMT-II	617	0,43	31	0,0002	0,019	0,5	-	40	0,041	0,020	0,51
CEMT-Va	617	0,46	33	0,0002	0,020	0,5	-	42	0,044	0,021	0,54
CEMT-VIb	617	0,41	29	0,0002	0,018	0,5	-	37	0,039	0,019	0,48
Waal	617	0,43	31	0,0002	0,019	0,5	-	40	0,041	0,020	0,51
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip											
CEMT-IV	1.537	0,29	21	0,0001	0,012	0,3	-	27	0,028	0,013	0,33
CEMT-Va	1.537	0,42	30	0,0002	0,017	0,5	-	39	0,040	0,019	0,48
CEMT-VIb	1.537	0,41	29	0,0002	0,017	0,5	-	38	0,039	0,018	0,47
Waal	1.537	0,40	29	0,0002	0,016	0,4	-	37	0,038	0,018	0,46
Groot Rijnschip											
CEMT-Va	3.013	0,20	14	0,0001	0,007	0,2	-	18	0,019	0,008	0,21
CEMT-VIb	3.013	0,24	17	0,0001	0,009	0,2	-	22	0,023	0,009	0,26
Waal	3.013	0,21	15	0,0001	0,007	0,2	-	19	0,020	0,008	0,22
Koppelverband Klasse Va + 1 Europa-II bak breed											
CEMT-VIb	5.046	0,17	12	0,0001	0,006	0,2	-	16	0,016	0,007	0,18
Waal	5.046	0,22	16	0,0001	0,008	0,2	-	20	0,021	0,009	0,23
4-baksduwstel											
CEMT-VIb	11.181	0,17	12	0,0001	0,003	0,1	-	16	0,016	0,004	0,14
Waal	11.181	0,19	14	0,0001	0,004	0,1	-	18	0,019	0,005	0,16
6-baksduwstel (lang)											
CEMT-VIb	16.444	0,12	8	0,0001	0,002	0,1	-	11	0,011	0,003	0,09
Waal	16.444	0,13	9	0,0001	0,003	0,1	-	12	0,013	0,003	0,11



Tabel 19 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart zwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Spits											
CEM- I	365	0,56	40	0,0003	0,025	0,7	-	52	0,054	0,027	0,68
CEM-T-Va	365	0,47	34	0,0002	0,021	0,6	-	43	0,045	0,023	0,57
CEM-T-VIb	365	0,40	28	0,0002	0,018	0,5	-	37	0,038	0,019	0,48
Waal	365	0,41	29	0,0002	0,018	0,5	-	38	0,039	0,020	0,50
Kempenaar											
CEM-T-II	617	0,48	34	0,0002	0,021	0,6	-	44	0,046	0,022	0,57
CEM-T-Va	617	0,48	34	0,0002	0,021	0,6	-	44	0,046	0,023	0,57
CEM-T-VIb	617	0,42	30	0,0002	0,018	0,5	-	38	0,040	0,020	0,50
Waal	617	0,44	32	0,0002	0,019	0,5	-	41	0,042	0,021	0,52
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip											
CEM-T-IV	1.537	0,32	23	0,0001	0,013	0,4	-	29	0,030	0,014	0,36
CEM-T-Va	1.537	0,45	32	0,0002	0,018	0,5	-	42	0,043	0,020	0,52
CEM-T-VIb	1.537	0,42	30	0,0002	0,017	0,5	-	39	0,040	0,019	0,48
Waal	1.537	0,41	30	0,0002	0,017	0,5	-	38	0,040	0,018	0,47
Groot Rijnschip											
CEM-T-Va	3.013	0,23	16	0,0001	0,008	0,2	-	21	0,022	0,009	0,24
CEM-T-VIb	3.013	0,26	19	0,0001	0,009	0,3	-	24	0,025	0,010	0,28
Waal	3.013	0,22	16	0,0001	0,008	0,2	-	21	0,021	0,009	0,24
Koppelverband Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed											
CEM-T-VIb	5.046	0,20	14	0,0001	0,007	0,2	-	18	0,019	0,008	0,21
Waal	5.046	0,24	17	0,0001	0,008	0,2	-	22	0,023	0,009	0,25
4-baksduwstel											
CEM-T-VIb	11.181	0,19	14	0,0001	0,004	0,1	-	17	0,018	0,004	0,15
Waal	11.181	0,21	15	0,0001	0,004	0,2	-	20	0,020	0,005	0,17
6-baksduwstel (lang)											
CEM-T-VIb	16.444	0,13	9	0,0001	0,003	0,1	-	12	0,013	0,003	0,11
Waal	16.444	0,14	10	0,0001	0,003	0,1	-	13	0,013	0,003	0,11

3.4.2 Data parkgemiddeld containers binnenvaart

Tabel 20 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart licht transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Neo Kemp											
CEM-T-III	40	0,56	40	0,0002	0,023	0,63	-	51	0,054	0,025	0,65
CEM-T-Va	40	0,87	62	0,0004	0,036	0,97	-	80	0,083	0,039	1,00
CEM-T-VIb	40	1,01	72	0,0005	0,042	1,14	-	93	0,097	0,046	1,17
Waal	40	0,94	67	0,0004	0,039	1,06	-	87	0,090	0,042	1,09
Rijn-Herne Schip (96 TEU)											
CEM-T-IV	96	0,41	29	0,0002	0,017	0,45	-	37	0,039	0,018	0,46
CEM-T-Va	96	0,64	46	0,0003	0,026	0,71	-	59	0,061	0,028	0,73
CEM-T-VIb	96	0,73	52	0,0003	0,030	0,81	-	67	0,070	0,032	0,84
Waal	96	0,73	52	0,0003	0,029	0,81	-	67	0,069	0,032	0,83
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)											
CEM-T-Va	160	0,55	39	0,0002	0,019	0,56	-	51	0,053	0,021	0,58
CEM-T-VIb	160	0,66	47	0,0003	0,023	0,68	-	61	0,063	0,026	0,70
Waal	160	0,64	46	0,0003	0,022	0,65	-	59	0,061	0,025	0,68



Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014										
		TTW-emissies (g/tkm)							WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	
Groot Rijnschip (208 TEU)												
CEMT-Va	208	0,30	22	0,0001	0,011	0,31	-	28	0,029	0,012	0,32	
CEMT-VIb	208	0,44	31	0,0002	0,015	0,45	-	41	0,042	0,017	0,46	
Waal	208	0,40	28	0,0002	0,014	0,40	-	37	0,038	0,015	0,42	
Verleng groot Rijnschip (272 TEU)												
CEMT-Va	272	0,31	22	0,0001	0,006	0,24	-	28	0,030	0,007	0,25	
CEMT-VIb	272	0,40	29	0,0002	0,008	0,31	-	37	0,038	0,009	0,32	
Waal	272	0,32	23	0,0001	0,006	0,25	-	30	0,031	0,008	0,26	
Koppelverband Europe-II-C3I (348 TEU)												
CEMT-Va	348	0,27	20	0,0001	0,010	0,28	-	25	0,026	0,011	0,29	
CEMT-VIb	348	0,31	22	0,0001	0,011	0,31	-	28	0,029	0,012	0,32	
Waal	348	0,28	20	0,0001	0,010	0,29	-	26	0,027	0,011	0,30	
Rijnmax Schip												
CEMT-VIb	434	0,41	29	0,0002	0,008	0,32	-	38	0,040	0,010	0,33	
Waal	434	0,43	31	0,0002	0,009	0,33	-	40	0,041	0,010	0,35	

Tabel 21 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart middelwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014										
		TTW-emissies (g/tkm)							WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	
Neo Kemp												
CEMT-III	40	0,37	27	0,0002	0,016	0,42	-	34	0,036	0,017	0,43	
CEMT-Va	40	0,57	41	0,0003	0,024	0,64	-	52	0,055	0,026	0,66	
CEMT-VIb	40	0,65	47	0,0003	0,027	0,73	-	60	0,062	0,029	0,75	
Waal	40	0,61	43	0,0003	0,025	0,68	-	56	0,058	0,027	0,70	
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip (96 TEU)												
CEMT-IV	96	0,29	21	0,0001	0,012	0,32	-	27	0,028	0,013	0,33	
CEMT-Va	96	0,45	32	0,0002	0,018	0,50	-	41	0,043	0,020	0,51	
CEMT-VIb	96	0,49	35	0,0002	0,020	0,55	-	45	0,047	0,022	0,56	
Waal	96	0,48	34	0,0002	0,019	0,53	-	44	0,046	0,021	0,55	
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)												
CEMT-Va	160	0,41	30	0,0002	0,014	0,42	-	38	0,040	0,016	0,43	
CEMT-VIb	160	0,47	34	0,0002	0,017	0,48	-	44	0,045	0,018	0,50	
Waal	160	0,45	32	0,0002	0,016	0,46	-	42	0,043	0,017	0,47	
Groot Rijnschip (208 TEU)												
CEMT-Va	208	0,22	15	0,0001	0,008	0,22	-	20	0,021	0,008	0,23	
CEMT-VIb	208	0,30	21	0,0001	0,010	0,30	-	27	0,028	0,011	0,31	
Waal	208	0,26	18	0,0001	0,009	0,26	-	24	0,025	0,010	0,27	
Verleng groot Rijnschip (272 TEU)												
CEMT-Va	272	0,22	16	0,0001	0,004	0,17	-	21	0,021	0,005	0,18	
CEMT-VIb	272	0,27	19	0,0001	0,005	0,21	-	25	0,026	0,006	0,22	
Waal	272	0,21	15	0,0001	0,004	0,16	-	19	0,020	0,005	0,17	
Koppelverband Europe-II-C3I (348 TEU)												
CEMT-Va	348	0,20	15	0,0001	0,007	0,21	-	19	0,019	0,008	0,21	
CEMT-VIb	348	0,21	15	0,0001	0,007	0,22	-	19	0,020	0,008	0,22	
Waal	348	0,19	13	0,0001	0,007	0,19	-	17	0,018	0,007	0,20	
Rijnmax Schip												
CEMT-VIb	434	0,29	21	0,0001	0,006	0,22	-	27	0,028	0,007	0,23	
Waal	434	0,29	21	0,0001	0,006	0,22	-	27	0,028	0,007	0,23	



Tabel 22 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-binnenvaart zwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Neo Kemp											
CEMT-III	40	0,31	22	0,0001	0,013	0,35	-	29	0,030	0,014	0,36
CEMT-Va	40	0,46	33	0,0002	0,019	0,52	-	43	0,044	0,021	0,54
CEMT-VIb	40	0,52	37	0,0002	0,022	0,59	-	48	0,050	0,023	0,60
Waal	40	0,48	34	0,0002	0,020	0,54	-	44	0,046	0,022	0,56
Rijn-Herne Schip (96 TEU)											
CEMT-IV	96	0,25	18	0,0001	0,010	0,28	-	23	0,024	0,011	0,29
CEMT-Va	96	0,38	27	0,0002	0,015	0,42	-	35	0,037	0,017	0,44
CEMT-VIb	96	0,41	29	0,0002	0,017	0,45	-	37	0,039	0,018	0,46
Waal	96	0,39	28	0,0002	0,016	0,43	-	36	0,037	0,017	0,44
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)											
CEMT-Va	160	0,37	27	0,0002	0,013	0,38	-	34	0,036	0,014	0,39
CEMT-VIb	160	0,41	29	0,0002	0,014	0,42	-	38	0,039	0,016	0,43
Waal	160	0,38	27	0,0002	0,013	0,39	-	35	0,037	0,015	0,40
Groot Rijnschip (208 TEU)											
CEMT-Va	208	0,19	14	0,0001	0,007	0,19	-	17	0,018	0,007	0,20
CEMT-VIb	208	0,25	18	0,0001	0,009	0,25	-	23	0,024	0,009	0,26
Waal	208	0,21	15	0,0001	0,007	0,21	-	19	0,020	0,008	0,22
Verleng groot Rijnschip (272 TEU)											
CEMT-Va	272	0,20	14	0,0001	0,004	0,15	-	18	0,019	0,005	0,16
CEMT-VIb	272	0,23	16	0,0001	0,005	0,17	-	21	0,022	0,005	0,18
Waal	272	0,17	12	0,0001	0,003	0,13	-	16	0,016	0,004	0,14
Koppelverband Europe-II-C3I (348 TEU)											
CEMT-Va	348	0,18	13	0,0001	0,006	0,19	-	17	0,018	0,007	0,19
CEMT-VIb	348	0,18	13	0,0001	0,006	0,18	-	16	0,017	0,007	0,19
Waal	348	0,15	11	0,0001	0,005	0,16	-	14	0,015	0,006	0,16
Rijnmax Schip											
CEMT-VIb	434	0,25	18	0,0001	0,005	0,19	-	23	0,024	0,006	0,20
Waal	434	0,24	17	0,0001	0,005	0,18	-	22	0,023	0,006	0,19

3.5 Zeevaart (kustvaart)

3.5.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen kustvaart

Tabel 23 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart licht transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
General cargo											
General Cargo 0-5 dwkt	1.925	0,53	40	0,025	0,018	0,83	0	50	0,075	0,020	0,85
General Cargo 5-10 dwkt	7.339	0,38	29	0,018	0,013	0,60	0	36	0,054	0,015	0,61
General Cargo 10-20 dwkt	22.472	0,25	19	0,012	0,009	0,39	0	24	0,036	0,010	0,40



Tabel 24 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart middelzwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
General cargo											
General Cargo 0-5 dwkt	1.925	0,29	22	0,013	0,010	0,46	0	27	0,041	0,011	0,47
General Cargo 5-10 dwkt	7.339	0,22	17	0,010	0,008	0,36	0	21	0,032	0,009	0,36
General Cargo 10-20 dwkt	22.472	0,16	12	0,007	0,006	0,25	0	15	0,023	0,006	0,26
Bulk carrier											
Bulk carrier (feeder)	3.341	0,39	29	0,018	0,014	0,60	0	37	0,055	0,015	0,61
Bulk carrier (handysize)	27.669	0,12	9	0,006	0,004	0,19	0	11	0,017	0,005	0,20
Bulk carrier (handymax)	52.222	0,09	7	0,004	0,003	0,14	0	8	0,013	0,003	0,15

Tabel 25 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart zwaar transport bulk 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit ton	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Olietanker											
Oil tanker 0-5 dwkt	1.985	0,72	55	0,034	0,025	0,95	0	69	0,103	0,028	0,97
Oil tanker 5-10 dwkt	6.777	0,33	25	0,016	0,012	0,45	0	32	0,048	0,013	0,46
Oil tanker 10-20 dwkt	15.129	0,25	19	0,012	0,009	0,33	0	24	0,036	0,010	0,34
Oil tanker 20-60 dwkt	43.763	0,19	15	0,009	0,007	0,28	0	19	0,028	0,007	0,28
Oil tanker 60-80 dwkt	72.901	0,13	10	0,006	0,005	0,20	0	13	0,019	0,005	0,21
Oil tanker 80-120 dwkt	109.259	0,11	8	0,005	0,004	0,16	0	10	0,015	0,004	0,16
General cargo											
General Cargo 0-5 dwkt	1.925	0,28	21	0,013	0,010	0,45	0	27	0,040	0,011	0,46
General Cargo 5-10 dwkt	7.339	0,22	17	0,010	0,008	0,35	0	21	0,031	0,008	0,36
General Cargo 10-20 dwkt	22.472	0,16	12	0,007	0,005	0,25	0	15	0,022	0,006	0,25
Bulk carrier											
Bulk carrier (feeder)	3.341	0,38	28	0,018	0,013	0,58	0	36	0,054	0,014	0,59
Bulk carrier (handysize)	27.669	0,11	9	0,005	0,004	0,19	0	11	0,016	0,004	0,19
Bulk carrier (handymax)	52.222	0,09	7	0,004	0,003	0,14	0	8	0,012	0,003	0,14

3.5.2 Data parkgemiddeld containers kustvaart

Tabel 26 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart licht transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Containerschip											
Container (feeder)	635	0,61	46	0,029	0,021	0,97	0	58	0,087	0,023	0,99
Container (like handysize)	1.500	0,47	36	0,022	0,016	0,73	0	45	0,067	0,018	0,75
Container (like handymax)	2.750	0,40	31	0,019	0,014	0,63	0	39	0,058	0,016	0,65
Container (like panamax)	4.060	0,37	28	0,017	0,013	0,59	0	35	0,053	0,014	0,60
Container (like aframax)	5.600	0,32	24	0,015	0,011	0,52	0	31	0,046	0,012	0,53
Container (like suezmax)	8.170	0,27	21	0,013	0,010	0,45	0	26	0,039	0,010	0,45



Tabel 27 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart middelzwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Containerschip											
Container (feeder)	635	0,36	27	0,017	0,013	0,58	0	35	0,052	0,014	0,59
Container (like handysize)	1.500	0,28	21	0,013	0,010	0,43	0	26	0,040	0,011	0,44
Container (like handymax)	2.750	0,24	18	0,011	0,008	0,37	0	23	0,034	0,009	0,38
Container (like panamax)	4.060	0,22	16	0,010	0,008	0,35	0	21	0,031	0,008	0,36
Container (like aframax)	5.600	0,19	14	0,009	0,007	0,31	0	18	0,027	0,007	0,31
Container (like suezmax)	8.170	0,16	12	0,008	0,006	0,26	0	15	0,023	0,006	0,27

Tabel 28 Emissiefactoren tank-to-wheel- en well-to-wheel-zeevaart zwaar transport container 2014

Voertuigtype	Laad- capaciteit TEU	2014									
		TTW-emissies (g/tkm)						WTW-emissies (g/tkm)			
		MJ/tkm	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq	SO ₂	PM _v	NO _x
Containerschip											
Container (feeder)	635	0,27	20	0,013	0,009	0,43	0	26	0,039	0,010	0,44
Container (like handysize)	1.500	0,21	16	0,010	0,007	0,32	0	20	0,029	0,008	0,33
Container (like handymax)	2.750	0,18	13	0,008	0,006	0,28	0	17	0,025	0,007	0,28
Container (like panamax)	4.060	0,16	12	0,008	0,006	0,26	0	15	0,023	0,006	0,26
Container (like aframax)	5.600	0,14	11	0,007	0,005	0,23	0	13	0,020	0,005	0,23
Container (like suezmax)	8.170	0,12	9	0,006	0,004	0,20	0	11	0,017	0,005	0,20

3.6 Alternatieve technieken en brandstoffen

Onderstaande tabellen bevatten indexgetallen voor alternatieve technieken en brandstoffen. De indexgetallen worden in Paragraaf 4.8 toegelicht.

