



STREAM

Goederenvervoer

2020

Emissies van modaliteiten in het
goederenvervoer



STREAM Goederenvervoer 2020

Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer - Versie 2

Dit rapport is geschreven door:

Anne Klein, Denise Hilster, Peter Scholten, Lisanne van Wijngaarden, Eric Tol, Matthijs Otten

Delft, CE Delft, februari 2021 (Versie 2)

Publicatienummer: 21.190235.011

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

Opdrachtgever: Topsector Logistiek

Uw kenmerk: PTL13.062

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Matthijs Otten](#) (CE Delft)

© 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 40 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. Verschillende partijen uit de transportwereld, waaronder brancheorganisaties en kennisinstellingen, hebben aan het rapport bijgedragen met het delen van data en met een controle.

De eerste versie van dit rapport is in november 2020 verschenen. Sindsdien zijn veel van de cijfers gebruikt voor een update in januari 2021 van de cijfers op CO₂-emissiefactoren.nl. Daarnaast is het rapport in januari ook in het Engels vertaald. Bij de vertaling en bij het updaten van de cijfers op CO₂-emissiefactoren.nl zijn nog een aantal gebreken in het rapport ontdekt die in deze tweede editie (Versie 2) zijn aangepast.

Het betreft de volgende wijzigingen ten opzichte van de eerste editie (Versie 1):

- In Tabel 14 (Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer lading middelzwaar, bulk- en stukgoederen 2018) zijn de resultaten ongeveer 25% naar beneden bijgesteld. De oude waarden waren gebaseerd op een te lage beladingsgraad. In Tabel 71 is de beladingsgraad ook aangepast.
- In Tabel 17 tot en met Tabel 19 (Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer, lading middelzwaar, licht en zwaar, containers 2018) zijn de cijfers voor containertransport per spoor aangepast. De waarden in Versie 1 waren ongeveer 20% te hoog. In Tabel 3 is deze aanpassing ook zichtbaar.
- In Tabel 25 (Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart, lading middelzwaar, containers 2018) zijn de cijfers geüpdatet. In Versie 1 stonden ten onrechte de cijfers voor lichte containers (dezelfde cijfers als in Tabel 26).
- In Tabel 35 zijn de slijtage-emissies (PM_{sl}) van vliegtuigen naar beneden bijgesteld.
- In Tabel 68 zijn de SO₂-waarden biodiesel en diesel gewijzigd. Deze wijziging heeft verder geen invloed op de SO₂-cijfers in de andere tabellen.
- In Tabel 69 zijn de waarden van bestelauto op benzine (blend met 4% bio) aangepast.
- In Tabel 69 zijn cijfers voor LPG toegevoegd.

Overige wijzigingen zijn tekstueel van aard. De cijfers gebruikt door CO₂-emissiefactoren.nl en de Engelse vertaling zijn gebaseerd op deze geüpdatete Versie 2.

Inhoud

	Voorwoord	2
	Begrippenlijst	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond	9
	1.2 Doel en Afbakening	9
	1.3 Gebruikswijzer	11
	1.4 Verschillen met <i>STREAM Goederenvervoer 2016</i>	12
	1.5 Leeswijzer	13
2	Overzicht van resultaten	14
	2.1 Inleiding	14
	2.2 Representatieve emissiekentallen	14
	2.3 Range van emissiekentallen	16
	2.4 Levenscyclusemissies, inclusief voertuigproductie en infrastructuur	19
3	Uitgebreide data per vervoerswijze	20
	3.1 Inleiding	20
	3.2 Wegtransport	21
	3.3 Spoor	29
	3.4 Binnenvaart	32
	3.5 Zeevaart	37
	3.6 Luchtvaart	41
4	Beschrijving en aannames emissiedata	43
	4.1 Inleiding	43
	4.2 Methodiek algemeen	43
	4.3 Wegvervoer	44
	4.4 Spoor	52
	4.5 Binnenvaart	58
	4.6 Zeevaart	68
	4.7 Luchtvaart	73
	4.8 Brandstoffen en elektriciteit	79
	4.9 Overslag	85
5	Logistieke data	86
	5.1 Inleiding	86
	5.2 Bulk- en stukgoederen	88
	5.3 Containertransport	90
	5.4 Bestelauto's	92



6	Vergelijking vervoerswijzen	93
	6.1 Inleiding	93
	6.2 Case 1: Rotterdam-Duisburg	93
	6.3 Case 2: Amsterdam-Regensburg	96
	6.4 Case 3: Rotterdam-Litouwen	99
	6.5 Case 4: Kenia-Utrecht	101
	6.6 Conclusie	104
7	Ketenemissies voertuigen en infrastructuur	105
	7.1 Bijdrage van infrastructuur en voertuigproductie op de totale levenscyclus-emissies van voertuigen	105
	7.2 De impact van batterijproductie op de CO ₂ -emissies in de levenscyclus van elektrische voertuigen	108
	7.3 Conclusies en aanbevelingen	118
8	Vergelijking met <i>STREAM Goederenvervoer 2016</i>	120
	8.1 Wegtransport	120
	8.2 Spoor	121
	8.3 Binnenvaart	122
	8.4 Zeevaart	123
	8.5 Luchtvaart	124
	8.6 Upstream-emissies	124
9	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	125
10	Bibliografie	126
A	Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen	139
B	Wegtransport	141
	B.1 Aanvullende tabellen	141
	B.2 Relatief energiegebruik batterij-elektrische vrachtwagens	142
C	Spoor	143
	C.1 Aanvullende tabellen	143
D	Binnenvaart	145
	D.1 Aanvullende tabellen	145
E	Ketenemissies	149
	E.1 Beschrijving bronnen	149
	E.2 Aanvullende grafieken LCA-voertuigen	154
	E.3 Aanvullende berekeningen batterijen	156
	E.4 Belangrijke variabelen in LCAs voor transport	157



Begrippenlijst

Afkorting/Begrip	Definitie
Beladingsgraad	Aandeel van de ladingcapaciteit die wordt in genomen door de lading in een beladen voertuig gewogen over het aantal km.
Benuttingsgraad	Aandeel van de ladingcapaciteit die wordt benut gedurende volle en lege ritten, gewogen over het aantal km.
CCD	Cruise-climb-descent phase; Vliegtuigactiviteiten boven een hoogte van 3.000 voet.
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.
CH ₄	Methaan; broeikasgas.
CNG	Compressed Natural Gas.
CO ₂ -eq	Koolstofdioxide equivalenten.
CO	Koolmonoxide.
DPF	Diesel particulate filter, vermindert fijnstof.
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).
Emissiefactor	Het begrip emissiefactor wordt in dit rapport gebruikt om de emissies per eenheid brandstof of per kilometer aan te duiden. Emissiefactoren worden in dit rapport bij een aantal vervoerswijzen gebruikt om de emissiekentallen per tonkilometer te bepalen.
Emissiekental	Het begrip emissiekentallen wordt in dit rapport gebruikt om de emissiecijfers per tonkilometer mee aan te duiden.
GT	Gross Tonnage; eenheid waarmee intern volume van zeeschepen wordt aangeduid.
GTL	Gas-to-Liquids, een synthetische diesel gemaakt van aardgas.
GTW	Gross Tonne Weight. Som van de lading en het leeggewicht van de trein exclusief locomotieven.
GVO	Garantie van Oorsprong.
GVW	Gross Vehicle Weight. Maximaal toegestane gewicht van het voertuig inclusief lading.
GWP	Global Warming Potential.
HC	Hydrocarbon.
HFO	Heavy Fuel Oil; Zware dieselolie.
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil.
IMO	International Maritime Organisation.
kWh	Kilowattuur.
LNG	Liquefied Natural Gas.
LG	Leeggewicht van voertuig.
LPG	Liquefied petroleum gas
LTO	Landing-Take-Off-cyclus; Vliegtuigactiviteiten die onder een hoogte van 3.000 voet plaatsgrijpen. Dat zijn taxiën voor het vertrek, opstijgen, landen en taxiën bij aankomst.
LZV	Lange Zware Voertuigen.
MDO	Marine Diesel Oil.
MGO	Marine Gas Oil.
MJ	MegaJoule.
N ₂ O	Distikstofmonoxide of lachgas; Lachgas is een broeikasgas.

Afkorting/Begrip	Definitie
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	Fijnstof (particulate matter).
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.
SCR	Selective Catalytic Reduction. Een katalytisch systeem om de NO _x -uitstoot in uitlaatgassen te verminderen.
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- (weg- en spoorvervoer) of tank-to-wake- (scheep- en luchtvaart) 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 TTW.
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 (weg en spoor) of well-to-wake-emissies (binnen, scheep- en luchtvaart); Emissies die vrijkomen tijdens winning, het transport en het raffinage-proces van brandstoffen of bij de productie en het transport van elektriciteit. Conform IPCC-afspraken zijn de TTW-emissies van biobrandstoffen nul. De netto ketenemissies van biobrandstoffen worden als WTT-emissies meegerekend.
WTW	Well-to-wheel (voor weg- en spoorvervoer) of well-to-wake (voor scheep- en luchtvaart)-emissies; Totaal van WTT- en TTW-emissies.

Samenvatting

Inhoud

STREAM Goederenvervoer 2020 is een handboek met emissiekentallen per tonkilometer voor weg, spoor, binnenvaart, zeevaart en luchtvaarttransport. De emissiekentallen betreffen broeikasgasemissies en de belangrijkste luchtvervuilende emissies. Het zijn gemiddelden van het jaar 2018 en de cijfers zijn representatief qua logistieke parameters voor transport in of met een herkomst of bestemming in Nederland. 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 2018 geven we in het rapport ook kentallen voor verschillende voertuigtechnieken (zoals Euroklassen) en (alternatieve) brandstoffen. Als achtergrond bij 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. Enerzijds omdat een vergelijking soms helemaal niet relevant is (een vliegtuig vergelijk je niet met een bestelauto), anderzijds omdat een vergelijking vaak niet mogelijk is (door barrières qua infrastructuur). Een vergelijking kan alleen gemaakt worden op basis van een case die in de praktijk mogelijk is, waarin de modaliteit-specifieke afstanden een belangrijke rol spelen en soms ook verschillend gedefinieerd zijn (luchtvaart op basis van vogelvluchtafstand, andere modaliteiten op basis van gereden afstand). Een vergelijking tussen vervoeropties kan wel goed gemaakt worden op basis van de kentallen in *STREAM* als rekening wordt gehouden met de specifieke afstanden per modaliteit, voor- en natransport en overslag. Enkele cases zijn ter voorbeeld uitgewerkt in Hoofdstuk 6.

De emissiekentallen in *STREAM* betreffen broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O samen in CO₂-eq.) en de belangrijkste luchtvervuilende emissies door transport (PM₁₀, NO_x en SO₂). Zowel de uitlaat- en slijtage-emissies (TTW-emissies) als de emissies die vrijkomen bij de winning, productie en transport van de brandstof en elektriciteit (WTT-emissies) worden gegeven. In het geval van CO₂-eq.-emissies zijn de WTT en TTW beiden even relevant voor het effect dat ze hebben op de opwarming van de aarde. Voor de luchtvervuilende emissies geldt dat de locatie van de emissies een belangrijke invloed heeft op de schadelijkheid. Emissies in dichtbevolkte gebieden zijn schadelijker dan emissies op zee bijvoorbeeld.

Behalve bovenstaande emissies, de emissies die direct afhangen van de inzet van de verschillende transportwijzen, geven we in deze versie ook inzicht in hoe deze emissies zich verhouden tot de emissies van voertuigproductie, onderhoud en infrastructuraanleg. We hebben daarbij ook speciaal aandacht besteed aan de emissies van batterijproductie, omdat dit een steeds belangrijke techniek is die wordt toegepast in transport.

Resultaten

Een compact 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 gedetailleerde resultaten zijn zichtbaar in Hoofdstuk 3.

In Hoofdstuk 6 worden modaliteiten vergeleken in cases waarin verschillende transportopties mogelijk zijn. 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 afhangt van de afstand en van het voor- en natransport. In de cases zijn de CO₂-eq.-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 trekkeroplegger, dieseltrein, binnenvaartschip of kustvaartschip, afhankelijk van de grootte van het voertuig, de afstand en het voor- en natransport. De elektrische trein heeft in alle gevallen de laagste emissies.

De CO₂-eq.-emissies van voertuigproductie, onderhoud en infrastructuur hebben voor veel modaliteiten een gezamenlijk aandeel van ongeveer 20%. Voor luchtvaart en de grote zeeschepen is het aandeel veel lager (10% of kleiner). Bij de kleinere wegvoertuigen hebben de CO₂-eq.-emissies van voertuigproductie een relatief groot aandeel in deze 20%. Bij spoor en binnenvaart zijn de CO₂-eq.-emissies van infrastructuur aanleg belangrijker. Voor batterij-elektrische wegvoertuigen geldt dat door de batterijproductie de CO₂-eq.-emissies van de voertuigproductie wel meer dan tweemaal hoger kunnen zijn. De lagere CO₂-eq.-uitstoot tijdens het gebruik van het voertuig resulteert er echter in dat de totale levenscyclus-CO₂-eq.-emissies van batterij-elektrische voertuigen lager zijn. Dit voordeel zal in de toekomst alleen maar toenemen door lagere CO₂-eq.-emissies van elektriciteit en (mede als gevolg daarvan) lagere emissies van batterijproductie.



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Onder de naam *STREAM* (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) publiceert CE Delft al tien 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 2020* is een update van *STREAM 2016*. *STREAM 2020* geeft een overzicht van de emissiekentallen van vervoerswijzen in het goederenvervoer voor het jaar 2018. Reden voor de update is dat door Europese voertuignormen en vlootvernieuwing, overheidsbeleid en technische vooruitgang de emissies van transport sinds 2014 (basisjaar in *STREAM 2016*) 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. Daarnaast is de studie ten opzichte van de 2016-versie uitgebreid met kentallen voor luchtvracht en met een hoofdstuk over de emissies van voertuigproductie en infrastructuurgebruik. Emissiekentallen voor personenvervoer zijn gerapporteerd in een aparte rapportage. De laatste versie van *STREAM Personenvervoer* dateert uit 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)analyses, vergelijken van modaliteiten in casestudies en (carbon) footprinting.

STREAM geeft een overzicht van de broeikasgasemissies en de belangrijkste luchtvervuilende emissies van de verschillende modaliteiten van goederenvervoer per tonkilometer voor Nederland voor het jaar 2018. 'Voor Nederland' betekent dat de kentallen typisch zijn voor transport in of met een herkomst of bestemming in Nederland.

Het rapport relateert het totaal van emissies van zowel beladen als leeg transport aan de vervoersprestatie. De vervoersprestatie wordt uitgedrukt in tonkilometers: het product van de hoeveelheid lading en de afstand waarover deze is verplaatst (zie ook Paragraaf 5.1 en het tekstkader 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.

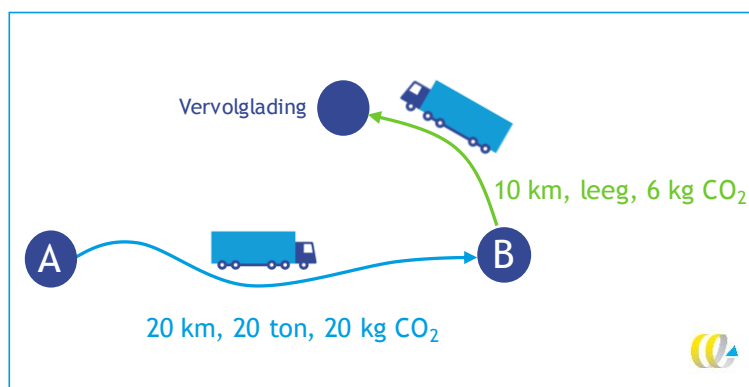
Emissies per tonkilometer

Emissies per tonkilometer geven de relatie tussen de emissies en de vervoersprestatie.

De vervoersprestatie wordt gegeven door voor elke rit het ladinggewicht (in ton) te vermenigvuldigen met de afgelegde afstand (in km). Lege kilometers dragen niet bij aan de vervoersprestatie (tkm), maar wel aan de emissies die noodzakelijk zijn voor het transport. Zowel de emissies van beladen als onbeladen kilometers worden meegenomen in de emissiekentallen per tonkilometer.

STREAM presenteert emissiekentallen op basis van gemiddelde cijfers per vervoerswijze.

Op ritniveau kan de berekening worden geïllustreerd zoals hieronder weergegeven, voor een rit van A naar B over 20 km, waarvoor de CO₂-uitstoot 20 kg bedraagt, gevolgd door een lege rit over 10 km waarbij 6 kg CO₂ wordt uitgestoten.



Berekening CO₂-emissie kentallen per tonkm is als volgt:

- De afgelegde tonkilometers = 20 km * 20 ton + 10 km * 0 ton = 400 tkm.
- CO₂-emissies = 20 kg CO₂ + 6 kg CO₂ = 26 kg CO₂.
- Emissies per tonkilometer = 65 g CO₂/tkm (26.000/400).

STREAM rekent 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, waarbij een inschatting van het leegtransport is inbegrepen.

Het rapport omvat de belangrijkste emissiekentallen met betrekking tot klimaat en luchtkwaliteitsbeleid. De belangrijkste broeikasgasemissies, te weten de emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) worden tezamen uitgedrukt in CO₂-equivalenten¹. De luchtvervuilende emissies die in deze studie zijn opgenomen zijn: stikstofdioxide (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_{s,l}). Voor alle emissies wordt inzicht gegeven in zowel de uitlaatgasemissies (TTW-emissies) als de emissies die optreden bij de winning, productie en transport van brandstoffen en bij elektriciteitsproductie (WTT-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 hoofdtabellen in deze studie. Wel wordt in Hoofdstuk 7 aandacht besteed aan deze emissies en hoe ze zich verhouden tot de WTT-, TTW- en WTW-emissies van het voertuiggebruik.

¹ Zie Hoofdstuk 4 voor de weging van CH₄ en N₂O; In de rest van het rapport wordt met CO₂ altijd CO₂-equivalenten bedoeld.

In Tabel 1 wordt het overzicht gegeven van de in de hoofdtabelen van dit rapport opgenomen emissies.

Tabel 1 - Overzicht gerapporteerde emissies in *STREAM*

Emissie	Verbranding	Slijtage (banden, bovenleidingen, etc.)	Brandstofproductie, elektriciteitsopwekking en transport in de voorketen
	(TTW)		(WTT)
CO ₂ -eq.	X	N.v.t	X
NO _x	X	N.v.t	X
PM ₁₀	X	X	X
SO ₂	X	N.v.t	X

Niet van toepassing; slijtage leidt niet tot verbrandingsproducten zoals CO₂, NO_x en SO₂.

De logistieke kenmerken voor verschillende typen 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.² Naast de gemiddelde emissiekentallen voor het jaar 2018 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 Gebruikswijzer

De data in het rapport kunnen voor verschillende type studies worden gebruikt. De belangrijkste zijn beleidsanalyse, vergelijken van modaliteiten en (carbon) footprinting om bijvoorbeeld de totale uitstoot van transport op basis van bekende tonkilometers te kunnen berekenen.

STREAM 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. Het is belangrijk om voor specifieke cases te kijken of de definitie van een voer- of (lucht)voertuigcategorie goed aansluit bij de case. Belangrijke aspecten in de definitie zijn de laadcapaciteit en -gewicht.
- De kentallen in *STREAM* zijn behoorlijk gedifferentieerd voor verschillende cases, maar dienen beschouwd te worden als defaultkentallen voor analyses waar geen detailinformatie voor bekend is. Zo zal het bepalen van de CO₂-uitstoot op basis van werkelijk

² Zie voor definitie licht, middel zwaar Paragraaf 3.1.



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 emissiefactoren per kilometer nauwkeuriger dan op basis van kentallen per tonkilometer en tonkilometers.

- Totale emissies van transport kunnen worden berekend door de emissiekentallen per tonkm te vermenigvuldigen met tonkilometers. De tonkilometers dienen gebaseerd te zijn op werkelijk gereden/gevaren/gevlogen afstand en niet bijvoorbeeld op basis van vogelvluchtafstand³ of kortste route. In de uitkomst wordt dan rekening gehouden met een hoeveelheid leegkilometers die nodig is om het transport te kunnen uitvoeren. Wanneer voor een levering via 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 en daarmee ook de uitstoot, die op basis hiervan wordt berekend. In een distributierit worden namelijk per definitie extra kilometers gemaakt om de verschillende afleveradressen te kunnen combineren. Met de kentallen in het rapport kan een vergelijking in emissies tussen modaliteiten worden gemaakt. De kentallen op zichzelf zijn niet geschikt voor een directe vergelijking tussen modaliteiten. Om een realistische vergelijking te maken dient rekening te worden gehouden met de individuele afstanden die worden afgelegd en het voor- en natransport benodigd om van herkomst tot bestemming te komen. In Hoofdstuk 6 wordt dit geïllustreerd.
- Daarnaast dient bij een vergelijking van luchtvervuilende emissies rekening te worden gehouden met de locatie van de emissies omdat de schadelijkheid daarvan afhankelijk is. (CE Delft; INFRAS; TRT; Ricardo, 2019) laat zien dat PM- en NO_x-emissies schadelijker zijn in (groot)stedelijke omgeving. PM- en NO_x-emissies door de lucht- en zeevaart zijn echter aanzienlijk minder schadelijk doordat deze op zee of in de lucht plaatsvinden.

1.4 Verschillen met *STREAM Goederenvervoer 2016*

STREAM 2020 is gebaseerd op het basisjaar 2018. In grote lijnen wordt dezelfde methodiek gebruikt als in *STREAM 2016*. De meeste veranderingen bestaan uit nieuwe parksamenstellingen en het updaten van emissiefactoren. Een nadere toelichting is te vinden in Hoofdstuk 8. De belangrijkste aanpassingen staan hieronder vermeld:

- De categorieën voor het wegtransport zijn uitgebreid naar aanleiding van uitgebreidere gegevens die beschikbaar zijn gekomen over bestelauto's op basis van het onderzoek van (Connekt, 2017). In plaats van twee gewichtsklassen worden vier gewichtsklassen onderscheiden. De categorie die het meest gebruikt wordt voor goederenvervoer (bestelauto met leeggewicht 2-2,5 ton) is opgenomen in de tabellen met emissiekentallen per tonkilometer. Voor de andere bestelautocategorieën worden de emissies per voertuigkilometer gegeven, omdat ze ook vaak voor bijvoorbeeld service doeleinden worden gebruikt en niet zozeer lading als wel gereedschap vervoeren.
- De belangrijkste aanpassing voor de binnenvaart is het gebruik van meer realistische vaarsnelheden die op de praktijk gebaseerd zijn. Vooral voor kleine schepen op smalle vaarwegen zorgt dit voor lagere snelheden en daardoor lagere emissies dan in *STREAM 2016*.
- Voor spoorvervoer is de grootste wijziging ten opzichte van *STREAM 2016* een aanpassing van de treincategorieën op basis van gesprekken met experts en bronnen (ProRail, 2019).

³ Tonkilometers op basis van vogelvluchtafstand worden met name toegepast in analyses volgens de COFRET-methode om emissies van een vervoerder toe te delen aan afleveradressen.



De aanpassingen voor zeevaart betreffen in de eerste plaats een aanpassing in scope. In *STREAM 2020* wordt niet alleen naar kustvaart gekeken, maar ook naar deep seascheepvaart. Op de tweede plaats is er gebruik gemaakt van nieuwe bronnen en methodiek. In de huidige versie is gebruik gemaakt van praktijkdata op basis van de EU-MRV-dataset⁴ en data verkregen via de KVNR.

Emissiekentallen van de luchtvaart zijn nieuw toegevoegd op basis van vluchtdata aangeleverd door Schiphol. Er worden twee typen vliegtuigen onderscheiden: full-freight en belly-freight.

- Ook nieuw toegevoegd zijn schattingen van de zogeheten levenscyclusemissies die vrijkomen tijdens productie en onderhoud van voertuigen, batterijproductie en de infrastructuur.

1.5 Leeswijzer

In deze studie presenteren we de emissiekentallen per tonkilometer voor verschillende vervoerswijzen.⁵ Deze data vormen de kern van het rapport en worden daarom centraal geplaatst aan het begin van het rapport. Het doel van de studie is een actueel en makkelijk toegankelijk overzicht te geven van emissies in het goederenvervoer.

In Hoofdstuk 2 geven we een overzicht van de meest representatieve data per modaliteit. Deze data zijn een uitsnede van de gedetailleerde data die in Hoofdstuk 3 zijn opgenomen.

In Hoofdstuk 3 presenteren we de data voor meer voertuigcategorieën en ladingtypen (licht, middel, zwaar) en geven we ook het onderscheid naar type weg en vaarwegklassen en vluchtafstanden. Per modaliteit worden ook indexpercentages van alternatieve brandstoffen en technologieën gepresenteerd, die kunnen worden gebruikt om op basis van de basistabellen de emissiekentallen van de alternatieven te berekenen. 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 zien hoe de data toegepast kunnen worden in specifieke cases.

In Hoofdstuk 7 laten we zien hoe de emissies van het gebruik van het voertuig zich verhouden tot de emissies van voer-/(lucht)vaartuigproductie, onderhoud en infrastructuraanleg.

Tenslotte gaan we in Hoofdstuk 8 kort in op de verschillen in emissiekentallen tussen het huidige rapport en het rapport uit 2016.

De hoofdttekst wordt afgesloten met enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

In de bijlagen is nog verdere informatie beschikbaar over brandstoffen, technieken en modaliteiten.

⁴ Deze dataset rapporteert praktijkdata voor CO₂-emissies door schepen groter dan 5.000 GT die Europese havens aandoen in het kader van EU-verordening 2015/757 (EU, 2015b).

⁵ Met uitzondering van bestelauto's waar ook emissiefactoren per voertuigkilometer worden gepresenteerd.

2 Overzicht van resultaten

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden op een compacte manier de resultaten per tkm 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 voor de CO₂-emissies inzicht gegeven in de impact van infrastructuur en voertuiggebruik op de totale levenscyclusemissies.

Het hoofdstuk is een compacte presentatie van de resultaten in het verdere rapport.

Voor gebruikte definities in dit hoofdstuk en de rest van het rapport wordt verwezen naar de begrippenlijst aan het begin van dit rapport en de uitgebreide beschrijvingen in Hoofdstukken 3 en 4.

2.2 Representatieve emissiekentallen

In Tabel 2 en Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van representatieve voertuigen per modaliteit en het representatieve type goederen (licht, middelzwaar, zwaar)⁶ dat door deze voertuigen wordt vervoerd. Het betreft voer- en vaarttuigen die representatief zijn voor het gemiddelde, vaak omdat ze een groot aandeel hebben in het transport:

- In goederenvervoer wordt de grote bestelauto (2.000-2.500 kg leeggewicht) het meest ingezet. De goederen zijn over het algemeen licht en de bestelauto is licht beladen (o.b.v. CBS-data).
- Het goederenvervoer met vrachtauto's over de weg is gemiddeld genomen met middelzware goederen. Op de weg zijn de lichte en zware trekker-oplegger verantwoordelijk voor bijna 65% van de vrachtautokilometers en 75% van de tonkilometers (CBS).
- In het transport met kleinere vrachtauto's (laadcapaciteit onder de 20 ton) voor onder andere de stadslogistiek speelt de middelzware vrachtauto een belangrijke rol.
- Het goederenvervoer per spoor wordt gedomineerd door de elektrische trein, maar voor rangeren en op bepaalde trajecten wordt echter ook vaak een dieseltrein ingezet, met name als daar geen bovenleiding is. Een gewogen gemiddelde waarde van elektrisch en diesel is gegeven. Per spoor worden voornamelijk zware goederen getransporteerd. De middellange trein (2.841 GTW vol, gemiddeld circa 1.940 ton) wordt qua gewicht representatief geacht voor het gemiddelde gewicht op het spoor exclusief container-treinen op basis van gemiddelde treingewichten in (ProRail, 2019). Voor containertransport is dit de lange trein (90 TEU⁷).
- 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). Uit de data EU-MRV-database blijkt dat het gemiddelde van de scheepvaart goed overeenkomt met de bulkcarrier 35-60 dwkt. Voor containertransport is dit het containerschip 8.000-12.000 TEU. In het kustvaarttransport komen verschillende type schepen voor. Het General Cargoschip (10-20 dwkt) is qua emissies per tonkilometer

⁶ Gebaseerd op analyses en bronnen uit CE Delft (2016a) en TNO (2015b) voor weg, spoor en binnenvaart, zie definitie in Paragraaf 3.1.

⁷ Containermaat: Twenty foot Equivalent Unit.

representatief voor het gemiddelde van de kustvaartschepen⁸. Voor containertransport is dit het containerschip 1.000-1999 TEU.

- Langeafstandsvluchten zijn met een aandeel van 84% van de tonkilometers bepalend voor het gemiddelde. Het gewogen gemiddelde van full-freight (59%) en belly-freight (41%) langeafstandsvluchten is representatief voor luchtvracht.

In de tabellen zijn de meest beleidsrelevante emissiekentallen weergegeven. Het betreft de WTW-broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O uitgedrukt in CO₂-equivalenten) en de uitlaatgasemissies (TTW) voor fijnstof (PM_v) en NO_x. De TTW-emissies van PM_v en NO_x zijn voor de vervoerswijzen over land over het algemeen schadelijker, en daarom beleidsrelevanter dan de WTT-emissies van NO_x en PM_v. Terwijl de TTW-emissies plaatsvinden nabij of in de bebouwde omgeving en daar directer schadelijke gevolgen hebben voor de gezondheid van mensen, vinden de WTT-emissies eerder plaats op industriële locaties die minder dicht bevolkt zijn (o.a. raffinage, elektriciteitsopwekking). Voor lucht- en zeevaart geldt dat van de totale PM_v- en NO_x-TTW-emissies in Tabel 2, met name de TWW-emissies in de haven en op de luchthaven invloed hebben op de gezondheid van mensen. In Hoofdstuk 3 zijn de uitgebreide data te vinden met alle emissiekentallen.

Tabel 2 - Representatieve emissiekentallen 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 LG 2.000-2.500 kg	Licht	1.326	0,078	4,35
	Vrachtauto middelzwaar	Middelzwaar	256	0,015	1,40
	Trekker-oplegger licht	Middelzwaar	178	0,002	0,53
	Trekker-oplegger zwaar	Middelzwaar	88	0,002	0,22
Spoor	Middellange trein (elektrisch 73%: diesel 27%)	Zwaar	12	0,001	0,05
Binnenvaart	R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	Zwaar	38	0,014	0,40
	Groot Rijnschip	Zwaar	24	0,010	0,26
Zeevaart	Kustvaart: General Cargo 10-20 dwkt	Zwaar	22	0,009	0,40
	Deep sea: Bulkcarrier 35-60 dwkt	Zwaar	6,6	0,003	0,13
Luchtvaart	Lange afstand (full-freight)	Licht	544	0,015	1,98

* De emissiekentallen van luchtvervuilende stoffen geven geen indicatie voor de schadelijkheid van de verschillende modaliteiten. De schadelijkheid hangt samen met de locatie van uitstoot.

Tabel 3 - Representatieve emissiekentallen 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	121	0,003	0,30
Spoor	Lange trein (elektrisch 73%: diesel 27%)	Middelzwaar	18	0,0018	0,08
Binnenvaart	R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) (96 TEU)	Middelzwaar	52	0,019	0,55
	Groot Rijnschip (208 TEU)	Middelzwaar	32	0,013	0,34
Zeevaart	Kustvaart: Containerschip 1.000-1.999 TEU	Middelzwaar	32	0,013	0,57
	Deep sea: Containership 8.000-11.999 TEU	Middelzwaar	12	0,005	0,23

* De emissiekentallen van luchtvervuilende stoffen geven geen indicatie voor de schadelijkheid van de verschillende modaliteiten. De schadelijkheid hangt samen met de locatie van uitstoot.

⁸ Gebaseerd op aantal schepen en capaciteit per type schip uit (IMO, 2014).

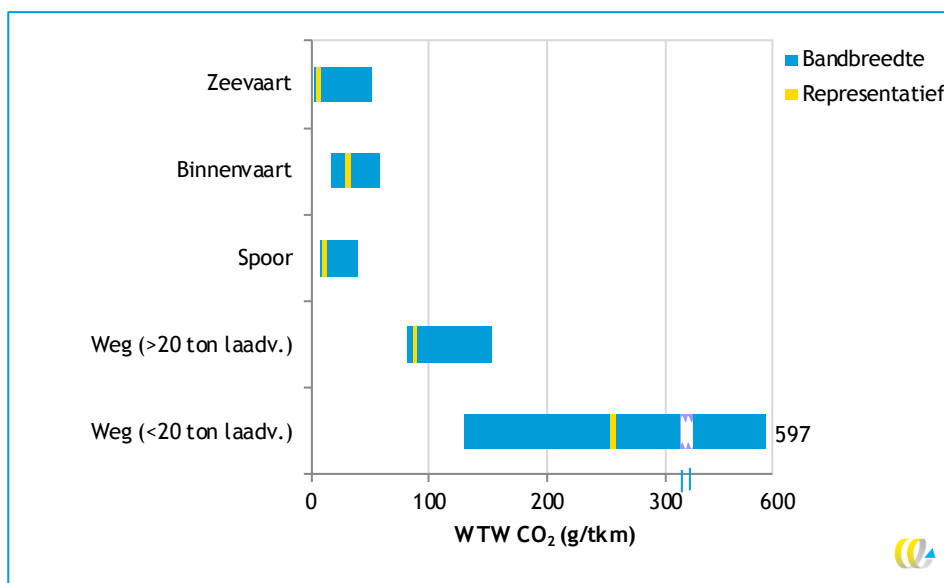


2.3 Range van emissiekentallen

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.⁹ In de figuren zijn de representatieve waarden van Tabel 2 en Tabel 3 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. Voor binnenvaart is het gemiddelde van het R.H.K (Rijn-Herne-Kanaal) en het Groot Rijnschip genomen.

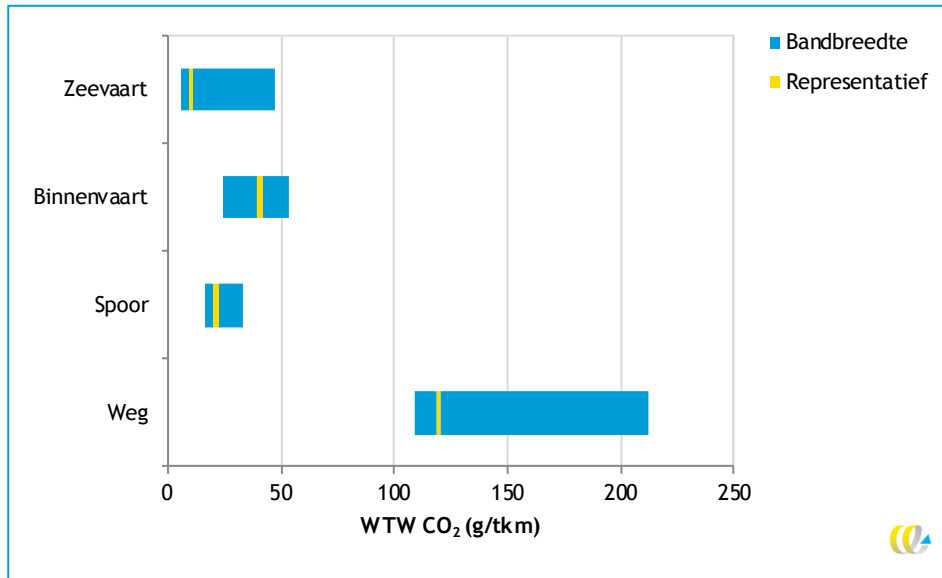
De figuren laten de emissiekentallen per tonkilometer voor verschillende modaliteiten naast elkaar zien. Het is echter niet juist om op basis hiervan modaliteiten te vergelijken. Modaliteiten kunnen alleen goed worden vergeleken in specifieke cases, waarbij rekening wordt gehouden met de afstanden die 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 - Range van emissiekentallen CO₂ - bulk/stukgoederen (WTW) (g/tkm)

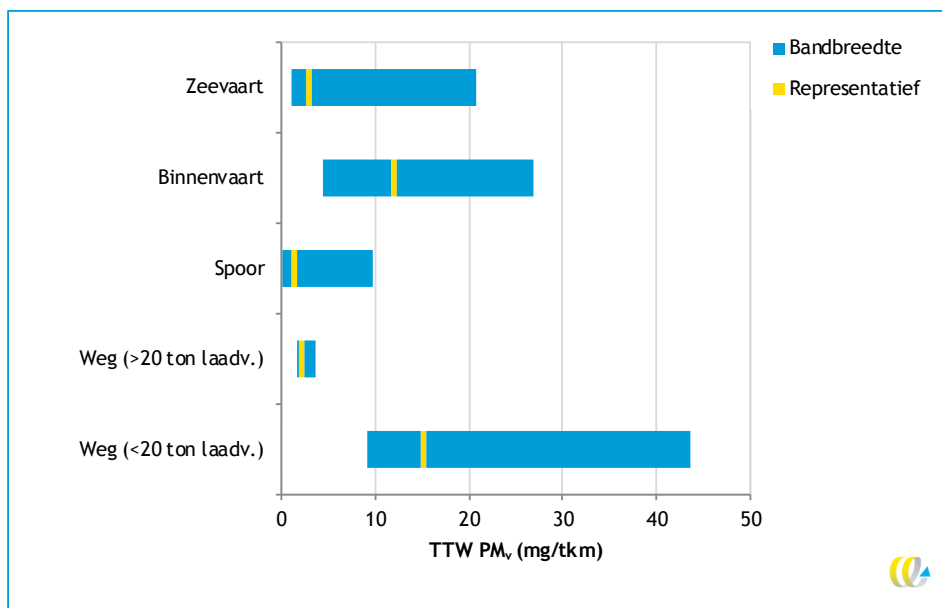


⁹ De bestelauto en het vliegtuig zijn niet weergegeven. Bij bestelauto's zijn de emissies (CO₂, PM_v en NO_x) per tonkilometer veel hoger omdat de bestelauto relatief weinig goederen tegelijk kan vervoeren en typisch bedoeld is voor distributie van goederen. Ook voor vliegtuigen zijn de CO₂-emissies per tonkm hoger, en zou bij weergave in één figuur veel informatie verloren gaan.

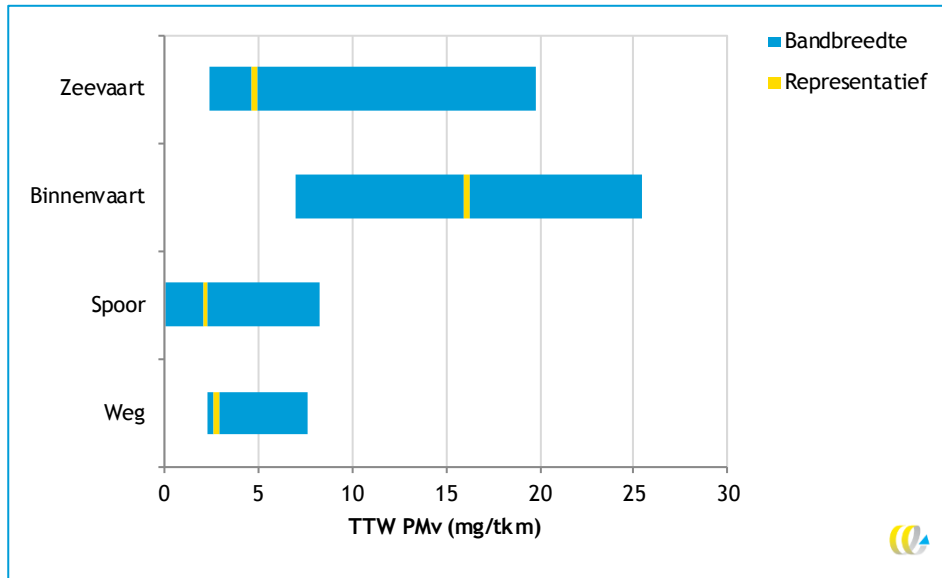
Figuur 2 - Range van emissiekentallen CO₂ - containertransport (WTW) (g/tkm)



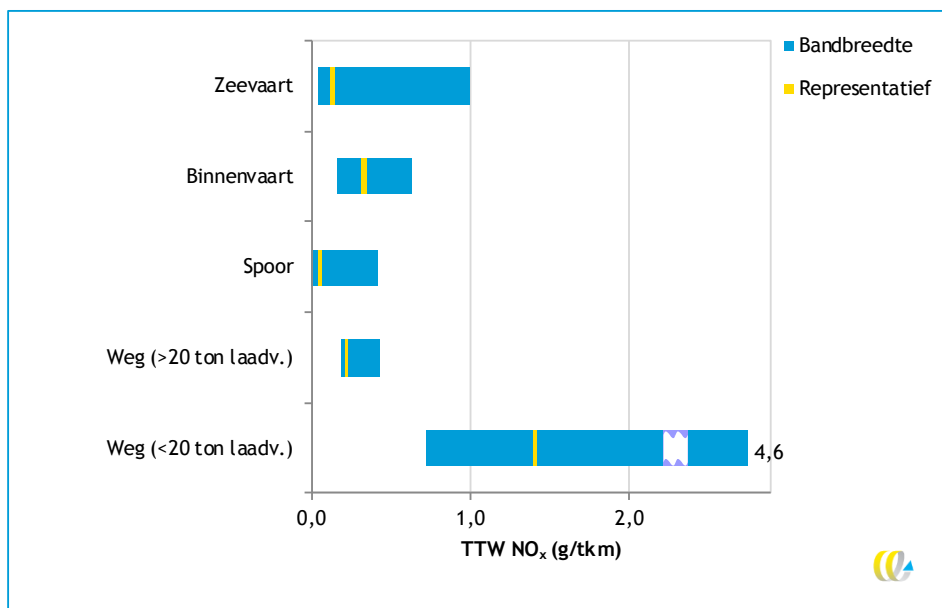
Figuur 3 - Range van emissiekentallen fijnstof (PM_v) - bulk/stukgoederen (TTW) (g/tkm)



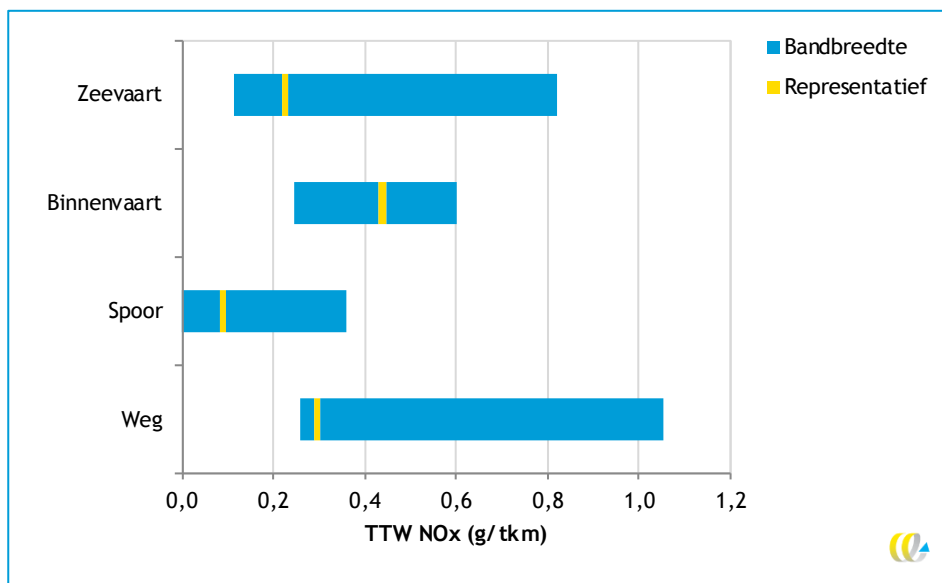
Figuur 4 - Range van emissiekentallen fijnstof (PM_v) - containers (TTW) (g/tkm)



Figuur 5 - Range van emissiekentallen NO_x - bulk/stukgoederen (TTW) (g/tkm)



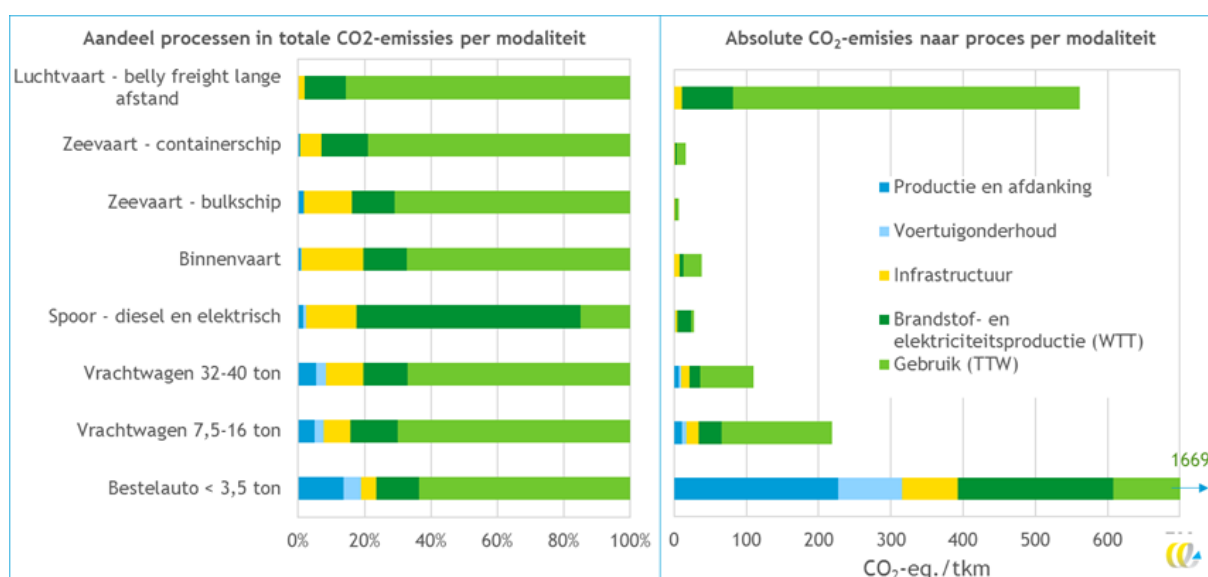
Figuur 6 - Range van emissiekentallen NO_x - containers (TTW) (g/tkm)



2.4 Levenscyclusemissies, inclusief voertuigproductie en infrastructuur

In Hoofdstuk 7 wordt inzicht gegeven in de emissies van infrastructuur en voertuigproductie en -onderhoud, op basis van Frischknecht et al. (2016). Figuur 7 laat zien dat de TTW- en WTT-emissies, die centraal staan in *STREAM*, de belangrijkste bijdrage hebben aan de totale CO₂-impact in de keten (80-90% aandeel). Het totaal van infrastructuur en voertuigproductie en -onderhoud maakt over het algemeen 10-20% uit van de totale emissies. Voor luchtvaart is dit lager, omdat de WTW-emissies relatief hoog zijn. Voor de bestelauto is de impact van deze emissies iets hoger, met name door de relatief hoge impact van de voertuigproductie in relatie tot de tonkilometers gedurende de levensduur van de bestelauto.

Figuur 7 - Aandelen processen aan CO₂-emissies in de keten per modaliteit



Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

3 Uitgebreide data per vervoerswijze

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft in meer detail dan in Paragraaf 2.2 de emissiekentallen 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 WTT-emissies. Voor elke modaliteit worden de emissiekentallen in een aparte paragraaf beschreven. Per modaliteit zijn er twee subparagrafen. In de eerste subparagraaf worden de park-gemiddelde 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 0,4-1,3 kg/liter in laadruim);
- zwaar transport: ertsen, mineralen, kolen, cokes, olie (typisch voor vloeistoffen en lading > 1,3 kg/liter).

Voor luchtvaart wordt geen onderscheid gemaakt naar gewichtsklasse. De emissiecijfers zijn opgenomen onder licht transport.

De tweede subparagraaf geeft de emissiekentallen voor containervervoer. Ook voor containertransport is er onderscheid gemaakt naar gewicht van de beladen container:

- lichte containers: 6 ton/TEU¹⁰;
- middelzware containers: 10,5 ton/TEU;
- zware containers: 14 ton/TEU.

De tabellen worden gepresenteerd in een volgorde waarbij middelzwaar transport als eerste wordt gepresenteerd, gevolgd door licht en dan zwaar transport. Dit is gedaan om te voorkomen dat de lezer als eerste de kentallen voor licht transport ziet, die veel minder representatief zijn.

Voor binnenvaart, spoor en zeevaart geldt dat ze meestal een mix van lichte, middelzware en zware containers zullen vervoeren, waarbij de gemiddelde beladen container 10,5 ton/TEU weegt. De emissiekentallen voor lichte en zware containers zijn vooral bedoeld om de emissies voor een specifieke lading in een container te berekenen.

De tabellen in de hierna volgende paragrafen vermelden naast de emissiekentallen ook steeds de benutting¹¹ en de gemiddelde hoeveelheid lading per voertuig, representatief voor de transportcategorie.

Voor alternatieve brandstoffen en technieken worden in de derde subparagraaf indexpercentages gegeven voor energiegebruik en CO₂-, PM_v- en NO_x-emissies. Daarmee wordt

¹⁰ Containermaat: Twenty Foot Equivalent Unit.

¹¹ De benutting is het product van de beladingsgraad van beladen kilometers en het aandeel beladen voertuigkilometers



aangegeven hoe de emissiekentallen van alternatieve of specifieke technieken en brandstoffen zich verhouden tot de aangegeven referentie. Er wordt steeds ook een indexpercentage voor het 2018-gemiddelde gegeven (zoals gerapporteerd in de hoofdtabellen), zodat de emissiekentallen voor het alternatief kunnen worden berekend via:

$$EK_{tkm- alternatief} = \frac{index_{alternatief}}{index_{2018\ gemiddeld}} \times EK_{tkm-2018\ gemiddeld}$$

Waarbij EK_{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.

Voor bestelauto's worden in Paragraaf 3.2.1 kentallen per tonkilometer gepresenteerd die representatief zijn voor bestelauto's die actief zijn in goederenvervoer. In Paragraaf 3.2.3 worden daarnaast voor een bredere categorie bestelauto's emissiefactoren per voertuigkilometer gepresenteerd. Hiervoor is gekozen omdat veel bestelauto's niet specifiek gebruikt worden voor goederenvervoer (maar bijv. in de bouw of service) en een kental per tonkilometer daarvoor niet relevant is.