3.6.1 Wegverkeer

Tabel 29 Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken bestelauto (index Euro 5 = 100)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
	MJ/km	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel Euro 5	3,1	231,1	0,001	1,5	295	0,010	0,1
Index van gemiddelde diesel 2014 t.o.v. Euro 5							
Diesel gemiddeld 2014	100	100	3681	87	100	423	88
Index (Euro 5 = 100)							
Diesel Euro 5	100	100	100	100	100	100	100
Diesel Euro 6	100	100	100	72	100	100	74
Diesel Plug-in hybride (Euro 6)	88	88	75	75	88	87	76
GTL Euro 5	100	96	80	85	100	110	87
Biodiesel Euro 5 (B100)	100	0	40	125	22	228	127
CNG (Euro 6)	110	84	100	20	80	12	20
Bio-CNG (Euro 6)	110	0	100	20	30	43	22
Elektrisch	52	0	0	0	74	89	13
Waterstof	67	0	0	0	74	348	18



Tabel 30 Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken middelzware vrachtauto (10-20 ton GVW) (index Euro V = 100)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
	MJ/km	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel Euro V	8,1	612,9	0,012	4,6	781	0,039	4,9
Index van gemiddelde diesel 2014 t.o.v. Euro V							
Diesel gemiddeld 2014	100	100	394	112	100	192	111
Index (Euro V = 100)							
Diesel Euro V	100	100	100	100	100	100	100
Diesel Euro VI	100	100	70	9	100	91	14
Diesel hybride Euro VI	90	90	100	100	90	93	99
GTL Euro V	96	92	80	85	96	100	86
Biodiesel Euro V (B30)	100	70	80	110	77	124	110
Biodiesel Euro V (B100)	100	0	40	125	22	182	127
CNG (Euro VI)	110	84	70	9	81	24	9
Bio-CNG (Euro VI)	110	0	70	9	30	48	11
LNG (Euro VI)	110	84	70	9	87	47	13
Bio-LNG (Euro VI)	110	0	70	9	30	48	11
Elektrisch	56	0	0	0	79	72	12
Waterstof	72	0	0	0	79	283	16

Tabel 31 Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken trekker-oplegger zwaar (index Euro V = 100)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
	MJ/km	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel Euro V	13,9	1.050	0,040	3,1	1.339	0,086	3,5
Index van gemiddelde diesel 2014 t.o.v. Euro V							
Diesel gemiddeld 2014	100	100	126	131	100	112	127
Index (Euro V = 100)							
Diesel Euro V	100	100	100	100	100	100	100
Diesel Euro VI	100	100	30	23	100	68	33
GTL Euro V	96	92	80	85	96	95	88
Biodiesel Euro V (B30)	100	70	80	110	77	114	111
Biodiesel Euro V (B100)	100	0	40	125	22	151	129
LNG (Euro VI)	110	84	30	23	87	33	32
Bio-LNG (Euro VI)	110	0	30	23	30	34	27
Waterstof	81	0	0	0	89	248	43

3.6.2 Spoor

Tabel 32 Indexcijfers voor groene stroom spoor elektrisch (index stroom gemiddeld = 100)

Brandstof/techniek	TTW-emissies			WTW-emissies		
	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Elektrisch stroom gemiddeld (g/kWh-elektrisch)	0	0	0	490	0,02	0,46
Index t.o.v. stroom gemiddeld						
Stroom gemiddeld	100	100	100	100	100	100
Groene stroom/windenergie	0	0	0	0	0	0
Bovenspanning 3 kV (t.o.v. 1.5 kV)	0	0	0	80	80	80



Tabel 33 Indexcijfers voor alternatieven en gemiddeld 2014 van spoor diesel (Stage IIIa = 100)

Brandstof/techniek	Energie-gebruik	TTW-emissies			WTW-emissies		
	MJ _{fuel} /kWh*	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Stage IIIa (g/kWh)*	8,7	625	0,2	6,7	829	0,23	6,98
Index t.o.v. stage IIIa							
Stage IIIa (2007/2009)	100	100	100	100	100	100	100
Gemiddeld 2014	100	100	115	124	100	113	123
Stage IIIb (2012)	100	100	13	54	100	24	56
Stage V (2019/2020)	100	100	13	54	100	24	56

* Het betreft kWh geleverd motorvermogen (zoals in de emissienormering).

3.6.3 Binnenvaart

Tabel 34 Indexcijfers voor alternatieven en gemiddelden 2014 van binnenvaart (CCR2 = 100)

Brandstof/techniek	Energie-gebruik	TTW-emissies			WTW-emissies		
	MJ _{fuel} /kWh*	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel CCR2 (g/kWh*)	8,7	625	0,15	6,0	830	0,18	6,28
Index van gemiddelden 2014 t.o.v. CCR2							
Spits 2014	100	100	262	172	100	235	169
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	100	100	237	162	100	213	159
Groot Rijnschip 2014	100	100	204	149	100	187	146
Rijnmax schip 2014	100	100	116	112	100	114	111
Index alternatieven t.o.v. CCR2							
Diesel CCR2	100	100	100	100	100	100	100
Stage V (2019/2020)	100	100	15	35	100	29	38
Diesel-hybride CCR2	95	95	95	95	95	95	95
LNG, pilot 2%D	100	100	25	25	98	27	28
LNG, dual fuel, 20%D	100	100	50	50	98	49	52
LNG, single fuel, SI	100	100	10	25	98	14	28
CCR2 met GTL **	100	96	80	90	100	86	91
CCR2 met SCR **	100	100	90	20	100	92	24
CCR2 met DPF **	101	100	10	100	100	25	100
CCR2 met SCR/ DPF **	101	100	10	15	100	25	19

* Het betreft kWh geleverd motorvermogen (gelijk de emissienormering).

** De reductiepercentages gelden ook wanneer het alternatief wordt toegepast op een CCR0- of CCR1-motor ten opzichte van de motor zonder de maatregel. Voor GTL zijn metingen beperkt, de variatie in fijnstofreductie varieert van 15-60%.



3.6.4 Zeevaart (kustvaart)

Tabel 35 Emissiekentallen voor alternatieve brandstoffen en technieken zeescheepvaart (index MGO = 100)

Brandstof/ techniek	TTW	TTW-emissies (g/kWh)				WTW-emissies (g/kWh)			
	MJ/kWh	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	SO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	SO _x
MGO Tier II	7,9	599	0,10	10,2	0,37	757	0,12	10,4	1,13
Index van diesel gemiddeld MGO t.o.v. MGO Tier II									
MGO	100	100	100	124	100	100	100	100	100
Index alternatieven t.o.v. MGO Tier II									
MGO Tier III	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MGO Tier III	100	100	100	25	100	100	100	27	100
HFO + Scrubber	103	104	120 (50-190)	120	5-100*	96	118	119	5- 100
LNG	103	97	11	13	1	97	13	15	0,6

* Meetrapporten (COWI, 2012) (Holland America Line and Hamworthy-Krystallon, 2010); (Wärtisilä, 2010) laten een bandbreedte in zwavelreductie door scrubbers zien van 95% onder de SECA-norm tot iets onder de SECA-norm.
Op basis van recente metingen (meetrapport verkregen via persoonlijke communicatie KVNR) lijkt een hoge zwavelreductie mogelijk. Hiervoor is meer onderzoek nodig. Duidelijk is, dat de SECA-norm gehaald wordt.

4 Beschrijving en aannames emissiedata

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden aannames en berekeningsmethodieken achter de cijfers in Hoofdstuk 3 gegeven. In Paragraaf 4.2 worden eerst algemene aannames en methodieken besproken over hoe de emissies per tonkilometer zijn berekend. In Paragrafen 4.3 (Wegvervoer), 4.4 (Spoor), 4.5 (Binnenvaart) en 4.6 (Zeevaart) worden per modaliteit de specifieke aannames en rekenwijze voor de voertuigemissies per kilometer (tank-to-wheel¹² (TTW)-emissies) besproken. Paragraaf 4.7 behandelt de upstream-emissies (WTT) per kilometer. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een paragraaf over de aannames en berekeningen van de correctiefactoren voor alternatieve technieken en brandstoffen (Paragraaf 4.8) en een paragraaf met kentallen voor overslag (Paragraaf 4.9). De logistieke data gegeven waarop de kentallen per tonkilometer gebaseerd zijn worden beschreven in Hoofdstuk 5.

4.2 Methodiek algemeen

De emissiefactoren in Hoofdstuk 3 zijn uitgedrukt in emissies per tonkilometer (EF_{tkm}). De **tonkilometer** is een eenheid die de transportprestatie definieert, uitgedrukt als het transport van één ton over een afstand van één kilometer. De afstand die in dit kader in aanmerking wordt genomen is de werkelijk afgelegde afstand om de goederen af te leveren.¹³ De tonkilometer geeft daarmee de transportprestatie uitgedrukt in zowel afstand als afgeleverd gewicht.

Voor alle emissies wordt inzicht gegeven in zowel de uitlaatgasemissies (tank-to-wheel-emissies) als de totale gebruiksafhankelijke ketenemissies (well-to-wheel). In de well-to-wheel-emissies wordt ook rekening gehouden met de emissies die optreden bij de winning, productie en transport van brandstoffen en bij elektriciteitsproductie (well-to-tank-emissies). De CO₂-emissies betreffen CO₂-equivalenten (CO₂-eq). De emissies van methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) worden hierbij in CO₂-equivalenten uitgedrukt met behulp van de GWP-factoren in Tabel 36.

Tabel 36 GWP-factoren (Global Warming Potential) methaan en lachgas

Broeikasgas	Global Warming Potential (100 jaar)
Koolstofdioxide (CO ₂)	1
Methaan (CH ₄)	28
Lachgas (N ₂ O)	265

Bron: IPCC, 2014: Fifth Assessment Report (Exclusive of Climate - Carbon Feedbacks - ARS method)

¹² Voor binnen- en zeevaart kan hier tank-to-propeller worden gelezen.

¹³ Voor monitoringsdoeleinden (KPIs) en benchmarking wordt soms in de definitie van een tonkilometer de vogelvluchtafstand gehanteerd.



De emissies per tonkilometer zijn berekend uit de gemiddelde emissies per voertuigkilometer¹⁴ (EF_{vkm}) en de gemiddelde lading ($Ton_{gemiddeld}$) in een voertuig over volle en lege ritten volgens:

$$EF_{tkm} = \frac{EF_{vkm}}{Ton_{gemiddeld}} \quad (1)$$

EF_{vkm}

Voor alle modaliteiten geldt dat de emissiefactor per voertuigkilometer een gemiddelde is van emissiefactoren over beladen ($EF_{vkm-beladen}$) en lege kilometers ($EF_{vkm-lege}$) gewogen naar het aandeel beladen ($\%vkm_{beladen}$) en lege kilometers ($\%vkm_{lege}$) volgens:

$$EF_{vkm} = EF_{vkm-beladen} \times \%vkm_{beladen} + EF_{vkm-lege} \times \%vkm_{lege} \quad (2)$$

De emissiefactor voor beladen kilometers hangt daarbij af van de belading van het voertuig. Voor containertransport heeft het gewicht van de lege container daarbij ook invloed op de emissiefactor. De berekeningswijze van de emissiefactor voor beladen kilometers verschilt per modaliteit en wordt per modaliteit behandeld in de Paragrafen 4.3 (Wegvervoer), 4.4 (Spoor), 4.5 (Binnenvaart) en 4.6 (Zeevaart).

$Ton_{gemiddeld}$ - bulk en stukgoederen

Het gemiddelde tonnage over beladen en lege kilometers ($ton_{gemiddeld}$) wordt berekend met behulp van de capaciteit van het voertuig (Cap), de gemiddelde beladingsgraad van de beladen ritten ($\%ton$) en het aandeel beladen kilometers volgens:

$$Ton_{gemiddeld} = Cap \times \%ton \times \%vkm_{beladen} \quad (3)$$

De voertuigcapaciteit, de gemiddelde beladingsgraad en het gemiddeld aantal beladen kilometers per modaliteit worden gegeven in Hoofdstuk 5. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen licht, middel en zwaar transport.

$Ton_{gemiddeld}$ - containertransport

Voor containertransport wordt het gemiddelde tonnage over beladen en lege kilometers berekend uit de containercapaciteit ($CapTEU$), het gemiddeld aandeel bezette containerplaatsen ($\%TEU$) en de gemiddelde containerbelading (ton/TEU) volgens:

$$Ton_{gemiddeld} = CapTEU \times \%TEU \times ton/TEU \quad (4)$$

Er wordt in STREAM onderscheid gemaakt tussen lichte, middelzware en zware containers. Het leeggewicht van de container wordt in de berekening van het gemiddelde tonnage **niet** meegenomen. De beladingskentallen voor containertransport zijn opgenomen in Hoofdstuk 5.

¹⁴ Waar voertuig staat kan voor binnen- en zeevaart ook vaartuig worden gelezen.



De upstream-emissies per kilometer ($EF_{g/km}(WTT)$) zijn direct gerelateerd aan het energiegebruik per kilometer ($EC_{MJ/km}$) en worden met behulp van emissiefactoren voor brandstof en elektriciteit ($EF_{g/MJ}$) berekend volgens:

$$EF_{g/km}(WTT) = EC_{MJ/km} * EF_{g/MJ} \quad (5)$$

De energiegebruiken per kilometer (MJ/km) worden per modaliteit gerapporteerd in de Paragrafen 4.3-4.64.6. In Paragraaf 4.7 worden de upstream-emissies per brandstof gegeven.

4.3 Wegvervoer

4.3.1 Inleiding

Voor wegvervoer worden gemiddelde emissies per beladen kilometer ($EF_{vkm\text{-beladen}}$) berekend vanuit emissiefactoren voor lege (EF_{leeg}) en maximaal beladen ($EF_{max\ vol}$) voertuigen volgens een lineair verband:

$$EF_{vkm\text{-beladen}} = EF_{leeg} + \%belading \times (EF_{max\ vol} - EF_{leeg}) \quad (6)$$

Met behulp van de beladingsgraden uit Paragraaf 5 voor licht, middel en zwaar transport zijn zo het energiegebruik en de emissiefactoren voor licht, middel en zwaar transport berekend. In Paragraaf 4.3.2 worden de bronnen en berekening van het energiegebruik en de CO₂-emissiefactoren per kilometer van volle en lege voertuigen beschreven. Paragraaf 4.3.3 beschrijft de gegevens voor de luchtvervuilende emissiefactoren.

De voertuigen die we in deze studie op hebben genomen zijn weergegeven in Tabel 37. De voertuigdefinities zijn overgenomen in overeenstemming met de gebruikte emissiekentallen uit (Task Force on Transportation, 2016). De laadcapaciteiten en leeggewichten voor vrachtauto's zijn overgenomen uit (TNO, 2015b). De leeggewichten van lichte/zware trekker-opleggers zijn geschat op basis van CBS-data over het park. Hierin is te zien dat de trekker zelf ongeveer 7 ton wegen en de leeggewichten van de opleggers 7-9 ton zijn.

Tabel 37 Definitie van voertuigtypes wegvervoer

Voertuigtype	Laadcapaciteit (ton)	Massa leeg voertuig (ton)	GVW (ton)
Bestelauto < 2 ton	0,7	1,3	2
Bestelauto > 2 ton	1,2	2,3	3,5
Vrachtauto < 10 ton	3	4,5	7,5
Vrachtauto 10-20 ton	7,5	8,5	16
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	18	15	33
Vrachtauto > 20 ton	13	15	28
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	28	18	46
Trekker-oplegger licht	15,7	13,7	29,4
Trekker-oplegger zwaar	29,2	15,7	44,9
LZV	40,8	19,2	60



4.3.2 Energiegebruik en CO₂-emissies

Het energiegebruik van bestelauto's, vrachtauto's en trekker-opleggers is gebaseerd op de CO₂-factoren uit (TNO, 2016a) per wegtype. Hierin zijn zowel emissiefactoren voor lichte als zware bestelauto's opgenomen, evenals de zeven standaardklassen voor trucks (vrachtauto klein, middel, groot met en zonder aanhanger, en lichte en zware trekker-opleggers).

De LZV-emissiefactoren zijn gemodelleerd ten opzichte van de trekker-oplegger op basis van TML, 2008 en TRL, 2008 (zie Tabel 73, Bijlage A).

De emissiefactoren uit (TNO, 2016a) zijn geldig voor een gemiddeld voertuig, met gemiddelde belading (in termen van massa). Om onderscheid te kunnen maken naar het energiegebruik bij verschillende beladingsgraden zijn de emissiefactoren voor lege (EF_{leeg}) en volle voertuigen (EF_{vol}) berekend uit de gemiddelde emissiefactoren volgens formules 7 en 8.

$$EF_{leeg} = EF_{gemiddelde-belading} - difCO_2 \times Lading_{gemiddeld} \quad (7)$$

$$EF_{vol} = EF_{gemiddelde-belading} + difCO_2 \times (Capaciteit - Lading_{gemiddeld}) \quad (8)$$

Deze berekening is uitgevoerd met behulp van de difCO₂-factoren in Tabel 38 die het verband tussen het gewicht van het voertuig en de CO₂-uitstoot per kilometer geven.

Tabel 38 Verandering in CO₂-emissies (g/km) per ton lading (Dif CO₂)

Voertuig	Toe- of afname CO ₂ /km bij lading toe- of afname (Δ (g CO ₂ / km)/Δ ton)
Bestelauto's	18,5
Vrachtauto's en trekker-opleggers	13,25

Bron: Bestelauto's: (TNO, 2015a). Vrachtauto's en trekker-opleggers: (CBS, 2014).

De berekening is toegepast op de wegtype gemiddelde CO₂-factoren van de voertuigen. De differentiatie naar wegtypen is gemaakt door dezelfde verhouding tussen de CO₂-factoren per wegtype en het gemiddelde toe te passen op de wegtype gemiddelde CO₂-factoren voor vol en leeg. Het energiegebruik is vervolgens berekend door de CO₂-emissiefactoren (g/km) te delen door de CO₂-inhoud van diesel (74.3 g CO₂/MJ). Het energiegebruik en de CO₂ emissiefactoren voor lege en (volledig) volle voertuigen zijn weergegeven in Tabel 39.



Tabel 39 Energiegebruik en CO₂-emissiefactoren voor wegvervoer per wegtype en voertuigtype 2014 van leeg tot maximaal vol

	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
Energiegebruik (MJ/km)	Bestelauto < 2 ton	2,7-2,9	1,6-1,7	2,3-2,5
	Bestelauto > 2 ton	3,7-4,1	2,3-2,5	3,4-3,7
	Vrachtauto < 10 ton	5,6-6,4	3,8-4,3	3,4-3,8
	Vrachtauto 10-20 ton	11,5-13,6	7,5-8,8	6,3-7,5
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	13,8-18,7	8,9-12,0	7,5-10,2
	Vrachtauto > 20 ton	16,5-20,2	10,7-13,1	8,7-10,7
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	17,8-25,9	11,3-16,4	9,4-13,7
	Trekker-oplegger licht	16,0-21,1	10,3-13,6	8,3-11,0
	Trekker-oplegger zwaar	19,5-30,4	12,1-18,9	8,5-13,2
	LZV	26,3-41,0	16,4-25,6	11,4-17,8
CO ₂ (gram/km)	Bestelauto < 2 ton	197-213	117-126	171-185
	Bestelauto > 2 ton	276-302	170-186	250-275
	Vrachtauto < 10 ton	419-472	281-316	253-286
	Vrachtauto 10-20 ton	858-1.009	555-653	471-554
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	1.023-1.387	658-892	559-757
	Vrachtauto > 20 ton	1.223-1.501	791-971	649-796
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	1.321-1.922	838-1.220	700-1.019
	Trekker-oplegger licht	1.189-1.565	768-1.011	619-814
	Trekker-oplegger zwaar	1.447-2.258	901-1.407	628-981
	LZV	1.954-3.048	1.217-1.899	848-1.324

4.3.3 Emissiedata

De emissiefactoren voor PM_v (fijnstof door verbranding) en NO_x (stikstofoxiden) zijn gebaseerd op Taakgroepcijfers per Euroklasse en wegtype (Task Force on Transportation, 2016). De aandelen van de Euroklassen per voertuigtype zijn berekend op basis van Taakgroepcijfers en zijn weergegeven in Tabel 72 in Bijlage A. Hierbij is aangenomen dat de wegtypeverdeling gelijk is voor de verschillende Euroklassen.

De fijnstofemissies door slijtage (PM_{sl}) zijn opgebouwd uit slijtage-emissies van banden, remmen en het wegdek en berekend op basis van de kentallen in (Task Force on Transportation, 2016). Voor de bandenslijtage is rekening gehouden met het aantal banden per voertuigtype. De stof afkomstig van bandenslijtage en slijtage van het wegdek bestaat voor ongeveer 5% uit PM₁₀. Voor de slijtage van remmen is dit ongeveer 50%.

De emissiefactoren voor SO₂ zijn bepaald aan de hand van het gemiddelde zwavelgehalte van diesel (10 ppm). Hierbij is aangenomen dat 95% van de zwavel wordt omgezet in SO₂ (Task Force on Transportation, 2016).

Er is aangenomen dat de emissiefactoren (EF) voor volle en lege voertuigen lineair samenhangen met het energiegebruik (EC) volgens de formule:

$$EC_{\text{vol}} / EC_{\text{leeg}} = EF_{\text{vol}} / EF_{\text{leeg}} * \epsilon$$

Hierbij is ϵ een factor tussen 0 en 1 en verschilt voor de verschillende luchtvervuilende stoffen en ook per Euroklasse. De factor ϵ geeft aan hoeveel de emissies van de luchtvervuilende stof toenemen. Er is aangenomen dat de NO_x-emissiefactor voor EURO-IV-VI niet afhankelijk is van de belading, evenals de PM_v-emissiefactor voor EURO-VI. De factoren zijn weergegeven in Tabel 40.



Tabel 40 Factor relatieve verandering luchtvervuilende emissies ten opzichte van energiegebruik (ϵ)

Euroklasse	NO _x	PM _v	PM _{slijtage}	SO ₂
EURO-0-III	0.75	0.5	1	1
EURO-IV-V	0	0.5	1	1
EURO-VI	0	0	1	1

Berekening CE Delft op basis van (IFEU, Infrac, IVE, 2014).

Op basis hiervan nemen bijvoorbeeld bij een hoger energiegebruik van 1% de slijtage-emissies ook met 1% toe, maar de fijnstofemissies door verbranding (PM_v) voor EURO-0-V-voertuigen met 0,5%. Voor Euro VI-voertuigen zijn de fijnstofemissies door verbranding (PM_v) niet afhankelijk van de belading ($\epsilon=0$).

De emissiefactoren voor de LZV zijn gemodelleerd ten opzichte van de zware trekker-oplegger op dezelfde wijze als in (CE Delft, 2011) (zie Tabel 73, Bijlage A). De resulterende emissiefactoren zijn weergegeven in Tabel 41. Met behulp van de wegtypeverdelingen uit Tabel 74 (Bijlage A) zijn de wegtype-gemiddelde emissies per tonkilometer in Hoofdstuk 3 berekend.

Tabel 41 Emissiefactoren SO₂, PM_v, NO_x en PM_{sl} (range leeg-vol) per wegtype en voertuigtype 2014

Emissiefactor	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
SO ₂ (mg/km)	Bestelauto < 2 ton	1,2-1,3	0,7-0,8	1,0-1,1
	Bestelauto > 2 ton	1,7-1,8	1,0-1,1	1,5-1,6
	Vrachtauto < 10 ton	2,5-2,8	1,7-1,9	1,5-1,7
	Vrachtauto 10-20 ton	5,1-6,0	3,3-3,9	2,8-3,3
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	6,1-8,3	3,9-5,3	3,3-4,5
	Vrachtauto > 20 ton	7,3-9,0	4,7-5,8	3,9-4,8
	Vrachtauto > 20 ton +aanhanger	7,9-11,5	5,0-7,3	4,2-6,1
	Trekker-oplegger licht	7,1-9,4	4,6-6,1	3,7-4,9
	Trekker-oplegger zwaar	8,7-13,5	5,4-8,4	3,8-5,9
	LZV	11,7-18,3	7,3-11,4	5,1-7,9
PM _v (mg/km)	Bestelauto < 2 ton	84-88	45-47	45-47
	Bestelauto > 2 ton	53-55	29-30	37-39
	Vrachtauto < 10 ton	49-52	30-32	25-26
	Vrachtauto 10-20 ton	79-86	46-50	36-39
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	92-108	57-67	47-55
	Vrachtauto > 20 ton	96-107	57-64	45-50
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	113-139	68-83	54-66
	Trekker-oplegger licht	37-42	23-27	19-22
	Trekker-oplegger zwaar	84-107	52-66	37-47
	LZV	101-128	63-80	44-56
NO _x (g/km)	Bestelauto < 2 ton	0,8-0,9	0,6-0,6	0,8-0,8
	Bestelauto > 2 ton	1,5-1,5	1,0-1,0	1,3-1,4
	Vrachtauto < 10 ton	4,7-4,8	3,0-3,1	2,5-2,6
	Vrachtauto 10-20 ton	8,6-8,9	5,1-5,3	3,9-4,1
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	8,6-9,5	4,7-5,3	4,0-4,5
	Vrachtauto > 20 ton	11,3-11,9	6,5-6,9	5,0-5,4
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	10,6-12,0	5,7-6,5	4,8-5,5
	Trekker-oplegger licht	10,2-10,7	6,1-6,4	4,7-5,0
	Trekker-oplegger zwaar	9,2-9,9	4,7-5,1	3,3-3,6
	LZV	12,3-13,2	6,2-6,8	4,4-4,8



Emissiefactor	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
PM _{slijtage} (mg/km)	Bestelauto < 2 ton	27-30	14-15	15-16
	Bestelauto > 2 ton	27-30	14-15	15-16
	Vrachtauto < 10 ton	100-113	53-60	58-65
	Vrachtauto 10-20 ton	103-121	55-65	61-72
	Vrachtauto 10-20 ton +aanhanger	102-138	56-75	62-84
	Vrachtauto > 20 ton	110-135	60-73	67-82
	Vrachtauto > 20 ton +aanhanger	104-151	58-84	65-95
	Trekker-oplegger licht	86-113	46-60	50-66
	Trekker-oplegger zwaar	74-116	41-64	46-71
	LZV	108-168	59-93	66-104

4.4 Spoor

4.4.1 Inleiding

De gemiddelde emissies per kilometer zijn berekend vanuit het gemiddelde energiegebruik per km en emissiefactoren per megajoules energiegebruik. In Paragraaf 4.4.2 wordt het energiegebruik per kilometer gegeven, in Paragraaf 4.4.3 de emissiefactoren.

De treinen die in deze studie zijn gebruikt zijn gedefinieerd in Tabel 42 voor zowel het transport van bulk- en stukgoederen als container. Naast de ladingcapaciteit is ook de Gross Tonne Weight (GTW) van de beladen trein weergegeven, een gebruikelijke maat voor de grootte van de trein. Het GTW betreft het totaal van het leeggewicht en lading van de trein. Ter vergelijking: Treinen op de Betuweroute in Nederland hadden een gemiddeld GTW van 1.900 ton (gemiddeld van beladen en onbeladen). Op de grensovergangen bij Eijsden (Zuid-Limburg) en Oldenzaal (Twente) bedroeg het gemiddelde GTW van de treinen 1.300 en 1.100 ton, respectievelijk. Gemiddeld over Nederland komt het gewicht op ongeveer 1.570 ton uit (ProRail, 2016), zie Bijlage B.

Tabel 42 Overzicht van treincategorieën in STREAM

Naam	Aantal wagons (<i>lengte gemiddelde wagon in meter</i>)	Ladingcapaciteit (ton of TEU) (<i>GTW-beladen rit in ton</i>)		
		Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport
Bulk- en stukgoederentreinen				
		Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport
Korte trein	22 (15 m)	594 (513)	935 (1.128)	1.276 (1.734)
Middellange trein	33 (14,5 m)	891 (769)	1.403 (1.691)	1.914 (2.602)
Lange trein	44/46* (14 m)	1.188 (1.025)	1.870 (2.255)	1.668 (3.627)
Containertreinen				
		Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport
Korte trein	15 (14,0 m)	45 (505)	45 (635)	45 (748)
Middellange trein	23 (16,9 m)	70 (786)	70 (988)	70 (1.163)
Lange trein	30 (19,9 m)	90 (1.010)	90 (1.270)	90 (1.496)

* Het maximaal aantal wagons voor internationaal transport is gemaximeerd door een treinlengte van 650 meter. Door de iets kortere wagons die gebruikelijk zijn voor zware goederen wordt voor zwaar transport uitgegaan van 46 in plaats van 44 wagons.



4.4.2 Energiegebruik

Het energiegebruik voor treinen is op eenzelfde wijze berekend als in STREAM Freight 2011 (CE Delft, 2011) en is gebaseerd op de methodiek beschreven in (IFEU, Infras, IVE, 2014), die is gevalideerd met praktijkdata.

Uit de methodiek kan worden afgeleid dat het elektrisch energiegebruik per kilometer (EC (MJ_e/vkm)) afhangt van het totaalgewicht van de trein inclusief het gewicht van de wagon en exclusief het gewicht van de locomotief (GTW) volgens:

$$\begin{aligned} EC (MJ_e/vkm) &= 4.23 \times GTW^{0,38} - \text{voor } GTW < 2.200 \text{ ton} \\ EC (MJ_e/vkm) &= 0,035 \times GTW - \text{voor } GTW > 2.200 \text{ ton} \end{aligned}$$

Voor diesel wordt op basis van het motorrendement het energiegebruik met een factor 2,7 vermenigvuldigd (2,7 MJ diesel levert hetzelfde motorvermogen als 1 MJ elektriciteit). Voor diesel wordt het energiegebruik (MJ_{diesel}/vkm) dan als volgt berekend:

$$\begin{aligned} EC (MJ_{diesel}/vkm) &= 11.4 \times GTW^{0,38} - \text{voor } GTW < 2.200 \text{ ton} \\ EC (MJ_{diesel}/vkm) &= 0,095 \times GTW - \text{voor } GTW > 2.200 \text{ ton} \end{aligned}$$

In de formules is op basis van (CE Delft, 2011) aangenomen dat het energiegebruik per kilometer tussen 2009 (basisjaar STREAM 2011) en 2014 met 2% is gedaald. Met de formules kan met behulp van het GTW voor lege en beladen treinen het energiegebruik worden berekend.

GTW berekening

Om het energiegebruik te kunnen berekenen is voor de verschillende treinen het totaalgewicht van de wagons inclusief lading (GTW) bepaald. Voor bulk- en stukgoederen is het gewicht van beladen (GTW_b) en lege (GTW_l) treinen bepaald op basis van de wagenspecificaties in Tabel 43 en de beladingsgraden in Hoofdstuk 5 volgens:

$$\begin{aligned} GTW_b &= AW \times (BG \times CapW) + AW \times GW \\ GTW_l &= AW \times GW \end{aligned}$$

Waarbij:

AW: Aantal wagons (zie Tabel 42).
BG: Beladingsgraad (zie logistiek data in Hoofdstuk 5).
CapW: Beladingscapaciteit wagon (zie Tabel 42).
GW: Gewicht van wagon (Tabel 43 en Tabel 44).

Voor containertransport wordt aangenomen dat de trein nooit onbeladen is en wordt GTW_b bepaald met behulp van de wagenspecificaties in Tabel 44 volgens:

$$GTW_b = AW \times TEUcap \times BTC \times (LPT+GLC) + AW \times GW$$

Met :

TEUcap: TEU-capaciteit per wagon (zie Tabel 44).
BTC: Benutting TEU-capaciteit; (zie Hoofdstuk 5).
LPT: Lading per TEU; gemiddelde van volle en lege containers (ton/TEU) (zie Hoofdstuk 5).
GLC: Gewicht lege container (zie Hoofdstuk 5).



Tabel 43 Wagonspecificaties voor bulk- en stukgoederen

	Lichte goederen	Middelzware goederen	Zware goederen
Gewicht wagon (GW in ton)	12,5	17,3	22,0
Laadcapaciteit wagon (LCW in ton)	27	42,5	58
Lengte wagon (m)	15	14,5	14

Tabel 44 Wagonspecificaties voor containertransport

	Lichte goederen	Middelzware goederen	Zware goederen
Gewicht wagon (GW in ton)	12,5	16,3	20,0
TEU/wagon (TCW)	2	2,5	3
Lengte wagon (m)	14,0	16,9	19,7

Berekening energiegebruik

Met behulp van de GTW-kentallen voor volle en lege treinen is het energiegebruik van volle en lege treinen berekend, die vervolgens zijn gewogen naar het aandeel beladen en onbeladen kilometers zoals aangegeven in Paragraaf 4.2. De resulterende energiegebruiken zijn weergegeven in Tabel 45 en Tabel 46.

Tabel 45 Energiegebruik van treinen met bulk- en tukgoederen (MJ/vkm)*

	Lichte goederen	Middelzware goederen	Zware goederen
Elektrisch			
Korte trein	43	53	60
Middellange trein	51	62	74
Lange trein	57	69	97
Diesel			
Korte trein	117	143	161
Middellange trein	137	167	199
Lange trein	153	186	262

* Voor elektrisch MJ_e voor diesel MJ_{diesel}.

Tabel 46 Energiegebruik van treinen met containers (MJ/vkm)*

	Lichte containers	Middelzware containers	Zware containers
Elektrisch			
Korte trein	45	49	52
Middellange trein	53	58	62
Lange trein	59	64	68
Diesel			
Korte trein	122	133	141
Middellange trein	144	167	167
Lange trein	159	173	184

* Voor elektrisch MJ_e voor diesel MJ_{diesel}.



4.4.3 Emissiedata

De emissiefactoren per kilometer voor spoorvervoer zijn berekend uit het energiegebruik per kilometer met behulp van de emissiekentallen per megajoules elektriciteit of diesel in Tabel 47. De emissiekentallen uit (CE Delft, 2011) zijn geüpdatet op basis van de weergegeven bronnen.

Tabel 47 Emissiekentallen per megajoules voor treinen

	Diesel (g/MJ _{diesel})	Elektrisch (g/MJ _e)	Bron
CO ₂	71,47	-	Op basis van (Task Force on Transportation, 2014)
SO ₂	0,0004	-	
PM _v	0,027	-	2014 kentel berekend uit lineaire interpolatie van emissiekentallen voor 2009 en 2020 in (CE Delft, 2011)
NO _x	0,978	-	
PM _{sl}	0,0235	0,065	(CE Delft, 2014)
CH ₄	0,0050	-	Op basis van (Task Force on Transportation, 2014)
N ₂ O	0,0006	-	

4.5 Binnenvaart

4.5.1 Inleiding

De gemiddelde emissies per kilometer zijn berekend vanuit het gemiddelde energiegebruik per kilometer en een emissiefactor per kilowattuur energiegebruik aan de motor. In Paragraaf 4.5.2 wordt het energiegebruik per kilometer gegeven, in Paragraaf 4.5.3 de emissiefactoren.

De vaartuigen die voor binnenvaart in deze studie zijn opgenomen zijn gedefinieerd in Tabel 48.

Tabel 48 Overzicht van scheepstypen in STREAM

	Type schip	AVV-klasse	Ladingcapaciteit (ton)
Bulk- en stuksgoederen			
Spits	Motorschip	M1	365
Kempenaar	Motorschip	M2	617
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	Motorschip	M6	1.537
Groot Rijnschip	Motorschip	M8	3.013
Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed	Koppelverband	C3b	5.046
4-baksduwstel	Duwstel	BII-4	11.181
6-baksduwstel (lang)	Duwstel	BII-6l	16.444
Containerschepen			
Neo Kemp (32-48 TEU)*	Motorschip	M3	850
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip (96 TEU)	Motorschip	M6	1.537
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)	Duwstel	BIIa	2.708
Groot Rijnschip (208 TEU)	Motorschip	M8	3.013
Verleng Groot Rijnschip (272 TEU)	Motorschip	M9	3.736
Koppelverband Europe-II-C3l (348 TEU)	Koppelverband	C3l	4.518
Rijnmax schip (398-470 TEU)*	Motorschip	M12	6.082

* Het aantal lagen containers en daarmee de capaciteit hangt af van de doorvaarhoogte. Bij de Neo Kemp is een range voor twee tot drie lagen gegeven bij het Rijnmax schip voor vier tot vijf lagen.



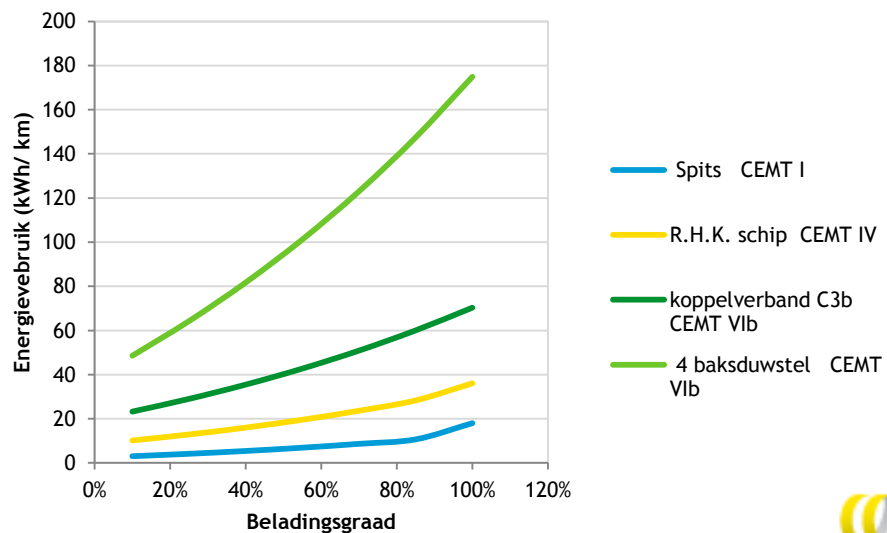
4.5.2 Energiegebruik

Methode

Voor binnenvaart worden alle emissiefactoren per vaartuigkilometer berekend uit het energiegebruik per kilometer, gebruikmakend van emissiefactoren per kilowattuur (zie Paragraaf 4.5.3). Het energiegebruik per kilometer is gemodelleerd op basis van het model dat wordt toegepast door de emissie-registratie. Voor de beschrijving van het model verwijzen we naar de rapportage (AVV, 2003).

Het model maakt een inschatting van het energiegebruik aan de hand van vaarwegparameters (diepte, doorsnede, stromingssnelheid), scheepsparameters (lengte/breedte, diepgang vol en leeg), en gebruiksparameters (vaarsnelheid, belading). De beladingsgraad heeft invloed op de diepgang en daarmee op het energiegebruik. Het verband tussen beladingsgraad en energiegebruik wordt in Figuur 9 geïllustreerd voor een combinatie van enkele scheepstypen en vaarwegen (CEMT-klasse).

Figuur 9 Invloed beladingsgraad op energiegebruik binnenvaartschepen



De toegepaste scheepsparameters voor de modelering van de scheepstypen in deze studie zijn opgenomen in Bijlage C. De vaarsnelheden zijn gedifferentieerd per vaarwegtype en ladingstoestand (beladen of leeg) en zijn overgenomen uit (Rijkswaterstaat, 2013).

Op basis van het model kan op deze manier het energiegebruik worden berekend voor verschillende type schepen op verschillende vaarwegen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen het energiegebruik op lege en beladen vaarten. Voor rivieren wordt daarnaast onderscheid gemaakt tussen het energiegebruik rivier op en rivier af.

Het gemiddelde energiegebruik per kilometer (kWh/km) is vervolgens berekend door de energiegebruiken voor beladen ($EC_{beladen}$) en lege vaart (EC_{leeg}) te wegen met het aandeel beladen ($\%km_{beladen}$) en lege kilometers ($1 - \%km_{beladen}$) volgens:

$$EC_{gem} = \%km_{beladen} \times EC_{vol} + (1 - \%km_{beladen}) \times EC_{leeg}$$



Het aandeel beladen kilometers voor binnenvaart toegepast in de berekening is opgenomen in Hoofdstuk 5.

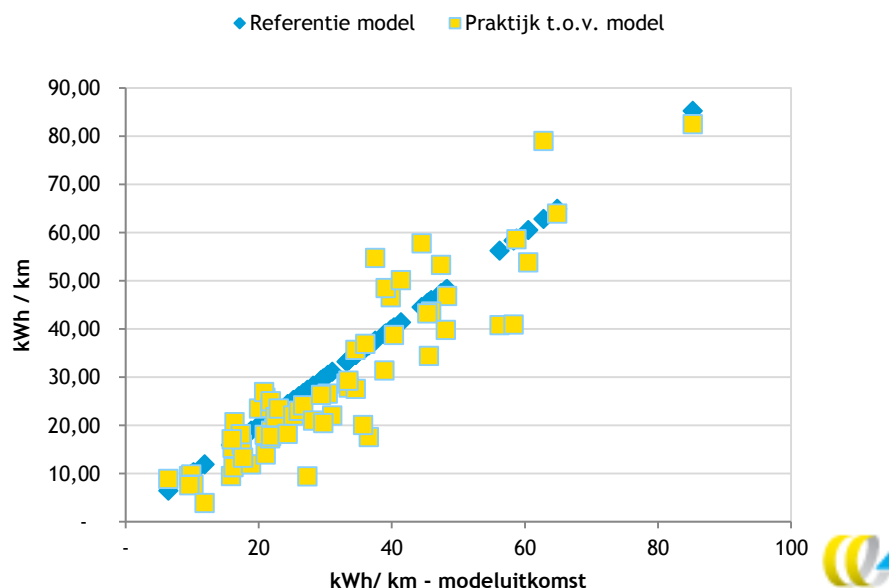
Voor rivieren wordt het aandeel beladen en lege kilometers in aanvulling nog verder onderverdeeld naar rivier op en af. Aangenomen is dat van het aandeel beladen kilometers 50%-punt rivier op is en het overige rivier af.

De einduitkomsten uit het model zijn tenslotte opgehoogd met 6% voor het verbruik van de boegschroefmotor (inschatting CE Delft op basis van (Emissieregistratie, 2012).