3.2 Wegtransport

3.2.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen wegtransport

Tabel 4 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer, lading middelzwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Bestelauto Leeggewicht 2.000-2.500 kg												
Gemiddeld	1,2	9,4	649,7	0,0039	0,050	2,8	0,044	857,3	0,89	0,08	3,10	0,044
Stad	1,2	10,4	721,2	0,0044	0,048	3,2	0,073	951,7	0,99	0,09	3,56	0,073
Buitenweg	1,2	7,8	537,5	0,0032	0,030	2,4	0,037	709,2	0,73	0,06	2,64	0,037
Snelweg	1,2	10,1	697,1	0,0042	0,062	2,9	0,039	919,8	0,95	0,10	3,24	0,039
Vrachtauto GVW < 10 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	3,0	4,0	275,1	0,0017	0,026	2,738	0,067	362,7	0,375	0,040	2,87	0,067
Stad	3,0	5,4	376,3	0,0023	0,039	4,041	0,099	496,3	0,513	0,059	4,22	0,099
Buitenweg	3,0	3,7	254,9	0,0015	0,025	2,450	0,052	336,1	0,347	0,038	2,57	0,052
Snelweg	3,0	3,3	231,5	0,0014	0,020	2,191	0,057	305,3	0,316	0,032	2,30	0,057
Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	7,5	2,8	194,2	0,0012	0,015	1,404	0,026	256,1	0,265	0,025	1,50	0,026
Stad	7,5	4,0	279,0	0,0017	0,024	2,271	0,037	367,9	0,380	0,038	2,40	0,037
Buitenweg	7,5	2,7	186,1	0,0011	0,014	1,208	0,020	245,4	0,254	0,024	1,30	0,020
Snelweg	7,5	2,2	156,4	0,0009	0,011	1,053	0,022	206,2	0,213	0,019	1,13	0,022
Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	18,0	1,5	104,0	0,0006	0,010	0,768	0,012	136,9	0,141	0,015	0,82	0,012
Stad	18,0	2,2	152,8	0,0009	0,015	1,208	0,017	201,1	0,207	0,023	1,28	0,017
Buitenweg	18,0	1,4	98,7	0,0006	0,009	0,698	0,009	129,8	0,133	0,014	0,74	0,009
Snelweg	18,0	1,2	83,1	0,0005	0,007	0,588	0,010	109,4	0,112	0,012	0,63	0,010



Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	13,0	2,1	149,4	0,0009	0,007	0,975	0,015	196,6	0,202	0,015	1,04	0,015
Stad	13,0	3,4	237,6	0,0014	0,013	1,746	0,024	312,6	0,321	0,025	1,86	0,024
Buitenweg	13,0	2,3	158,3	0,0009	0,008	1,117	0,013	208,3	0,214	0,016	1,19	0,013
Snelweg	13,0	1,9	130,6	0,0008	0,006	0,785	0,014	171,8	0,176	0,013	0,85	0,014
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	28,0	1,1	80,0	0,0005	0,002	0,286	0,007	105,2	0,108	0,006	0,32	0,007
Stad	28,0	2,0	137,6	0,0008	0,005	0,565	0,011	181,0	0,186	0,012	0,63	0,011
Buitenweg	28,0	1,2	83,1	0,0005	0,002	0,331	0,006	109,3	0,112	0,007	0,37	0,006
Snelweg	28,0	1,0	68,1	0,0004	0,002	0,218	0,007	89,6	0,092	0,005	0,25	0,007
Trekker-oplegger licht												
Gemiddeld	15,7	1,9	135,5	0,0008	0,002	0,522	0,011	178,3	0,183	0,009	0,59	0,011
Stad	15,7	3,1	220,0	0,0013	0,005	1,185	0,018	289,4	0,297	0,017	1,29	0,018
Buitenweg	15,7	2,2	151,5	0,0009	0,003	0,686	0,009	199,3	0,204	0,011	0,76	0,009
Snelweg	15,7	1,8	124,3	0,0007	0,002	0,424	0,010	163,4	0,168	0,008	0,48	0,010
Trekker-oplegger zwaar												
Gemiddeld	29,2	1,0	67,2	0,0004	0,002	0,215	0,004	88,4	0,091	0,005	0,25	0,004
Stad	29,2	1,9	135,6	0,0008	0,005	0,447	0,007	178,4	0,183	0,012	0,51	0,007
Buitenweg	29,2	1,2	85,1	0,0005	0,003	0,266	0,004	111,9	0,115	0,007	0,31	0,004
Snelweg	29,2	0,8	57,1	0,0003	0,002	0,184	0,004	75,1	0,077	0,005	0,21	0,004
LZV												
Gemiddeld	40,8	0,9	64,9	0,0004	0,002	0,196	0,005	85,4	0,088	0,005	0,23	0,005
Stad	40,8	1,9	131,0	0,0008	0,004	0,407	0,007	172,3	0,177	0,011	0,47	0,007
Buitenweg	40,8	1,2	82,2	0,0005	0,002	0,242	0,004	108,1	0,111	0,006	0,28	0,004
Snelweg	40,8	0,8	55,6	0,0003	0,001	0,168	0,005	73,1	0,075	0,004	0,19	0,005

Tabel 5 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer, lading licht, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Bestelauto Leeggewicht 2.000-2.500 kg												
Gemiddeld	1,2	14,5	1005,1	0,0061	0,078	4,351	0,068	1326,3	1,374	0,129	4,83	0,068
Stad	1,2	16,1	1115,8	0,0067	0,075	5,017	0,113	1472,3	1,525	0,132	5,55	0,113
Buitenweg	1,2	12,0	831,5	0,0050	0,047	3,722	0,057	1097,2	1,137	0,090	4,12	0,057
Snelweg	1,2	15,6	1078,4	0,0065	0,097	4,540	0,061	1423,0	1,474	0,152	5,05	0,061
Vrachtauto GVW < 10 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	3,0	6,5	452,8	0,0027	0,044	4,567	0,111	597,1	0,617	0,067	4,78	0,111
Stad	3,0	8,9	619,5	0,0037	0,065	6,748	0,163	816,9	0,845	0,097	7,04	0,163
Buitenweg	3,0	6,0	419,6	0,0025	0,041	4,087	0,086	553,3	0,572	0,063	4,29	0,086
Snelweg	3,0	5,5	381,2	0,0023	0,033	3,651	0,095	502,6	0,519	0,053	3,83	0,095
Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	7,5	4,2	290,5	0,0018	0,023	2,134	0,039	383,1	0,396	0,038	2,27	0,039
Stad	7,5	6,0	417,3	0,0025	0,036	3,455	0,056	550,2	0,569	0,058	3,65	0,056
Buitenweg	7,5	4,0	278,4	0,0017	0,021	1,835	0,030	367,1	0,380	0,035	1,97	0,030
Snelweg	7,5	3,4	233,9	0,0014	0,017	1,600	0,033	308,4	0,319	0,029	1,71	0,033
Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	18,0	2,2	152,5	0,0009	0,014	1,156	0,017	200,6	0,206	0,022	1,23	0,017
Stad	18,0	3,2	224,0	0,0013	0,022	1,820	0,024	294,8	0,303	0,034	1,92	0,024



Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{st}
Buitenweg	18,0	2,1	144,6	0,0009	0,014	1,050	0,013	190,3	0,195	0,021	1,12	0,013
Snelweg	18,0	1,7	121,9	0,0007	0,011	0,884	0,015	160,3	0,165	0,017	0,94	0,015
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	13,0	3,2	221,9	0,0013	0,011	1,479	0,022	292,0	0,300	0,022	1,58	0,022
Stad	13,0	5,0	352,9	0,0021	0,019	2,652	0,035	464,2	0,476	0,037	2,82	0,035
Buitenweg	13,0	3,3	235,1	0,0014	0,011	1,697	0,019	309,3	0,317	0,023	1,81	0,019
Snelweg	13,0	2,8	193,9	0,0012	0,009	1,190	0,021	255,1	0,262	0,019	1,28	0,021
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	28,0	1,6	115,7	0,0007	0,004	0,434	0,011	152,2	0,156	0,009	0,49	0,011
Stad	28,0	2,8	199,1	0,0012	0,007	0,858	0,016	261,9	0,268	0,017	0,95	0,016
Buitenweg	28,0	1,7	120,3	0,0007	0,004	0,503	0,009	158,2	0,162	0,010	0,56	0,009
Snelweg	28,0	1,4	98,6	0,0006	0,003	0,330	0,010	129,7	0,133	0,008	0,38	0,010
Trekker-oplegger licht												
Gemiddeld	15,7	2,8	197,3	0,0012	0,004	0,784	0,016	259,5	0,266	0,014	0,88	0,016
Stad	15,7	4,6	320,4	0,0019	0,008	1,780	0,026	421,4	0,432	0,024	1,93	0,026
Buitenweg	15,7	3,1	220,6	0,0013	0,004	1,030	0,014	290,1	0,298	0,016	1,13	0,014
Snelweg	15,7	2,6	180,9	0,0011	0,003	0,637	0,015	238,0	0,244	0,012	0,72	0,015
Trekker - oplegger zwaar												
Gemiddeld	29,2	1,4	96,6	0,0006	0,003	0,326	0,006	127,0	0,130	0,008	0,37	0,006
Stad	29,2	2,8	194,9	0,0012	0,007	0,678	0,010	256,3	0,263	0,017	0,77	0,010
Buitenweg	29,2	1,7	122,3	0,0007	0,004	0,403	0,006	160,9	0,165	0,010	0,46	0,006
Snelweg	29,2	1,2	82,1	0,0005	0,002	0,278	0,006	107,9	0,111	0,007	0,32	0,006
LZV												
Gemiddeld	40,8	1,3	93,4	0,0006	0,003	0,302	0,007	122,8	0,126	0,007	0,35	0,007
Stad	40,8	2,7	188,3	0,0011	0,006	0,627	0,011	247,6	0,254	0,016	0,72	0,011
Buitenweg	40,8	1,7	118,2	0,0007	0,003	0,373	0,006	155,4	0,159	0,009	0,43	0,006
Snelweg	40,8	1,1	79,3	0,0005	0,002	0,257	0,007	104,3	0,107	0,006	0,29	0,007

Tabel 6 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer, lading zwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{st}
Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	7,5	2,6	182,9	0,0016	0,01	1,3	0,024	241,1	0,25	0,02	1,40	0,024
Stad	7,5	3,8	262,6	0,0023	0,02	2,1	0,035	346,3	0,36	0,04	2,26	0,035
Buitenweg	7,5	2,5	175,2	0,0015	0,01	1,1	0,019	231,1	0,24	0,02	1,22	0,019
Snelweg	7,5	2,1	147,2	0,0013	0,01	1,0	0,021	194,1	0,20	0,02	1,06	0,021
Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	18,0	1,4	98,3	0,0008	0,01	0,7	0,011	129,3	0,13	0,01	0,77	0,011
Stad	18,0	2,1	144,4	0,0012	0,01	1,1	0,016	190,1	0,20	0,02	1,20	0,016
Buitenweg	18,0	1,3	93,2	0,0008	0,01	0,7	0,009	122,7	0,13	0,01	0,70	0,009
Snelweg	18,0	1,1	78,6	0,0007	0,01	0,6	0,009	103,4	0,11	0,01	0,59	0,009
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	13,0	2,0	140,9	0,0012	0,01	0,9	0,014	185,3	0,19	0,01	0,98	0,014
Stad	13,0	3,2	224,0	0,0019	0,01	1,6	0,022	294,7	0,30	0,02	1,74	0,022
Buitenweg	13,0	2,1	149,2	0,0013	0,01	1,0	0,012	196,3	0,20	0,01	1,12	0,012
Snelweg	13,0	1,8	123,1	0,0011	0,01	0,7	0,014	161,9	0,17	0,01	0,79	0,014

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	28,0	1,1	75,8	0,0007	0,00	0,3	0,007	99,7	0,10	0,01	0,30	0,007
Stad	28,0	1,9	130,4	0,0011	0,00	0,5	0,011	171,5	0,18	0,01	0,59	0,011
Buitenweg	28,0	1,1	78,7	0,0007	0,00	0,3	0,006	103,6	0,11	0,01	0,35	0,006
Snelweg	28,0	0,9	64,6	0,0006	0,00	0,2	0,007	84,9	0,09	0,01	0,23	0,007
Trekker-oplegger licht												
Gemiddeld	15,7	1,9	130,6	0,0011	0,00	0,5	0,010	171,8	0,18	0,01	0,56	0,010
Stad	15,7	3,0	212,1	0,0018	0,01	1,1	0,017	279,0	0,29	0,02	1,24	0,017
Buitenweg	15,7	2,1	146,0	0,0013	0,00	0,7	0,009	192,1	0,20	0,01	0,73	0,009
Snelweg	15,7	1,7	119,8	0,0010	0,00	0,4	0,010	157,5	0,16	0,01	0,46	0,010
Trekker - oplegger zwaar												
Gemiddeld	29,2	0,9	64,3	0,0006	0,00	0,2	0,004	84,6	0,09	0,01	0,23	0,004
Stad	29,2	1,8	129,8	0,0011	0,00	0,4	0,007	170,8	0,18	0,01	0,49	0,007
Buitenweg	29,2	1,2	81,5	0,0007	0,00	0,3	0,004	107,2	0,11	0,01	0,29	0,004
Snelweg	29,2	0,8	54,7	0,0005	0,00	0,2	0,004	71,9	0,07	0,00	0,20	0,004
LZV												
Gemiddeld	40,8	0,9	62,2	0,0005	0,00	0,2	0,004	81,8	0,08	0,00	0,21	0,004
Stad	40,8	1,8	125,4	0,0011	0,00	0,4	0,007	165,0	0,17	0,01	0,44	0,007
Buitenweg	40,8	1,1	78,7	0,0007	0,00	0,2	0,004	103,6	0,11	0,01	0,27	0,004
Snelweg	40,8	0,8	52,8	0,0005	0,00	0,2	0,004	69,5	0,07	0,00	0,18	0,004

3.2.2 Data parkgemiddeld containers wegtransport

Tabel 7 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer , lading middelzwaar, containers 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	1	2,3	161,1	0,0010	0,008	1,055	0,016	211,9	0,217	0,016	1,13	0,016
Stad	1	3,6	256,2	0,0015	0,014	1,890	0,025	337,0	0,346	0,027	2,01	0,025
Buitenweg	1	2,4	170,7	0,0010	0,008	1,209	0,014	224,5	0,230	0,017	1,29	0,014
Snelweg	1	2,0	140,8	0,0008	0,006	0,849	0,015	185,2	0,190	0,014	0,92	0,015
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	2	1,3	92,5	0,0006	0,003	0,333	0,008	121,6	0,125	0,007	0,38	0,008
Stad	2	2,3	159,1	0,0009	0,005	0,658	0,013	209,2	0,215	0,013	0,73	0,013
Buitenweg	2	1,4	96,1	0,0006	0,003	0,386	0,007	126,4	0,130	0,008	0,43	0,007
Snelweg	2	1,1	78,8	0,0005	0,002	0,253	0,008	103,6	0,106	0,006	0,29	0,008
Trekker - oplegger zwaar												
Gemiddeld	2	1,3	91,9	0,0005	0,003	0,303	0,006	120,9	0,124	0,008	0,35	0,006
Stad	2	2,6	185,6	0,0011	0,007	0,630	0,010	244,1	0,250	0,016	0,72	0,010
Buitenweg	2	1,7	116,5	0,0007	0,004	0,374	0,005	153,2	0,157	0,009	0,43	0,005
Snelweg	2	1,1	78,1	0,0005	0,002	0,259	0,006	102,8	0,105	0,006	0,30	0,006
LZV												
Gemiddeld	3	1,2	82,8	0,0005	0,002	0,259	0,006	108,9	0,112	0,006	0,30	0,006
Stad	3	2,4	167,0	0,0010	0,005	0,539	0,009	219,6	0,225	0,014	0,62	0,009
Buitenweg	3	1,5	104,8	0,0006	0,003	0,320	0,005	137,9	0,141	0,008	0,37	0,005
Snelweg	3	1,0	70,3	0,0004	0,002	0,221	0,006	92,5	0,095	0,005	0,25	0,006



Tabel 8 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer, lading licht, containers 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	1	3,4	238,1	0,0014	0,012	1,599	0,024	313,2	0,321	0,024	1,71	0,024
Stad	1	5,4	378,6	0,0023	0,021	2,867	0,038	498,1	0,511	0,040	3,04	0,038
Buitenweg	1	3,6	252,2	0,0015	0,012	1,834	0,020	331,8	0,341	0,025	1,95	0,020
Snelweg	1	3,0	208,0	0,0012	0,010	1,286	0,023	273,7	0,281	0,020	1,38	0,023
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	2	1,9	132,5	0,0008	0,004	0,505	0,012	174,2	0,179	0,011	0,57	0,012
Stad	2	3,2	227,9	0,0014	0,008	0,999	0,018	299,7	0,307	0,019	1,11	0,018
Buitenweg	2	2,0	137,7	0,0008	0,004	0,586	0,010	181,0	0,186	0,011	0,65	0,010
Snelweg	2	1,6	112,9	0,0007	0,003	0,384	0,012	148,4	0,152	0,009	0,44	0,012
Trekker - oplegger zwaar												
Gemiddeld	2	1,9	131,3	0,0008	0,004	0,457	0,009	172,7	0,177	0,011	0,52	0,009
Stad	2	3,8	265,0	0,0016	0,010	0,950	0,014	348,5	0,357	0,023	1,07	0,014
Buitenweg	2	2,4	166,3	0,0010	0,005	0,565	0,008	218,7	0,224	0,014	0,64	0,008
Snelweg	2	1,6	111,6	0,0007	0,003	0,389	0,009	146,7	0,150	0,009	0,44	0,009
LZV												
Gemiddeld	3	1,7	118,2	0,0007	0,003	0,397	0,008	155,5	0,159	0,009	0,45	0,008
Stad	3	3,4	238,4	0,0014	0,008	0,826	0,013	313,6	0,322	0,020	0,94	0,013
Buitenweg	3	2,1	149,7	0,0009	0,004	0,491	0,007	196,8	0,202	0,012	0,56	0,007
Snelweg	3	1,4	100,5	0,0006	0,003	0,339	0,008	132,1	0,135	0,008	0,39	0,008

Tabel 9 - Emissiekentallen TTW- en WTW-wegvervoer, lading zwaar, containers 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger												
Gemiddeld	1	1,8	126,8	0,0008	0,01	0,8	0,013	166,9	0,17	0,01	0,87	0,013
Stad	1	2,9	201,7	0,0012	0,01	1,5	0,020	265,3	0,27	0,02	1,55	0,020
Buitenweg	1	1,9	134,4	0,0008	0,01	0,9	0,011	176,8	0,18	0,01	0,99	0,011
Snelweg	1	1,6	110,8	0,0007	0,00	0,7	0,012	145,8	0,15	0,01	0,71	0,012
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger												
Gemiddeld	2	1,1	74,7	0,0004	0,00	0,3	0,007	98,2	0,10	0,01	0,29	0,007
Stad	2	1,8	128,5	0,0008	0,00	0,5	0,010	169,0	0,17	0,01	0,57	0,010
Buitenweg	2	1,1	77,6	0,0005	0,00	0,3	0,006	102,0	0,10	0,01	0,33	0,006
Snelweg	2	0,9	63,6	0,0004	0,00	0,2	0,007	83,7	0,09	0,00	0,23	0,007
Trekker - oplegger zwaar												
Gemiddeld	2	1,1	74,4	0,0004	0,00	0,2	0,005	97,9	0,10	0,01	0,27	0,005
Stad	2	2,1	150,2	0,0009	0,01	0,5	0,008	197,6	0,20	0,01	0,56	0,008
Buitenweg	2	1,3	94,3	0,0006	0,00	0,3	0,004	124,0	0,13	0,01	0,33	0,004
Snelweg	2	0,9	63,2	0,0004	0,00	0,2	0,005	83,2	0,09	0,01	0,23	0,005
LZV												
Gemiddeld	3	1,0	67,0	0,0004	0,00	0,2	0,005	88,2	0,09	0,01	0,23	0,005
Stad	3	1,9	135,2	0,0008	0,00	0,4	0,008	177,8	0,18	0,01	0,47	0,008
Buitenweg	3	1,2	84,8	0,0005	0,00	0,2	0,004	111,6	0,11	0,01	0,28	0,004
Snelweg	3	0,8	56,9	0,0003	0,00	0,2	0,005	74,9	0,08	0,00	0,20	0,005



3.2.3 Data bestelauto's per kilometer

Tabel 10 - Emissiefactoren TTW- en WTW per voertuigkilometer bestelauto's 2018

Voertuigtype/ wegtype	Laad- Capaciteit (ton)	TTW-emissies (g/km)						WTW-emissies (g/km)				
		MJ/km	CO ₂ -eq.	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq.	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}
Bestelauto Leeggewicht < 1.500 kg												
Gemiddeld	0,7	2,3	160,8	0,0010	0,017	0,9	0,017	212,2	0,2	0,03	1,003	0,017
Stad	0,7	2,8	196,7	0,0012	0,016	1,1	0,028	259,5	0,3	0,03	1,155	0,028
Buitenweg	0,7	2,0	136,2	0,0008	0,010	0,8	0,014	179,7	0,2	0,02	0,859	0,014
Snelweg	0,7	2,4	165,2	0,0010	0,021	1,0	0,015	218,0	0,2	0,03	1,047	0,015
Bestelauto Leeggewicht 1.500-2.000 kg												
Gemiddeld	1,1	3,1	213,9	0,0013	0,019	1,1	0,017	282,2	0,3	0,03	1,178	0,017
Stad	1,1	3,4	237,4	0,0014	0,018	1,2	0,028	313,3	0,3	0,03	1,354	0,028
Buitenweg	1,1	2,6	176,9	0,0011	0,012	0,9	0,014	233,4	0,2	0,02	1,005	0,014
Snelweg	1,1	3,3	229,4	0,0014	0,024	1,1	0,015	302,8	0,3	0,04	1,232	0,015
Bestelauto Leeggewicht 2.000-2.500 kg												
Gemiddeld	1,1	3,6	249,3	0,0015	0,019	1,1	0,017	329,0	0,3	0,03	1,195	0,017
Stad	1,1	4,0	276,7	0,0017	0,019	1,2	0,028	365,2	0,4	0,03	1,373	0,028
Buitenweg	1,1	3,0	206,2	0,0012	0,012	0,9	0,014	272,1	0,3	0,02	1,019	0,014
Snelweg	1,1	3,9	267,5	0,0016	0,024	1,1	0,015	352,9	0,4	0,04	1,251	0,015
Bestelauto Leeggewicht > 2.500 kg												
Gemiddeld	0,7	4,3	299,5	0,0018	0,019	1,1	0,017	395,2	0,4	0,03	1,220	0,017
Stad	0,7	4,8	332,4	0,0020	0,019	1,2	0,028	438,7	0,5	0,04	1,401	0,028
Buitenweg	0,7	3,6	247,7	0,0015	0,012	0,9	0,014	326,9	0,3	0,02	1,040	0,014
Snelweg	0,7	4,6	316,6	0,0019	0,024	1,1	0,015	417,8	0,4	0,04	1,272	0,015

3.2.4 Alternatieve technieken en brandstoffen

Volgende tabellen bevatten indexgetallen voor alternatieve technieken en brandstoffen ten opzichte van Euro 6- en Euro VI-voertuigen. De emissiekentallen per tonkm van de alternatieve technieken kunnen uit de parkgemiddelde emissiekentallen uit de vorige paragrafen worden berekend met behulp van de formules gegeven in Paragraaf 3.1. De indexcijfers zijn van toepassing op de wegtypegemiddelde emissiekentallen. Per wegtype kunnen de indexcijfers afwijken. De eerste regel geeft steeds de emissiefactoren *per kilometer* voor Euro 6d/VI als referentiewaarde. De indexcijfers gelden ook voor vergelijkbare type voertuigen, tenzij anders is aangegeven in voetnoten van de tabel.

Tabel 11 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken bestelauto leeggewicht 2.000-2.500 kg (index Euro 6d = 100)

Brandstof/techniek	MJ/km	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
		CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel Euro 6d	3,5	245	0,002	0,14	325	0,014	0,26
Index van gemiddelde diesel 2018 t.o.v. Euro 6							
Diesel gemiddeld 2018	102%	102%	1.264%	751%	102%	223%	456%
Index (Euro 6 = 100)							
Diesel Euro 5	102%	102%	100%	1020%	102%	100%	603%
Diesel Euro 6a	100%	100%	100%	223%	100%	100%	167%
Diesel Euro 6d	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Diesel Plug-in hybride Euro 6	88%*	76%	180%	80%	86%	95%	87%

Brandstof/techniek	MJ/km	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
		CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
GTL Euro 6	100%	104%	100%	100%	104%	103%	103%
Biodiesel Euro 6 (97% FAME, 3% HVO)	100%	1%	100%	100%	15%	211%	122%
HVO Euro 6	100%	1%	100%	100%	11%	211%	122%
CNG Euro 6	97%	84%	228%	41%	73%	27%	30%
BioCNG Euro 6	97%	5%	228%	41%	29%	51%	43%
Elektrisch (gemiddelde mix)	47%**	0%	0%	0%	70%	54%	61%
Elektrisch (wind/zon)	47%**	0%	0%	0%	2%	0%	0%
Waterstof	71%	0%	0%	0%	80%	328%	127%
Waterstof (uit elektrolyse op basis van wind/zon/waterkracht)	71%	0%	0%	0%	7%	0%	0%

* 76% van MJ is diesel, 12% is elektrisch.

** In stedelijk verkeer gaat deze verhouding richting 41%; Voor kleine bestelauto's (LG < 1,5 ton) geldt een factor 35% ten opzichte van diesel en zijn de overige indexpercentages ook 75% maal de gegeven waarde.

Tabel 12 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken voor middelzware vrachtauto (index Euro VI = 100)

Brandstof/techniek	MJ/km	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
		CO ₂ -eq	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq	PM _v	NO _x
Diesel Euro VI	7,55	529	0,009	1,769	696	0,036	2,0
Index van gemiddelde diesel 2018 t.o.v. Euro VI							
Diesel gemiddeld 2014	108%	108%	489%	232%	108%	203%	217%
Index (Euro VI = 100)							
Diesel Euro V	112%	112%	135%	225%	112%	117%	211%
Diesel Euro VI	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Diesel Plug-in hybride (Euro VI)	89%*	80%	80%	80%	94%	89%	83%
GTL Euro VI	100%	103%	100%	100%	104%	104%	101%
Biodiesel Euro VI (97% FAME, 3% HVO)	100%	2%	100%	100%	16%	198%	107%
HVO Euro VI	100%	2%	100%	100%	11%	198%	107%
CNG (Euro VI)	112%	96%	100%	74%	84%	28%	67%
BioCNG (Euro VI)	112%	6%	100%	74%	34%	52%	71%
LNG (Euro VI)	112%	96%	100%	74%	91%	51%	76%
BioLNG (Euro VI)	112%	6%	100%	74%	36%	52%	71%
Elektrisch (gemiddelde mix)	47%**	0%	0%	0%	71%	46%	17%
Elektrisch (wind/zon)	47%**	0%	0%	0%	2%	0%	0%
Waterstof	71%	0%	0%	0%	81%	284%	36%
Waterstof (uit elektrolyse op basis van wind/zon/waterkracht)	71%	0%	0%	0%	7%	0%	0%

* 80% van MJ is diesel, 9% is elektrisch.

** In stedelijk verkeer gaat deze verhouding richting 41%.

Tabel 13 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken voor trekker-oplegger licht en zwaar (index Euro VI = 100)

Brandstof/techniek	MJ/km	TTW-emissies (g/km)			WTW-emissies (g/km)		
		CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x
Diesel Euro VI*	12,87	901	0,013	1,634	1186	0,059	2,1
Index van gemiddelde diesel 2018 t.o.v. Euro VI							
Diesel gemiddeld 2018	99%	99%	211%	175%	99%	123%	159%
Index (Euro VI = 100)							
Diesel Euro V**	Z: 95% L: 98%	Z: 95% L: 98%	Z:270% L:112%	Z: 121% L: 216%	Z; 95% L: 98%	Z: 133% L: 102%	Z; 116% L: 201%
Diesel Euro VI	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Diesel Plug-in hybride (Euro VI)	91%***	80%	80%	100%	97%	91%	103%
GTL Euro V	100%	103%	100%	100%	104%	104%	102%
Biodiesel Euro VI (97% FAME, 3% HVO)	100%	2%	100%	100%	16%	202%	111%
HVO Euro VI	100%	2%	100%	100%	11%	202%	111%
LNG (Euro VI)	113%	97%	100%	50%	91%	49%	58%
BioLNG (Euro VI)	113%	6%	100%	50%	36%	50%	51%
Elektrisch (gemiddelde mix)	47%****	0%	0%	0%	70%	48%	29%
Elektrisch (wind/zon)	47%****	0%	0%	0%	2%	0%	0%
Waterstof	71%	0%	0%	0%	80%	294%	59%
Waterstof (uit elektrolyse op basis van wind/zon/waterkracht)	71%	0%	0%	0%	7%	0%	0%

* De referentie is van een trekker-oplegger zwaar, de index getallen gelden ook voor de trekker-oplegger licht tenzij onderscheid is gemaakt (zie **).