Validatie

De uitkomsten van het model zijn gevalideerd aan de hand van praktijkdata verzameld door BLN Schuttevaer bij 100 binnenvaartschepen. In Figuur 10 zijn de jaargemiddelde praktijkdata afgezet tegen de modeluitkomsten van dezelfde schepen (zie voor uitgebreidere beschrijving Bijlage D). Uit Figuur 10 blijkt dat het model gemiddeld genomen het energiegebruik goed kan voorspellen. Tegelijk is te zien dat voor individuele gevallen het verbruik flink kan afwijken.

Figuur 10 Energiegebruik uit praktijkdata afgezet tegen energiegebruik berekend in model



Modeluitkomsten

Met het model zijn voor veel voorkomende scheepstypen de energiegebruiken berekend. De resultaten zijn voor bulk- en stukgoederentransport weergegeven in Tabel 49 en voor containertransport in Tabel 50.

Tabel 49 Energiegebruik aan de motor (kWh/km) en diesilverbruik (MJ/km) voor bulk- en stukgoederen

Scheepstype (klasse-aanduiding)	Vaarweg- type	Energiegebruik aan motor (kWh/km)			Diesilverbruik (MJ/km)*		
		Licht	Middel- zwaar	Zwaar	Licht	Middel- zwaar	Zwaar
Spits (M1)	CEMT-I	7	10	12	68	93	111
	CEMT-Va	7	9	10	68	86	93
	CEMT-VIb	6	8	8	59	74	78
	Waal	7	8	9	61	76	81
Kempenaar (M2)	CEMT-II	11	15	17	102	140	159
	CEMT-Va	13	16	17	116	148	160
	CEMT-VIb	12	14	15	107	132	139
	Waal	12	15	16	114	140	147
R.H.K. (Rijn-Herne- Kanaal) schip (M6)	CEMT-IV	19	25	28	180	236	264
	CEMT-Va	28	37	40	264	341	375
	CEMT-VIb	29	36	38	272	332	351
	Waal	29	35	37	267	323	344
Groot Rijn Schip (M8)	CEMT-Va	27	35	42	254	329	388
	CEMT-VIb	36	44	48	335	407	447
	Waal	32	37	41	295	347	378
Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed (C3b)	CEMT-VIb	39	51	60	366	471	554
	Waal	54	66	73	504	617	676
4-baksduwstel (BII-4)	CEMT-VIb	84	113	128	783	1.053	1.187
	Waal	101	130	144	941	1.203	1.339
6-baksduwstel (lang) (BII-6l)	CEMT-VIb	88	116	132	817	1.075	1.224
	Waal	103	129	138	960	1.195	1.282

* Het diesilverbruik is berekend uitgaande van een specifiek brandstofverbruik van 204 g diesel/kWh (zie 4.5.3) en energiedichtheid van diesel (100% fossiel) van 42,7 MJ/kg).

Tabel 50 Energiegebruik aan de motor (kWh/km) en diesilverbruik (MJ/km) voor containertransport

Scheepstype (TEU-capaciteit) (klasse-aanduiding)	Vaarweg- type	Energiegebruik aan motor (kWh/km)			Diesilverbruik (MJ/km)		
		Licht	Middel- zwaar	Zwaar	Licht	Middel- zwaar	Zwaar
Neo Kemp (32-48 TEU) (M3)	CEMT-III	8	9	11	73	85	98
	CEMT-Va	12	14	16	113	130	146
	CEMT-VIb	14	16	18	132	149	165
	Waal	13	15	16	123	138	152
R.H.K. (Rijn-Herne- Kanaal) schip (96 TEU) (M6)	CEMT-IV	14	17	20	127	158	189
	CEMT-Va	21	26	31	199	244	289
	CEMT-VIb	25	29	33	229	270	307
	Waal	24	28	32	227	262	294
Duwstel Europa-IIa (160 TEU) (BII-1)	CEMT-Va	31	41	50	287	377	468
	CEMT-VIb	37	47	56	346	433	516
	Waal	36	44	52	335	411	481
Groot Rijnschip (208 TEU) (M8)	CEMT-Va	22	28	33	206	257	310
	CEMT-VIb	32	38	43	298	352	403
	Waal	29	33	37	269	307	342
Verleng groot Rijnschip (272 TEU) (M9)	CEMT-Va	30	37	46	274	348	426
	CEMT-VIb	38	46	52	356	422	486
	Waal	31	35	39	285	326	364
Koppelverband Europe-II- C3l (348 TEU) (C3l)	CEMT-Va	34	44	54	311	404	504
	CEMT-VIb	37	45	53	347	419	488
	Waal	34	40	45	319	372	420
Rijnmax Schip (398-470 TEU) (M12)	CEMT-VIb	63	78	94	584	725	868
	Waal	66	77	88	610	716	814

* Het diesilverbruik is berekend uitgaande van een specifiek brandstofverbruik van 204 g diesel/kWh (zie 4.5.3) en energiedichtheid van diesel (100% fossiel) van 42,7 MJ/kg).



4.5.3 Emisiedata

De emissiefactoren voor CO₂ en SO₂ zijn direct afhankelijk van het dieselverbruik van de motoren. Ook de broeikasgasemissie N₂O en CH₄ zijn direct afhankelijk van het dieselverbruik verondersteld op basis van gegevens van de taakgroep verkeer en vervoer (Task Force on Transportation, 2016). Op basis van een specifiek brandstofverbruik van binnenvaartmotoren van 204 gram diesel per kilowattuur (op basis van (Rijkswaterstaat, 2013) en (Emissieregistratie, 2012)) zijn de emissiefactoren per Megajoules omgezet naar emissiefactoren per kilowattuur (Tabel 51).

Tabel 51 Emissiefactoren CO₂, N₂O CH₄ en SO₂ per kilowattuur

Emissiefactor	g/kWh	Bron
CO ₂	622	204 g diesel/kWh x 3.034 g CO ₂ /kg diesel
N ₂ O	0,0052	204 g diesel/kWh x 0,025 g N ₂ O/kg diesel (Task Force on Transportation, 2016)
CH ₄	0,044	204 g diesel/kWh x 0,21 g N ₂ O/kg diesel (Task Force on Transportation, 2016)
SO ₂	0,0041	204 g diesel/kWh x 0,02 g N ₂ O/kg diesel (10 ppm S)

De NO_x-en PM_v-emissiefactoren voor binnenvaart zijn afhankelijk van het bouwjaar en de voor dat bouwjaar geldende emissienormen. Vanaf 2003 zijn de emissies voor NO_x en PM_v gereguleerd door regelgeving van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCNR, 2000) en (CCNR, 2001)) en later door EU-richtlijn 2004/26 (PbEU L225/3). Op basis van deze regulering is onderscheid te maken tussen motoren van voor 2003 (CCR0) motoren met bouwjaar 2003-2006 (CCR1) en motoren met een bouwjaar vanaf 2007 (CCR2). Voor de CCR-categorieën zijn de gemiddelde emissiefactoren weergegeven in Tabel 52. De waarden zijn gebaseerd op bouwjaarafhankelijk emissiefactoren gegeven in het EMS-protocol van de emissieregistratie voor de binnenvaart (Emissieregistratie, 2012) en bevindingen in recent onderzoek door (CE Delft, 2015).

Tabel 52 Emissiefactoren NO_x en PM_v per bouwjaarcategorie (CCR-klasse) en aandelen van categorieën per scheepstype

	PM _v (g/kWh) ^a	NO _x (g/kWh) ^a	M1 ^b	M2 ^b	M3 ^b	M6 ^b	M8, C3I, C3b, BII-1 ^b	M9, M12, BII-4, BII-6I ^b
CCR0 (bouwjaar < 2003)	0,4	10,4	96%	91%	83%	79%	58%	2%
CCR1 (bouwjaar 2003-2006)	0,25	9,2	2%	4%	6%	7%	12%	20%
CCR2 (bouwjaar > 2007)	0,15	6	2%	5%	11%	14%	30%	78%

^a Op basis van (Emissieregistratie, 2012) en (CE Delft, 2015).

^b Op basis van (TNO, 2015c).

In Tabel 52 zijn naast de emissiefactoren per CCR-klasse ook de aandelen per scheepstype weergegeven. Deze aandelen zijn gebaseerd op de leeftijdsverdeling per type motorschip in (TNO, 2015c). Op basis van de aandelen CCR-klasse per scheepstype en de emissiefactoren per CCR-klasse zijn de emissiefactoren (in g/kWh) voor NO_x en PM_v berekend, zoals weergegeven in Tabel 53.



Tabel 53 Gehanteerde emissiefactoren voor NO_x en PM_v per scheepstype

	M1	M2	M3	M6	M8, C3I, C3b, BII-1	M9, M12, BII-4, BII-6I
NO _x (g/kWh)	10,3	10,1	9,8	9,7	8,9	6,7
PM _v (g/kWh)	0,39	0,38	0,36	0,35	0,31	0,17

4.6 Zeevaart (kustvaart)

4.6.1 Inleiding

De emissies per tonkm zijn gebaseerd op emissies per vkm en de gemiddelde beladingsgraad. De belangrijkste bronnen voor de berekeningen voor zeevaart zijn de derde IMO GHG-studie (IMO, 2014) en Taakgroep-cijfers (Task Force on Transportation, 2016).

IMO (2014) geeft voor alle scheepstypen en grootteklassen een overzicht van:

- gemiddelde grootte van schepen (ladingcapaciteit of dwt);
- gemiddelde ontwerpsnelheid en gemiddeld gevaren snelheid;
- gemiddeld geïnstalleerd vermogen en het gemiddelde geleverd vermogen door de hoofdmotor.

De kentallen voor scheepstypen in kustvaart zijn opgenomen in Tabel 54. De kenmerken voor de scheepstypen (laadvermogen, motorvermogen, vaarsnelheid) zijn representatief voor 2012. We nemen aan dat deze eigenschappen niet of nauwelijks zijn veranderd tussen 2012-2014 en gebruiken deze kenmerken voor de berekeningen.

Tabel 54 Overzicht van scheepstypen en kenmerken (IMO, 2014) die zijn meegenomen in STREAM

Zeevaart (Kustvaart)	Grootteklasse	Gemiddeld Dwt (ton)	Gemiddeld motorvermogen (kW)	Gemiddelde motorbelasting (%MCR)	Gemiddelde vaarsnelheid (km/h)
Oil tanker	0-4.999 dwt	1.985	1.274	67%	16,2
Oil tanker	5.000-9.999 dwt	6.777	2.846	49%	17,0
Oil tanker	10.000-19.999 dwt	15.129	4.631	49%	17,9
Oil tanker	20.000 -59.999 dwt	43.763	8.625	55%	21,8
Oil tanker	60.000 -79.999 dwt	72.901	12.102	57%	22,6
Oil tanker	80.000 -119.999 dwt	109.259	13.813	51%	21,6
General Cargo	0-4.999 dwt	1.925	1.119	53%	16,3
General Cargo	5.000-9.999 dwt	7.339	3.320	51%	18,8
General Cargo	10.000 + dwt	22.472	7.418	53%	22,3
Bulk carrier (feeder)	0-9.999 dwt	3.341	1.640	70%	17,5
Bulk carrier (handysize)	10.000-34.999 dwt	27.669	6.563	59%	21,2
Bulk carrier (handymax)	35.000-59.999 dwt	52.222	9.022	58%	21,9
Container (feeder)	0-999 teu	8.634	5.978	52%	23,0
Container (like handysize)	1.000-1.999 teu	20.436	12.578	45%	25,9
Container (like handymax)	2.000-2.999 teu	36.735	22.253	39%	27,9
Container (like panamax)	3.000-4.999 teu	54.160	36.549	36%	29,9
Container (like aframax)	5.000-7.999 teu	75.036	54.838	32%	30,2
Container (like suezmax)	8.000-11.999 teu	108.650	67.676	32%	30,2



De IMO-studie is sinds STREAM Freight 2011 geüpdatet. Hierdoor zijn er een aantal wijzigingen ten opzichte van de vorige STREAM-studie (zie ook Paragraaf 1.4) Er zijn veranderingen met name in de gemiddelde vaarsnelheid (en daaraan gerelateerd de gemiddelde motorbelasting), het gemiddeld motorvermogen en ook de gemiddelde grootte van schepen binnen de vastgestelde scheepsklassen. Over het algemeen zijn de schepen gemiddeld veel langzamer gaan varen (15-20%) maar zijn de motorvermogens iets toegenomen. De gemiddelde motorbelasting is afgenomen.

4.6.2 Energiegebruik

De berekeningen voor het energiegebruik per kilometer zijn gebaseerd op gegevens over de gemiddelde scheepsvloot volgens IMO (IMO, 2014). De rekenmethodiek is grotendeels hetzelfde gebleven als in STREAM Freight 2011, maar in de huidige studie is onderscheid gemaakt tussen ballastvaart (geen lading) en beladen vaarten.¹⁵

Eerst is het gemiddelde energiegebruik (voor ballast en beladen) berekend om hier vervolgens cijfers voor ballastvaart en beladen vaart uit af te leiden.

Voor het berekenen van het gemiddeld energiegebruik van schepen is gebruik gemaakt van de volgende parameters :

- het geïnstalleerd motorvermogen (van de hoofdmotor (P, in kW));
- het gemiddeld geleverd vermogen door de hoofdmotor (El, in %MCR);
- het gemiddelde brandstofverbruik van de hoofdmotor in deze scheepsklasse (Fc, uitgedrukt in g/kWh);
- de gemiddelde vaarsnelheid (V_{gem} , in km/u);
- Energiedichtheid van MGO (ED, 42,7 MJ/kg).

De parameters zijn toegepast in onderstaande formule om het gemiddelde energiegebruik per kilometer van de verschillende schepen te bepalen:

$$\text{Energiegebruik} \left(\frac{MJ}{km} \right) = \frac{P \cdot El \cdot Fc \cdot ED}{V_{gem}}$$

Het energiegebruik van het schip is lager in ballastvaart dan in beladen vaart. In UCL (UCL, 2013) is op basis van AIS-data het brandstofverbruik van schepen in kaart gebracht, waarbij ook is aangegeven of de schepen in ballast of beladen waren. Deze data zijn gebruikt om het verschil in energiegebruik van een ballastvaart ten opzichte van de beladen vaart in te schatten, zoals weergegeven in Tabel 55. Met behulp van deze kentallen en het aandeel beladen vaarten per scheepstype is het brandstofverbruik voor ballast en beladen vaarten berekend. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 56.

Tabel 55 Afhankelijkheid energiegebruik van belading voor verschillende scheepstypen

Scheepstype	Verskil energiegebruik (ballast t.o.v. beladen)
Oil tanker	-35%
General Cargo	-50%
Bulk carrier	-20%
Container	-20%

Bron: Berekening CE Delft op basis van (UCL, 2013).

¹⁵ Wanneer zeeschepen geen of weinig lading vervoeren wordt ballastwater gebruikt voor stabiliteit van het schip.



Het brandstofverbruik van de boilers en hulpmotoren is ingeschat via correctiefactoren op het brandstofverbruik door de hoofdmotoren op basis van IMO (2014). De correctiefactor geeft een gemiddelde verhouding weer over een jaar tussen brandstofverbruik door de hoofdmotoren en hulpmotoren/boilers. Hierbij is aangenomen dat het brandstofverbruik van de hulpmotoren en boilers onafhankelijk is van de belading van het schip. Tabel 56 laat het energiegebruik per vaarkilometer zien voor alle scheepstypen en de berekende correctiefactoren.

Tabel 56 Energiegebruik per vaarkilometer ballast-beladen (MJ/km)

Scheepstype	Energiegebruik hoofdmotoren ballast-beladen (MJ/km)	Correctiefactor hulpmotoren	Correctiefactor boilers	Energiegebruik totaal ballast-beladen (MJ/km)
Oil tanker 0-5 dwkt	305-470	100%	22%	1.288-1.452
Oil tanker 5-10 dwkt	497-765	91%	20%	1.957-2.225
Oil tanker 10-20 dwkt	796-1.225	97%	21%	3.124-3.552
Oil tanker 20-60 dwkt	1.471-2.264	54%	12%	4.373-5.165
Oil tanker 60-80 dwkt	2.050-3.155	33%	5%	5.426-6.530
Oil tanker 80-120 dwkt	2.201-3.387	43%	9%	6.172-7.358
General Cargo 0-5 dwkt	169-338	28%	0%	558-727
General Cargo 5-10 dwkt	471-943	29%	0%	1.452-1.923
General Cargo 10-20 dwkt	912-1.825	35%	0%	2.806-3.718
Bulk carrier (feeder)	469-587	54%	0%	1.317-1.435
Bulk carrier (handysize)	1.289-1.612	17%	0%	2.998-3.321
Bulk carrier (handymax)	1.699-2.123	17%	0%	3.940-4.365
Container (feeder) < 999 teu	935-1.169	31%	0%	2.350-2.584
Container (like handysize) 1-1.999 teu	1.521-1.901	41%	0%	3.985-4.365
Container (like handymax) 2-2.999 teu	2.094-2.618	39%	0%	5.378-5.902
Container (like panamax) 3-4.999 teu	2.976-3.720	28%	0%	7.250-7.994
Container (like aframax) 5-7.999 teu	3.715-4.644	21%	0%	8.765-9.693
Container (like suezmax) 8-11.999 teu	4.595-5.743	18%	0%	10.675-11.824

4.6.3 Emissiedata

De emissiefactoren voor CO₂, SO₂, PM en NO_x zijn direct afhankelijk van het brandstofverbruik van de motoren. Ook de broeikasgasemissie N₂O en CH₄ zijn direct afhankelijk van het brandstofverbruik en zijn verondersteld op basis van gegevens van de Taakgroep verkeer en vervoer (Task Force on Transportation, 2016). De emissiefactoren zijn daarmee in de berekeningen direct gekoppeld aan het energiegebruik van het schip, via de energiedichtheid van de brandstof (42,7 MJ/kg).

Een belangrijke ontwikkeling voor de zwavelemissies is de aanscherping van de SECA-eisen op de Noordzee en Oostzee. De Noordzee en Oostzee zijn aangewezen als gebied waarin beperkte zwaveloxide-emissies mogen plaatsvinden in 2007 (SECA).

Sinds 1 januari 2015 is de zwavellimiet sterk aangescherpt tot een maximum van 0,1%. Dit houdt in dat alleen gasolie met een zwavelgehalte van minder dan 0,1% mag worden gebruikt (tenzij met andere technieken wordt gevaren, zoals LNG-schepen of schepen met een scrubber). Omdat deze wetgeving de zwaveluitstoot met ongeveer 90% reduceert hebben we ervoor gekozen dit



mee te nemen in de emissiekentallen. Ook voor fijnstof betekent dit een reductie van ongeveer 80-90%. De zwavelemissiefactoren zijn direct verbonden met de zwavelinhoud van de gebruikte brandstoffen. Aangenomen is dat de schepen op MGO (0,1% S) varen. De SO₂-emissiefactor is 2 g/kg.

De PM-emissiefactoren zijn gerelateerd aan het zwavelgehalte van de gebruikte brandstof. De PM_v-emissies zijn daarom sterk gedaald ten opzichte van het vorige STREAM rapport. De PM-emissiefactoren zijn overgenomen uit (FMI, 2016).

De NO_x-emissies van zeeschepen zijn afhankelijk van het type motor (hoofdmotor, hulpmotor en boiler) en hun toerental en het Tier-niveau van de motoren. Motoren die gemaakt zijn voor 2000 zijn Tier 0, in de periode 2000-2010 zijn Tier I en na 2010 Tier II. Per 1 januari 2016 zijn in Noord-Amerika zogenaamde NECA's (NO_x emission control area's) ingesteld, waar schepen aan Tier III moeten voldoen (zie ook Paragraaf 4.8.4). De emissiefactoren voor NO_x zijn gebaseerd op (Task Force on Transportation, 2016). Over het algemeen worden slow-speed engines gebruikt voor de voortstuwing van het schip. De auxiliary engines (hulpmotoren) hebben een hoger toerental. Daarom is voor de berekening gerekend met slow speed engine (SS) factoren voor de hoofdmotoren en met medium/high speed engine (MS/HS) factoren voor hulpmotoren.

De emissiefactoren in gram/kg zijn weergegeven in Tabel 57. De NO_x-emissies (g/kg) zijn 11-24% lager dan in STREAM 2011, dit komt door strengere emissienormen (Tier I en Tier II, zie Tabel 58) in combinatie met vlootvernieuwing.

Tabel 57 Gehanteerde emissiefactoren voor scheepsmotoren (g/kg diesel)

Motortype	CO ₂	NO _x ¹⁶	PM	SO ₂	N ₂ O	CH ₄
Hoofdmotor (ME, slow speed)	3.173	73	1,5	2	0,085	0,299
Hulpmotoren (AE, medium/high speed)	3.173	52,6	1,5	2	0,085	0,299
Boiler (bij tankers)	3.173	3,5	1,5	2	0,085	0,299

Tabel 58 Emissiefactoren NO_x voor verschillende Tier-niveaus per type motor (g/kg diesel)

Motortype	Tier 0	Tier I	Tier II
Hoofdmotor (ME, slow speed)	90	71,4	60
Hulpmotoren (AE, medium/high speed)	60	49	39
Boiler (bij tankers)	3,5		

Bron: Tier I en Tier II op basis van Taakgroep gemiddeld

4.7 Upstream-emissies

4.7.1 Brandstofproductie

De upstream- ofwel well-to-tank-emissies zijn bepaald door WTT-emissiefactoren per MJ te vermenigvuldigen met het energiegebruik per kilometer. De WTT-CO₂-emissiefactoren per megajoule zijn weergegeven in Tabel 59.

¹⁶ Gemiddelde berekend op basis van gemiddelde verdeling van energiegebruik alle schepen.



Op basis van een recente studie (JRC, 2014b) zijn de WTT-emissies van diesel omhoog bijgesteld. In deze studie werd gevonden dat de CO₂-emissies van oliewinning fors hoger zijn dan voorheen werd aangenomen. In Tabel 59 zijn ook de WTT-emissiefactoren voor alternatieve brandstoffen gegeven ten behoeve van de analyse in Paragraaf 4.8. Voor biobrandstoffen en waterstof is hierbij een range weergegeven omdat de CO₂-emissies sterk afhankelijk zijn van de productieroute (JRC, 2014b). De meeste WTT CO₂-waarden zijn gebaseerd op (JRC, 2014b), waarbij het gemiddelde voor biodiesel en biogas gebaseerd is op de mix van productieroutes zoals gerapporteerd in (NEA, 2015). Op basis van (TNO & CE Delft, 2014) is ook rekening gehouden met ILUC-effecten in de biodieselroutes. Omdat door regelgeving het aandeel biodiesel uit afval flink is toegenomen is het ILUC-effect van biodiesel in Nederland zeer beperkt. De emissiefactoren voor de luchtvervuilende emissies zijn weergegeven in Tabel 60 en zijn grotendeels gebaseerd op (Ecoinvent, 2010).

Tabel 59 CO₂-well-to-tank-emissiefactoren van brandstoffen

Brandstof	CO ₂ (g/MJ _{fuel})	Bron
Diesel totaal* (3,8% biodiesel)	24	(JRC, 2014b)
Dieselolie-fossiel	21	(JRC, 2014b)
Biodiesel**	Range: 8,1-116 Gemiddeld: 21	(JRC, 2014a); (EC, 2015); (NEA, 2015)
Marine gas oil (MGO)	20	Inschatting op basis van (TNO & CE Delft, 2014), (JRC, 2014b) en (Ecoinvent, 2010)
CNG	13	(JRC, 2014a)
LNG	18,8	(JRC, 2014a)
Bio-CNG/Bio LNG	Range: -69,9-40,8 Gemiddeld: 15,4	(JRC, 2014a); (NEA, 2015)
GTL	23,4	(JRC, 2014a)
Waterstof	4,2-494 Gemiddeld 105	(JRC, 2014a); (TNO & CE Delft, 2014)

* Het bijmengpercentage is op basis van energie-inhoud (MJ). Naast de upstream-emissies uit JRC 2014 is ook rekening gehouden met ILUC-effecten (zie noot hieronder).

** O.b.v. (EC, 2015) is een opslag voor ILUC-effecten gemaakt.

Tabel 60 Luchtvervuilende well-to-tank-emissiefactoren van brandstoffen

Brandstof	NO _x (g/MJ)	PM _v (g/MJ)	SO ₂ (g/MJ)
Diesel totaal* (3,8% biodiesel)	0,033	0,004	0,10
Dieselolie-fossiel	0,032	0,003	0,074
Biodiesel**	0,050	0,008	0,063
Marin gas oil (MGO)	0,032	0,003	0,10
CNG	0,01	0,0001	0,0003
LNG	0,03	0,0011	0,0004
Bio-CNG/Bio LNG	0,02	0,0011	0,01
GTL	0,036	0,004	0,11
Waterstof	0,134	0,02	0,13

Bron: (Ecoinvent, 2010); voor GTL: (CE Delft, TNO, ECN, 2013).

* Het bijmengpercentage is op basis van energie-inhoud (MJ).



4.7.2 Elektriciteitsproductie

Elektrische vervoerswijzen hebben geen directe emissies. Tijdens elektriciteitsproductie en bij de winning en transport van de brandstoffen worden echter wel emissies uitgestoten.

Voor de emissies van elektriciteitsproductie zijn de kentallen uit (CE Delft, 2014) geüpdatete met de stroommix uit (CE Delft, 2014). Er wordt uitgegaan van de gemiddelde productiemix van elektriciteit in Nederland, inclusief de geproduceerde hernieuwbare elektriciteit. Hernieuwbare elektriciteit wordt dus gezien als onderdeel van de gemiddelde Nederlandse mix en wordt daarom niet apart meegenomen (zie ook Tekstbox 1).

Tekstbox 1. Benaderingen voor elektriciteit

In deze studie wordt voor de emissiekentallen uitgegaan van de productiemix van in Nederland geproduceerde elektriciteit aangevuld met import voor zover de vraag het aanbod overstijgt.

Een alternatieve benadering is om uit te gaan van de Nederlandse handelsmix. In dit geval wordt de stroommix bepaald door de garanties van oorsprong die zijn verbonden aan de in Nederland geleverde stroom. Dit betekent bijvoorbeeld dat groene stroom uit Noorwegen waarvan de garanties van oorsprong (GVOs) door Nederlandse elektriciteitsbedrijven zijn aangekocht ook worden meegerekend in de elektriciteitsmix. Vanuit dit perspectief kunnen bedrijven die GVOs aankopen voor de door hun gebruikte stroom deze tegen 0-emissies meerekenen (met alleen voor bio-energie nog upstream-emissies).

In deze studie is gekozen voor de Nederlandse productiemix. Dit is mede ingegeven door het feit dat de kosten van een GVO over het algemeen slechts een fractie zijn van de meerkosten voor wind- of zonne-energie die worden gefinancierd met SDE-subsidies.

De CO₂-emissies van elektriciteitsproductie zijn gebaseerd op de stroom-etikettering (CE Delft, 2014). De luchtvervuilende emissies en de CO₂-emissies in de voorketen van elektriciteitsproductie zijn gebaseerd op (Ecoinvent, 2010), waarbij de elektriciteitsmix en productierendementen uit (CE Delft, 2014) als uitgangspunt zijn genomen. De NO_x-, PM_v-, SO₂-emissies uit (Ecoinvent, 2010) zijn aangepast (verlaagd) op basis van door Nederlandse centrales aan de EU aangeleverde data in het kader van Directive 2001/80/EC over het jaar 2012 (EEA, 2015). De resulterende emissiekentallen voor elektriciteit zijn opgenomen in Tabel 61.

Tabel 61 Emissies van elektriciteitsopwekking 2013

	CO ₂	NO _x	PM _v	SO ₂
g/kWh _e	490	0,46	0,022	0,27
g/MJ _e	136	0,13	0,006	0,07

4.8 Alternatieve brandstoffen en technieken

In deze paragraaf wordt per modaliteit de beschrijving van de indexcijfers voor alternatieve technieken brandstoffen gegeven. De indexcijfers in Hoofdstuk 3 worden steeds gegeven ten opzichte van een recente norm. Naast de indexcijfers voor alternatieve wordt ook het indexcijfers voor het parkgemiddelde van 2014 gegeven. Op deze wijze wordt het mogelijk om de gemiddelde emissiekentallen voor 2014 uit Hoofdstuk 3 te vertalen naar een specifieke techniek of brandstof.



Dit kan door het toepassen van de volgende formule:

$$EF_{tkm- alternatief} = \frac{index_{alternatief}}{index_{2014\ gemiddeld}} \times EF_{tkm-2014\ gemiddeld}$$

Waarbij EF_{tkm} staat voor de emissiekentallen per tonkilometer. Hieronder worden de TTW-indexcijfers per modaliteit toegelicht. De WTT-indexcijfers zijn gebaseerd op de cijfers in Paragraaf 4.7.

4.8.1 Wegverkeer

De opties voor alternatieve brandstoffen en technieken voor het wegvervoer verschillen per voertuig. In Hoofdstuk 3 zijn de alternatieven voor een zware bestelauto (> 2 ton GVW), een middelzware vrachtauto (10-20 ton GVW) en een zware trekker-oplegger opgenomen.

Voor het bepalen van de emissiekentallen voor alternatieve technieken is gebruik gemaakt van (TNO & CE Delft, 2014) en (CE Delft, TNO, ECN, 2013). In deze rapporten wordt Diesel Euro 5/V als referentie gebruikt. Dat is overgenomen in deze rapportage.

De brandstoffen en technieken betreffen:

- Diesel Euro 5/V en Euro 6/VI (dit zijn dieselveertuigen waarop EU-emissienormen van toepassing zijn vanaf 2008 en 2013, respectievelijk).
- Diesel hybride en plug-in hybride (beiden voldoen aan emissienorm Euro 6/VI).
- GTL (Gas-To-Liquid, dit is een hoge kwaliteit synthetische dieselolie gemaakt uit aardgas. Er zijn gegevens beschikbaar t/m Euro 5/V).
- Biodiesel (veresterde plantaardige dieselolie, geproduceerd uit plantaardige oliën en vetten. Gegevens beschikbaar t/m Euro 5/V).
- CNG en LNG (gecomprimeerd en vloeibaar aardgas, voertuigen voldoen aan emissienorm Euro 6/VI).
- Elektrisch en waterstof (cijfers zijn indicatief, omdat de technieken nog in een vroeg stadium verkeren, met name bij zware wegvoertuigen).

Het relatieve energiegebruik ten opzichte van Euro 5/V-voertuigen is voor de verschillende opties van alternatieve brandstoffen en technieken, voor zover van toepassing voor het voertuig, weergegeven in Tabel 62. De aannames en bronnen voor de energiegebruiken en emissies zijn weergegeven in Tabel 63.



Tabel 62 Energiegebruik alternatieve brandstoffen en technieken wegverkeer (index diesel = 100)

Techniek	Bestelauto	Vrachtauto	Trekker-oplegger
Diesel Euro 5/V	100	100	100
Diesel Euro 6/VI*	100	100	100
Diesel hybride Euro VI	-	90	-
Diesel Plug-in hybride (Euro 6)	88**	-	-
GTL Euro 5/V	100	96	96
Biodiesel Euro 5/V (B30)	-	100	100
Biodiesel Euro 5/V (B100)	100	100	100
CNG (Euro 6/VI)	110	110	-
Bio-CNG (Euro 6/VI)	110	110	-
LNG (Euro 6/VI)	-	110	110
Bio-LNG (Euro 6/VI)	-	110	110
Elektrisch	52	56	-
Waterstof	67	72	81

Bron: Natural Gas in Transport (CE Delft, TNO, ECN, 2013).

* Motoren worden over het algemeen steeds zuiniger, maar dit is niet direct gecorreleerd met de Euroklasse.

** Op basis van 25% elektrisch.

Tabel 63 Aannames en bronnen voor energiegebruik en luchtverontreinigende emissies alternatieve technieken wegverkeer

Techniek	Aannames energiegebruik	Aannames luchtverontreinigende emissies
Diesel Euro 6/VI	Energiegebruik gelijk aan Euro 5/V. Nieuwere motoren zijn over het algemeen iets zuiniger, maar dit is niet direct gecorreleerd met de Euroklasse.	Gebaseerd op cijfers van (Task Force on Transportation, 2016).
Diesel hybride	Energiegebruik op basis van (CE Delft, TNO, ECN, 2013).	Aan de luchtverontreinigende emissies worden dezelfde eisen gesteld als aan niet-hybride voertuigen. Dus de emissies zijn hetzelfde.
Plug-in hybride	Bestelauto op basis van (TNO & CE Delft, 2014), aanname 25% elektrisch.	Als het hybride voertuig volledig elektrisch rijdt zijn de emissies ter plekke nul.
GTL	Energiegebruik voor GTL iets lager dan diesel op basis van (CE Delft, TNO, ECN, 2013).	GTL leidt over het algemeen tot een flinke verlaging van luchtverontreinigende emissies. GTL geeft voor elke Euroklasse Euro III t/m Euro V de volgende emissiereductie t.o.v. standaard diesel: NO _x : ca. 10 tot 20% reductie. Fijnstofverbranding: ca. 20% reductie (TNO & CE Delft, 2014). Voor Euro VI is het effect nog onzeker, omdat er geen directe meetresultaten beschikbaar zijn.
Biodiesel	Voor Biodiesel, Bio-CNG en Bio-LNG is aangenomen dat het energiegebruik gelijk is aan de conventionele techniek. De TTW CO ₂ -uitstoot is 0.	De NO _x -uitstoot gaat bij FAME doorgaans wat omhoog, bij B100 kan dat vrij veel zijn (B30: +10%, B100: +25%), bij HVO of BTL daalt de NO _x -uitstoot (tot 10% reductie). De fijnstofemissies dalen met alle bio-diesels, B30: 20%, B100: 60%. Er is uitgegaan van FAME (TNO & CE Delft, 2014).



Techniek	Aannames energiegebruik	Aannames luchtverontreinigende emissies
CNG ¹⁷ en LNG	Het brandstofverbruik van een CNG voertuig ligt ongeveer 10% hoger dan een diesel voertuig. Door de lagere CO ₂ uitstoot per MJ stookwaarde (-25%), levert de techniek well-to-wheel een CO ₂ -besparing van ca. 13% (CE Delft, TNO, ECN, 2013) (TNO, 2015d).	Toepassing van aardgas leidde tot lagere emissies van luchtverontreinigende stoffen. Met de introductie van Euro VI is het verschil in luchtverontreinigende emissies tussen diesel en gas is komen te vervallen (TNO & CE Delft, 2014). Daarom is voor vrachtauto's en trekker-opleggers aangenomen dat NO _x - en PM-emissies gelijk zijn aan de diesel Euro VI. Bij bestelbussen is er een significante reductie aangenomen ten opzichte van diesel op basis van (CE Delft, TNO, ECN, 2013).
Elektrisch/ Waterstof	Energiegebruik voor elektrische en waterstofvoertuigen gebaseerd op (TNO & CE Delft, 2014). De elektrische bestelauto is relatief aan de vrachtauto en trekker-oplegger berekend.	Elektrische en waterstofvrachtauto's en trekker-opleggers veroorzaken geen lokale luchtverontreinigende emissies.

Op basis hiervan zijn in Paragraaf 3.6 de emissie indexcijfers van respectievelijk de bestelauto, vrachtauto en trekker-oplegger weergegeven. Voor de referentie (diesel Euro 5) zijn de emissies steeds in g/km gegeven en voor de alternatieve brandstoffen zijn indexcijfers gegeven ten opzichte van Euro 5/V.

4.8.2 Spoor

Voor spoor wordt in Hoofdstuk 3 al onderscheid gemaakt naar twee alternatieven, namelijk elektrisch en diesel.

De kentallen voor elektrisch in Hoofdstuk 3 zijn gebaseerd op gemiddelde productiemix van elektriciteit in Nederland. Met de keuze voor deze mix wordt geen rekening gehouden met eventuele inkoop van groene stroom.¹⁸ Als echter kan worden verondersteld dat de elektriciteit volledig door windmolens wordt opgewekt dan kunnen de emissies van spoor elektrisch op 0 worden gesteld (zie Tabel 32). Alleen de slijtage-emissies resteren dan nog. Naast alternatieve stroomopwekking kan ook energie bespaard worden. Dit kan bijvoorbeeld door het voltage op de bovenleiding aan te passen van 1,5 kilovolt (op bestaande net, excl. Betuweroute) naar 3 kilovolt. Onderzoek laat zien dat dit een besparing van ongeveer 20% in energiegebruiken en dus 20% in WTT-emissies kan opleveren (Arcadis, 2013).

De dieselmotoren van treinen moeten sinds 2007/2009 voldoen aan de Stage IIIa- en sinds 2012 aan de Stage IIIb-norm volgens de Non-Road mobile machinery (NRMM) (Directive 97/68/EC). Omdat veel motoren die in gebruik zijn dateren van voor 2012 komen de emissies parkgemiddeld hoger uit dan voor Stage IIIa. Voor dieseltreinen is in Tabel 33 aangegeven hoe de Stage IIIb-

¹⁷ Motortype: Stoichiometrisch, Spark-Ignition. Er zijn verschillende motortypes beschikbaar voor de verbranding van aardgas. I.v.m. de strenge methaan-eis kunnen lean burn en dual fuel gasmotoren met de huidige Euro V-technologie niet voldoen aan Euro VI-normen, dit kan alleen met stoichiometrische gasmotoren.

¹⁸ Er is discussie in hoeverre de inkoop van groene stroom rechtvaardigt dat emissiekentallen van groene stroom worden toegepast (zie voor deze discussie (CE Delft, 2014) en Tekstbox 1 (Paragraaf 4.7.2).



norm en de toekomstige Stage V scores ten opzichte van Stage IIIa. Aangenomen is daarbij dat de praktijkcommissies dicht bij emissienorm zullen uitkomen.

4.8.3 Binnenvaart

Voor de binnenvaartschepen zijn er meerdere alternatieve brandstoffen en technieken die toegepast worden in de huidige vloot.

De huidige motoren voldoen sinds 2007 aan de CCR2-norm of aan de gelijkwaardige Fase IIIA-norm volgens de Non-Road mobile machinery directive (Directive 97/68/EC).

LNG is een interessant alternatief voor schepen die op jaarbasis een hoog brandstofverbruik hebben. Omdat de brandstofkosten lager zijn kan de investering in een LNG-motor worden terugverdiend. Daarbij zijn er verschillende mogelijkheden:

- LNG, single fuel SI: Het betreft motoren met vonkontsteking (spark ignition, SI) die alleen LNG als brandstof gebruiken.
- LNG, pilot 2%D: Dual fuel-motoren die dedicated zijn gemaakt om zowel op diesel als LNG te kunnen draaien. Een kleine hoeveelheid (pilot injection) diesel is nodig voor de ontsteking.
- LNG, dual fuel, 20%D: Dual fuel-motoren (vaak ook retrofits van dieselmotoren) die naast LNG ca. 20% diesel verbruiken.

GTL (Gas-To-Liquid) is een optie om luchtvervuilende emissies van (oudere) motoren te verminderen zonder verder aanpassing van de motor.

Nageschakelde technieken die vaak worden toegepast zijn:

- SCR (Selectieve katalytische reductie) om NO_x-emissies te reduceren;
- roetfilters (DPF, Diesel Partikel Filter) om fijnstofemissies te reduceren.

Tabel 34 geeft een overzicht van de indexfactoren van bovengenoemde brandstoffen en technieken ten opzichte van CCR2-motoren. Voor CCR2 is in de eerste regel in absolute waarden weergegeven hoe hoog de emissies per kilowattuur motorvermogen zijn¹⁹. De cijfers zijn gebaseerd op (VIA Donau, 2015) en (CE Delft, 2015a). Naast alternatieve technieken zijn ook de parkgemiddelde waarden voor vier type schepen weergegeven.