** Onderscheidende kentallen voor NO_x en PM_v voor lichte (L) en zware (Z) trekker-opleggers

*** 80% van MJ is diesel, 11% is elektrisch.

**** In stedelijk verkeer daalt deze verhouding naar 41%.

3.3 Spoor

3.3.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen Spoor

Tabel 14 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer lading middelzwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuig- type	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Trein elektrisch (ca. 73%)												
Middellange trein (2.182t GTW)	1.715	0,08	-	-	-	-	0,0050	10,4	0,003	0,00035	0,0074	0,0050
Lange trein (2.619t GTW)	2.058	0,07	-	-	-	-	0,0047	9,9	0,003	0,00034	0,0070	0,0047
Extra lange trein (2.993t GTW)	2.352	0,07	-	-	-	-	0,0046	9,7	0,003	0,00033	0,0068	0,0046
Trein diesel (ca. 27%)												
Middellange trein (2.182t GTW)	1.715	0,21	14,4	0,00009	0,0047	0,20	0,0049	19,0	0,020	0,00542	0,2116	0,0049
Lange trein (2.619t GTW)	2.058	0,20	13,7	0,00009	0,0045	0,19	0,0047	18,1	0,019	0,00516	0,2015	0,0047
Extra lange trein (2.993t GTW)	2.352	0,19	13,4	0,00008	0,0044	0,19	0,0045	17,7	0,018	0,00504	0,1968	0,0045

Tabel 15 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer, lading licht, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuig- type	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Trein elektrisch (ca. 73%)												
Middellange trein (816t GTW)	945	0,16	-	-	-	-	0,0086	21,3	0,006	0,00072	0,0151	0,0086
Lange trein (979t GTW)	1.134	0,14	-	-	-	-	0,0085	19,0	0,006	0,00065	0,0135	0,0085
Extra lange trein (1.118t GTW)	1.296	0,13	-	-	-	-	0,0080	17,5	0,005	0,00059	0,0124	0,0080
Trein diesel (ca. 27%)												
Middellange trein (816t GTW)	945	0,43	29,5	0,00019	0,0096	0,42	0,0100	39,0	0,040	0,01112	0,4340	0,0100
Lange trein (979t GTW)	1.134	0,38	26,4	0,00017	0,0086	0,38	0,0089	34,8	0,036	0,00993	0,3876	0,0089
Extra lange trein (1.118t GTW)	1.296	0,35	24,3	0,00015	0,0079	0,35	0,0082	32,1	0,033	0,00914	0,3568	0,0082



Tabel 16 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer, lading zwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Voertuigtype	Type	Laadcapaciteit (ton)	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	PM _{st}
Trein elektrisch (ca. 73%)													
Middellange trein (2.841t GTW)	Tankwagons	1.940	0,071	-	-	-	-	0,0046	9,6	0,035	0,00033	0,0071	0,0046
Lange trein (3.267t GTW)	Tankwagons	2.231	0,069	-	-	-	-	0,0045	9,3	0,034	0,00032	0,0069	0,0045
Middellange trein (3.618t GTW)	Kolen/erts	2.485	0,068	-	-	-	-	0,0044	9,1	0,033	0,00031	0,0068	0,0044
Lange trein (4.549t GTW)	Kolen/erts	3.124	0,065	-	-	-	-	0,0042	8,8	0,032	0,00030	0,0065	0,0042
Trein diesel (ca. 27%)													
Middellange trein (2.841t GTW)	Tankwagons	1.940	0,193	13,3	0,000	0,00465	0,1895	0,0043	17,6	0,018	0,00534	0,1958	0,0043
Lange trein (3.267t GTW)	Tankwagons	2.231	0,188	13,0	0,000	0,00453	0,1845	0,0042	17,1	0,018	0,00520	0,1907	0,0042
Middellange trein (3.618t GTW)	Kolen/erts	2.485	0,183	12,6	0,000	0,00441	0,1798	0,0041	16,7	0,017	0,00507	0,1858	0,0041
Lange trein (4.549t GTW)	Kolen/erts	3.124	0,176	12,2	0,000	0,00425	0,1730	0,0040	16,1	0,017	0,00488	0,1788	0,0040

3.3.2 Data parkgemiddeld containers Spoor

Tabel 17 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer, lading middelzwaar, containers 2018

Voertuigtype	Laadcapaciteit (TEU)	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	PM _{st}
Trein elektrisch (ca. 73%)												
Lange trein (1.270t GTW)	90	0,11	-	-	-	-	0,0070	14,6	0,004	0,00050	0,0104	0,0070
Extra lange trein (1.481t GTW)	105	0,10	-	-	-	-	0,0064	13,3	0,004	0,00045	0,0094	0,0064
Trein diesel (ca. 27%)												
Lange trein (1.270t GTW)	90	0,29	20,3	0,00013	0,0066	0,29	0,0069	26,8	0,028	0,00763	0,2979	0,0069
Extra lange trein (1.481t GTW)	105	0,27	18,4	0,00012	0,0060	0,26	0,0063	24,3	0,025	0,00694	0,2707	0,0063

Tabel 18 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer lading licht, containers 2018

Voertuigtype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Trein elektrisch (ca. 73%)												
Lange trein (988t GTW)	88	0,18	-	-	-	-	0,0114	23,8	0,007	0,00081	0,0168	0,0114
Extra lange trein (1.123t GTW)	100	0,16	-	-	-	-	0,0105	22,0	0,007	0,00075	0,0156	0,0105
Trein diesel (ca. 27%)												
Lange trein (988t GTW)	88	0,48	33,0	0,00021	0,0107	0,47	0,0112	43,5	0,045	0,01242	0,4846	0,0112
Extra lange trein (1.123t GTW)	100	0,44	30,5	0,00019	0,0099	0,43	0,0103	40,2	0,042	0,01147	0,4477	0,0103

Tabel 19 - Emissiekentallen TTW- en WTW-spoorvervoer, lading zwaar, containers 2018

Voertuigtype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Trein elektrisch (ca. 73%)												
Lange trein (1.595t GTW)	96	0,08	-	-	-	-	0,0052	10,8	0,003	0,00037	0,0077	0,0052
Extra lange trein (1.795t GTW)	108	0,07	-	-	-	-	0,0048	10,1	0,003	0,00034	0,0071	0,0048
Trein diesel (ca. 27%)												
Lange trein (1.595t GTW)	96	0,22	15,0	0,00009	0,0049	0,21	0,0051	19,8	0,021	0,00565	0,2205	0,0051
Extra lange trein (1.795t GTW)	108	0,20	14,0	0,00009	0,0045	0,20	0,0047	18,4	0,019	0,00525	0,2050	0,0047

3.3.3 Alternatieve technieken en brandstoffen

Volgende tabellen bevatten indexpercentages voor alternatieve stroomvoorziening voor elektrische treinen en voor alternatieve technieken en brandstoffen ten opzichte van een locomotief met de huidige geldende emissiestandaard Stage IIIb. De emissiekentallen per tonkm van de alternatieve technieken kunnen uit de parkgemiddelde emissiekentallen uit de vorige paragrafen worden berekend met behulp van de formule gegeven in Paragraaf 3.1. De eerste regel geeft steeds de emissiefactoren per megajoule elektrisch (Tabel 20) en per kWh geleverd door de motor (Tabel 21) als referentie.

Tabel 20 - Indexcijfers voor alternatieve elektriciteit en bovenleiding (index elektriciteit 2018 gemiddeld = 100)

Brandstof/techniek	TTW-emissies (g/MJ _e)			WTW-emissies (g/MJ _e)		
	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x
Elektrisch stroom gemiddeld (g/kWh-elektrisch)	0	0	0	134,9	0,005	0,096
Index t.o.v. stroom gemiddeld						
Elektrisch stroom, Nederlandse mix	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Hernieuwbare elektriciteit alleen wind en zon	100%	100%	100%	3%	0%	0%
Hernieuwbare elektriciteit alle bronnen (incl. biomassa)	100%	100%	100%	7%	36%	19%
Bovenspanning 3 kV (t.o.v. 1.5 kV)	100%	100%	100%	80%	80%	80%



Tabel 21 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken locomotief diesel (index Stage IIIb = 100)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/kWh*)			WTW-emissies (g/kWh*)		
	MJfuel/kWh*	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x
Stage IIIb	8,8	608	0,025	4,000	802	0,06	4,29
Index t.o.v. Stage IIIb							
Stage IIIb	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Gemiddeld 2018	100%	100%	763%	209%	100%	394%	201%
Stage V	100%	100%	100%	95%	100%	100%	96%
Stage IIIb HVO	100%	1%	80%	90%	11%	163%	94%

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

3.4 Binnenvaart

3.4.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen Binnenvaart

Tabel 22 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart, lading middelzwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- Capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Spits												
CEMT I	365	0,26	18,19	0,00011	0,015	0,27	0	23,97	0,025	0,016	0,28	0
CEMT Va	365	0,32	22,27	0,00013	0,016	0,32	0	29,35	0,030	0,017	0,33	0
CEMT Vlb	365	0,36	24,89	0,00015	0,017	0,36	0	32,81	0,034	0,019	0,37	0
Waal	365	0,43	29,84	0,00018	0,021	0,43	0	39,33	0,041	0,022	0,44	0
Kempenaar												
CEMT II	617	0,25	17,17	0,00010	0,012	0,26	0	22,63	0,023	0,013	0,27	0
CEMT Va	617	0,37	25,52	0,00015	0,016	0,37	0	33,63	0,035	0,017	0,38	0
CEMT Vlb	617	0,45	31,07	0,00019	0,019	0,46	0	40,96	0,042	0,021	0,47	0
Waal	617	0,45	31,62	0,00019	0,020	0,47	0	41,67	0,043	0,021	0,48	0
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)												
CEMT IV	1.537	0,26	18,13	0,00011	0,009	0,25	0	23,90	0,025	0,010	0,26	0
CEMT Va	1.537	0,28	19,36	0,00012	0,009	0,26	0	25,51	0,026	0,010	0,27	0
CEMT Vlb	1.537	0,36	25,27	0,00015	0,012	0,35	0	33,31	0,034	0,013	0,36	0
Waal	1.537	0,42	28,95	0,00017	0,014	0,40	0	38,16	0,039	0,016	0,42	0
Groot Rijnschip												
CEMT Va	3.013	0,17	12,15	0,00007	0,008	0,18	0	16,02	0,017	0,008	0,18	0
CEMT Vlb	3.013	0,25	17,17	0,00010	0,009	0,24	0	22,62	0,023	0,010	0,25	0
Waal	3.013	0,26	18,13	0,00011	0,010	0,26	0	23,89	0,025	0,011	0,27	0
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed												
CEMT Vlb	5.046	0,33	22,68	0,00014	0,009	0,30	0	29,89	0,031	0,010	0,31	0
Waal	5.046	0,28	19,46	0,00012	0,008	0,26	0	25,65	0,026	0,009	0,27	0
4 baksduwstel												
CEMT Vlb	11.181	0,17	12,07	0,00007	0,004	0,15	0	15,95	0,016	0,005	0,15	0
Waal	11.181	0,22	15,33	0,00009	0,005	0,19	0	20,23	0,021	0,006	0,20	0
6 baksduwstel (breed)												
CEMT Vlb	16.481	0,23	16,09	0,00010	0,005	0,20	0	21,21	0,022	0,006	0,20	0
Waal	16.481	0,18	12,56	0,00008	0,004	0,16	0	16,56	0,017	0,005	0,16	0

Tabel 23 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart lading licht, bulk- en stukgoederen 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Spits												
CEMT I	365	0,30	20,78	0,00013	0,020	0,34	0	27,39	0,028	0,021	0,35	0
CEMT Va	365	0,40	27,57	0,00017	0,021	0,40	0	36,34	0,038	0,022	0,41	0
CEMT Vlb	365	0,46	32,14	0,00019	0,023	0,46	0	42,36	0,044	0,025	0,47	0
Waal	365	0,54	37,36	0,00022	0,026	0,54	0	49,24	0,051	0,028	0,56	0
Kempenaar												
CEMT II	617	0,28	19,55	0,00012	0,015	0,30	0	25,77	0,027	0,016	0,31	0
CEMT Va	617	0,46	31,84	0,00019	0,020	0,46	0	41,97	0,043	0,021	0,47	0
CEMT Vlb	617	0,57	39,74	0,00024	0,025	0,59	0	52,38	0,054	0,027	0,60	0
Waal	617	0,62	43,00	0,00026	0,027	0,64	0	56,67	0,059	0,029	0,66	0
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)												
CEMT IV	1.537	0,31	21,67	0,00013	0,012	0,31	0	28,56	0,029	0,013	0,32	0
CEMT Va	1.537	0,34	23,75	0,00014	0,012	0,33	0	31,30	0,032	0,013	0,34	0
CEMT Vlb	1.537	0,48	33,28	0,00020	0,016	0,46	0	43,86	0,045	0,018	0,47	0
Waal	1.537	0,55	38,38	0,00023	0,018	0,54	0	50,58	0,052	0,020	0,55	0
Groot Rijnschip												
CEMT Va	3.013	0,22	15,08	0,00009	0,011	0,24	0	19,87	0,021	0,012	0,25	0
CEMT Vlb	3.013	0,33	22,81	0,00014	0,013	0,32	0	30,06	0,031	0,014	0,33	0
Waal	3.013	0,36	24,85	0,00015	0,014	0,35	0	32,75	0,034	0,015	0,36	0
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed												
CEMT Vlb	5.046	0,40	27,91	0,00017	0,011	0,37	0	36,79	0,038	0,012	0,38	0
Waal	5.046	0,37	25,81	0,00016	0,010	0,34	0	34,02	0,035	0,011	0,36	0
4 baksduwstel												
CEMT Vlb	11.181	0,21	14,37	0,00009	0,005	0,18	0	18,94	0,020	0,006	0,18	0
Waal	11.181	0,29	20,00	0,00012	0,007	0,25	0	26,36	0,027	0,008	0,26	0
6 baksduwstel (breed)												
CEMT Vlb	16.481	0,37	25,81	0,00016	0,008	0,31	0	34,02	0,035	0,010	0,33	0
Waal	16.481	0,25	17,38	0,00010	0,006	0,21	0	22,91	0,024	0,007	0,22	0

Tabel 24 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart, lading zwaar, bulk- en stukgoederen 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
Spits												
CEMT I	365	0,30	20,62	0,00012	0,016	0,30	0	27,18	0,028	0,017	0,31	0
CEMT Va	365	0,33	22,71	0,00014	0,016	0,32	0	29,93	0,031	0,017	0,33	0
CEMT Vlb	365	0,37	25,54	0,00015	0,018	0,37	0	33,66	0,035	0,019	0,38	0
Waal	365	0,44	30,39	0,00018	0,021	0,44	0	40,06	0,041	0,023	0,46	0
Kempenaar												
CEMT II	617	0,26	18,19	0,00011	0,014	0,28	0	23,97	0,025	0,014	0,29	0
CEMT Va	617	0,37	26,03	0,00016	0,016	0,38	0	34,30	0,035	0,018	0,39	0
CEMT Vlb	617	0,45	31,18	0,00019	0,019	0,46	0	41,09	0,042	0,021	0,47	0
Waal	617	0,46	31,98	0,00019	0,020	0,47	0	42,15	0,044	0,022	0,49	0
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)												
CEMT IV	1.537	0,27	18,91	0,00011	0,010	0,26	0	24,93	0,026	0,011	0,27	0
CEMT Va	1.537	0,28	19,85	0,00012	0,010	0,27	0	26,16	0,027	0,011	0,28	0



Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
CEMT Vlb	1.537	0,37	25,98	0,00016	0,012	0,36	0	34,25	0,035	0,014	0,37	0
Waal	1.537	0,41	28,57	0,00017	0,014	0,40	0	37,66	0,039	0,015	0,41	0
Groot Rijnschip												
CEMT Va	3.013	0,18	12,74	0,00008	0,008	0,18	0	16,79	0,017	0,008	0,19	0
CEMT Vlb	3.013	0,25	17,57	0,00011	0,010	0,25	0	23,16	0,024	0,011	0,25	0
Waal	3.013	0,26	18,12	0,00011	0,010	0,26	0	23,88	0,025	0,011	0,27	0
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed												
CEMT Vlb	5.046	0,34	23,87	0,00014	0,009	0,32	0	31,46	0,032	0,011	0,33	0
Waal	5.046	0,29	19,90	0,00012	0,008	0,26	0	26,22	0,027	0,009	0,27	0
4 baksduwstel												
CEMT Vlb	11.181	0,18	12,61	0,00008	0,004	0,16	0	16,63	0,017	0,005	0,16	0
Waal	11.181	0,22	15,08	0,00009	0,005	0,19	0	19,87	0,021	0,006	0,19	0
6 baksduwstel (breed)												
CEMT Vlb	16.481	0,21	14,52	0,00009	0,005	0,18	0	19,14	0,020	0,006	0,19	0
Waal	16.481	0,19	13,07	0,00008	0,004	0,16	0	17,23	0,018	0,005	0,17	0

3.4.2 Data parkgemiddeld containers Binnenvaart

Tabel 25 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart, lading middelzwaar, containers 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Neo Kemp (32-48 TEU)												
CEMT III	40	0,24	17,04	0,00011	0,014	0,27	0	22,46	0,023	0,014	0,28	0
CEMT Va	40	0,43	29,77	0,00019	0,018	0,43	0	39,24	0,041	0,020	0,44	0
CEMT Vlb	40	0,52	36,34	0,00023	0,023	0,53	0	47,90	0,050	0,025	0,55	0
Waal	40	0,58	40,68	0,00026	0,025	0,60	0	53,62	0,055	0,028	0,62	0
Rijn-Herne Schip (96 TEU)												
CEMT IV	96	0,32	22,29	0,00014	0,012	0,32	0	29,38	0,030	0,013	0,33	0
CEMT Va	96	0,35	24,27	0,00015	0,012	0,34	0	31,99	0,033	0,014	0,35	0
CEMT Vlb	96	0,49	33,90	0,00021	0,016	0,47	0	44,67	0,046	0,018	0,48	0
Waal	96	0,56	39,29	0,00025	0,019	0,55	0	51,78	0,054	0,021	0,57	0
Duwbak Europa Ila (160 TEU)												
CEMT Va	160	0,40	27,80	0,00017	0,010	0,35	0	36,65	0,038	0,011	0,36	0
CEMT Vlb	160	0,56	38,93	0,00024	0,014	0,49	0	51,31	0,053	0,016	0,51	0
Waal	160	0,60	41,67	0,00026	0,015	0,53	0	54,92	0,057	0,017	0,55	0
Groot Rijnschip (208 TEU)												
CEMT Va	208	0,22	15,03	0,00009	0,010	0,22	0	19,81	0,020	0,010	0,23	0
CEMT Vlb	208	0,32	22,43	0,00014	0,012	0,31	0	29,57	0,031	0,013	0,32	0
Waal	208	0,35	24,16	0,00015	0,013	0,34	0	31,85	0,033	0,015	0,35	0
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)												
CEMT Va	272	0,25	17,46	0,00011	0,008	0,24	0	23,01	0,024	0,009	0,25	0
CEMT Vlb	272	0,31	21,83	0,00014	0,009	0,29	0	28,78	0,030	0,010	0,30	0
Waal	272	0,30	20,83	0,00013	0,008	0,27	0	27,45	0,028	0,009	0,28	0
Koppelverband Europa II -C3I (348 TEU)												
CEMT Vb	348	0,21	14,75	0,00009	0,007	0,20	0	19,44	0,020	0,007	0,21	0
CEMT Vlb	348	0,31	21,34	0,00013	0,008	0,28	0	28,12	0,029	0,009	0,29	0



Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Waal	348	0,29	20,40	0,00013	0,008	0,27	0	26,89	0,028	0,009	0,28	0
Rijnmax Schip (398-470 TEU)												
CEMT Vlb	434	0,29	20,48	0,00013	0,008	0,26	0	26,99	0,028	0,009	0,27	0
Waal	434	0,27	18,72	0,00012	0,007	0,24	0	24,67	0,026	0,008	0,25	0

Tabel 26 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart, lading licht, containers 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Neo Kemp (32-48 TEU)												
CEMT III	40	0,34	23,39	0,00014	0,020	0,39	0	30,83	0,032	0,021	0,40	0
CEMT Va	40	0,61	42,69	0,00026	0,027	0,61	0	56,27	0,058	0,029	0,63	0
CEMT Vlb	40	0,77	53,39	0,00032	0,033	0,78	0	70,37	0,073	0,036	0,81	0
Waal	40	0,86	59,72	0,00036	0,038	0,88	0	78,72	0,081	0,041	0,91	0
Rijn-Herne Schip (96 TEU)												
CEMT IV	96	0,45	31,43	0,00019	0,017	0,45	0	41,42	0,043	0,019	0,47	0
CEMT Va	96	0,51	35,81	0,00022	0,020	0,51	0	47,20	0,049	0,022	0,53	0
CEMT Vlb	96	0,74	51,81	0,00031	0,025	0,71	0	68,29	0,070	0,027	0,73	0
Waal	96	0,87	60,29	0,00036	0,029	0,84	0	79,46	0,082	0,032	0,87	0
Duwbak Europa Ila (160 TEU)												
CEMT Va	160	0,53	37,06	0,00022	0,014	0,47	0	48,85	0,050	0,016	0,49	0
CEMT Vlb	160	0,79	55,05	0,00033	0,019	0,69	0	72,56	0,075	0,022	0,71	0
Waal	160	0,85	58,89	0,00035	0,021	0,75	0	77,62	0,080	0,024	0,78	0
Groot Rijnschip (208 TEU)												
CEMT Va	208	0,31	21,71	0,00013	0,017	0,35	0	28,62	0,030	0,018	0,36	0
CEMT Vlb	208	0,49	33,91	0,00020	0,019	0,47	0	44,70	0,046	0,021	0,49	0
Waal	208	0,54	37,62	0,00023	0,021	0,53	0	49,58	0,051	0,023	0,55	0
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)												
CEMT Va	272	0,36	24,73	0,00015	0,014	0,38	0	32,59	0,034	0,015	0,39	0
CEMT Vlb	272	0,47	32,74	0,00020	0,014	0,44	0	43,15	0,045	0,015	0,45	0
Waal	272	0,46	32,32	0,00019	0,013	0,43	0	42,60	0,044	0,015	0,44	0
Koppelverband Europa II -C3I (348 TEU)												
CEMT Vb	348	0,29	20,32	0,00012	0,009	0,28	0	26,79	0,028	0,010	0,29	0
CEMT Vlb	348	0,45	31,35	0,00019	0,012	0,41	0	41,32	0,043	0,014	0,42	0
Waal	348	0,45	31,09	0,00019	0,012	0,41	0	40,97	0,042	0,014	0,42	0
Rijnmax Schip (398-470 TEU)												
CEMT Vlb	434	0,43	29,69	0,00018	0,011	0,38	0	39,13	0,040	0,013	0,39	0
Waal	434	0,41	28,52	0,00017	0,011	0,37	0	37,59	0,039	0,012	0,38	0



Tabel 27 - Emissiekentallen TTW- en WTW-binnenvaart , lading zwaar, containers 2018

Scheepstype/ vaarweg	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Neo Kemp (32-48 TEU)												
CEMT III	40	0,21	14,78	0,00009	0,010	0,22	0	19,48	0,020	0,011	0,23	0
CEMT Va	40	0,37	25,43	0,00015	0,016	0,37	0	33,51	0,035	0,017	0,38	0
CEMT Vlb	40	0,44	30,40	0,00018	0,019	0,45	0	40,07	0,041	0,021	0,46	0
Waal	40	0,49	34,29	0,00021	0,021	0,50	0	45,20	0,047	0,023	0,52	0
Rijn-Herne Schip (96 TEU)												
CEMT IV	96	0,27	18,84	0,00011	0,010	0,26	0	24,82	0,026	0,011	0,27	0
CEMT Va	96	0,29	20,30	0,00012	0,010	0,28	0	26,76	0,028	0,011	0,29	0
CEMT Vlb	96	0,39	27,46	0,00017	0,013	0,38	0	36,19	0,037	0,015	0,39	0
Waal	96	0,46	31,94	0,00019	0,015	0,45	0	42,10	0,043	0,017	0,46	0
Duwbak Europa Ila (160 TEU)												
CEMT Va	160	0,36	24,90	0,00015	0,009	0,31	0	32,81	0,034	0,010	0,32	0
CEMT Vlb	160	0,48	33,26	0,00020	0,012	0,42	0	43,83	0,045	0,014	0,44	0
Waal	160	0,51	35,54	0,00021	0,013	0,45	0	46,84	0,048	0,014	0,47	0
Groot Rijnschip (208 TEU)												
CEMT Va	208	0,19	13,08	0,00008	0,008	0,19	0	17,24	0,018	0,009	0,20	0
CEMT Vlb	208	0,26	18,26	0,00011	0,010	0,26	0	24,06	0,025	0,011	0,27	0
Waal	208	0,28	19,24	0,00012	0,011	0,28	0	25,36	0,026	0,012	0,28	0
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)												
CEMT Va	272	0,22	15,07	0,00009	0,006	0,20	0	19,86	0,021	0,007	0,21	0
CEMT Vlb	272	0,26	17,90	0,00011	0,007	0,23	0	23,59	0,024	0,008	0,24	0
Waal	272	0,24	16,55	0,00010	0,006	0,22	0	21,82	0,023	0,007	0,22	0
Koppelverband Europa II -C3I (348 TEU)												
CEMT Vb	348	0,18	12,72	0,00008	0,005	0,17	0	16,76	0,017	0,006	0,18	0
CEMT Vlb	348	0,25	17,42	0,00010	0,007	0,23	0	22,95	0,024	0,008	0,24	0
Waal	348	0,24	16,50	0,00010	0,006	0,22	0	21,75	0,022	0,007	0,23	0
Rijnmax Schip (398-470 TEU)												
CEMT Vlb	434	0,25	17,25	0,00010	0,006	0,22	0	22,73	0,023	0,007	0,23	0
Waal	434	0,22	15,17	0,00009	0,006	0,20	0	20,00	0,021	0,006	0,21	0

3.4.3 Alternatieve technieken en brandstoffen

Volgende tabellen bevatten indexpercentages voor alternatieve technieken en brandstoffen voor binnenvaart ten opzichte van de binnenvaartschepen met een CCR2-motor (de norm voor nieuwe motoren in 2018). De emissiekentallen per tonkm van de alternatieve technieken kunnen uit de parkgemiddelde emissiekentallen uit de vorige paragrafen worden berekend met behulp van de formule gegeven in Paragraaf 3.1. De eerste regel geeft steeds de emissiefactoren *per kWh geleverd door de motor* als referentie.

Tabel 28 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken binnenvaart (index CCR2 = 100)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/kWh)			WTW-emissies (g/kWh)		
	MJfuel/kWh*	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x
Diesel CCR2 (g/kWh*)	8,0	597	0,2	7	775	0,23	7,26
Index van gemiddelden 2018 t.o.v. CCR2							
Spits 2018	110%	110%	238%	140%	110%	222%	139%
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip 2018	103%	103%	151%	122%	103%	145%	121%
Groot Rijnschip 2018	105%	105%	177%	129%	105%	168%	128%
Rijnmaxschip 2018	100%	100%	115%	110%	100%	113%	109%
Index alternatieven t.o.v. CCR2							
Diesel CCR2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Stage V kW < 300	103%	103%	50%	41%	102%	56%	44%
Stage V kW > 300	95%	95%	8%	34%	96%	19%	37%
Dieselelektrisch CCR2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LNG, pilot < 10% D	105%	104%	25%	25%	96%	26%	27%
LNG, dual fuel, 20%D	105%	104%	50%	50%	96%	48%	51%
LNG, single fuel, SI	105%	104%	10%	25%	96%	13%	27%
BioLNG, single fuel ,SI	105%	25%	10%	25%	47%	13%	58%
CCR2 met HVO	100%	1%	80%	90%	11%	99%	91%
Stage V <300 kW met HVO	103%	1%	50%	41%	11%	73%	44%
Stage V > 300 kW met HVO	95%	1%	8%	34%	10%	34%	37%
CCR2 met GTL **	100%	96%	80%	90%	99%	83%	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 fijnstofreductie varieert van 15-60%.