4.8.4 Zeevaart (kustvaart)

Voor de zeevaart zijn de volgende alternatieve brandstoffen en technieken opgenomen:

- Tier II en III. Dit zijn normen voor NO_x-emissies, vastgesteld door de IMO. Schepen die na 2011 gebouwd zijn moeten een motor hebben die voldoet aan de Tier II-norm. Er is nog geen tijdstip voor invoering van de Tier III-norm op Europese wateren bekend, op dit moment ligt er een voorstel voor invoering van NECA's (NO_x emission control area's) op de Noordzee en Oostzee in 2021, waar nieuwe scheepsmotoren aan deze norm moeten voldoen. In Noord-Amerika bestaan deze NECA's op dit moment al.
- HFO (2,7% zwavelgehalte) met een scrubber. De scrubber is een nabehandelingstechniek waarmee de zwavel uit de uitlaatgassen gewassen kan worden. Hierdoor mogen de schepen op zware stookolie blijven varen.
- LNG (Gas Engine, Otto-cycle). Er zijn drie typen LNG-motoren: Gas engine (Otto-cycle, lean-burn, spark ignition), Dual fuel (Otto-cycle) en Gas-diesel

¹⁹ Dit is de eenheid waarop de emissienorm is gesteld voor luchtvervuilende emissies.



(Diesel-cycle). In de Third IMO GHG-studie is ervan uitgegaan dat het merendeel van de LNG-motoren in de periode 2007-2012 van het eerste type waren. In deze analyse is daarbij aangesloten.

De aannames die zijn gehanteerd voor het energiegebruik en emissies van de alternatieve brandstoffen en technieken zijn weergegeven in Tabel 64.

Tabel 64 Aannames energiegebruik en emissies voor alternatieve brandstoffen en technieken voor zeevaart

Techniek	Aannames energiegebruik	Aannames over luchtverontreinigende emissies
Tier II & III	Energiegebruik gelijk aan gemiddeld. De SFOC-waarde (gram brandstof per kWh motorvermogen) voor MGO is 185 g/kWh (IMO, 2014).	Voor Tier II (emissienorm geldt vanaf 2011) geldt een lagere NO _x -emissie van ongeveer 20% vergeleken met de gemiddelde NO _x -emissie (Task Force on Transportation, 2016). Tier III (emissie-norm geldt vanaf 2016) heeft ongeveer 75% lagere emissies dan Tier II op basis van de verschillen in normwaarden (Dieselnet, 2016). De Tier-norm heeft geen effect op andere luchtvervuilende emissies.
HFO + Scrubber	+2% door energiegebruik van pompen en consumptie van caustic soda (CE Delft, 2015a). De SFOC-waarde voor HFO is 195 g/kWh (IMO, 2014).	Meer dan 95% reductie van zwavelemissies, reductie van 60-90% van PM-emissies en tot 10% NO _x -reductie (CE Delft, 2015b) ten opzichte van HFO met 2,7% zwavelgehalte. De emissies voor HFO (g/kg) zijn genomen uit (DNV-GL, 2015). De PM-emissies zijn daarmee hoger dan voor MGO.
LNG	Een toename van het primair energie-gebruik op basis van (CE Delft, TNO, ECN, 2013). De SFOC-waarde voor LNG is 166 g/kWh (IMO, 2014).	Er is aangenomen dat het gemiddelde motorvermogen (kW) en de gemiddelde motorbelasting (%MCR) gelijk blijft bij varen op LNG. Op basis hiervan is voor elke kg MGO-diesel 0.9 kg LNG nodig. De emissiefactoren in g/kg LNG zijn overgenomen uit (IMO, 2014). LNG zorgt voor een reductie van SO _x - en PM-emissies en een significante reductie van NO _x -emissies. De uitstoot van methaan is veel hoger dan bij MGO. Vanwege de lagere CO ₂ -uitstoot van LNG ten opzichte van MGO, zou de CO ₂ -reductie ongeveer 25% zijn. Vanwege de methaanslip, kan de CO ₂ -reductie teniet worden gedaan, omdat methaan een sterk broeikasgas is. In (CE Delft, TNO, ECN, 2013) wordt uitgebreid stilgestaan bij de verschillende gemeten methaanslipemissies. Geconcludeerd kan worden dat de hoogte van de methaanslip nog onzeker is en verschilt per schip. De hoogste methaanslip treedt op bij oudere schepen. Op basis van deze studie is de waarde voor methaanslip van 0,53 g/MJ overgenomen.

Deze aannames zijn toepasbaar op de verschillende scheepstypen zoals opgenomen in dit rapport voor kustvaart en leiden tot de emissie-factoren zoals weergegeven in Tabel 65. Deze emissiefactoren zijn gegeven in g/kg brandstof.



Tabel 65 Gehanteerde emissiefactoren voor zeeschepen diesel (g/kg brandstof) en alternatieve technieken

Brandstof/techniek	CO ₂	NO _x ²⁰	PM	SO ₂	N ₂ O	CH ₄
MGO (gemiddeld Tier-niveau 2014)	3.206	68	1,5	2	0,085	0,299
HFO	3.114	68	6,7	54	0,085	0,299
HFO + Scrubber	3.114	61	0,7-2,7	0,1-2	0,085	0,299
LNG*	2.750	8	0,18	0,02	0,110	26
Diesel MGO Tier II	3.206	55	0,53	2	0,085	0,299
Diesel MGO Tier III	3.206	14	0,53	2	0,085	0,299

* Bij varen op LNG wordt ongeveer 0.9 kg LNG verbrand ten opzichte van een kg MGO diesel.

Voor een goede vergelijking tussen brandstoffen/technieken zijn de emissies per kWh motorvermogen berekend. Hiervoor zijn specifieke brandstofverbruiken van 185g/kWh (MGO), 195 g/kWh (HFO) en 166 g/kWh (LNG) gebruikt. Voor een zeeschip (kustvaart) resulteert dit in de emissiekentallen per kWh zoals weergegeven in Tabel 35 (voor een gemiddelde belading, gemiddeld transport).

4.9 Overslag

In multimodaal vervoer kan de uitstoot bij laden en lossen een belangrijke rol spelen op de totale transportemissies. Met name in een vergelijking van twee transportvarianten waarbij de ene variant meer overslag vereist dan de andere is het van belang rekening te houden met de emissie van overslag.

Het energiegebruik bij overslag is afkomstig uit (IFEU, Infracore, IVE, 2014) en gelijk aan de waarden in (CE Delft, 2011). Het betreft de volgende kentallen:

- containeroverslag : 4,4 kWh/ TEU (15,8 MJ_e/TEU);
- overslag vloeibare lading: 0,4 kWh/ton (1,4 MJ_e/ton);
- overslag bulklading: 1,3 kWh/ton (4,7 MJ_e/ton);
- overslag andere lading: 0,6 kWh/ton (2,2 MJ_e/ton).

Emissiefactoren voor overslag op basis van elektrische kranen en werktuigen kunnen worden berekend door de emissiekentallen van elektriciteit toe te passen op de bovengenoemde verbruiken per ton. Voor kranen en werktuigen op diesel kunnen de emissiefactoren voor CCR2-motoren van de binnenvaart worden toegepast (Tabel 52).

²⁰ Gemiddelde berekend op basis van gemiddeld gebruik van scheepsmotoren



5 Logistieke data

5.1 Inleiding

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 4 bepalen de laadcapaciteit en de benutting van de voertuigen in belangrijke mate de uitstoot per tonkilometer. De benutting is daarbij gedefinieerd als het product van de beladingsgraad van beladen kilometers en het aandeel beladen voertuigkilometers.

Aan de ene kant heeft de beladingsgraad van een voertuig een beperkte invloed op de uitstoot per voertuigkilometer. Daarnaast bepaalt de belading de prestaties in termen van tonkilometers. Terwijl het brandstofverbruik van een vrachtauto met ongeveer 20% stijgt wanneer de belading toeneemt van half vol (50%) tot vol, worden de tonkilometers verdubbeld. Als resultaat hiervan neemt de uitstoot per tonkilometer met 40% af. Dit geldt in principe voor alle modaliteiten zo. Voor lege kilometers geldt dat ze niets toevoegen aan de transportprestatie in termen van tonkilometers, maar dat ze wel bijdragen aan de uitstoot. Lege kilometers dragen hierdoor bij aan een hogere uitstoot per tonkilometer.

Er is in deze studie gekozen voor het uitdrukken van de transportprestatie in tonkilometers. In principe had ook een andere maat worden gekozen, zoals volume-km ($m^3 \cdot km$), pakket-km, pallet-km. Deze tonkilometer is echter breed toepasbaar en wordt door veel partijen herkend als een bekende maat.

Met deze keuze is het echter van belang om onderscheid te maken tussen type goederen. Een lage beladingsgraad hoeft niet te betekenen dat het voertuig niet efficiënt benut is. Een volledig op volume beladen voertuig met veren zal altijd een lagere beladingsgraad hebben dan een voertuig dat halfvol is beladen met kolen. Voor binnenvaart speelt daarnaast ook de waterstand en de diepgang van waterwegen een belangrijke rol in hoeverre het schip kan worden beladen op zijn maximale capaciteit. Bij laag water is de werkelijke capaciteit soms lager dan de maximale capaciteit bij hoog water (de hier gegeven capaciteit). Voor containerschepen op vaarwegen met lage bruggen kan hoog water juist betekenen dat met minder containerlagen kan worden gevaren.

De beladingsgraden die in deze studie zijn gerapporteerd, zijn dan ook niet bedoeld om een oordeel te geven over de efficiency van het transport, maar zijn puur bedoeld om de emissiekentallen per tonkilometer te kunnen berekenen voor de verschillende modaliteiten.

Ook voor de beladen kilometers geldt dat deze niet dienen te worden gebruikt om een oordeel te geven over het al dan niet efficiënt gebruik van de voertuigen. Voor bepaald type transport is het gewoonweg niet mogelijk om zowel heen als terug beladen te zijn, bijvoorbeeld voor kolentransport. Over het algemeen geldt dat de goederen met een hoge beladingsgraad (zoals kolen) een lager aantal beladen kilometers kent, terwijl de goederen met een lage beladingsgraad vaak meer beladen kilometers maken.



In Paragraaf 5.2 worden de toegepaste logistieke data voor bulk- en stukgoederentransport gegeven. In Paragraaf 5.3 worden de logistieke data voor containers gegeven. De vervoerde tonnen in containertransport betreffen alleen de inhoud van de container. Het gewicht van de container wordt niet meegerekend in de transportprestatie.

Er wordt wel rekening gehouden met het gewicht van de lege container in de berekening van het brandstofverbruik. Voor containertransport is voor alle modaliteiten met een gemiddelde belading van de container (ton/TEU) en een gemiddeld aandeel lege containers gerekend. In werkelijkheid zijn er verschillen tussen de modaliteiten, maar omwille van een vergelijking op gelijke basis zijn gemiddelde waarden voor alle modaliteiten toegepast.

De logistieke kentallen zijn opgesteld op basis van de volgende bronnen:

- (Bundesamt, 2014) - Wegverkeer;
- (Destatis, 2015) - Spoor, binnenvaart, Zeevaart;
- (Statline (CBS), 2015) - Alle modaliteiten;
- (CE Delft, 2011) - Alle modaliteiten;
- (IFEU, Infrac, IVE, 2014) - Logistieke kentallen containers.

De uit de statistiek verkregen kentallen zijn niet altijd volledig voor alle onderscheiden type transport en zijn daarom aangevuld met eigen inschattingen. De opgestelde logistieke kentallen zijn vervolgens in een consultatieronde aan brancheorganisaties en vervoerders voorgelegd. Op basis van de reacties en verkregen data zijn de kentallen tenslotte definitief gemaakt zoals weergegeven in dit hoofdstuk.



5.2 Bulk- en stukgoederen

Tabel 66 Logistieke kenmerken voor licht, middel en zware lading voor alle voertuigtypen

Voertuigtype	Lading- capaciteit ton	Licht			Middel			Zwaar		
		Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad
Wegverkeer										
Bestelauto < 2 ton	0,7	30%	60%	18%	35%	60%	21%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Bestelauto > 2 ton	1,2	30%	60%	18%	35%	60%	21%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Vrachtauto < 10 ton	3	28%	75%	21%	48%	65%	31%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Vrachtauto 10-20 ton	7,5	30%	85%	26%	52%	75%	39%	64%	65%	42%
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	18	30%	85%	26%	52%	75%	39%	64%	65%	42%
Vrachtauto > 20 ton	13	30%	85%	26%	52%	75%	39%	64%	65%	42%
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	28	30%	85%	26%	52%	75%	39%	64%	65%	42%
Trekker-oplegger licht	15,7	30%	75%	23%	52%	65%	34%	64%	55%	35%
Trekker-oplegger zwaar	29,2	37%	80%	30%	65%	70%	46%	80%	60%	48%
LZV	40,8	37%	80%	30%	65%	70%	46%	80%	60%	48%
Spoorvervoer										
Korte trein (1.128 GTon)	594/935/1.276	40%	80%	32%	80%	60%	48%	98%	55%	54%
Middellange trein (1.691 GTon)	891/1.403/1.914	40%	80%	32%	80%	60%	48%	98%	55%	54%
Lange trein (2.255 GTon)	1.188/1.870/2.668	40%	80%	32%	80%	60%	48%	98%	55%	54%
Binnenvaart										
Spits	365	45%	75%	34%	75%	70%	53%	90%	60%	54%
Kempenaar	617	45%	75%	34%	75%	70%	53%	90%	60%	54%
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	1.537	45%	75%	34%	75%	70%	53%	90%	60%	54%
Groot Rijnschip	3.013	40%	87%	35%	65%	85%	55%	80%	70%	56%
Konvooi Europe-II-C3b	5.046	40%	87%	35%	65%	85%	55%	80%	70%	56%
Duwkonvooi 2 x 2	11.181	40%	87%	35%	65%	85%	55%	80%	70%	56%
Duwkonvooi 3 x 2	16.444	40%	87%	35%	65%	85%	55%	80%	70%	56%
Kustvaart										
Oil tanker 0-5 dwkt	1.985	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	89%	75%	67%
Oil tanker 5-10 dwkt	6.777	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	85%	75%	64%
Oil tanker 10-20 dwkt	15.129	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	82%	75%	62%
Oil tanker 20-60 dwkt	43.763	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	80%	43%	34%
Oil tanker 60-80 dwkt	72.901	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	78%	45%	35%
Oil tanker 80-120 dwkt	109.259	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	79%	44%	34%

Voertuigtype	Lading- capaciteit ton	Licht			Middel			Zwaar		
		Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad
General Cargo 0-5 dwkt	1.925	N.b.	N.b.	30%	N.b.	N.b.	67%	92%	75%	69%
General Cargo 5-10 dwkt	7.339	N.b.	N.b.	30%	N.b.	N.b.	59%	89%	69%	61%
General Cargo 10-20 dwkt	22.472	N.b.	N.b.	30%	N.b.	N.b.	52%	86%	63%	54%
Bulk carrier (feeder)	3.341	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.b.	N.b.	65%	90%	75%	67%
Bulk carrier (handysize)	27.669	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.b.	N.b.	52%	92%	59%	54%
Bulk carrier (handymax)	52.222	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.b.	N.b.	48%	88%	57%	50%

N.v.t.: Niet van toepassing, voertuig wordt niet ingezet voor dit type goederen.

N.B.: Niet bepaald, alleen de benuttingsgraad is ingeschat voor dit voer- of vaartuig.

5.3 Containertransport

Tabel 67 Ladingcapaciteit en gemiddelde bezetting containerplaatsen per voertuigtype

Voertuig type	Ladingcapaciteit in TEU	Gemiddeld bezetting containerplaatsen ²¹
Wegtransport		
Zware truck > 20 ton	1	70%
Zware truck + aanhanger > 20 ton	2	70%
Trekker oplegger	2	70%
LZV	3	70%
Spoor		
Korte trein (22 wagons)	45	80%
Middellange trein (33 wagons)	70	80%
Lange trein (44 wagons)	90	80%
Binnenvaart		
Neo Kemp (32-48 TEU)	40	75%
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	96	75%
Duwkonvooi	160	75%
Container Schip Rijn	208	75%
Lang Groot Rijn Schip	272	75%
Konvooi Europe-II-C3l	348	75%
Rijnmax schip (398-470 TEU)	434	75%
Zeevaart		
Container (feeder) 0-999 TEU	635	81%
Container (like handysize) 1.000-1.999 TEU	1.500	78%
Container (like handymax) 2.000-2.999 TEU	2.750	66%
Container (like panamax) 3.000-4.999 TEU	4.060	64%
Container (like aframax) 5.000-7.999 TEU	5.600	63%
Container (like suezmax) 8.000-11.999 TEU	8.170	61%
Container 12.000-14.500 TEU	13.350	57%

Tabel 68 Beladingsgraden, beladen kilometers en benuttingsgraden voor licht, middel en zware lading voor alle voertuigtypen met containers

Container transport	Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport
Aandeel beladen containers	72%	72%	72%
Aandeel lege containers	28%	28%	28%
Laadgewicht/beladen TEU*	6 ton/TEU ²²	10,5 ton/TEU	14,5 ton/TEU
Gewicht lege container/TEU*	1,90 ton/TEU	1,95 ton/TEU	2,00 ton/TEU

* Gebaseerd op (IFEU, Infras, IVE, 2014).

²¹ Inclusief retourtransport en lege containers.

²² TEU: Twenty feet Equivalent Unit (standaardmaat voor containers).



6 Vergelijking vervoerswijzen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden, net als in eerdere STREAM-rapportages, een aantal cases voor 2014 doorgerekend met behulp van emissiekentallen uit dit rapport. Op deze manier wordt geïllustreerd hoe met de cijfers gerekend kan worden. De cases Rotterdam-Duisburg en Amsterdam-Regensburg zijn vergelijkbaar met de cases uit (CE Delft, 2011). De case Rotterdam-Litouwen is nieuw en bevat ook multimodale transporten.

Bij het berekenen van een case zijn de volgende aspecten van belang:

- afgelegde afstand;
- voor- en natransport;
- logistieke data;
- overslag.

In de cases zijn steeds de totale emissies per ton goederen voor de betreffende corridor berekend.

6.2 Case 1: Rotterdam-Duisburg

In de eerste case wordt middelzwaar containertransport van Rotterdam naar Duisburg geëvalueerd. Het betreft een case met beperkt voor- en natransport. Het effect op de uitstoot per ton voor (vervolg)transport naar Essen en Dortmund is opgenomen in de vergelijking. De afstanden voor de verschillende modi zijn samengevat in Tabel 69. De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 11 tot en met Figuur 14.

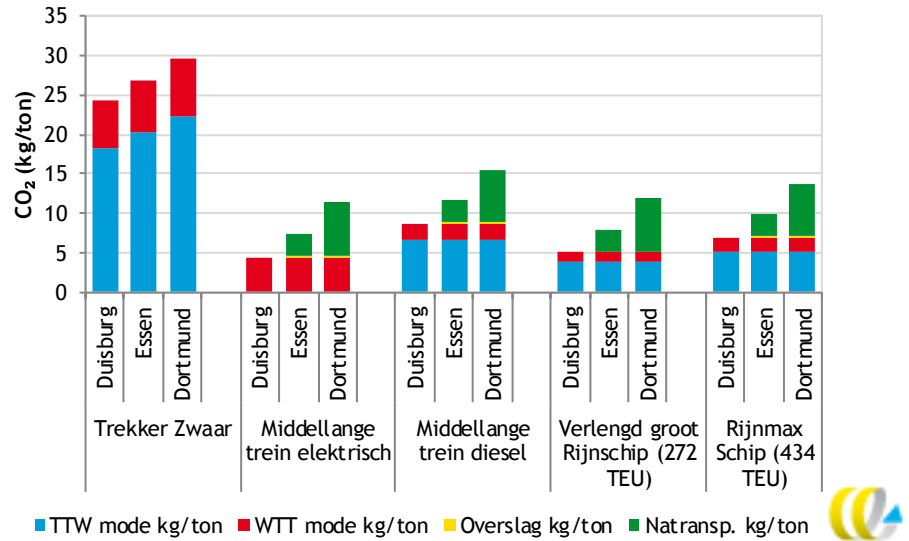
Tabel 69 Afstanden voor de case Rotterdam-Duisburg

	Rotterdam-Duisburg		Rotterdam-Essen		Rotterdam-Dortmund	
	Afstand (km)	Afstand natransport trekker-oplegger	Afstand (km)	Afstand natransport trekker-oplegger	Afstand (km)	Afstand natransport trekker-oplegger
Trekker-oplegger zwaar	240 (0:12:88)*	0	266 (0:11:89)*	0	290 (1:11:88)*	0
Trein elektrisch middel	241	0	241	26 (8:0:92)*	241	63 (6:6:87)*
Trein diesel middel	241	0	241	26 (8:0:92)*	241	63 (6:6:87)*
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	253	0	253	26 (8:0:92)*	253	63 (6:6:87)*
Rijnmax schip (434 TEU)	253	0	253	26 (8:0:92)*	253	63 (6:6:87)*

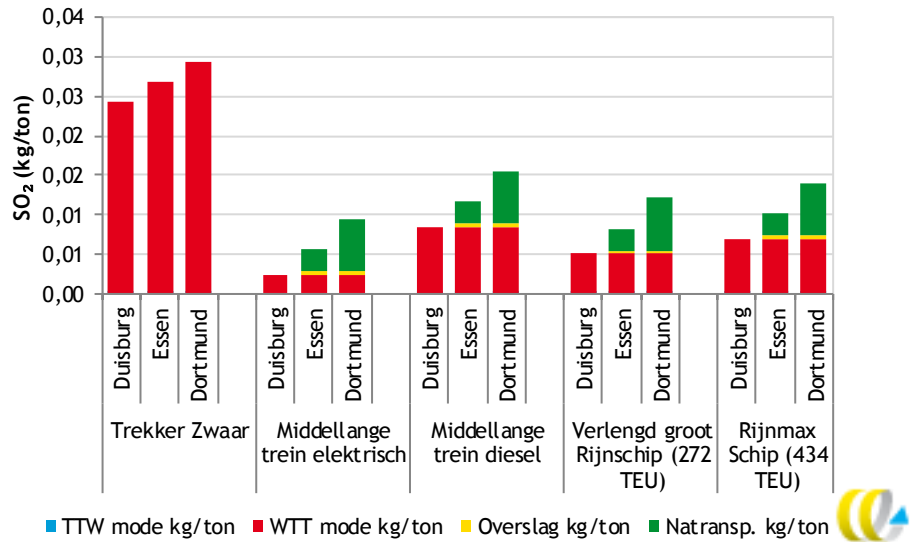
* Stad:buitenweg:snelweg.