3.5 Zeevaart

Op 1 januari 2020 is van kracht geworden dat zeeschepen alleen nog op laagzwavelige dieselolie mogen varen (max 0,5% S) of een alternatief toepassen waarmee de zwaveluitstoot vergelijkbaar laag of lager is (o.a. scrubbers, LNG). Ondanks dat deze regeling in het basisjaar 2018 nog niet van kracht was, gaan we in volgende cijfers al uit van brandstof met maximaal 0,5% zwavel, volgens de huidige situatie.

3.5.1 Data parkgemiddeld bulk- en stukgoederen Zeevaart

Tabel 29 - Emissiekentallen TTW- en WTW-zeevaart, lading middelzwaar/zwaar, bulk- en stukgoederen 2018*

Scheepstype	Laadcapaciteit (ton)	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	PM _{SI}
Bulkcarrier												
0-4.999 dwt	4.450	0,37	28,3	0,053	0,0144	0,61	0	34,9	0,088	0,0155	0,63	0
5.000-9.999 dwt	8.005	0,23	17,8	0,034	0,0092	0,39	0	22,0	0,056	0,0099	0,40	0
10.000-34.999 dwt	28.385	0,09	7,0	0,013	0,0036	0,17	0	8,6	0,022	0,0039	0,17	0
35.000-59.999 dwt	42.731	0,07	5,3	0,010	0,0027	0,13	0	6,6	0,017	0,0030	0,13	0
60.000-99.999 dwt	80.379	0,05	4,0	0,008	0,0021	0,10	0	5,0	0,013	0,0022	0,10	0



Scheepstype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
100.000-199.999 dwt	170.075	0,04	2,9	0,005	0,0015	0,07	0	3,6	0,009	0,0016	0,07	0
200.000+ dwt	221.009	0,03	2,4	0,004	0,0012	0,06	0	2,9	0,007	0,0013	0,06	0
General Cargo Ship												
0-4.999 dwt	3.552	0,32	24,5	0,046	0,0126	0,60	0	30,3	0,077	0,0136	0,61	0
5.000-9.999 dwt	7.966	0,25	19,1	0,036	0,0098	0,42	0	23,6	0,060	0,0106	0,43	0
10.000-19.999 dwt	13.116	0,23	17,5	0,033	0,0090	0,40	0	21,7	0,055	0,0098	0,40	0
20.000+ dwt	30.528	0,13	10,3	0,019	0,0053	0,25	0	12,7	0,032	0,0057	0,25	0
Oil tanker												
0-4.999 dwt	3.357	0,40	31,0	0,059	0,0157	0,38	0	38,3	0,097	0,0170	0,39	0
5.000-9.999 dwt	7.428	0,38	29,6	0,056	0,0153	0,41	0	36,6	0,093	0,0165	0,42	0
10.000-19.999 dwt	15.262	0,24	18,8	0,036	0,0097	0,26	0	23,3	0,059	0,0105	0,27	0
20.000-59.999 dwt	43.288	0,11	8,2	0,015	0,0042	0,12	0	10,1	0,026	0,0046	0,13	0
60.000-79.999 dwt	73.202	0,07	5,1	0,010	0,0026	0,09	0	6,3	0,016	0,0028	0,09	0
80.000-119.999 dwt	110.775	0,06	4,6	0,009	0,0024	0,08	0	5,7	0,015	0,0026	0,08	0
120.000-199.999 dwt	157.137	0,05	3,5	0,007	0,0018	0,06	0	4,4	0,011	0,0020	0,07	0
200.000+ dwt	310.100	0,02	1,9	0,004	0,0010	0,04	0	2,3	0,006	0,0010	0,04	0

* Voor de bepaling van de uitstoot van SO₂ is uitgegaan van het gebruik van laagzwavelige brandstof die sinds 2020 verplicht is.

Tabel 30 - Emissiekentallen TTW- en WTW-zeevaart, lading licht, bulk- en stukgoederen 2018*

Scheepstype	Laad- capaciteit (ton)	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	PM _{sl}
General Cargo Ship												
0-4.999 dwt	3.552	0,53	40,6	0,077	0,0208	1,00	0	50,2	0,127	0,0225	1,02	0
5.000-9.999 dwt	7.662	0,44	34,0	0,064	0,0175	0,75	0	42,0	0,106	0,0190	0,76	0
10.000-19.999 dwt	13.987	0,33	25,8	0,049	0,0133	0,58	0	31,8	0,080	0,0144	0,59	0
20.000+ dwt	26.917	0,18	13,9	0,026	0,0072	0,33	0	17,2	0,043	0,0078	0,34	0

* Voor de bepaling van de uitstoot van SO₂ is uitgegaan van het gebruik van laagzwavelige brandstof die sinds 2020 verplicht is.

3.5.2 Data parkgemiddeld containers Zeevaart

Tabel 31 - Emissiekentallen TTW- en WTW-zeevaart, lading middelzwaar, containers 2018*

Scheepstype	Laad- capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Containerschip												
0-999 TEU	810	0,50	38,3	0,072	0,0198	0,82	0	47,4	0,120	0,0214	0,84	0
1.000-1.999 TEU	1.395	0,33	25,5	0,048	0,0132	0,57	0	31,5	0,080	0,0142	0,58	0
2.000-2.999 TEU	2.537	0,25	19,2	0,036	0,0099	0,44	0	23,7	0,060	0,0107	0,45	0
3.000-4.999 TEU	4.119	0,19	14,9	0,028	0,0077	0,36	0	18,5	0,047	0,0083	0,36	0
5.000-7.999 TEU	6.200	0,15	11,7	0,022	0,0061	0,29	0	14,5	0,037	0,0065	0,29	0
8.000-11.999 TEU	9.244	0,12	9,3	0,018	0,0048	0,23	0	11,5	0,029	0,0052	0,24	0
12.000-14.499 TEU	13.625	0,08	6,3	0,012	0,0033	0,16	0	7,8	0,020	0,0035	0,16	0
14.500-19.999 TEU	17.546	0,07	5,3	0,010	0,0027	0,13	0	6,5	0,016	0,0029	0,13	0
20.000+ TEU	20.563	0,06	4,7	0,009	0,0024	0,11	0	5,8	0,015	0,0026	0,11	0

* Voor de bepaling van de uitstoot van SO₂ is uitgegaan van het gebruik van laagzwavelige brandstof die sinds 2020 verplicht is.



Tabel 32 - Emissiekentallen TTW- en WTW-zeevaart , lading licht, containers 2018*

Scheepstype	Laad-capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Containerschip												
0-999 TEU	810	0,87	67,1	0,127	0,0346	1,44	0	82,9	0,210	0,0374	1,47	0
1.000-1.999 TEU	1.395	0,58	44,6	0,084	0,0230	1,00	0	55,1	0,139	0,0249	1,02	0
2.000-2.999 TEU	2.537	0,44	33,5	0,063	0,0173	0,78	0	41,4	0,105	0,0187	0,79	0
3.000-4.999 TEU	4.119	0,34	26,2	0,049	0,0135	0,62	0	32,3	0,082	0,0146	0,63	0
5.000-7.999 TEU	6.200	0,27	20,5	0,039	0,0106	0,51	0	25,4	0,064	0,0114	0,52	0
8.000-11.999 TEU	9.244	0,21	16,3	0,031	0,0084	0,41	0	20,2	0,051	0,0091	0,41	0
12.000-14.499 TEU	13.625	0,14	11,0	0,021	0,0057	0,27	0	13,7	0,035	0,0062	0,28	0
14.500-19.999 TEU	17.546	0,12	9,2	0,017	0,0048	0,23	0	11,4	0,029	0,0051	0,23	0
20.000+ TEU	20.563	0,11	8,2	0,016	0,0042	0,20	0	10,2	0,026	0,0046	0,20	0

* Voor de bepaling van de uitstoot van SO₂ is uitgegaan van het gebruik van laagzwavelige brandstof die sinds 2020 verplicht is.

Tabel 33 - Emissiekentallen TTW- en WTW-zeevaart lading zwaar, containers 2018*

Scheepstype	Laad-capaciteit (TEU)	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	PM _{sl}
Containerschip												
0-999 TEU	810	0,36	27,5	0,052	0,014	0,596	0	34,0	0,087	0,015	0,607	0
1.000-1.999 TEU	1.395	0,24	18,3	0,035	0,010	0,415	0	22,6	0,058	0,010	0,422	0
2.000-2.999 TEU	2.537	0,18	13,7	0,026	0,007	0,322	0	17,0	0,043	0,008	0,327	0
3.000-4.999 TEU	4.119	0,14	10,7	0,020	0,006	0,258	0	13,3	0,034	0,006	0,262	0
5.000-7.999 TEU	6.200	0,11	8,4	0,016	0,004	0,210	0	10,4	0,027	0,005	0,213	0
8.000-11.999 TEU	9.244	0,09	6,7	0,013	0,003	0,169	0	8,3	0,021	0,004	0,171	0
12.000-14.499 TEU	13.625	0,06	4,5	0,009	0,002	0,113	0	5,6	0,014	0,003	0,115	0
14.500-19.999 TEU	17.546	0,05	3,8	0,007	0,002	0,094	0	4,7	0,012	0,002	0,095	0
20.000+ TEU	20.563	0,04	3,4	0,006	0,002	0,081	0	4,2	0,011	0,002	0,083	0

* Voor de bepaling van de uitstoot van SO₂ is uitgegaan van het gebruik van laagzwavelige brandstof die sinds 2020 verplicht is.

3.5.3 Alternatieve technieken en brandstoffen

Volgende tabellen bevatten indexpercentages voor alternatieve technieken en brandstoffen ten opzichte van schepen met Tier II-motoren (huidige standaard) die varen op HFO/MDO met niet meer dan 0,5% zwavel (0,5% S). De emissiekentallen per tonkm van de alternatieve technieken kunnen uit de parkgemiddelde emissiekentallen uit de vorige paragrafen worden berekend met behulp van de formules gegeven in Paragraaf 3.1. Voor de verschillende type schepen (bulkcarrier, general cargo, etc.) kunnen specifieke gemiddelde indexpercentages (I_{gem}) worden toegepast. De eerste regel geeft steeds de emissiefactoren *per kWh geleverd door de motor*, als referentie.

Tabel 34 - Indexcijfers voor alternatieve brandstoffen en technieken zeevaart (index Tier II = 100%)

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/kWh*)				WTW-emissies (g/kWh*)			
	MJ/kWh*	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	SO ₂	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	SO ₂
HFO/MDO (0,5% S) Tier II	7,8	601,7	0,3	11,2	1,8	743,7	0,3	11,5	2,5
Index van HFO/MDO (0,5% S) gemiddeld t.o.v. HFO/MDO (0,5% S) Tier II									
HFO/MDO gemiddeld 2018 (0,5% S)	100%	100%	100%	109%	100%	100%	100%	108%	100%
Bulkcarrier gemiddeld	96%	96%	100%	120%	100%	96%	100%	119%	99%
General Cargo Ship gemiddeld	96%	96%	100%	117%	100%	96%	100%	116%	99%
Oil tanker gemiddeld	112%	112%	100%	95%	100%	112%	101%	95%	103%
Containership gemiddeld	96%	96%	100%	118%	100%	96%	100%	118%	99%
Index alternatieven t.o.v. HFO/MDO (0,5% S) Tier II									
HFO/MDO Tier II (0,5% S)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
HFO/MDO Tier III (0,5% S)	100%	100%	100%	27%	100%	100%	100%	29%	100%
MDO Tier II (0,1% S)	103%	101%	77%	100%	20%	103%	79%	100%	45%
HFO + Scrubber Tier II (0,5% S)	102%	104%	100%	100%	100%	97%	169%	98%	100%
LNG (SI, Lean burn)	103%	98%	10%	36%	0,1%	95%	12%	37%	0,2%
LNG (Dual fuel manifold injection)	103%	98%	68%	36%	0,1%	95%	66%	37%	0,2%
LNG (direct diesel injection)	103%	80%	68%	36%	0,1%	80%	66%	37%	0,2%
BioLNG (SI, Lean burn)	103%	0%	10%	36%	0,1%	28%	12%	36%	2%

* kWh geleverd door motor. De waarde is als referentie gekozen omdat emissiestandaarden zo zijn gedefinieerd.

3.6 Luchtvaart

3.6.1 Data parkgemiddeld

Tabel 35 geeft de emissiekentallen voor luchtvaart. Het betreft emissiekentallen voor lichte goederen. De emissiekentallen zijn gegeven voor zowel vrachtvliegtuigen als voor passagiersvliegtuigen die vracht meenemen (belly-freight).

Tabel 35 - Emissiekentallen TTW- en WTW-luchtvaart, lading licht, 2018

Vliegtuig- type	Fase	Laad- capaciteit (ton*)	Eenheid	TTW-emissies						WTW-emissies				
				MJ	CO ₂ -eq.	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}	CO ₂ -eq.	SO ₂	PM _v	NO _x	PM _{sl}
Belly-freight-toestel														
Korte afstand	Gehele vlucht	21,4	MJ/tkm & g/tkm	9,9	712	0,22	0,028	3,78	0,0184	910	1,20	0,078	4,2	0,0184
	CCD- fase	21,4	MJ/tkm & g/tkm	7,8	564	0,18	0,022	2,93	0,018	720	0,95	0,062	3,2	0,018
	LTO- fase	21,4	MJ/ton & g/ton	1.732	124.812	39	3,7	584	8,29	159.460	211	13	654	8,29
Middel- lange afstand	Gehele vlucht	53,7	MJ/tkm & g/tkm	6,7	483	0,15	0,018	2,37	0,0008	617	0,82	0,053	2,6	0,0008
	CCD- fase	53,7	MJ/tkm & g/tkm	6,2	446	0,14	0,017	2,21	0,001	570	0,75	0,049	2,5	0,001
	LTO- fase	53,7	MJ/ton & g/ton	1.759	126.698	40	2,6	706	3,31	161.869	214	12	777	3,31
Lange afstand	Gehele vlucht	59,6	MJ/tkm & g/tkm	6,2	448	0,14	0,017	2,33	0,0003	572	0,76	0,049	2,6	0,0003
	CCD- fase	59,6	MJ/tkm & g/tkm	6,0	435	0,14	0,017	2,24	0,000	556	0,74	0,048	2,5	0,000
	LTO- fase	59,6	MJ/ton & g/ton	1.838	132.442	42	2,6	788	2,98	169.209	224	12	863	2,98
Full-freight-toestel														
Korte afstand	Gehele vlucht	56,4	MJ/tkm & g/tkm	15,2	1.095	0,35	0,039	5,86	0,0087	1.399	1,85	0,118	6,5	0,0087
	CCD- fase	56,4	MJ/tkm & g/tkm	10,4	752	0,24	0,030	4,19	0,009	960	1,27	0,083	4,6	0,009
	LTO- fase	56,4	MJ/ton & g/ton	2.069	149.029	47	4,2	722	5,95	190.400	252	15	806	5,95
Middel- lange afstand	Gehele vlucht	105,9	MJ/tkm & g/tkm	6,0	435	0,14	0,016	1,93	0,0005	556	0,73	0,047	2,2	0,0005
	CCD- fase	105,9	MJ/tkm & g/tkm	5,6	404	0,13	0,015	1,78	0,000	516	0,68	0,044	2,0	0,000
	LTO- fase	105,9	MJ/ton & g/ton	1.491	107.400	34	2,3	511	2,30	137.215	181	10	572	2,30
Lange afstand	Gehele vlucht	110,8	MJ/tkm & g/tkm	5,7	411	0,13	0,014	1,72	0,0003	525	0,69	0,044	2,0	0,0003
	CCD- fase	110,8	MJ/tkm & g/tkm	5,5	398	0,13	0,014	1,67	0,000	508	0,67	0,042	1,9	0,000
	LTO- fase	110,8	MJ/ton & g/ton	1.536	110.676	35	2,3	510	2,14	141.400	187	10	572	2,14

* Inclusief laadcapaciteit passagiers voor belly-freight.

3.6.2 Alternatieve brandstoffen

Tabel 36 bevat indexpercentages voor biokerosine, gebaseerd op Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). De emissiekentallen per tonkm van de alternatieve brandstoffen kunnen uit de parkgemiddelde emissiekentallen uit de vorige paragrafen worden berekend met behulp van de formule gegeven in Paragraaf 3.1. De eerste regel geeft de emissiefactoren *per MJ brandstof* voor 2018 gemiddeld als referentiewaarde.

Tabel 36 - Relatieve emissies van biokerosine

Brandstof/techniek	TTW	TTW-emissies (g/MJ brandstof)				WTW-emissies (g/MJ brandstof)			
	MJ/kWh	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	SO _x	CO ₂ -eq.	PM _v	NO _x	SO _x
Gemiddeld 2018	-	72,0	0,002	0,40	0,02	92,0	0,007	0,44	0,1
Index alternatieven t.o.v. kerosine									
Kerosine gemiddeld 2018	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Biokerosine	-	1%	100%	100%	1%	11%	146%	102%	21%

4 Beschrijving en aannames emissiedata

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we de aannames en berekeningsmethodieken achter de cijfers in Hoofdstuk 3. In Paragraaf 4.2 bespreken we eerst algemene aannames en methodieken over hoe de emissies per tonkilometer zijn berekend. In Paragrafen 4.3 (Wegvervoer), 4.4 (Spoor), 4.5 (Binnenvaart), 4.6 (Zeevaart) en 4.7 (Luchtvaart) gaan we in detail in op de specifieke aannames en rekenwijze per modaliteit. Paragraaf 4.8 behandelt de upstream-emissies (WTT) per megajoule. Het hoofdstuk sluiten we af met een paragraaf over kentallen voor overslag (Paragraaf 4.9). De logistieke data waarop de kentallen per tonkilometer gebaseerd zijn beschrijven we in Hoofdstuk 5.

4.2 Methodiek algemeen

De emissiekentallen in Hoofdstuk 2 en 3 zijn uitgedrukt in emissies per tonkilometer (EK_{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.¹² De tonkilometer geeft daarmee de transportprestatie uitgedrukt in zowel afstand als afgeleverd gewicht (zie ook Paragraaf 1.2 en 1.3). Voor containertransport geldt dat alleen het gewicht van de containerinhoud wordt meegerekend en het gewicht van de containers niet wordt meegenomen in de tonkilometers waarover het emissiekental is bepaald. Het gewicht van de container heeft echter wel invloed op het energieverbruik en de emissies en dit effect wordt wel meegenomen.

Voor alle emissies wordt inzicht gegeven in zowel de uitlaatgasemissies (TTW-emissies) als de totale ketenemissies (WTW). In de WTW-emissies wordt ook rekening gehouden met de emissies die optreden bij de winning, productie en transport van brandstoffen en bij elektriciteitsproductie (WTT-emissies).

De CO₂-emissies in de tabellen in de voorgaande hoofdstukken 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 37. Voor methaan is hierbij rekening gehouden met de oxidatie van methaan (Muñoz & Schmidt, 2016), waardoor de GWP 2,5 hoger uitkomt dan in het IPCC fifth assessment report.

Tabel 37 - GWP-factoren (Global Warming Potential) methaan en lachgas

Broeikasgas	Global Warming Potential (100 jaar)
Koolstofdioxide (CO ₂)	1
Methaan (CH ₄)	30,5
Lachgas (N ₂ O)	265

Bron: (IPCC, 2014; Muñoz & Schmidt, 2016).

¹² Voor monitoringsdoeleinden (KPIs) en benchmarking wordt soms in de definitie van een tonkilometer de vogelvluchtafstand gehanteerd.

De methodiek voor het bepalen van de TTW-emissiekentallen verschilt per modaliteit en is afhankelijk van de data waarmee de emissiekentallen zijn berekend. In de hiernavolgende paragrafen lichten we per modaliteit de methodiek verder toe. Per modaliteit geven we in de eerste subparagraaf aan hoe de TTW-emissies per tonkilometer berekend worden. In de daaropvolgende subparagrafen gaan we verder in op achtereenvolgens het energiegebruik, de TTW-emissies en de emissies van alternatieve brandstoffen en technieken.

De WTT-emissiekentallen zijn voor alle modaliteiten op eenzelfde wijze berekend. Alle WTT-emissies zijn (net als CO₂) lineair afhankelijk van het brandstofverbruik. De WTT-emissiekentallen ($EK(WTT)_{tkm}$) zijn bepaald met behulp van de energieverbruik kentallen (E_{tkm}) die worden toegelicht in elke 2de subparagraaf per modaliteit en de WTT-emissies per megajoule brandstof ($EF(WTT)_{MJ}$) die worden gegeven in Paragraaf 4.8 volgens Formule 1.

$$EK(WTT)_{tkm} = E_{tkm} \times EF(WTT)_{MJ} \quad (1)$$

4.3 Wegvervoer

4.3.1 Methode

De emissies (en energieverbruik) per tonkilometer (EK_{tkm}) zijn berekend uit de gemiddelde emissies per voertuigkilometer (EF_{vkm}) en de gemiddelde lading ($Ton_{gemiddeld}$) in een voertuig over beladen en onbeladen ritten volgens:

$$EK_{tkm} = \frac{EF_{vkm}}{Ton_{gemiddeld(1)}} \quad (2)$$

EF_{vkm}

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

$$EF_{vkm} = EF_{leeg} + \frac{Ton_{gemiddeld(2)}}{Cap} \times (EF_{max vol} - EF_{leeg}) \quad (3)$$

De gemiddelde emissie per kilometer hangt daarbij af van de gemiddelde benuttingsgraad ($Ton_{gemiddeld(2)}/Cap$) van het voertuig. De benuttingsgraad is het gemiddelde gewicht over volle en lege ritten als percentage van de ladingcapaciteit van het voertuig (zie verder uitleg hieronder). In Paragraaf 4.3.2 worden de bronnen en berekening van het energiegebruik per kilometer van volle en lege voertuigen beschreven. Paragraaf 4.3.3 beschrijft de emissiefactoren per kilometer.

Ton_{gemiddeld}

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

$$Ton_{gemiddeld(1en2)} = Cap \times \%ton \times \%vkm_{beladen} \quad (4)$$

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.

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_1) of containergewicht (ton/TEU_2) volgens:

$$Ton_{gemiddeld(1)} = CapTEU \times \%TEU \times ton/TEU_1 \quad (5a)$$

$$Ton_{gemiddeld(2)} = CapTEU \times \%TEU \times ton/TEU_2 \quad (5b)$$

We maken in *STREAM* onderscheid tussen lichte, middelzware en zware containers. In de berekening van EK_{tkm} in Formule 2 wordt $Ton_{gemiddeld(1)}$ toegepast, waarbij het leeggewicht van de container **niet** wordt meegenomen. In de berekening van EF_{vkm} in Formule 3 wordt $Ton_{gemiddeld(2)}$ toegepast en wordt het gewicht van de container **wel** meegenomen. De beladingsfactoren voor containertransport zijn opgenomen in Hoofdstuk 5.

Voertuigen

De voertuigen die we in deze studie op hebben genomen zijn weergegeven in Tabel 38. De voertuigdefinities zijn overgenomen in overeenstemming met de gebruikte emissiefactoren uit (Task Force on Transportation, 2020). De laadcapaciteiten en leeggewichten voor vrachtauto's zijn overgenomen uit (TNO, 2015b; TNO, 2013). 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 weegt en de leeggewichten van de opleggers 7-9 ton zijn. De voertuigdefinities voor de bestelauto zijn overgenomen uit (Connekt, 2017).

Tabel 38 - Definitie van voertuigtypes wegvervoer

	Laadcapaciteit (ton)	Massa leeg voertuig, LG (ton)	Gross vehicle Weight, GW (ton)
Bestelauto LG < 1,5 ton	0,7	1,25	1,95
Bestelauto LG 1,5-2 ton	1	1,8	2,8
Bestelauto LG 2-2,5 ton	1	2,2	3,2
Bestelauto LG > 2,5 ton	0,7	2,8	3,5
Vrachtauto GVW < 10 ton	3	4,5	7,5
Vrachtauto GVW 10-20 ton	7,5	8,5	16
Vrachtauto GVW 10-20 ton + aanhanger	18	15	33
Vrachtauto GVW > 20 ton	13	15	28
Vrachtauto GVW > 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

Het energiegebruik van vrachtauto's en trekker-opleggers is gebaseerd op de CO₂-factoren uit Task Force on Transportation (2020) per wegtype (stadsweg, buitenweg en snelweg). Hierin zijn zeven standaardklassen voor trucks gegeven (vrachtauto klein, middel, groot met en zonder aanhanger, en lichte en zware trekker-opleggers). Het energiegebruik van de vier categorieën bestelauto's is gebaseerd op de wegtypegemiddelde CO₂-uitstoot in Connekt (2017). Uit deze gemiddelde verbruiksfactoren zijn de factoren naar wegtype berekend op basis van de verhouding van de CO₂-factoren per wegtype en de wegtypegemiddelde CO₂-emissiefactor uit Task Force on Transportation. De LZV-emissiefactoren zijn gemodelleerd ten opzichte van de trekker-oplegger op basis van TML (2008) en TRL (2008) (zie Tabel 90, in Bijlage B).

De gebruikte CO₂-emissiefactoren 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 onbeladen (EF_{leeg}) en volledig beladen voertuigen (EF_{vol}) berekend uit de gemiddelde emissiefactoren volgens Formules 6 en 7.

$$EF_{leeg} = EF_{gemiddelde-belading} - difCO_2 \times Lading_{gemiddeld} \quad (6)$$

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

Deze berekening is uitgevoerd met behulp van de difCO₂-factoren in Tabel 39 die het verband tussen het gewicht van het voertuig en de CO₂-uitstoot per kilometer geven.

Tabel 39 - Verandering in CO₂-emissies (g/km) per ton lading (difCO₂) wegverkeer

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 wegtypegemiddelde 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 wegtypegemiddelde CO₂-factoren voor onbeladen en beladen voertuigen. Het energiegebruik is vervolgens berekend door de CO₂-emissiefactoren (g/km) te delen door de CO₂-inhoud van diesel-fossiel, waarop de CO₂-emissiefactoren zijn gebaseerd (74,3 g CO₂/MJ). Het energiegebruik voor onbeladen en (volledig) beladen voertuigen is weergegeven in Tabel 40.

Tabel 40 - Energiegebruik voor wegvervoer per wegtype en voertuigtype 2018 van leeg tot maximaal vol

	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
Energiegebruik (MJ/km)	Bestelauto LG < 1,5 ton	2,6-2,8	1,9-2,1	2,5-2,0
	Bestelauto LG 1,5-2 ton	3,4-3,7	2,6-2,8	3,3-3,0
	Bestelauto LG 2-2,5 ton	4,0-4,3	3,0-3,2	3,9-4,0
	Bestelauto LG > 2,5 ton	4,8-5,0	3,6-3,7	4,6-4,0
	Vrachtauto GVW < 10 ton	5,5-6,2	3,7-4,2	3,4-3,8
	Vrachtauto GVW 10-20 ton	10,9-13,0	7,3-8,7	6,1-7,3
	Vrachtauto GVW 10-20 ton + aanhanger	13,3-18,4	8,6-11,9	7,2-10,0
	Vrachtauto GVW > 20 ton	15,7-19,4	10,5-12,9	8,6-10,7
	Vrachtauto GVW > 20 ton + aanhanger	17,9-26,7	10,8-16,1	8,9-13,2
	Trekker-oplegger licht	15,1-19,6	10,4-13,5	8,5-11,1
	Trekker-oplegger zwaar	21,2-31,4	13,3-19,7	8,9-13,2
	LZV	28,6-42,3	18,0-26,6	12,1-17,8

Noot: LG = leeggewicht, GVW = gross vehicle weight.