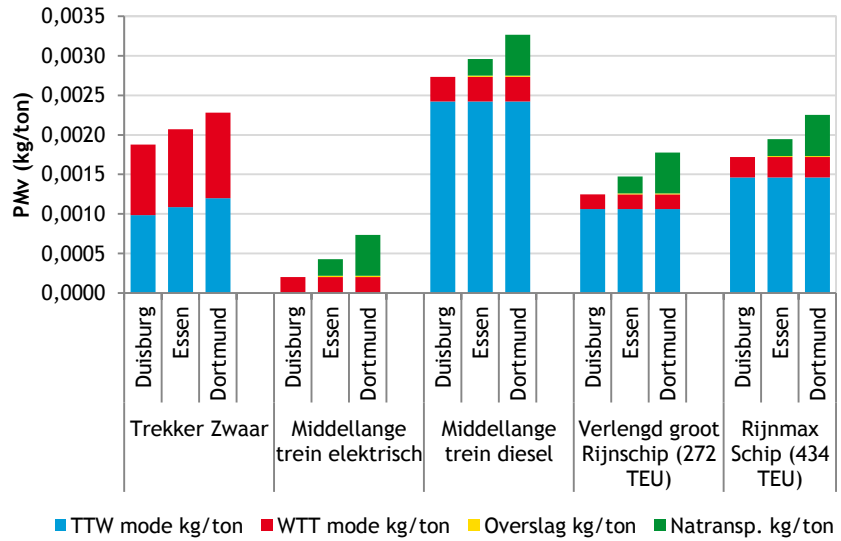
Figuur 11 CO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



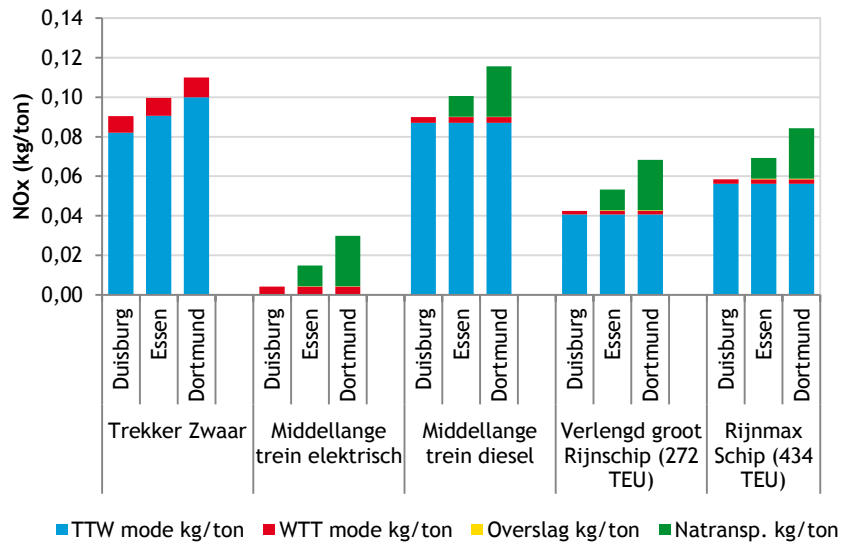
Figuur 12 SO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



Figuur 13 PM_v-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



Figuur 14 NO_x-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



6.3 Case 2: Amsterdam-Regensburg (staal)

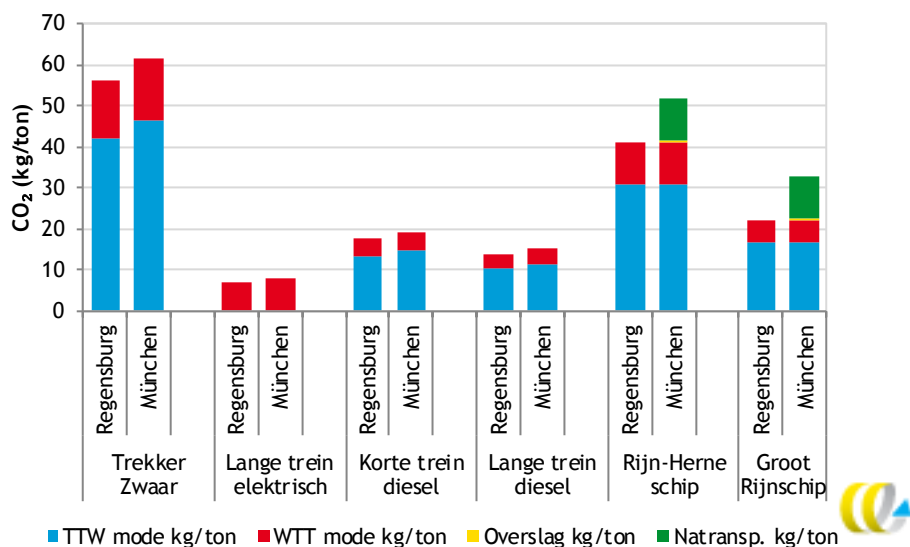
De tweede case betreft staaltransport van Amsterdam naar Regensburg. Het effect van natransport op de emissies per ton is meegenomen door de alternatieve bestemming München op te nemen. De afstanden voor de verschillende modi zijn samengevat in Tabel 70. De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 15 tot en met Figuur 18.

Tabel 70 Afstanden voor de case Amsterdam-Regensburg

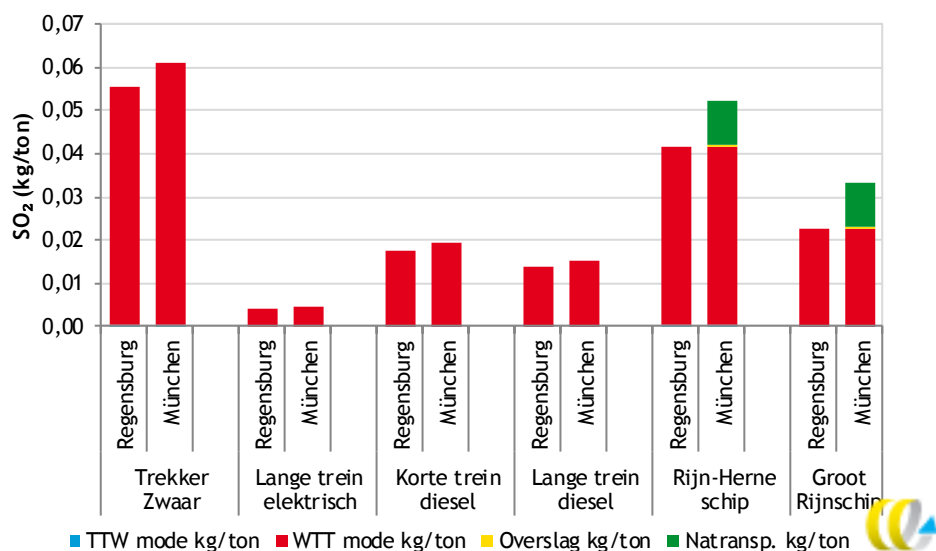
	Amsterdam-Regensburg		Amsterdam-München	
	Afstand (km)	Afstand natransport trekker-oplegger	Afstand (km)	Afstand natransport trekker-oplegger
Trekker-oplegger zwaar	759 (0:0:100)*	0	832 (0:0:100)*	0
Trein elektrisch lang	788	0	868	0
Trein diesel lang	788	0	868	0
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	1.047	0	1.047	141 (0:1:99)*
Groot Rijnschip	1.047	0	1.047	141 (0:1:99)*

* Stad:buitenweg:snelweg.

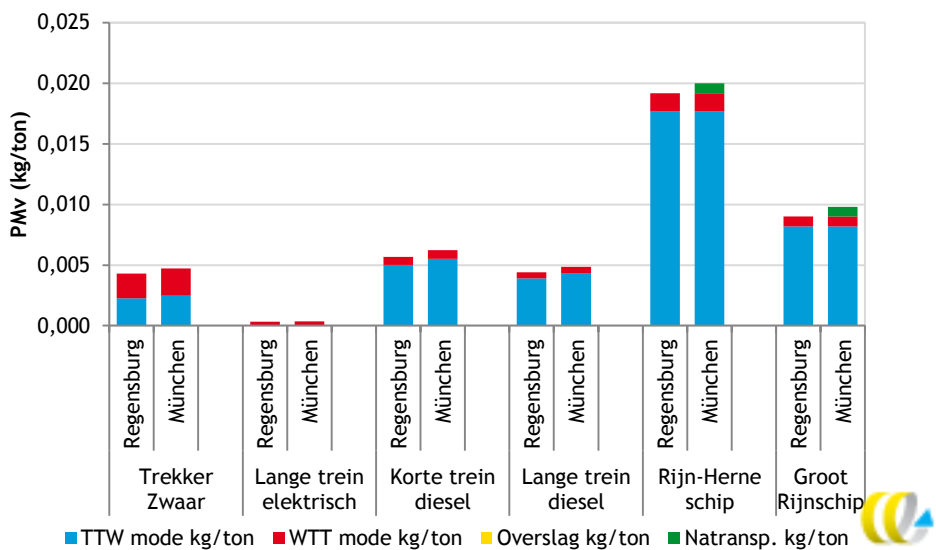
Figuur 15 CO₂-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



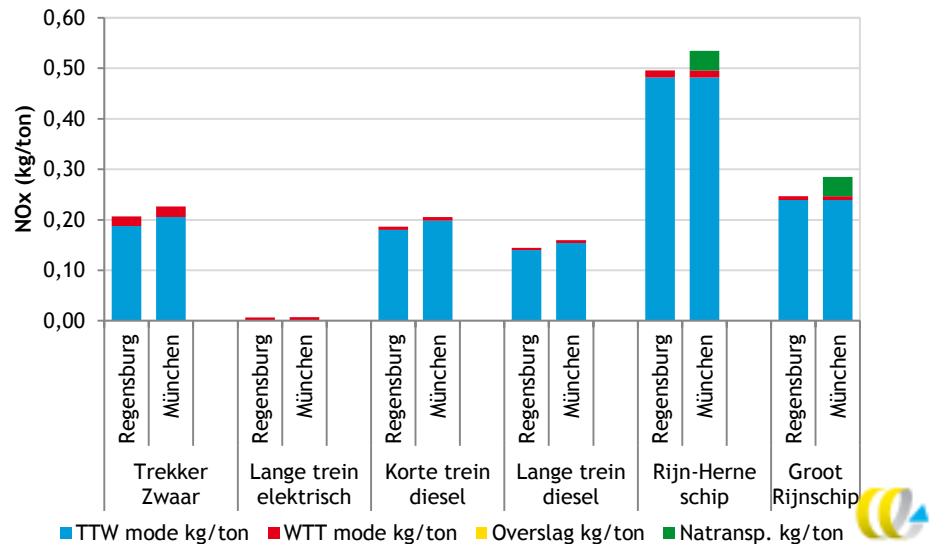
Figuur 16 SO₂-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



Figuur 17 PM_v-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



Figuur 18 NO_x-emissies per ton voor zware bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



6.4 Case 3: Rotterdam-Litouwen

De derde case betreft transport van Rotterdam naar Litouwen. Er zijn twee bestemmingen genomen in Litouwen: Klaipeda en Sestokai. Klaipeda is een internationale zeehaven, er zijn wekelijks vaarten tussen Rotterdam en Klaipeda. Sestokai heeft een spoorwegstation en ligt op de TEN-T rail Freight Corridor 8 (Rotterdam-Kaunas) (Priority Project 27).

Deze case laat niet alleen verschillen tussen modaliteiten zien, maar geeft ook een multimodale optie weer. De multimodale optie betreft een transport van Rotterdam naar Kiel (ofwel over de weg, ofwel over het spoor) en vervolgens een zeereis van Kiel naar Klaipeda. Het onderscheid tussen TTW en WTT is weggelaten ten behoeve van de leesbaarheid. De afstanden die horen bij de verschillende transportopties zijn weergegeven in Tabel 71.

De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 19 tot en met Figuur 22.



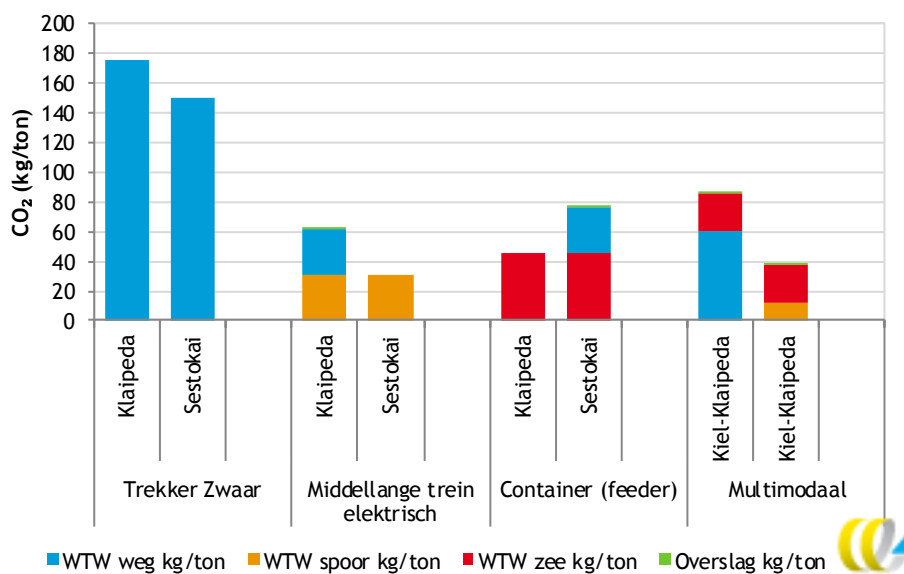
Tabel 71 Afstanden voor de case Rotterdam-Lithouwen

	Rotterdam-Klaipeda			Rotterdam-Sestokai		
	Afstand weg	Afstand spoor	Afstand zee	Afstand weg	Afstand spoor	Afstand zee
Trekker-oplegger zwaar	1.821 (0:0:100)*			1.532 (0:1:99)*		
Trein elektrisch middel	309** (2:2:96)*	1.638			1.638	
Containerschip (feeder)			1.314	309** (2:2:96)*		1.314
Multimodaal Trekker-oplegger/Containerschip (feeder)	616 (1:1:98)*		744	N.v.t.		
Multimodaal Trein (middel)/Containerschip (feeder)		614	744			

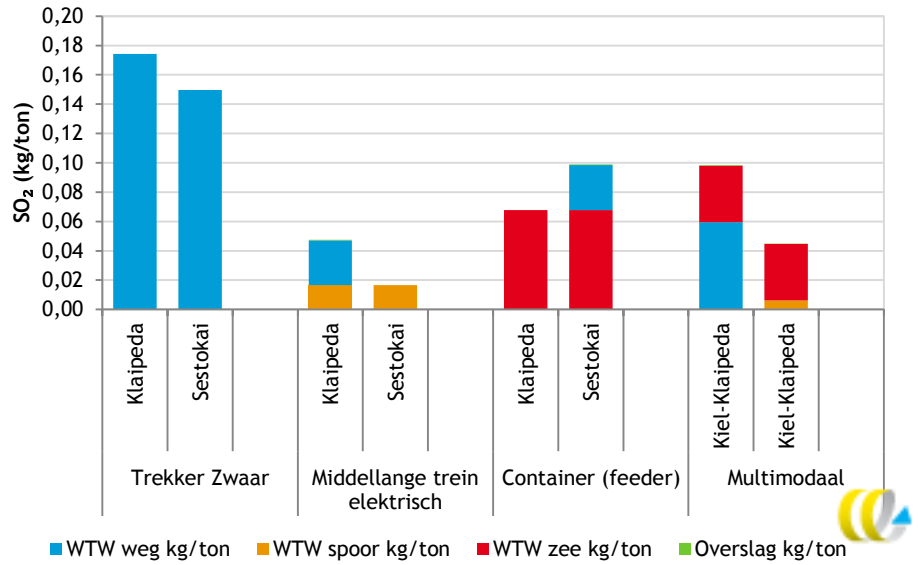
* Stad:buitenweg:snelweg.

** Natransport.

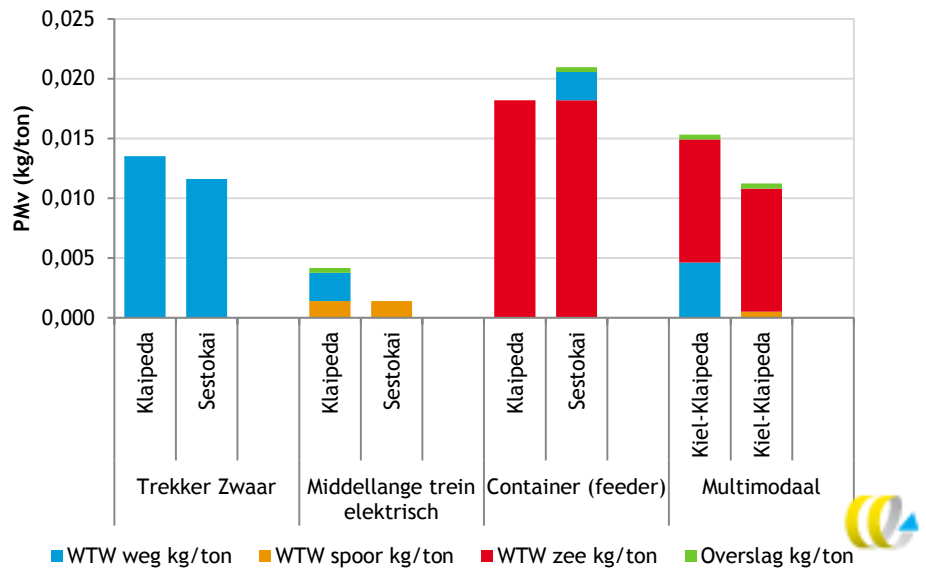
Figuur 19 CO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



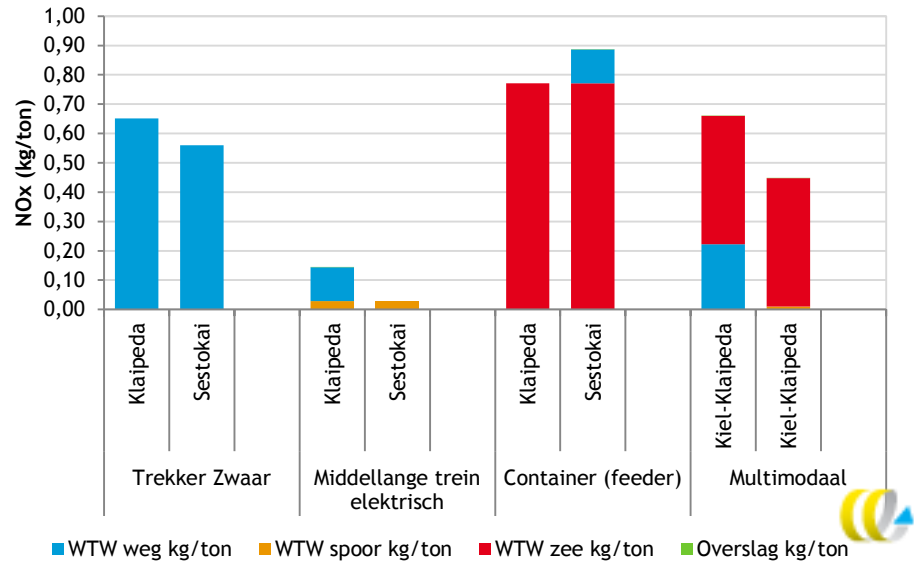
Figuur 20 SO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



Figuur 21 PM_v-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



Figuur 22 NO_x-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Lithouwen



6.5 Conclusie

De cases op basis van de 2014-cijfers laten zien dat de onderlinge verhouding van de modaliteiten (in kg/ton), behalve van de emissiekentallen per ton-kilometer, ook sterk afhangt van de afstand en van het voor- en natransport. In de cases zijn de CO₂-emissies over de weg het hoogst, maar de case Amsterdam-München laat zien dat wanneer de afstand over het binnenwater hoog is en er nog natransport plaatsvindt, de CO₂-emissies van, in dit geval binnenvaart, de CO₂-emissies van de weg kunnen naderen. De CO₂-emissies van de elektrische trein zijn over het algemeen het laagst.