4.3.3 Emissiedata

Emissiefactoren van CO₂, CH₄, N₂O en SO₂

De emissiefactoren (g/km) voor CO₂, CH₄, N₂O en SO₂ zijn direct berekend uit het energieverbruik per kilometer door vermenigvuldiging met de factoren per megajoule (MJ) diesel in Tabel 41. De resulterende emissiefactoren per kilometer voor CO₂ en SO₂ zijn gegeven in Tabel 42. 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, 2020).

Tabel 41 - CO₂-, CH₄-, N₂O- en SO₂-emissiefactoren per MJ diesel

	CO ₂ (g/MJ)	CH ₄ (mg/MJ)	N ₂ O (mg/MJ)	SO ₂ (g/MJ)
Dieselbestelauto	68,9	0,66	1,47	0,42
Dieselvrachtauto	68,9	0,45	4,02	0,42

Bron: Task Force on Transportation (2020); voor CO₂ is hierbij rekening gehouden met een aandeel biodiesel, zie Paragraaf 4.8.

Tabel 42 - Emissiefactoren CO₂, SO₂ per naar wegtype met range van leeg naar vol voertuig in (g/km)

	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
CO ₂ (g/km)	Bestelauto < 1,5 ton	195-209	135-145	163-176
	Bestelauto 1,5-2 ton	236-256	176-191	228-247
	Bestelauto 2-2,5 ton	275-294	205-219	266-284
	Bestelauto > 2,5 ton	331-345	247-257	320-333
	Vrachtauto < 10 ton	376-429	254-290	231-264
	Vrachtauto 10-20 ton	753-895	503-597	422-501
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	917-1.266	592-817	498-688
	Vrachtauto > 20 ton	1.083-1.338	722-892	595-735
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	1.235-1.839	746-1111	611-911
	Trekker-oplegger licht	1.041-1.352	716-930	587-763
	Trekker-oplegger zwaar	1.461-2.160	917-1356	615-909
	LZV	1.973-2.916	1.238-1.830	831-1.228

	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
SO ₂ (mg/km)	Bestelauto < 1,5 ton	1,18-1,27	0,82-0,88	0,99-1,07
	Bestelauto 1,5-2 ton	1,44-1,55	1,07-1,16	1,39-1,5
	Bestelauto 2-2,5 ton	1,67-1,79	1,25-1,33	1,62-1,73
	Bestelauto > 2,5 ton	2,01-2,09	1,5-1,56	1,95-2,02
	Vrachtauto < 10 ton	2,28-2,61	1,55-1,77	1,4-1,6
	Vrachtauto 10-20 ton	4,58-5,44	3,06-3,63	2,57-3,05
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	5,57-7,7	3,6-4,97	3,03-4,18
	Vrachtauto > 20 ton	6,59-8,14	4,39-5,42	3,62-4,47
	Vrachtauto > 20 ton +aanhanger	7,51-11,18	4,53-6,75	3,72-5,54
	Trekker-oplegger licht	6,33-8,22	4,35-5,66	3,57-4,64
	Trekker-oplegger zwaar	8,88-13,13	5,58-8,24	3,74-5,53
	LZV	11,99-17,73	7,53-11,13	5,05-7,46

Naast de CO₂ door diesilverbranding zijn er ook beperkte CO₂-emissies van ureumgebruik bij voertuigen die een SCR-katalysator hebben. Deze CO₂ komt vrij wanneer ureum heeft gereageerd. De gemiddelde emissies per voertuigtype zijn bepaald op basis van de emissiefactoren en aandelen in kilometers uit (Task Force on Transportation, 2020) en weer-gegeven in Tabel 43.

Tabel 43 - Parkgemiddelde uitstoot CO₂ (g/km) door ureumverbruik (gemiddelde van Euroklassen)

Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg	Gemiddeld
Bestelauto < 1,5 ton	0	0	0	0
Bestelauto 1,5-2 ton	0	0	0	0
Bestelauto 2-2,5 ton	0	0	0	0
Bestelauto > 2,5 ton	0	0	0	0
Vrachtauto < 10 ton	1,1	0,8	0,8	0,8
Vrachtauto 10-20 ton	2,3	1,5	1,4	1,6
Vrachtauto > 20 ton	3,4	2,3	2,0	2,2
Trekker Licht	3,5	2,9	2,4	2,6
Trekker Zwaar	6,2	3,9	2,8	3,3
Vrachtauto 10-20 ton +ANH	2,0	1,3	1,2	1,3
Vrachtauto > 20 ton +ANH	5,9	3,9	3,1	3,6
LZV	7,9	5,2	4,2	4,8

Emissiefactoren van PM_v, NO_x, PM_{sl}

De emissiefactoren voor PM_v (fijnstof door verbranding) en NO_x (stikstofoxiden) zijn gebaseerd op data per Euroklasse en wegtype zoals gegeven in (Task Force on Transportation, 2020). Hierin worden ook de data gegeven van de aandelen kilometers naar Euroklassen en wegtype per voertuigtype. Tabel 88 in Bijlage B geeft de aandelen van de Euroklassen per type voertuig. Tabel 91 geeft de wegtypeverdeling. De gemiddelde emissiefactoren naar wegtype en wegtypegemiddelde emissiefactoren zijn op basis van deze data berekend. Om de emissiefactoren van de bestelautocategorieën in (Task Force on Transportation, 2020) om te zetten naar de in *STREAM* toegepaste vier categorieën is de matrix in Tabel 89 in Bijlage B toegepast.

De fijnstofemissies door slijtage (PM_{sl}) zijn opgebouwd uit slijtage-emissies van banden, remmen en het wegdek en berekend op basis van de emissiefactoren in (Task Force on

Transportation, 2020). 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%.

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

$$EC_{vol} / EC_{leeg} = EF_{vol} / EF_{leeg} * \epsilon \quad (8)$$

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 44.

Tabel 44 - Factor relatieve verandering luchtvervuilende emissies ten opzichte van energiegebruik (ϵ)

Euroklasse	NO _x	PM _v	PM _{st}
Euro 0-III	0,75	0,5	1
Euro IV-V	0	0,5	1
Euro VI	0	0	1

Berekening CE Delft op basis van (IFEU; INFRAS; 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 90 in Bijlage B). De resulterende emissiefactoren per voertuigkilometer zijn weergegeven in Tabel 45. Met behulp van de wegtypeverdelingen uit Tabel 91 (Bijlage B) en de gemiddelde lading zijn de wegtypegemiddelde emissies per tonkilometer in Paragraaf 3.2 berekend.

Tabel 45 - Emissiefactoren SO₂, PM_v, NO_x en PM_{st} (range leeg-vol) per wegtype en voertuigtype 2018

Emissiefactor	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
PM _v (mg/km)	Bestelauto < 1,5 ton	15,99-16,78	10,17-10,67	20,88-21,91
	Bestelauto 1,5-2 ton	18,3-19,21	11,57-12,14	23,73-24,9
	Bestelauto 2-2,5 ton	18,3-19,21	11,57-12,14	23,73-24,9
	Bestelauto > 2,5 ton	18,3-19,21	11,57-12,14	23,73-24,9
	Vrachtauto < 10 ton	40,56-43,32	25,5-27,22	20,72-22,12
	Vrachtauto 10-20 ton	68,14-74,05	39,58-42,96	31,11-33,75
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	97,4-114,75	59,32-69,88	48,45-57,04
	Vrachtauto > 20 ton	62,56-68,85	36,69-40,29	28,92-31,73
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	46,4-53,76	25,25-29,05	19,74-22,57
	Trekker-oplegger licht	28,59-29,48	15,17-15,75	11,14-11,6
	Trekker-oplegger zwaar	59-68,75	31,57-36,94	20,63-24,01
	LZV	71,13-82,89	38,06-44,53	24,87-28,94

Emissiefactor	Voertuigtype	Stad	Buitenweg	Snelweg
NO _x (g/km)	Bestelauto < 1,5 ton	1,06-1,07	0,79-0,8	0,97-0,98
	Bestelauto 1,5-2 ton	1,24-1,25	0,92-0,93	1,12-1,13
	Bestelauto 2-2,5 ton	1,24-1,25	0,92-0,93	1,12-1,13
	Bestelauto > 2,5 ton	1,24-1,25	0,92-0,93	1,12-1,13
	Vrachtauto < 10 ton	4,22-4,35	2,55-2,65	2,28-2,38
	Vrachtauto 10-20 ton	6,53-6,81	3,46-3,64	3,02-3,18
	Vrachtauto 10-20 ton + aanhanger	8,08-9,1	4,65-5,28	3,91-4,45
	Vrachtauto > 20 ton	8,67-9,14	5,55-5,84	3,88-4,13
	Vrachtauto > 20 ton + aanhanger	6,05-6,36	3,55-3,73	2,31-2,47
	Trekker-oplegger licht	6,29-6,29	3,64-3,64	2,25-2,25
	Trekker-oplegger zwaar	5,72-6,22	3,4-3,7	2,34-2,57
	LZV	7,63-7,5	4,54-4,46	3,12-3,1
PM _{stijtage} (mg/km)	Bestelauto < 1,5 ton	27,5-29,59	13,94-15	14,79-15,91
	Bestelauto 1,5-2 ton	27,46-29,71	13,92-15,06	14,76-15,97
	Bestelauto 2-2,5 ton	27,54-29,48	13,96-14,95	14,81-15,85
	Bestelauto > 2,5 ton	27,77-28,91	14,08-14,65	14,93-15,54
	Vrachtauto < 10 ton	99,55-113,67	52,84-60,33	57,86-66,06
	Vrachtauto 10-20 ton	102,13-121,31	55,01-65,34	60,81-72,23
	Vrachtauto 10-20 ton +aanhanger	100,81-139,21	54,98-75,92	61,28-84,62
	Vrachtauto > 20 ton	109,42-135,2	59,68-73,74	66,51-82,18
	Vrachtauto > 20 ton +aanhanger	101,86-151,7	56,7-84,44	64-95,33
	Trekker-oplegger licht	86,12-111,85	45,78-59,46	50,18-65,17
	Trekker-oplegger zwaar	78,14-115,51	42,92-63,45	48,06-71,04
	LZV	113,66-168,02	62,43-92,29	69,9-103,32

4.3.4 Alternatieve technieken en brandstoffen

De opties voor alternatieve brandstoffen en technieken voor het wegvervoer verschillen per type voertuig. In Hoofdstuk 3 zijn indexpercentages voor de alternatieven voor een bestelauto, een middelzware vrachtauto (10-20 ton GVW) en een zware trekker-oplegger opgenomen. Deze indexpercentages geven de relatieve emissies ten opzichte van een nieuw voertuig in 2018 (Euro VI).

De brandstoffen en technieken betreffen:

- Diesel Euro 5/V en Euro 6/VI. Bij de bestelauto wordt daarbij nog onderscheid gemaakt tussen Euro 6A en 6D.
- Plug-in hybride Euro 6/VI.
- GTL (Gas-To-Liquid) Euro 6/VI.
- Biodiesel Euro 6/VI, (gemiddelde mix van 97% FAME en 3% HVO (NEa, 2019).
- HVO Euro 6/VI
- CNG en LNG Euro 6/VI.
- Elektrisch en Waterstof.

Het relatieve energiegebruik ten opzichte van Euro VI-voertuigen (in 2018 de norm voor nieuwe voertuigen) is voor de verschillende opties van alternatieve brandstoffen en technieken, voor zover van toepassing voor het voertuig, weergegeven in Tabel 46. Met behulp van de CO₂-, SO₂- en WTT-emissiefactoren uit Paragraaf 4.8 zijn de bijbehorende relatieve emissies bepaald. De aannames en bronnen voor de energiegebruiken en (relatieve) TTW-emissies van PM_v en NO_x zijn weergegeven in Tabel 47.

Tabel 46 - Energiegebruik alternatieve brandstoffen en technieken wegverkeer (index diesel = 100)

Brandstof/techniek	Bestelauto	Vrachtauto	Trekker-oplegger
Diesel Euro 5/V	102	112	95
Diesel Euro 6/VI*	100	100	100
Diesel Plug-in hybride (Euro 6/VI)	88*	89*	91*
GTL Euro 6/VI	100	100	100
Biodiesel Euro 6/VI (97% Fame, 3% HVO)	100	100	100
HVO Euro VI	100	100	100
CNG (Euro 6/VI)	97	112	-
BioCNG (Euro 6/VI)	97	112	-
LNG (Euro 6/VI)	-	112	113
BioLNG (Euro 6/VI)	-	112	113
Elektrisch	47 (35)*	47	47
Waterstof	71	71	71

* Voor kleine bestelauto's geldt een index factor van 35, gelijk aan personenauto's.

Tabel 47 - Aannames en bronnen voor energiegebruik en luchtverontreinigende emissies alternatieve brandstoffen en technieken wegverkeer

Techniek	Aannames energiegebruik	Aannames luchtverontreinigende emissies
Diesel Euro 5/V	Energiegebruik van Euro 5/V ten opzichte van Euro 6/VI is bepaald op basis van (Task Force on Transportation, 2020), cijfers die bepaald uit praktijkdata. Nieuwere motoren zijn over het algemeen iets zuiniger, voor de trekker-oplegger Euro VI komt dit echter niet tot uiting.	Gebaseerd op cijfers van (Task Force on Transportation, 2020).
Plug-in hybride	Het aandeel elektrisch voor bestelauto's (24%) is gebaseerd waarden uit (Task Force on Transportation, 2020). Voor vrachtauto's is een waarde van 20% elektrisch aangenomen.	Als het hybride voertuig volledig elektrisch rijdt zijn de emissies ter plekke nul.
GTL	Energiegebruik voor GTL Euro VI is gelijk verondersteld aan diesel Euro VI (zie ook (TNO, 2017).	Voor Euro VI is er geen voordeel voor de luchtverontreinigende emissies (zie o.a. (Shell, 2020). Voor de overige Euroklassen leidt GTL 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; Shell, 2020; TNO, 2017).
Biodiesel	Voor biodiesel, is aangenomen dat het energiegebruik gelijk is aan gewone diesel. De TTW CO ₂ -uitstoot is 0.	Voor Euro VI zijn er geen verschillen met diesel qua NO _x - en PM _v -uitstoot (TNO, 2017). Voor Euro V en ouder geldt dat e NO _x -uitstoot bij FAME hoger is (+25%) en bij HVO lager (tot 10% reductie). De fijnstofemissies dalen bij alle biodiesels, (HVO:- 20%, FAME -60%) (TNO & CE Delft, 2014; TNO, 2017).
(bio)CNG en LNG	Recente cijfers geven aan dat energieverbruik van een CNG Euro 6-bestelauto, afhankelijk van het type, 10% hoger tot 10% lager is dan van een vergelijkbare Euro 6-diesel (INFRAS, 2019a). We nemen aan dat het gemiddeld	Toepassing van aardgas leidde tot lagere emissies van luchtverontreinigende stoffen. Met de introductie van Euro 6/VI is het verschil in luchtverontreinigende emissies tussen diesel en gas niet meer zo eenduidig en in

Techniek	Aannames energiegebruik	Aannames luchtverontreinigende emissies
	<p>genomen ongeveer gelijk is. Voor oudere modellen (Euro 5 en lager) ligt het energieverbruik van een CNG voertuig hoger dan van een vergelijkbare diesel, onder andere door het gewicht van de brandstoftank. Voor CNG en LNG Euro VI-vrachtauto's is het energieverbruik 12-13% hoger dan van een diesel Euro VI (INFRAS, 2019a).</p> <p>Omdat de CO₂-eq.-emissies per MJ voor CNG en LNG lager zijn dan voor diesel is er een netto CO₂-reductie.</p>	<p>enkele gevallen zijn de emissies van CNG/LNG hoger. De relatieve emissiefactoren zijn gebaseerd op (Task Force on Transportation, 2020).</p> <p>De luchtvervuilende emissies voor bioCNG en bioLNG zijn gelijk aan die CNG en LNG.</p>
Elektrisch	<p>Het relatieve energiegebruik van elektrische vrachtauto's en trekker-opleggers (47%) is gebaseerd op vergelijking van energieverbruik tussen elektrische en dieselvoertuigen in verschillende bronnen (INFRAS, 2019a; Huisman, 2018; T&E, 2020a; JEC, 2020). Voor de grote bestelauto is dezelfde waarde aangehouden. Voor de kleine bestelauto zijn we uitgegaan van waarden voor de personenauto (35%) op basis van (INFRAS, 2019a) (zie Bijlage B voor mee achtergrond).</p>	<p>Elektrische vrachtauto's en trekker-opleggers veroorzaken geen lokale luchtverontreinigende emissies.</p>
Waterstof	<p>Voor waterstof als brandstof in brandstofcel aangedreven voertuigen is aangenomen dat 1,5 keer zoveel energie nodig is als voor elektrisch uitgaande van een brandstofcel efficiency van 60% en een verlies van 10% bij het laden van een batterij tussen lader en batterij, die niet geldt voor waterstof. Netto dus 50% meer verlies voor waterstof (Concawe, 2020; T&E, 2020a).</p>	<p>Brandstofcellen met waterstof als brandstof veroorzaken geen lokale luchtverontreinigende emissies</p>

Op basis hiervan zijn in Paragraaf 3.2.4 de emissie-indexcijfers van respectievelijk de bestelauto, vrachtauto en trekker-oplegger weergegeven. Voor de referentie (diesel Euro 6/VI) zijn de emissies steeds in g/km gegeven en voor de alternatieve brandstoffen zijn indexcijfers gegeven ten opzichte van Euro 6/VI.

4.4 Spoor

4.4.1 Methode

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

$$EK_{tkm} = \frac{EF_{vkm}}{Ton_{gemiddeld}} \quad (9)$$

EF_{vkm}

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

Ton_{gemiddeld}

Voor bulk- en stukgoederen wordt het gemiddelde tonnage over beladen en lege kilometers (*ton_{gemiddeld}*) berekend met behulp van de capaciteit van het voertuig (*Cap*), de gemiddelde beladingsgraad van de beladen ritten (*%ton*) en het aandeel beladen kilometers volgens:

$$Ton_{gemiddeld} = Cap \times \%ton \times \%vkm_{beladen} \quad (10a)$$

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

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:

$$Ton_{gemiddeld} = CapTEU \times \%TEU \times ton/TEU \quad (10b)$$

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.

Voertuigen

In Tabel 48 zijn de treincategorieën genomen die zijn gedefinieerd voor *STREAM*. Er is onderscheid gemaakt tussen het vervoer van bulk- en stukgoederen en containervervoer. De uitgangspunten hierbij zijn:

- De maximale treinlengte internationaal inclusief locomotieven is 650 meter.
Sinds begin dit jaar rijden er nationaal per week twintig containertreinen van 740 meter in Nederland (ProRail, 2019). De treinen van 650 meter zijn in *STREAM* meegenomen als lange trein en treinen van 740 meter zijn meegenomen als extra lange containertrein. De extra lange trein is ook gemodelleerd voor het licht en middelzwaar bulk- en stukgoederentransport.

- Bij zware transporten wordt de trein voortgetrokken door meer dan één locomotief. Lege transporten worden uitgevoerd met één locomotief (CE Delft, 2008). De eigenschappen van de locomotieven in *STREAM* zijn te vinden in Bijlage C.
- In de tabel is het GTW opgenomen. Dit is de som van de lading en het leeggewicht van de trein exclusief locomotieven. Gemiddeld lag het GTW in Nederland in 2018 op 1.527 ton per trein, zie Bijlage C. Op de Betuweroute was dit gemiddeld 1.831 t GTW (gemiddelde van beladen en onbeladen). Op de grensovergangen Oldenzaal (Twente) en Venlo (Limburg) was het GTW respectievelijk 1.148 en 1.517 ton. Door de aanleg van het derde spoor tussen Zevenaar en Oberhausen heeft het goederenvervoer op de Betuweroute in 2018 te maken gehad met beperkingen. Een gedeelte van het goederenvervoer is omgeleid via Oldenzaal en Venlo en heeft daardoor gebruik gemaakt van het gemengde net in plaats van de Betuweroute (ProRail, 2019).
- De toepassingen van de treinen zijn te vinden in Bijlage C.

Tabel 48 - Overzicht treincategorieën *STREAM*

Type trein	Treinlengte (m)	Ladingcapaciteit (ton of TEU)	GTW-beladen rit (ton)	Aantal locs (-)	Aantal wagons (-)
Bulk- en stukgoederentreinen					
Licht transport					
Middellange trein	543	945	816	1	35
Lange trein	648	1.134	979	1	42
Extra lange trein	738	1.296	1.118	1	48
Middelzwaar transport					
Middellange trein	508	1.715	2.182	1	35
Lange trein	624	2.058	2.619	2	42
Extra lange trein	736	2.450	2.993	2	50
Zwaar transport					
Middellange trein	540	1.940	2.841	2	40
Lange trein	616	2.231	3.267	2	46
Extra zwaar transport					
Middellange trein	498	2.485	3.618	2	35
Lange trein	635	3.124	4.549	3	44
Containertreinen					
Licht transport					
Lange trein	635	88	988	1	44
Extra lange trein	719	100	1.123	1	50
Middelzwaar transport					
Lange trein	626	90	1.270	1	36
Extra lange trein	727	105	1.481	1	42
Zwaar transport					
Lange trein	650	96	1.595	1	32
Extra lange trein	729	108	1.795	1	36

In Tabel 49 staat een overzicht van het aantal afgelegde tonkilometers per spoorlijn. Daarnaast staat een uitsplitsing naar het aandeel elektrisch en het aandeel diesel. Het aandeel elektrisch-aangedreven tonkilometers heeft een bandbreedte van 66-80% en het aandeel diesel heeft een bandbreedte van 34-20%. Gemiddeld komt het voor Nederland neer op 73% elektrisch-aangedreven en 27% diesel-aangedreven in 2018. Deze waarden zijn gepresenteerd in Tabel 49 en worden gehanteerd in *STREAM 2020*. Het aandeel elektrisch op de

Betuwelijn is veel hoger dan op de Havenspoorlijn en het gemengde net. Door de werkzaamheden aan het derde spoor is het aantal tonkilometers over de Betuwelijn in 2018 ten opzichte van 2017 afgenomen met 13% en het aantal tonkilometers op het gemengde net juist toegenomen. Het gemiddelde aandeel elektrisch in Nederland kan in een ander jaar hoger komen te liggen als het aantal tonkilometers op de Betuweroute toeneemt en het aantal tonkilometers op het gemengde net afneemt. Op de Havenspoorlijn worden relatief veel rangeerritten uitgevoerd. Het aandeel diesel is daardoor hoger dan bij de Betuweroute omdat rangersen altijd met een diesellocomotief gebeurt.

Tabel 49 - Tonkilometers goederenvervoer spoor uitgesplitst naar elektrisch en diesel

	Tonkilometers (miljarden) (ProRail, 2019)	Aandeel elektrisch (ProRail, 2020)	Aandeel diesel (ProRail, 2020)	Tonkilometers elektrisch miljarden (berekend)	Tonkilometers diesel miljarden (berekend)
Betuweroute	4,0	95%	5%	3,8	0,2
Havenspoorlijn	2,0	67%	33%	1,3	0,7
Gemengd net	7,5	50-75%	50-25%	*4,7	**2,8
Totaal	13,5	73%	27%	9,8	3,7

* Er is gerekend met 62,5%.

** Er is gerekend met 37,5%.

4.4.2 Energiegebruik

Het energiegebruik voor treinen is op eenzelfde wijze berekend als in *STREAM 2016* (CE Delft, 2016b) en is gebaseerd op de methodiek beschreven in EcoTransit (IFEU; INFRAS; IVE, 2019), 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 wagons en exclusief het gewicht van de locomotief (GTW) volgens:

$$\begin{aligned}
 EC (MJ_e/vkm) &= 4,23 \times GTW 0,38 - \text{voor } GTW < 2.200 \text{ ton} \\
 EC (MJ_e/vkm) &= 0,035 \times GTW - \text{voor } GTW > 2.200 \text{ ton}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

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:

$$\begin{aligned}
 EC (MJ_{diesel}/vkm) &= 11,4 \times GTW 0,38 - \text{voor } GTW < 2.200 \text{ ton} \\
 EC (MJ_{diesel}/vkm) &= 0,095 \times GTW - \text{voor } GTW > 2.200 \text{ ton}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

In *STREAM 2016* is aangenomen dat het energiegebruik per kilometer tussen 2009 (basisjaar *STREAM 2011*) en 2014 (basisjaar *STREAM 2016*) met 2% is gedaald. Op basis van data van UIC augustus 2019 (UIC, 2019) is deze aanname veranderd:

- Voor elektrische goederentreinen is een trend waar te nemen waarbij het energieverbruik sinds 2005 jaarlijks ongeveer lineair afneemt. Het energieverbruik bedraagt in het volgende jaar 97,5% van het voorgaande jaar. Er is daarom aangenomen dat het energieverbruik tussen 2014 en 2018 met 9,6% is afgenomen.
- Voor diesel-aangedreven goederentreinen is geen toe- of afnemende trend waar te nemen. Voor diesel is daarom geen reductiefactor gehanteerd.

De UIC-data en de bijbehorende trends zijn weergegeven in grafieken in Bijlage C.

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 wagon-specificaties in Tabel 50 en de beladingsgraden in Hoofdstuk 5 volgens:

$$\begin{aligned} GTW_b &= AW \times (BG \times CapW) + AW \times GW \\ GTW_l &= AW \times GW \end{aligned} \quad (13)$$

Waarbij:

- *AW* = Aantal wagons (zie Tabel 50);
- *BG* = Beladingsgraad (zie logistiek data in Hoofdstuk 5);
- *CapW* = Beladingscapaciteit wagon (zie Tabel 50);
- *GW* = Gewicht van wagon (Tabel 50).

Voor containertransport wordt aangenomen dat de trein nooit onbeladen is en wordt *GTW_b* bepaald met behulp van de wagon-specificaties in Tabel 50 volgens:

$$GTW_b = AW \times TEUcap \times BTC \times (LPT + GLC) + AW \times GW \quad (14)$$

Met:

- *TEUcap* = TEU-capaciteit per wagon (zie Tabel 50);
- *BTC* = Benutting TEU-capaciteit; (zie Hoofdstuk 5);
- *LPT* = Lading per TEU; gemiddelde van volle en lege containers (*ton/TEU_l*) (zie Hoofdstuk 5);
- *GLC* = Gewicht lege container (zie Hoofdstuk 5).

Tabel 50 - Wagonspecificaties in *STREAM* (DBSchenker Rail AG, 2009; Hungaria RailCargo, sd)

	Gewicht wagon (<i>GW</i>) (ton)	Laadcapaciteit wagon (<i>CapW</i> of <i>TEUcap</i>) (ton of TEU)	Lengte wagon (m)
Bulk- en stukgoederentreinen			
Lichte goederen	12,5	27,0	15,0
Middelzware goederen	22,8	49,0	14,0
Tankwagons	23,5	48,5	12,6
Transport kolen/erts	33,8	71,0	13,2
Containertreinen			
Licht goederen	12,5	2,0	14,0
Middelzware goederen	16,3	2,5	16,9
Zware goederen	20,0	3,0	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 4.1. De resulterende energiegebruiken zijn weergegeven in Tabel 51.

Tabel 51 - Energiegebruik goederentreinen uitgedrukt in MJ/vkm

Type trein	MJ _e /vkm	MJ _{diesel} /vkm
Bulk- en stukgoederentreinen		
Licht transport		
Middellange trein	48	129
Lange trein	51	138
Extra lange trein	54	146
Middelzwaar transport		
Middellange trein	63	171
Lange trein	72	196
Extra lange trein	81	219
Zwaar transport		
Middellange trein	75	201
Lange trein	83	226
Extra zwaar transport		
Middellange trein	91	245
Lange trein	110	296
Containertreinen		
Licht transport		
Lange trein	54	145
Extra lange trein	56	152
Middelzwaar transport		
Lange trein	59	159
Extra lange trein	63	169
Zwaar transport		
Lange trein	64	174
Extra lange trein	67	182

4.4.3 Emissiedata

De emissiefactoren per kilometer voor spoorvervoer zijn berekend uit het energiegebruik per kilometer met behulp van de emissiefactoren per megajoule elektriciteit of diesel in Tabel 52. Ten opzichte van *STREAM 2016* zijn de emissiefactoren voor NO_x en PM_v gewijzigd en zijn de rest van de emissiefactoren ongewijzigd op basis van de benoemde bronnen. De emissiefactoren van NO_x en PM_v zijn gekozen op basis van een analyse van de geschatte vlootsamenstelling in Nederland (CE Delft, 2020c). Deze analyse is gedaan op basis van de bouwjaar omdat de NO_x- en PM_v-emissies afhankelijk zijn van het bouwjaar van de (diesel) locomotief. Naar aanleiding van deze analyse zijn de emissiefactoren van DB Cargo uit (IFEU; INFRAS; IVE, 2019) gekozen als meest representatieve bron voor de Nederlandse situatie.

Tabel 52 - Emissiefactoren per megajoule voor goederentreinen

	Diesel (g/MJ _{diesel})	Elektrisch (g/MJ _{elektriciteit})	Bron
CO ₂	68,9	-	(Task Force on Transportation, 2020) met aandeel bio, zie Paragraaf 4.8
SO ₂	0,0004	-	(Task Force on Transportation, 2020)
PM _v	0,0225	-	(IFEU; INFRAS; IVE, 2019)
NO _x	0,9837	-	(IFEU; INFRAS; IVE, 2019)
PM _{st}	0,0235	0,0647	(CE Delft, 2014)
CH ₄	0,0050	-	(Task Force on Transportation, 2020)
N ₂ O	0,0006	-	(Task Force on Transportation, 2020)

4.4.4 Alternatieve technieken en brandstoffen

Voor spoor wordt standaard al onderscheid gemaakt naar twee alternatieven, namelijk elektrisch en diesel.

De emissiefactoren voor elektriciteit in Hoofdstuk 3 zijn gebaseerd op gemiddelde productiemix van elektriciteit in Nederland. Met de keuze voor deze mix wordt geen rekening gehouden met het toewijzen van de eventuele inkoop of eigen productie van groene stroom (zie ook het tekstkader in Paragraaf 4.8). Voor groene stroom geldt dat het energiegebruik en de TTW-emissies gelijk zijn als voor elektrisch gemiddeld. De WTT-emissies zijn gebaseerd op de emissiefactoren voor groene elektriciteit uit Paragraaf 4.8. Naast alternatieve stroomopwekking kan ook energie bespaard worden 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-norm en sinds 2012 aan de Stage IIIb-norm volgens de Non-Road Mobile Machinery (NRMM) (Directive 97/68/EC) (EC, 1998). Voor dieseltreinen is in Tabel 20 aangegeven hoe het parkgemiddelde en de Stage V-norm (vanaf 2021) scoren ten opzichte van de huidige Stage IIIb-norm. Het gemiddelde ligt nog veel hoger dan de huidige norm, omdat er nog veel oudere motoren in de vloot zijn. Voor de praktijkemissies hebben we aangenomen dat de praktijkemissies van Stage IIIb en V en gelijk zijn aan de emissienormen. Voor Stage IIIb op HVO is aangenomen dat de PM_v-emissies 80% en de NO_x-emissies 90% zijn van de dieselemisies op basis van de effecten van GTL (vergelijkbare kwaliteit als HVO) op de uitstoot van binnenvaartmotoren (VIA Donau, 2015).

4.5 Binnenvaart

4.5.1 Methode

De emissies (en energieverbruik) per tonkilometer (EK_{tkm}) zijn berekend uit de gemiddelde emissies per vaartuigkilometer (EF_{vkm}) en de gemiddelde lading ($TON_{gemiddeld}$) in een schip over volle en lege vaarten volgens:

$$EK_{tkm} = \frac{EF_{vkm}}{TON_{gemiddeld}} \quad (15)$$

EF_{vkm}

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.

$Ton_{gemiddeld}$

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

$$Ton_{gemiddeld} = Cap \times \%ton \times \%vkm_{beladen} \quad (16a)$$

De scheepscapaciteit, 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.

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:

$$Ton_{gemiddeld} = CapTEU \times \%TEU \times ton/TEU \quad (16b)$$

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 beladingsfactoren voor containertransport zijn opgenomen in Hoofdstuk 5.

Vaartuigen

De vaartuigen die voor binnenvaart in deze studie zijn opgenomen zijn gedefinieerd in Tabel 53. Het geïnstalleerde vermogen is bepaald op basis van STC-NESTRA; RebelGroup; EICB (2015) en RWS-DVS (2011).

Tabel 53 - Overzicht van scheepstypen in *STREAM*

	Type schip	AVV-klasse	Lading-capaciteit (ton)	Vermogen (kW)
Bulk- en stukgoederen				
Spits	Motorschip	M1	365	200
Kempenaar	Motorschip	M2	617	275
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	Motorschip	M6	1.537	840
Groot Rijnschip	Motorschip	M8	3.013	1,500
Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed	Koppelverband	C3b	5.046	2,300
4-bakduwstel	Duwstel	BII-4	11.181	3,500
6-bakduwstel (breed)	Duwstel	BII-6b	16.481	3,500
Containerschepen				
Neo Kemp (32-48 TEU)*	Motorschip	M3	850	400
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip (96 TEU)	Motorschip	M6	1.537	840
Duwstel Europa-IIa (160 TEU)	Duwstel	BIIa	2.708	1,400



	Type schip	AVV-klasse	Lading-capaciteit (ton)	Vermogen (kW)
Groot Rijnschip (208 TEU)	Motorschip	M8	3.013	1,500
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	Motorschip	M9	3.736	2,500
Koppelverband Europa-II-C3l (348 TEU)	Koppelverband	C3l	4.518	2,300
Rijnmaxschip (398-470 TEU)*	Motorschip	M12	6.082	2,600

* 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 Rijnmaxschip voor vier tot vijf lagen.

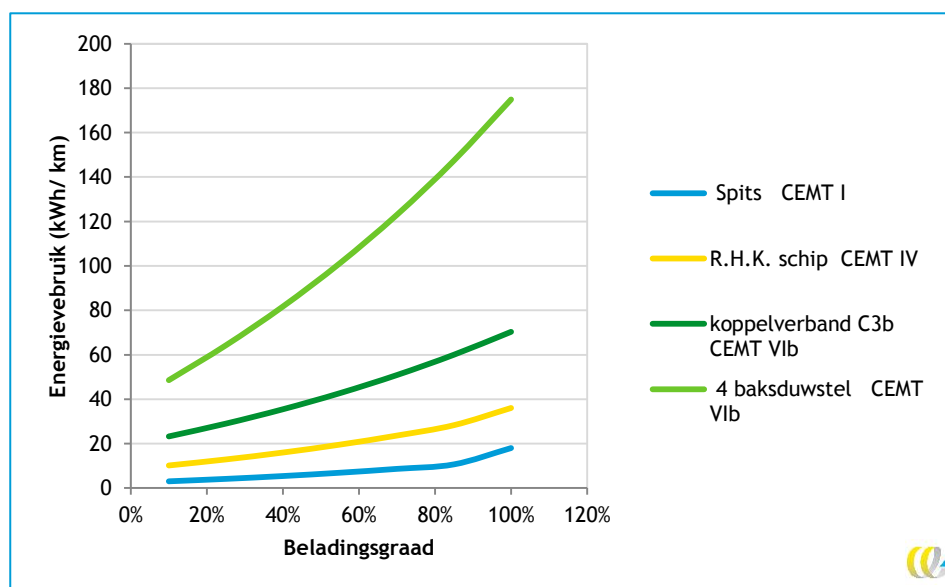
4.5.2 Energiegebruik

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 Emissieregistratie. 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 8 geïllustreerd voor een combinatie van enkele scheepstypen en vaarwegen (CEMT-klasse).

Figuur 8 - Invloed beladingsgraad op energiegebruik binnenvaartschepen



De toegepaste scheepsparameters voor de modelering van de scheepstypen in deze studie zijn opgenomen in Bijlage D. De vaarsnelheden zijn gedifferentieerd per vaarwegtype en ladingstoestand (beladen of leeg) en zijn overgenomen uit de door Emissieregistratie gebruikte vaarsnelheden (Emissieregistratie, 2018). Deze vaarsnelheden zijn gemeten door AIS-transponders van Rijkswaterstaat en door CBS samengesteld.

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:

$$EC_{gem} = \%km_{beladen} \times EC_{vol} + (1 - \%km_{beladen}) \times EC_{leeg} \quad (17)$$

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)).

Daarnaast is er gecorrigeerd voor de motorbelasting. Het brandstofverbruik van motoren heeft een optimale belasting, bij deze belasting wordt de meeste energie uit de brandstof benut voor voortstuwing. Bij lage of erg hoge belasting wordt er relatief meer brandstof verbruikt per kWh. De motorbelasting is bepaald door de gemiddelde vermogensvraag van een specifiek type schip op een specifieke vaarweg te delen door het geïnstalleerde vermogen van het specifieke type schip zoals gedefinieerd in Tabel 53. De correctiefactoren voor de motorbelasting zijn op basis van (Emissieregistratie, 2018). Dit resulteert in toenames van de energievraag op trajecten waar de vermogensvraag laag of erg hoog is.

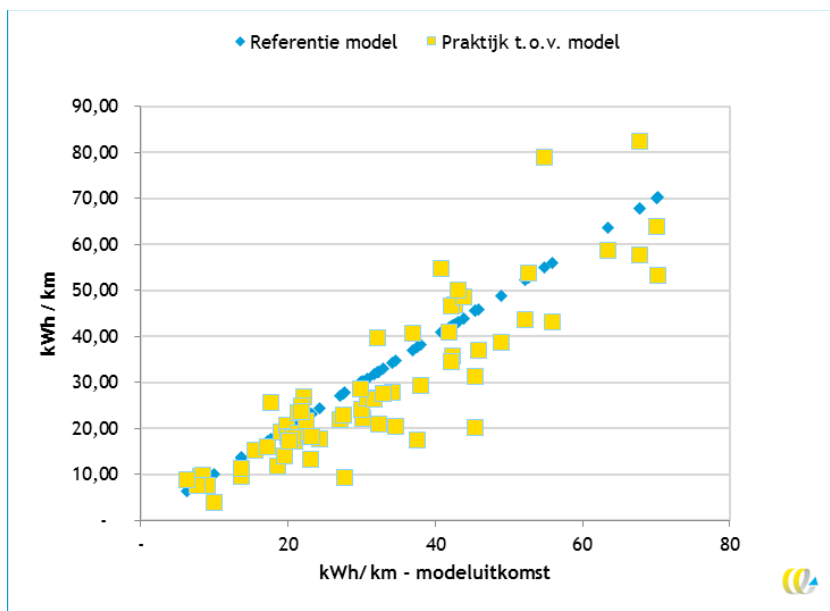
Naast de motorbelasting verschilt het brandstofgebruik ook tussen de bouwjaren van motoren. Nieuwe motoren verbruiken relatief minder brandstof dan oude motoren (Emissieregistratie, 2018). Op basis van de bouwjaren van motoren uit (STC-NESTRA; RebelGroup; EICB, 2015) is een gewogen gemiddelde brandstofverbruik per scheepstype bepaald. Het brandstofverbruik is dus gecorrigeerd voor de leeftijd van motoren per scheepstype.

Validatie

De uitkomsten van het model zijn gevalideerd aan de hand van praktijkdata verzameld door BLN Schuttevaer bij 100 binnenvaartschepen. In Figuur 9 zijn de jaargemiddelde praktijkdata afgezet tegen de modeluitkomsten van dezelfde schepen (zie voor uitgebreidere beschrijving Bijlage D).

Uit Figuur 9 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 9 - 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 54 en voor containertransport in Tabel 55.

Tabel 54 - Energiegebruik aan de motor (kWh/km) en diesilverbruik (MJ/km) voor bulk- en stukgoederen

Scheepstype (klasseaanduiding)	Vaarweg- type	Energiegebruik aan motor (kWh/km)			Diesilverbruik (MJ/km)*		
		Licht	Middelzwaar	Zwaar	Licht	Middelzwaar	Zwaar
Spits (M1)	CEMT I	8	10	12	37	50	58
	CEMT Va	10	13	13	49	61	64
	CEMT VIb	12	14	15	57	68	71
	Waal	14	17	18	67	82	87
Kempenaar (M2)	CEMT II	12	16	18	58	79	85
	CEMT Va	20	24	25	95	117	121
	CEMT VIb	25	30	30	119	143	146
	Waal	27	31	32	129	147	153
R.H.K. (Rijn-Herne- Kanaal) schip (M6)	CEMT IV	34	44	46	161	210	222
	CEMT Va	37	47	49	177	224	234
	CEMT VIb	51	61	63	247	293	302
	Waal	60	70	71	288	335	339
Groot Rijn Schip (M8)	CEMT Va	47	61	64	228	291	306
	CEMT VIb	71	85	88	343	410	424
	Waal	80	90	93	384	433	447
Klasse-Va + 1 Europa-II bak breed (C3b)	CEMT VIb	146	187	197	699	898	945
	Waal	139	165	170	668	791	814
4-baksduwstel (BII-4)	CEMT VIb	166	223	231	798	1,070	1,111
	Waal	236	283	283	1,135	1,360	1,358
6-baksduwstel (breed) (BII-6b)	CEMT VIb	442	438	396	2,123	2,101	1,899
	Waal	299	341	361	1,435	1,639	1,734

* Het diesilverbruik is berekend uitgaande van een specifiek brandstofverbruik van 205 g diesel/kWh (zie Paragraaf 4.5.3) en energiedichtheid van diesel (100% fossiel) van 42,7 MJ/kg).

Tabel 55 - Energiegebruik aan de motor (kWh/km) en diesilverbruik (MJ/km) voor containertransport

Scheepstype (TEU-capaciteit) (klasseaanduiding)	Vaarweg- type	Energiegebruik aan motor (kWh/km)			Diesilverbruik (MJ/km)*		
		Licht	Middelzwaar	Zwaar	Licht	Middelzwaar	Zwaar
Neo Kemp (32-48 TEU) (M3)	CEMT III	11	14	16	52	66	79
	CEMT Va	19	24	28	94	113	134
	CEMT VIb	24	29	34	117	140	162
	Waal	28	33	38	133	159	183
R.H.K. (Rijn-Herne- Kanaal) schip (96 TEU) (M6)	CEMT IV	29	36	42	140	174	203
	CEMT Va	33	40	46	160	190	219
	CEMT VIb	48	56	62	231	267	296
	Waal	57	65	72	273	310	345
Duwstel Europa-IIa (160 TEU) (BII-1)	CEMT Va	57	75	93	276	362	448
	CEMT VIb	85	106	125	410	507	598
	Waal	93	114	132	447	545	636
Groot Rijnschip (208 TEU) (M8)	CEMT Va	44	53	64	210	255	306
	CEMT VIb	68	79	89	328	380	427
	Waal	78	87	96	373	419	459
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU) (M9)	CEMT Va	65	81	96	313	387	461
	CEMT VIb	86	101	114	414	483	547
	Waal	87	98	107	416	470	516
Koppelverband Europa IIC3I (348 TEU) (C3I)	CEMT Vb	69	87	104	329	418	498
	CEMT VIb	106	126	142	508	605	681
	Waal	107	123	136	513	589	655
Rijnmaxschip (398-470 TEU) (M12)	CEMT VIb	125	152	175	599	730	842
	Waal	122	140	156	587	674	751

* Het diesilverbruik is berekend uitgaande van een specifiek brandstofverbruik van 205 g diesel/kWh (zie Paragraaf 4.5.3) en energiedichtheid van diesel (100% fossiel) van 42,7 MJ/kg).

4.5.3 Emissiedata

De emissiefactoren voor CO₂ en SO₂ zijn direct afhankelijk van het diesilverbruik van de motoren. Ook de broeikasgasemissie N₂O en CH₄ zijn direct afhankelijk van het diesilverbruik verondersteld op basis van gegevens van de taakgroep verkeer en vervoer (Task Force on Transportation, 2020). Op basis van een specifiek brandstofverbruik van binnenvaartmotoren van 205 gram diesel per kilowattuur (op basis (Emissieregistratie, 2018) zijn de emissiefactoren per megajoule omgezet naar emissiefactoren per kilowattuur (Tabel 56)).

Tabel 56 - Emissiefactoren CO₂, N₂O CH₄ en SO₂ per kilowattuur

Emissiefactor	g/kWh	Berekend uit
CO ₂	599	205 g diesel/kWh x 2.919 g CO ₂ /kg diesel
N ₂ O	0,0173	205 g diesel/kWh x 0,085 g N ₂ O/kg diesel
CH ₄	0,061	205 g diesel/kWh x 0,30 g CH ₄ /kg diesel
SO ₂	0,0036	205 g diesel/kWh x 0,018 g SO ₂ /kg diesel

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 van NO_x en PM_v gereguleerd door regelgeving van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCNR, 2000;



2001) en later door EU-richtlijn 2004/26. 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). Stage V-motoren (Richtlijn (EU) 2016/1628) (EU, 2016) zijn verplicht vanaf 2019/2020 en speelden nog geen rol in 2018.

Voor de bouwjaarclassen zijn de gemiddelde emissiefactoren weergegeven in Tabel 57. De waarden zijn gebaseerd op bouwjaarafhankelijke emissiefactoren gegeven in het EMS-protocol van de Emissieregistratie voor de binnenvaart (Emissieregistratie, 2018).

Tabel 57 - Emissiefactoren NO_x en PM_v per bouwjaarcategorie (CCR-klasse)

Bouwjaarklasse	CCR-klasse	NO _x	PM _{2,5}	Brandstofgebruik (g/km)
1900-1974	N.v.t.	10,8	0,57	235
1975-1979	N.v.t.	10,6	0,57	230
1980-1984	N.v.t.	10,4	0,57	225
1985-1989	N.v.t.	10,1	0,475	220
1990-1994	N.v.t.	10,1	0,38	220
1995-2002	N.v.t.	9,4	0,285	205
2003-2007	CCR1	9,2	0,285	200
2008-2018/2019	CCR2	7	0,19	200
2019-20xx	Stage V L1 < 300 kW	2,9	0,09	205
2020 - 20xx	Stage V L2 > 300 kW	2,4	0,0143	190

De aandelen in de bouwjaar van de schepen zijn afkomstig uit het Europese project Prominent¹³. In het zichtjaar 2018 kozen schippers bij aanschaf van een nieuwe motor in het algemeen voor CCR2-motoren in plaats van de aanzienlijk duurdere en daarnaast nog nauwelijks verkrijgbare Stage V-motoren. Daarom gaan we ervan uit dat nieuw geïnstalleerde motoren tot en met 2018 CCR2-motoren beslaan.

Tabel 58 - Aandelen in bouwjaar per scheepstype

Aandeel per scheepstype	1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-2002	2003-2007	2008-2015	>2015
Spits	26%	18%	12%	11%	2%	3%	14%	9%	5%
Kempenaar	17%	3%	9%	12%	6%	3%	39%	8%	3%
Neo Kemp	17%	3%	9%	12%	6%	3%	39%	8%	3%
Rijn-Herne Schip	9%	1%	1%	3%	2%	8%	35%	40%	0%
Groot Rijnschip	15%	2%	4%	7%	4%	4%	37%	24%	4%
Verlengd groot Rijnschip	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	60%	0%
Rijnmaxschip	0%	0%	0%	0%	0%	1%	29%	69%	1%
4 baksduwstel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	36%	59%
6 baksduwstel (breed)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	36%	59%
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	60%	0%

¹³ In Prominent is de Noord-Europese vloot onderzocht. Omdat de Nederlandse vloot een groot aandeel heeft in de Noord-Europese vloot passen we deze verdeling toe op de Nederlandse vloot.



Op basis van de aandelen naar bouwjaar en de emissiefactoren naar bouwjaar is een gewogen gemiddelde emissiefactor voor de verschillende scheepstypen worden bepaald. Tabel 59 geeft de emissiefactoren per scheepstype voor de verschillende scheepstypen. Scheepstypen waar het gemiddelde bouwjaar van motoren ouder is hebben een hoger brandstofverbruik en bijbehorende emissies. Daarnaast zijn de emissies van de luchtvervuilende stoffen (PM_v en NO_x) hoger doordat oudere motoren minder emissie-reducerende technieken bevatten.

Tabel 59 - Gewogen gemiddelde emissiefactoren voor scheepstypen (g/kWh)

Type	CO ₂	SO ₂	PM _v	NO _x	N ₂ O	CH ₄
Spits	699	0,0040	0,48	9,82	0,019	0,066
Kempenaar	676	0,0038	0,41	9,55	0,018	0,064
Neo Kemp	676	0,0038	0,41	9,55	0,018	0,064
Rijn-Herne Schip	651	0,0037	0,30	8,54	0,017	0,062
Groot Rijnschip	664	0,0038	0,35	9,02	0,018	0,063
Verlengd groot Rijnschip	635	0,0036	0,24	7,89	0,017	0,060
Rijnmaxschip	635	0,0036	0,23	7,68	0,017	0,060
4 baksduwstel	684	0,0039	0,40	9,19	0,018	0,065
6 baksduwstel (breed)	635	0,0036	0,21	7,11	0,017	0,060
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed	635	0,0036	0,21	7,11	0,017	0,060

(Emissieregistratie, 2018) geeft aan dat een lage of erg hoge motorbelasting zorgt voor relatief hogere emissies. De hierboven genoemde emissiefactoren dienen dus gecorrigeerd te worden op basis van de belasting van de motor. Op basis van de vermogensvraag bepaald in Paragraaf 4.3.2 en het geïnstalleerde vermogen uit Tabel 53 is per scheepstype een gemiddelde vermogensvraag bepaald. Op basis van het gebruikte vermogen zijn de correctiefactoren uit (Emissieregistratie, 2018) toegepast.

4.5.4 Alternatieve technieken en brandstoffen

Voor de binnenvaartschepen zijn er meerdere alternatieve brandstoffen en technieken die toegepast worden in de huidige vloot. Nieuwe 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) (EC, 1998). Vanaf 2019/2020 geldt de Phase V-emissiestandaard voor nieuwe motoren.

LNG is een 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 <10% Diesel: Dual fuel-motoren die dedicated zijn gemaakt om zowel op diesel als LNG te kunnen draaien. Een kleine hoeveelheid (pilot injection) diesel (ca 3%) 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.

In Tabel 60 is aangegeven welk effect de technieken en brandstoffen hebben op energieverbruik en luchtverontreinigende emissies en op welke bronnen dit is gebaseerd. Met behulp het relatieve brandstofverbruik en de CO₂-, SO₂- en WTT-emissiefactoren uit Paragraaf 4.8 zijn de overige relatieve emissies bepaald.

Tabel 60 - Aannames en bronnen voor energiegebruik en luchtverontreinigende emissies alternatieve brandstoffen en technieken binnenvaart

Brandstof/ technieken	Aannames energiegebruik	Aannames luchtverontreinigende emissies
Diesel Stage V	De techniek voor motoren met een vermogen < 300 kW en ≥ 300 kW is verschillend vanwege het verschil in emissie-eisen. Op basis van (Emissieregistratie, 2018) is aangenomen dat motoren ≥ 300 kW 5% minder energie verbruiken en motoren < 300 kW 3% meer energie verbruiken ten opzichte van een CCR2-motor.	De Stage V-emissie-eisen zijn veel scherper dan voor CCR2 en Stage IIIa. De emissie(reductie)s zijn gebaseerd op (Emissieregistratie, 2018).
Dieselektrisch	Dieselektrische motoren hebben op zichzelf een hoger dieselverbruik per geleverde energie door het hogere interne energieverlies in de aandrijflijn. Wanneer twee generaoren worden ingezet of een generator met een variabel toerental, dan kan energie worden bespaard door een optimalere (deel)belasting van de motoren. Of er wel of geen winst behaald wordt zal ook afhangen van het vaarprofiel. Gemiddeld genomen nemen we aan dat het energieverbruik gelijk blijft (TNO, 2018b).	Voor de luchtverontreinigende stoffen is aangenomen dat emissies van diesel-elektrisch (CCR), net als het energie-verbruik, gelijk is aan de CCR2-diesel-variant. Mogelijk is er voor Stage V-dieselektrisch een voordeel ten opzichte Stage V-diesel, omdat bij een betere belasting van de motor de SCR en DPF beter functioneren (TNO, 2018b).
(bio-)LNG, pilot injection <10% D	Het energieverbruik (in MJ) van motoren met LNG ligt ongeveer 5% hoger. De CO ₂ -uitstoot per MJ brandstof is echter lager (zie Paragraaf 4.8). (TNO, 2015d).	De emissiereductie voor PM _v en NO _x zijn gebaseerd (TNO, 2015d), (VIA Donau, 2015) en (CE Delft, 2015a). De LNG single fuel behaald de hoogste reducties, de dual fuel met 20% diesel de laagste.
LNG, dual fuel, 20%D		
LNG, single fuel, SI		
HVO-CCR2 HVO Stage V GTL CCR2	HVO en GTL hebben een vergelijkbare brandstofkwaliteit. Het brandstofverbruik (MJ diesel/kWh) is gelijk als voor diesel (zie ook (VIA Donau, 2015).	HVO en GTL hebben lagere NO _x - (10%) en PM- (20%) emissies wanneer toegepast in een CCR2-motor (VIA Donau, 2015; Shell, 2020). Voor Stage V-motoren is aangenomen dat, net als voor Euro 6-weg-motoren, GTL en HVO geen effect hebben op de emissies.
SCR/DPF CCR2	SCR en DPF hebben nagenoeg geen effect op het brandstofverbruik. Voor DPF is vanwege tegendruk met een 1% hoger brandstofverbruik gerekend (VIA Donau, 2015).	SCR verlaagd de NO _x -emissies met gemiddeld 80%. Afhankelijk van de instelling en ureumdosering kan dit hoger of lager uitvallen. Een te hoge dosering kan echter tot onwenselijke NH ₃ -emissies leiden. SCR heeft daarnaast ook een reducerend effect op de PM _v -emissies van ca. 10% DPF reduceert PM _v -emissies met gemiddeld 90%. (VIA Donau, 2015)

4.6 Zeevaart

In *STREAM 2020* wordt niet alleen naar short sea-scheepvaart gekeken, maar ook naar deep sea-scheepvaart. Dit heeft als consequentie dat we in deze versie van *STREAM* niet alleen uitgaan van scheepvaart in de SECA¹⁴ van de Noord en Baltische zee, maar ook van emissie-eisen voor de deep sea-scheepvaart. Op 1 januari 2020 is nieuwe zwavelregelgeving van de Internationale Maritieme Organisatie, IMO, van kracht geworden. Sindsdien geldt dat zeeschepen alleen nog op laagzwavelige dieselolie mogen varen (max 0,5% S) of een alternatief toepassen waarmee de zwaveluitstoot vergelijkbaar laag of lager is (o.a. scrubbers, LNG). Ondanks dat deze regeling in het basisjaar 2018 nog niet van kracht was, nemen we deze nieuwe regelgeving wel mee in de huidige versie van *STREAM*. De impact van de zwavelarme HFO op de fijnstofemissies (PM_{10}) en SO_2 -emissies is dermate groot dat de cijfers zonder deze aanpassing geen waarde zouden hebben voor de huidige situatie.