De well-to-wheel-SO₂-emissies worden gedomineerd door de SO₂-well-to-tank-emissies en zijn daarmee gerelateerd aan het brandstofverbruik.

De SO₂-emissies laten daarom eenzelfde patroon tussen modaliteiten zien als de CO₂-emissies.

Hoe de modaliteiten onderling scoren op fijnstof- (PM_v) en NO_x-emissies verschilt sterk per case. De hoogste emissies worden in de cases afwisselend veroorzaakt door de trekker-oplegger, dieseltrein, binnenvaartschip of kustvaartschip, afhankelijk van de grootte van het voertuig, de afstand en het voor- en natransport. De elektrische trein scoort in alle gevallen het laagst.

7 Vergelijking resultaten met STREAM Freight 2011

In de inleiding zijn een aantal verschillen in aanpak beschreven tussen de huidige en de vorige STREAM-studie. In dit hoofdstuk beschrijven we de belangrijkste verschillen in de resultaten.

Ten opzichte van 2009 (basis jaar in STREAM 2011) zijn de emissiekentallen van fijnstof in het wegverkeer met 50-70% gedaald door toename van met name Euro VI-voertuigen in het Nederlandse park in 2014. De NO_x-emissiekentallen zijn met name voor de zwaardere voertuigen gedaald (ca. 20-40%). De minder sterke daling dan voor fijnstof heeft deels te maken met nieuwe inzichten in de werkelijke NO_x-emissies van vrachtauto's. De CO₂-kentallen zijn ongeveer gelijk gebleven, maar komen soms door veranderde voertuig-definities hoger of lager uit dan in 2009.

Voor het spoor zijn de emissies van de elektrische trein met name iets gewijzigd doordat voor 2009 werd uitgegaan van de Europese elektriciteitsmix en in de huidige studie van de Nederlandse elektriciteitsmix. De CO₂-emissies zijn daarom iets hoger terwijl de NO_x- en PM-emissies juist lager zijn. De NO_x- en PM₁₀-emissies van de dieseltrein zijn sinds 2011 licht gedaald door de instroom van nieuwere treinen. De SO₂-emissies van dieseltreinen zijn fors lager (98-99%) door de verplichting sinds 2011 om diesel te gebruiken waarvan het zwavelgehalte niet hoger is dan 10 ppm.

De CO₂-, NO_x- en PM-emissies van binnenvaart zijn ten opzichte van de vorige studie gemiddeld genomen 10-30% lager. Dit is met name door een aanpassing in de vaarsnelheden. Deze aanpassing is deels gebaseerd op nieuwe inzichten en deels op een werkelijke verandering. De aanpassing is geverifieerd met praktijkdata voor het energiegebruik. Ook voor binnenvaartschepen geldt de SO₂ emissies fors lager zijn (98-99%) door de verplichting sinds 2011 om diesel te gebruiken waarvan het zwavelgehalte niet hoger is dan 10 ppm.

Voor kustvaart geldt ook dat de vaarsnelheid naar beneden is bijgesteld ten opzichte van de vorige studie. Het brandstofverbruik en de CO₂-emissies zijn hierdoor iets lager. Omdat voor zeevaart is uitgegaan van de op de Noordzee en Oostzee geldende SECA (sulphur emission control area) per 1 januari 2015, zijn de SO₂- en PM-emissies 80-90% lager. De NO_x-emissies zijn sinds 2009 met 5-30% gedaald door vlootvernieuwing.

De CO₂-emissies van de brandstofproductie van diesel zijn op basis van nieuw inzichten fors omhoog bijgesteld. Terwijl in 2011 werd uitgegaan van 12 gram CO₂/MJ wordt nu van bijna 21 g/ MJ uitgegaan. Deze toename is gebaseerd op nieuwe inzichten van toonaangevende studies die hier onderzoek naar doen.



8 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- STREAM Freight 2016 geeft een overzicht van de gemiddelde emissiekentallen voor transport gebaseerd op de samenstelling de vaar- en voertuigen in Nederland in 2014. Het is interessant om een doorkijk naar de toekomst te maken bijvoorbeeld voor de jaren 2020, 2025 en 2030, op basis van verachte vlootvernieuwing.
- De kentallen voor de Nederlandse situatie kunnen worden aangevuld met Europese kentallen, waarbij onder andere rekening wordt gehouden met een ander park-en vlootsamenstelling en andere reisomstandigheden (gebergten, wegen). Deze kentallen zouden het nog beter mogelijk maken om Europese corridors te analyseren.
- De huidige studie onderscheid een drietal goederen typen (licht, middel, zwaar). Dit onderscheid kan verder worden uitgebreid naar specifiekere goederensoorten (bijvoorbeeld NST2007-indeling), waarvoor logistieke data beschikbaar zijn.



9 Bibliografie

AEA, 2009. *Cost Benefit Analysis to Support the Impact Assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the Sulphur Content of certain Liquid Fuels*, Didcot: AEA.

AgentschapNL, 2011. *Evaluatie van vergisters in Nederland*, Utrecht: AgentschapNL.

Arcadis, 2013. *Onderzoek invoering 3kV - Xandra simulaties*, Amersfoort: Arcadis.

AVV, 2003. *Schatting energiegebruik binnenvaartschepen, versie 3*, Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV).

Bundesamt, K., 2014. *Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) Gesamtverker Marz, Juni, September, Dezember 2014*, sl: Krafftfahrt Bundesamt.

CBS, 2014. *Bottom-up berekening CO2 van vrachtauto's en trekkers*, Den Haag: TNO.

CBS, 2015a. *Verkeersprestaties vrachtvoertuigen; kilometers, gewicht, grondgebied*. [Online]
Available at:
<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80379NED>
[Geopend juni 2016].

CBS, 2015b. *Bedrijfsbestelauto's; kenmerken bestelauto, bedrijfstakken (SBI 2008)*. [Online]
Available at:
<http://statline.cbs.nl/Statweb/selection/?DM=SLNL&PA=81500NED&VW=T>
[Geopend juni 2016].

CBS, 2015. *Bottom-up berekening CO2 van bestelauto's*, Den Haag: CBS.

CCNR, 2000. *CCNR Protocol 19, Resolutie van de Centrale Commissie voor de Rijnscheepvaart*, sl: Centrale Commissie voor de Rijnscheepvaart (CCNR).

CCNR, 2001. *CCNR Protocol 21, Resolutie van de Centrale Commissie voor de Rijnscheepvaart (CCNR)*, sl: Centrale Commissie voor de Rijnscheepvaart.

CE Delft, TNO, ECN, 2013. *Natural gas in transport: an assessment of different routes*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2011. *STREAM Freight 2011*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Achtergrondgegevens Stroometikettering 2013*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *STREAM Personenvervoer 2014*, Delft: CE Delft.



CE Delft, 2015a. *Small scale LNG binnenvaart in Provinciaal Actieprogramma*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015b. *Scrubbers - An economic and ecological assessment*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *Verificatie emissiekentallen binnenvaart (vertrouwelijk)*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2016. *Segmentering CO2 emissies Nederlandse logistiek*, Delft: CE Delft.

Connekt, TNO, Cap Gemini, 2014. *Lean and Green Logistics, Metrics for continuous improvement of the supply chain performance*, Delft: Connekt.

COWI, 2012. *Exhaust Gas Scrubber Installed Onboard MV Ficaria Seaways : Public Test Report , Environmental Project No. 1429*, s.l.: COWI.

Destatis, 2015. *Güterverkehrsstatistik Binnenschifffahrt, 2014 Eisenbahverkehr 2014, see schifffahrt 2014*. [Online]

Available at:

<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/ThemaVerkehr.html>

[Geopend December 2015].

Dieselnet, 2016. *Emission Standards: International: IMO Marine Engine Regulations*. [Online]

Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

[Geopend juni 2016].

DNV-GL, 2015. *Study on the completion of an EU framework on LNG-fuelled ships and its relevant fuel provision infrastructure. LOT 1: Analysis and evaluation of identified gaps*, Antwerp: DNV GL Oil and Gas Belgium.

EC, 2015. *Directive (EU) 2015/1513 of the European parliament and of the council of 9 September 2015*, Brussels: European Commission.

Ecoinvent, 2010. *Ecoinvent Database: versie 2.2*. St. Gallen: Ecoinvent Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

EEA, 2015. *European Environment Agency: Plant-by-plant emissions of SO₂, NO_x and dust and energy input of large combustion plants covered by Directive 2001/80/EC*. [Online]

Available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/plant-by-plant-emissions-of-so2-nox-and-dust-and-energy-input-of-large-combustion-plants-covered-by-directive-2001-80-ec-2>

[Accessed 6 januari 2016].

Emissieregistratie, 2012. *EMS-protocol Emissies door de Binnenvaart : Verbrandingsmotoren, Versie 4*, sl: Emissieregistratie, Taakgroep Verkeer en Vervoer.

FMI, 2016. *Health Impacts Associated with Delay of MARPOL Global Sulphur Standards*, sl: James J. Corbett, James J. Winebrake, Edward W. Carr, Jukka-Pekka Jalkanen, Lasse Johansson, Marje Prank, Mikhail Sofiev.



Holland America Line and Hamworthy-Krystallon, 2010. *Sea Water Scrubber Technology Demonstration Project on the ms Zaandam, final report*, sl: U.S Environmental Protection Agency (US EPA).

IFEU, Infrac, IVE, 2014. *EcoTransIT methodology report 2014*, Berne - Hannover - Heidelberg: IFEU, Infrac, IVE.

IMO, 2014. *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014 : Safe, secure and efficient shipping on clean oceans*, London: International Maritime Organization (IMO).

JRC; CONCAWE; LBST, 2013. *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European Context; Well-to-Tank (WTT) Report. Appendix 2, version 4*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

JRC, 2014a. *WELL-TO-TANK Appendix 2 - Version 4a*, Italy: Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, European Union.

JRC, 2014b. *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions*, Sevilla: European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport (JRC).

MARIN, 2010. *Scheepskarakteristieken voor nieuwe grote schepen*, Wageningen: MARIN.

NEA, 2015. *Rapportage hernieuwbare energie 2014*, sl: Nederlandse emissieautoriteit (NEA).

ProRail, 2016. *Ontwikkeling spoorgoederenverkeer in Nederland*, sl: ProRail Vervoer en Dienstregeling, CV/POV.

Ricardo Rail, 2015. *Energiegebruik 2013 van de Nederlandse spoorsector*, sl: Ricardo Rail.

Rijkswaterstaat, 2013. *Prelude model*. [Online]
Available at: <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/luchtkwaliteit/rekenen-meten/scheepvaart/>
[Geopend 9 9 2015].

RWS, Chartasoftware, 2015. *BIVAS 4.1.1*. sl:Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) - Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

RWS-AVV, 2002. *Classificatie en kenmerken van de Europese vloot en de Actieve vloot in Nederland*, Rotterdam: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

RWS-DVS, 2011. *Richtlijn vaarwegen 2011*, sl: Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart.

Statline (CBS), 2015. *Verkeer en vervoer - vervoer van personen en goederen-vervoer over land, over water 2014*. [Online]
Available at: <http://statline.cbs.nl/Statweb/dome/default.aspx>
[Geopend december 2015].



Task Force on Transportation, 2014. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, sl: Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register.

Task Force on Transportation, 2016. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register: John Klein, Jan Hulskotte, Norbert Ligterink, Hermine Molnár, Gerben Geilenkirchen.

TNO & CE Delft, 2014. *Brandstoffen voor het wegverkeer : Kenmerken en perspectief*, Delft: CE Delft.

TNO, 2014. *Uitwerphoogtes binnenvaartschepen*, Utrecht: TNO.

TNO, 2015a. *On-road NOx and CO2 investigations of Euro 5 Light Commercial Vehicles*, Delft, Maart 2015: TNO.

TNO, 2015b. *Composition and payload distribution of the on-road heavy-duty fleet in the Netherlands*, Delft: TNO.

TNO, 2015c. *Notitie: Visie on-board-monitoring in de binnenvaart*, Delft: TNO.

TNO, 2015d. *LNG for trucks and ships: fact analysis; Review of pollutant and GHG emissions Final*, Delft: TNO.

TNO, 2016a. *Dutch CO2 emission factors for road vehicles*, Delft, april 2016: TNO.

TNO, 2016b. *Emission factors for diesel Euro-6 passenger cars, light commercial vehicles and Euro-VI trucks*, Delft: TNO.

TNO-MEP, 2003. *Methodiek voor afleiding van emissiefactoren van binnenvaartschepen, R2003/437, versie 2*, Apeldoorn: TNO-MEP.

UCL, 2013. *Assessment of Shipping's Efficiency Using Satellite AIS data*. UCL Energy Institute, sl: sn

VIA Donau, 2015. *List of best available greening technologies and concepts*, sl: VIA donau.

Wärtsilä, 2010. *Exhaust gas scrubber installed onboard MT "SUULA" : public test report*. [Online]
Available at:
http://www.wartsila.com/file/Wartsila/1278517851584a1267106724867-Wartsila-Scrubber-Test-Report-final_2.pdf.
[Geopend 2015].



Bijlage A Achtergrond data Wegvervoer

Tabel 72 Voertuigverdeling van de verschillende Euroklassen per voertuigtype

Euroklasse	Bestelauto < 2 ton	Bestelauto > 2 ton	Vrachtauto < 10 ton	Vrachtauto 10-20 ton	Vrachtauto > 20 ton	Trekker- oplegger
EURO-0	4%	2%	3%	2%	2%	1%
EURO-I	4%	2%	2%	2%	1%	1%
EURO-II	12%	6%	7%	7%	7%	4%
EURO-III	22%	10%	14%	14%	14%	8%
EURO-IV	35%	42%	11%	11%	11%	11%
EURO-V	21%	36%	55%	56%	57%	62%
EURO-VI	2%	3%	8%	8%	8%	14%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Berekend o.v.b. (Task Force on Transportation, 2016).

Tabel 73 Ratio van LZV- en trekker-oplegger emissiefactoren in g/km

Emissie	Ratio emissiefactoren LZV en trekker-oplegger (g/km-LZV/g/km- trekker- oplegger)	Bron
CO ₂ /SO ₂	1.35	TML, 2008/McKinnon, 2008
NO _x	1.33	TML, 2008/McKinnon, 2008
PM _{2.5}	1.21	TML/McKinnon
PM ₁₀ (wear and tear)	Zie rapport	Eigen berekening afhankelijk van aantal banden volgens methodiek Taakgroep, 2016

Tabel 74 Wegtypeverdeling per voertuigtype

Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
Bestelauto < 2 ton	16%	32%	52%
Bestelauto > 2 ton			
Vrachtauto < 10 ton	29%	33%	38%
Vrachtauto 10-20 ton	19%	23%	58%
Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger			
Vrachtauto > 20 ton	14%	18%	67%
Vrachtauto > 20 ton + aanhanger			
Trekker-oplegger licht	5%	8%	87%
Trekker-oplegger zwaar			
LZV			

Berekend o.b.v. (Task Force on Transportation, 2016).

Bijlage B Bruto tonnage goederentreinen

Tabel 75 Gemiddeld bruto tonnage van treinen in Nederland op Betuweroute en grenspassages in 2015

Grensovergang	Aantal treinen	Bruto tonnage (mln ton)	Gemiddeld bruto tonnage per trein (GTW)
Oldenzaal- Bad Bentheim	4.950	5,6	1.131
Zevenaar-Emmerich	24.500	46,8	1.910
waarvan via gemengd net	1.650	2,5	1.515
waarvan via Betuweroute	22.850	44,3	1.939
Venlo-Kaldenkirchen	13.900	19,3	1.388
Eijsden-Vise	1.700	2,2	1.294
Rosendaal-Essen	6.950	7,7	1.108
Totaal/Gemiddeld bij grensovergangen	52.000	81,6	1.569

Bron: (ProRail, 2016).



Bijlage C Modelparameters binnenvaart

Tabel 76 Scheepsparameter toegepast in de modellering van het energiegebruik

	Lading- capaciteit (ton)	Breedte (m)	Lengte (m)	Diepgang (m) Vol	Diepgang (m) Leeg
Bulk en stuks					
Spits	365	5,05	38,50	2,48	0,52
Kempenaar	617	6,60	55,00	2,60	0,60
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	1.537	9,50	85,00	2,90	0,75
Groot Rijnschip	3.013	11,40	110,00	3,30	0,95
Klasse Va + 1 Europa-II bak breed	5.046	22,80	110,00	3,75	0,95
4-baksduwstel	11.181	22,80	189,00	3,75	0,60
6-baksduwstel (lang)	16.444	22,80	268,00	3,75	0,60
Containers					
Neo Kemp	850	7,20	67,00	2,54	0,70
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip (96 TEU)	1.537	9,50	85,00	2,90	0,75
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)	2.708	11,40	92,00	3,50	0,60
Groot Rijnschip (208 TEU)	3.013	11,40	110,00	3,30	0,95
Verleng groot Rijnschip (272 TEU)	3.736	11,40	135,00	3,50	1,00
Koppelverband Europe-II-C3I (348 TEU)	4.518	11,40	180,00	3,75	0,95
Rijnmax Schip	6.082	17,00	135,00	3,80	0,90

Bron: CE Delft op basis van (RWS-AVV, 2002), (RWS-DVS, 2011) en (TNO, 2014).



Bijlage D Validatie binnenvaartmodel met praktijkcijfers

Door BLN-Schuttevaer zijn praktijkcijfers voor 100 binnenvaartschepen beschikbaar gesteld. De data bevatten gegevens over:

1. Scheepsparameters (lengte, breedte, diepgang, capaciteit).
2. Vervoerd tonnage per jaar.
3. Afgelegde kilometers per jaar beladen en leeg.
4. Beschrijving vaargebied.
5. Diesilverbruik per jaar.

Ter validatie van het model zijn de data onder 1-3 ingevoerd in het model en is een gemiddeld energiegebruik per kilometer voor verschillende vaarwegtypen berekend met de wegingsmethodiek voor beladen en lege vaarten zoals beschreven in Paragraaf 4.5.2. Op basis van de beschrijving van de vaarwegen (punt 4) is vervolgens een weging toegepast op de gemiddelde emissiefactoren per vaarwegtype om een jaargemiddeld energiegebruik per kilometer te bepalen.

Het berekende energiegebruik is afgezet tegen het opgegeven energiegebruik per kilometer uit de praktijk data (zie Figuur 23). Het energiegebruik (in liter/km) uit de praktijkdata is daarbij teruggerekend naar een verbruik aan de motor (in kWh/km) op basis van een specifiek brandstofverbruik van 204 g diesel/kWh en een dichtheid van diesel van 0,83 kg/liter.

Figuur 23 Energiegebruik uit praktijkdata afgezet tegen energiegebruik berekend in model