4.6.1 Methode

De emissies per tonkilometer (EF_{tkm}) zijn bepaald op basis van het energieverbruik per tonkilometer (E_{tkm}) en emissiefactoren per MJ brandstof (EF_{MJ}) volgens Formule 18.

$$EF_{tkm} = E_{tkm} \times EF_{MJ} \quad (18)$$

Het energieverbruik per tonkilometer (E_{tkm}) is daarbij bepaald door per scheepscategorie het totale energieverbruik per jaar (E_{jaar}) te delen door de totale tonkilometers over een jaar (tkm_{jaar}), volgens Formule 19.

$$E_{tkm} = \frac{E_{jaar}}{tkm_{jaar}} \quad (19)$$

De scheepscategorieën zijn gebaseerd op type goederen en grootte volgens categorieën gebruikt in *STREAM 2016* (CE Delft, 2016b) en in de 4th IMO GHG Study (IMO, 2020) voor bulkcarriers, general cargoschepen, oil tankers en containerschepen.

4.6.2 Energiegebruik

Vanaf 1 januari 2018 moeten grote schepen met een Gross Tonnage (GT)¹⁵ van meer dan 5.000 ton die lading of passagiers laden of lossen in havens in de Europese Economische Ruimte (EER) CO_2 -emissies en andere relevante informatie monitoren en rapporteren. Monitoring, rapportage en verificatie (MRV) van informatie gebeurt in overeenstemming met Verordening 2015/757 en Verordening 2016/2071.

De berekeningen voor het energieverbruik per tonkilometer zijn voor schepen met een gewicht groter dan 5.000 GT, gebaseerd op deze gegevens. Voor schepen kleiner dan 5.000 GT zijn gegevens van Nederlandse scheepseigenaren (KVNR, 2018) gebruikt.

De rekenmethodiek en bijbehorende bron is daarom niet gelijk aan *STREAM 2016*. Waar in *STREAM 2016* de berekeningen gebaseerd zijn op meer theoretische data uit de 3rd IMO GHG Study, wordt in *STREAM 2020* gebruikgemaakt van de door schepen gemeten en opgegeven data uit de EU-MRV-database en de KVNR-database.

¹⁴ Sulphur Emission Control area: eis maximaal 0,1% S.

¹⁵ Gross Tonnage is een non-lineaire indicator voor het interne volume van een schip.



In de EU-MRV-database (EMSA, 2018) zijn per schip onder andere de volgende gegevens te vinden:

- a totaal brandstofverbruik per jaar (tonnen);
- b gemiddeld jaarlijkse brandstofverbruik per tonkilometer (kg/tkm)¹⁶;
- c gemiddeld jaarlijkse brandstofverbruik per kilometer (kg/km).

Ook kunnen de volgende waarden per schip worden afgeleid:

- tonkilometers per jaar (a/b);
- kilometers per jaar (a/c).

Via het IMO-nummer is deze data gekoppeld aan data uit Clarksons World Fleet Register (Clarksons, 2020), waardoor ook de grootte van de schepen (in dwt) aan de data toegevoegd kon worden en ook de dwt-km berekend konden worden (*dwt-km*).

Op basis van het jaarlijkse brandstofverbruik (*Fuel*) en de tonkilometers (*tkm*) van de schepen (*s*) uit een bepaalde categorie (*cat*) is het gemiddelde energieverbruik (MJ/tkm) per categorie als volgt bepaald:

$$E_{tkm(cat)} = \frac{\sum_{s-cat}(Fuel_s \times 1000 \times ED_s)}{\sum_{s-cat}(tkm_s)} \quad (20)$$

Daarbij staat *ED* voor het energiedichtheid van de brandstof (in MJ/kg). De EU-MRV-database geeft niet aan welk type brandstof (MGO of HFO) er is gebruikt. De energiedichtheid die gebruikt is voor de berekeningen voor de schepen boven de 5.000 GT is daarom voor alle schepen het gemiddelde (41,9 MJ/kg) van HFO (41,0 MJ/kg) en MGO (42,7 MJ/kg)¹⁷.

Naast het energieverbruik is ook de gemiddelde benuttingsgraad per scheepscategorie berekend door de totale tonkilometers per categorie te delen door de totale dwt-kilometers (zie Hoofdstuk 5). Schepen met een benuttingsgraad boven de 100% of onder de 10% zijn niet meegenomen in de berekeningen.

Voor de schepen onder de 5.000 dwt is de database gebruikt van de Koninklijke Vereniging van Nederlandse Reders (KVNR), die van schepen met een Nederlandse scheepseigenaar verschillende gegevens bijhoudt. De database bevat onder andere gegevens over:

- a de grootteklasse (in dwt);
- b brandstofverbruik, per type brandstof;
- c de gevaren afstand.

Uit deze gegeven kan worden afgeleid:

- dwt-kilometers per schip (d·f).

Uit bovenstaande data is gemiddeld energiegebruik (in MJ/tonkm) ook volgens Formule 20 berekend, waarbij wel onderscheid gemaakt kon worden naar de verschillende brandstoffen (HFO, MGO, LNG) die worden gerapporteerd. De tonkilometers zijn niet rechtstreeks te herleiden uit de data en zijn berekend volgens Formule 21, waarbij is aangenomen dat de schepen onder de 5.000 dwt (*cat1*) een gelijke benutting hebben als de bovenliggende categorie (*cat2*) uit de EU-MRV-database.

¹⁶ In de database staan in plaats van tonkm en km nautical miles (nm) vermeld. 1 nm komt overeen met 1.852 km.

¹⁷ Zie voor de energiedichtheid brandstoffen Paragraaf 4.8.



De totale tonkilometers van de schepen onder de 5.000 dwt (*tkm*) zijn vervolgens berekend uit de dwt-kilometers (*DWTKM*) en de benutting volgens Formule 21.

$$\sum_{s-cat1}(tkm_s) = \sum_{s-cat1}(DWTKm_s) \times Benutting_{cat2} \quad (21)$$

Er is bij de maritieme scheepvaart geen onderscheid meer gemaakt tussen middelzwaar en zwaar transport, mede omdat uit de vorige versie van *STREAM* bleek dat er nauwelijks verschil is tussen de twee categorieën. Licht transport in de categorie general cargo wordt wel onderscheiden. Er is hiertoe een uitsnede uit de database gemaakt van al het transport met een benutting lager dan 50%.

In de EU-MRV-database wordt bij de rapportage van de tonkilometers van containertransport uitgegaan van het gewicht van de lading inclusief container. De berekende emissies per tonkilometer worden daarom gecorrigeerd met een factor 9.6/7.6, de verhouding tussen het gewicht van een gemiddelde container inclusief containergewicht en exclusief containergewicht (zie Hoofdstuk 5).

4.6.3 Emissiedata

Emissies per megajoule van CO₂, N₂O, CH₄ en SO₂

De emissiefactoren (in g/MJ) voor CO₂, N₂O en CH₄ en SO₂ zijn direct afhankelijk van het brandstofverbruik en het type brandstof, maar zijn onafhankelijk (verondersteld) van de type motor. In Tabel 61 zijn de emissiefactoren voor zwavelarme HFO en MDO gegeven. Volgens de 4th IMO GHG Study (IMO, 2020) bestond de brandstofmix voor de maritieme scheepvaart in 2018 ongeveer uit 65-75% HFO, 22-32% MDO en 3% LNG. MDO wordt daarbij vooral toegepast voor de hulpmotoren (auxiliary engines) en in SECA-gebieden. Door de beperking op de zwaveluitstoot zal naar verwachting het aandeel MDO toenemen. Voor de huidige studie gaan we daarom uit van een gemiddelde van HFO en MDO. Deze aanname heeft met name effect op de zwaveluitstoot. De gemiddelde emissiefactoren die zijn toegepast voor maritieme zeevaart zijn weergegeven in de laatste regel van Tabel 61.

Tabel 61 - Brandstofverbruik afhankelijk emissiefactoren (per MJ) voor maritieme zeevaart

	CO ₂ (g/MJ)	CH ₄ (mg/MJ)	N ₂ O (mg/MJ)	SO ₂ (g/MJ)
HFO (0,5% S)	75,95	7,0	2,0	0,24
MDO (0,1% S)	75,08	7,0	2,0	0,05
Gemiddeld (50% HFO, 50% MDO)	75,52	7,0	2,0	0,15

Bron: (Task Force on Transportation, 2020); SO₂ is berekend op basis van het gegeven zwavelgehalte.

De PM_v- en NO_x-emissies zijn niet alleen afhankelijk van het brandstofverbruik en het type brandstof, maar ook van het type motor. In (MARIN, 2019) worden gedetailleerde emissiefactoren naar type motor (hoofdmotor hulpmotor en boiler), leeftijdscategorie en type brandstof gegeven, die zijn gebruikt voor de huidige studie.

Voor de PM_v-emissiefactoren is met betrekking tot brandstof met name het zwavelgehalte van groot belang, omdat zwavel een belangrijke bron is van secundair gevormde fijnstof. Tabel 62 geeft voor HFO en MDO de bouwjaar-gewogen emissiefactoren voor PM_v naar brandstof en type motor. Daarnaast is het gemiddelde wat hieruit is bepaald en dat is



toegepast voor de berekening van de PM_v-emissiekentallen weergegeven. Er is voor gekozen om met een gemiddelde PM_v-factor (in g/kg brandstof) voor alle scheepscategorieën te werken, omdat de onzekerheid over de brandstofsamenstelling onder de eisen voor laag-zwavelige brandstof te groot is om op scheepscategorie een zinvol onderscheid te maken.

Tabel 62 - PM_v-emissiefactoren naar type motor en gemiddeld (g/kg brandstof)

	Main engine	Aux engine	Boiler	Bron
HFO (0,5% S)	2,49	2,49*	N.v.t.	Berekend door interpolatie van emissiefactoren voor HFO (1%S), MDO (0,2%) en MDO (0,1%) in (MARIN, 2019) en (MARIN, 2014) en gemiddeld aandeel brandstofverbruik naar bouwjaarklasse uit (EMSA, 2018)
MDO (0,1% S)	1,38	1,27	0,7	(MARIN, 2019) en gemiddeld aandeel brandstofverbruik naar bouwjaarklasse uit (EMSA, 2018)
Gemiddeld	1,7			Berekend op basis gemiddelde verhouding energieverbruik main engine, aux engine en boiler uit (IMO, 2020) en een 50:50-verhouding tussen HFO en MDO

* Gelijk verondersteld aan main engine.

De NO_x-emissies van de zeeschepen zijn ook afhankelijk van het type motor (hoofdmotor, hulpmotor en boiler), maar ook van de IMO-emissiestandaard waaraan de motor voldoet. De motoren in de scheepvaart met een bouwjaar na 2000 moeten voldoen aan IMO-emissie-eisen. Motoren uit de periode van 2000 tot 2010 moeten voldoen aan de Tier I-standaard, motoren en na 2010 aan de Tier II-standaard. Per 1 januari 2016 zijn in Noord-Amerika zogenaamde NECAs (NO_x emission control area's) ingesteld, waar schepen aan Tier III moeten voldoen.

Op basis van een gemiddelde verdeling van brandstofverbruik naar bouwjaar volgens de EU-MRV-database (EMSA, 2018), en de emissiefactoren naar Tier-level en bouwjaarklasse uit (MARIN, 2019) zijn de gemiddelde NO_x-emissiefactoren naar type motor berekend (zie Tabel 63). Vervolgens is op basis van de verhouding van het jaarlijks energieverbruik van de verschillende motoren (hoofdmotor, hulpmotoren en boiler) per scheepsklasse de gemiddelde NO_x-emissiefactor (in g/kg brandstof) berekend. Voor de verhouding van het jaarlijks brandstofverbruik per type motor is gebruik gemaakt van het energieverbruik naar type motor in de 4th IMO GHG Study (IMO, 2020). Er is voor NO_x (in tegenstelling tot PM_v) dus wel onderscheid gemaakt naar scheepsklasse omdat het aandeel brandstofverbruik van de boiler een grote impact heeft op de gemiddelde NO_x-emissiefactor (in g NO_x/kg brandstof), terwijl NO_x-emissies niet afhangen van het zwavelgehalte. Het aandeel boilergebruik is bijvoorbeeld bij olietankers veel groter dan bij de andere schepen, omdat de boiler onder andere gebruikt wordt om de ruwe olie te verwarmen zodat deze vloeibaar blijft tijdens het transport. De naar grootteklasse gedifferentieerde NO_x-emissiefactoren die zijn toegepast om de emissiekentallen per tonkm te berekenen zijn gegeven in Tabel 64.

Tabel 63 - NO_x-emissiefactoren naar type motor (g/kg brandstof)

	Main engine	Aux engine	Boiler	Bron
NO _x	86	46	3.5	Op basis van emissiefactoren naar bouwjaar (MARIN, 2019) en gemiddeld aandeel brandstofverbruik naar bouwjaarklasse uit (EMSA, 2018)

Tabel 64 - NO_x-emissiefactoren (g/kg brandstof) per type schip en grootteklasse

Type schip	Grootteklasse	NO _x -emissiefactor (g/kg brandstof)
Gemiddeld	Gemiddeld	68
Bulkcarrier	Gemiddeld	79
	0-4.999 dwt	71
	5.000-9.999 dwt	71
	10.000-34.999 dwt	79
	35.000-59.999 dwt	78
	60.000-99.999 dwt	77
	100.000-199.999 dwt	81
	200.000 + dwt	82
	General cargo ship	Gemiddeld
0-4.999 dwt		80
5.000-9.999 dwt		71
10.000-19.999 dwt		73
20.000 + dwt		77
Oil tanker	Gemiddeld	54
	0-4.999 dwt	40
	5.000-9.999 dwt	45
	10.000-19.999 dwt	45
	20.000-59.999 dwt	48
	60.000-79.999 dwt	56
	80.000-119.999 dwt	54
	120.000-199.999 dwt	59
	200.000 + dwt	69
Containership	Gemiddeld	77
	0-999 TEU	69
	1.000-1.999 TEU	72
	2.000-2.999 TEU	75
	3.000-4.999 TEU	77
	5.000-7.999 TEU	80
	8.000-11.999 TEU	80
	12.000-14.499 TEU	80
	14.500-19.999 TEU	79
	20,000+ TEU	77

Bron: Berekend op basis van Tabel 63 en aandelen naar type motor in (IMO, 2020).

4.6.4 Alternatieve technieken en brandstoffen

Voor de zeevaart wordt zoals in de voorafgaande paragraaf aangegeven, uitgegaan van een 50:50-mix van MDO (0,1%S) en HFO (0,5 %S). Met deze brandstofmix en Tier II-motoren als referentie hebben we in Paragraaf 3.5.3 de relatieve emissies opgenomen van de volgende alternatieve brandstoffen en technieken:

- Tier II- en III-motoren: De Tier-klassen definiëren 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. De Tier III-norm zal na invoering van NECAs (NO_x Emission Control Areas) op de Noordzee en Oostzee in 2021 gaan gelden. In Noord-Amerika bestaan deze NECAs op dit moment al.

- MDO (0,1% zwavelgehalte): MDO is een lichtere dieselolie, die vaak in auxillary engine en in NECA-gebieden wordt ingezet. Door het lagere zwavelgehalte zijn de PM_v- en SO₂-emissies lager dan voor HFO.
- HFO (2,7% zwavelgehalte) met een scrubber. De scrubber is een nabehandelingstechniek waarmee zwavel uit de uitlaatgassen gewassen kan worden. Hierdoor mogen de schepen op zware stookolie blijven varen met een hoger zwavelgehalte.
- LNG single/dual fuel: LNG is door het grote verbruik van zeeschepen en de lagere brandstofkosten een interessante optie. Single fuel LNG- (SI, Lean burn) motoren maken gebruiken vonkontsteking (spark ignition). De dual fuel-motoren zijn op basis van compressieontsteking, waarbij diesel nodig is voor de ontsteking. In het geval van de dual fuel manifold injectionstechnologie wordt de diesel in het inlaatspruitstuk (manifold) toegediend. Bij direct diesel injection is dit direct in de cilinder. De laatste methode brengt minder methaanemissies met zich mee.

De aannames die zijn gehanteerd voor het energiegebruik en luchtvervuilende TTW-emissies van de alternatieve brandstoffen en technieken zijn weergegeven in Tabel 65. De CO₂-, SO₂- en WTT-emissies zijn afgeleid uit het energiegebruik en de brandstofemissiefactoren in Paragraaf 4.8.

Tabel 65 - Aannames en data bronnen voor energiegebruik en luchtvervuilende emissies voor alternatieve brandstoffen en technieken voor maritieme zeevaart

Brandstof/techniek	Aannames energiegebruik	Aannames over luchtverontreinigende emissies
Tier II & III HFO/MDO	Energiegebruik van Tier II en III is gelijk verondersteld aan gemiddelde op basis van (MARIN, 2019).	Voor Tier II (emissionorm geldt vanaf 2011) geldt een lagere NO _x -emissie van gemiddeld 10% vergeleken met de gemiddelde NO _x -emissie (MARIN, 2019). Tier III-motoren (emissionorm geldt vanaf 2016) heeft ongeveer 73% lagere NO _x -emissies dan Tier II (IMO, 2020) De Tier-norm heeft geen effect op andere luchtvervuilende emissies.
MDO (0,1% S)	Het gebruik van MDO leidt tot een iets hoger energieverbruik (3%)	Het lagere zwavelgehalte zorgt voor lagere PM _v - (23%) en SO ₂ -emissies (80%) (MARIN, 2019).
HFO (2,7% S) + Scrubber	+2% door energiegebruik van pompen en consumptie van caustic soda (CE Delft, 2015a)	Er is aangenomen dat met de scrubber hetzelfde zwaveluitstoot- en fijnstofuitstootniveau wordt bereikt als met HFO 0,5%. De aard van fijnstof kan echter wel verschillen.
(bio)LNG	DE LNG motoren zijn iets minder efficiënt dan de Dieselmotoren en gebruiken ongeveer 3% meer energie (TNO, 2015d)	De PM _v -emissies van met name de LNG single fuel (SI, Lean burn) worden ingeschat op 0,03 g/kWh en zijn daarmee tot 90% lager dan van diesel (TNO, 2015d). Voor dual fuel komen de emissies uit op 0,2 g/kWh (32% reductie). De NO _x -emissies voor alle LNG-opties zijn met 4 g/kWh 72% lager dan in de dieselvariant (TNO, 2015d).

4.7 Luchtvaart

Luchtvaart werd in de 2016-editie van *STREAM* nog niet meegenomen; de methodiek die in deze publicatie gebruikt wordt is daarom nieuw. Er wordt voor vliegtuigen geen onderscheid gemaakt naar type goederen. Aangenomen wordt dat de goederen overwegend licht zijn.

4.7.1 Methode

De gemiddelde emissies per kilometer zijn berekend op basis van daadwerkelijk gevlogen vluchten van en naar Schiphol in 2018. De data die in deze studie gebruikt worden zijn beschikbaar gesteld door Schiphol Airport en omvatten een overzicht van alle vertrekkende en aankomende vluchten in 2018. Van deze vluchten is ook het IATA-toesteltype, de beladingsgraad (zowel passagiers als vracht¹⁸) en de afstand tussen twee luchthavens geleverd. Hiermee zijn het brandstofverbruik, de CO₂-emissies en vervolgens de luchtvervuilende emissies berekend worden. Voor full-freight-vliegtuigen, die vaker een tussenstop maken, is er gebruik gemaakt van laadfactoren om te corrigeren voor lading die al aanwezig was van in het vliegtuig. Op basis van (IFEU; INFRAS; IVE, 2019) en (BEIS, 2020) is uitgegaan van een laadfactor van 53% voor short-distance, 73% voor medium-distance en 75% long-distance.

De emissies per tonkilometer (EF_{tkm}) zijn bepaald op basis van het energieverbruik per tonkilometer (E_{tkm}) en emissiefactoren per MJ brandstof (EF_{MJ}) volgens Formule 22.

$$EF_{tkm} = E_{tkm} \times EF_{MJ} \quad (22)$$

Het energieverbruik per tonkilometer (E_{tkm}) is daarbij bepaald door per vliegtuigcategorie het totale energieverbruik per jaar (E_{jaar}) te delen door de totale tonkilometers over een jaar tkm_{jaar} , volgens Formule 23. Het energieverbruik per jaar is daarbij afgeleid van de CO₂-uitstoot (zie Paragraaf 4.7.2).

$$E_{tkm} = \frac{E_{jaar}}{tkm_{jaar}} \quad (23)$$

Er wordt onderscheid gemaakt naar twee typen vrachtvervoer: full-freight en belly-freight. Een full-freight-vliegtuig vervoert alleen maar vracht, terwijl een belly-freight-vliegtuig in principe passagiers vervoert, maar daarnaast ook vracht mee kan nemen. Verder wordt er ook onderscheid gemaakt naar drie afstandsklassen: korte vluchten (< 1.500 km), middel-lange vluchten (tussen 1.500 en 6.000 km) en lange vluchten (> 6.000 km). De meeste Europese vluchten vallen onder de korte afstand. De afstandsgrenzen zijn zo gekozen dat de gemiddelde emissiefactor zo representatief mogelijk is voor de categorie (zie ook Figuur 10, in Paragraaf 4.7.2).

In *STREAM* zijn de klimaateffecten van niet-CO₂-emissies¹⁹ niet meegenomen in de cijfers. In het volgende tekstkader wordt hierover meer uitleg gegeven.

Klimaateffect van niet-CO₂-emissies van de luchtvaart

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikas effect groter dan alleen die van de CO₂, methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Voornamelijk condensstrepen, NO_x-emissies en effecten op wolkvorming leveren een grote bijdrage aan de opwarming van de aarde. Deze bijdragen treden met name op boven de 9.000 meter. Het effect van deze niet-CO₂-emissies is echter lokaler en heeft een kortetermijn karakter. Het effect is echter wel significant en in 2005 werd ingeschat dat de klimaatimpact (radiative forcing) van luchtvaart voor 40% wordt bepaald door de

¹⁸ Alleen de in Schiphol geladen en geloste vracht is bekend. Vrucht die al aanwezig was in het vliegtuig is onbekend.

¹⁹ CH₄ en N₂O worden wel meegenomen.



CO₂ in de lucht afkomstig van luchtvaart en voor 60% door niet-CO₂-emissies (EEA; EASA: EUROCONTROL, 2019). Deze verhouding heeft betrekking op de effecten van de CO₂-concentraties in de lucht en is daarom niet direct te vertalen naar hoe het effect van de niet-CO₂-emissies zich verhoudt tot de CO₂-emissies. Hierover is veel discussie en de effecten, van met name wolkvorming zijn moeilijk in te schatten. In veel methodieken wordt een factor 2 toegepast op de CO₂-emissies van de vlucht of van de cruise fase (INFRAS, 2019b). Vanwege de onzekerheid in de kwantificatie van het effect en om de scope van de CO₂-equivalenten (CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies) duidelijk te houden voor de verschillende modaliteiten hebben we in *STREAM* ervoor gekozen het effect niet in de rapportage op te nemen, maar in dit tekstkader wel te benoemen.

4.7.2 Energiegebruik en CO₂-emissies

Het energieverbruik per tonkm is afgeleid uit de CO₂-emissies per tonkm met een factor van 71,5 g CO₂/MJ (zie Paragraaf 4.8). Op basis van de jaarlijkse CO₂-emissies per categorie vliegtuigen (CO_{2-v}) en de tonkilometers (tkm) van de vliegtuigen (v) uit een bepaalde categorie (cat) is het gemiddelde energieverbruik per categorie ($E_{tkm(cat)}$) als volgt bepaald:

$$E_{tkm(cat)} = \frac{\sum_{v-cat}(CO_{2-v} \times \frac{1}{71,5})}{\sum_{v-cat}(tkm_v)} \quad (24)$$

Om het totaal aan energiegebruik en de CO₂-emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is gebruik gemaakt van de Small Emitters Tool (SET) en is in het geval van belly-freight een verdeelsleutel toegepast om de emissies te kunnen verdelen in passagiers- en vrachtemissies. De tonkilometers per vliegtuigcategorie zijn direct uit de Schiphol database te herleiden waarin per vlucht de afstand- (vogelvluchtafstand) en tonnagegegevens zijn opgenomen.

CO₂-emissies en energiegebruik via Small Emitters Tool

De Small Emitters Tool (SET) wordt beheerd door EUROCONTROL. De SET is een rekentool die het brandstofverbruik van een vlucht en daaraan gelieerde CO₂-emissies gedurende de hele vlucht inzichtelijk maakt. De tool is ontwikkeld om de luchtvaartemissies van kleinere maatschappijen²⁰ te berekenen die onder hun intra-Europese vluchten EU ETS-emissierechten moeten overhandigen.

De SET is gebouwd op het daadwerkelijke brandstofverbruik van verschillende typen toestellen onder verschillende omstandigheden (EUROCONTROL, 2020). Dat houdt in dat er voor individuele vluchten verschillen zullen zijn tussen het gemodelleerde brandstofverbruik uit de SET en het daadwerkelijke brandstofverbruik. Dit kan bijvoorbeeld te maken hebben met het gewicht aan boord (passagiers/vracht), de meteorologische omstandigheden (wind) of vertragingen bij de luchtverkeersleiding. Omdat wij de SET echter voor een grote hoeveelheid vluchten gebruiken verwachten wij niet dat dergelijke individuele afwijkingen het eindbeeld zullen verstoren.

De meest recente (2019) versie van de SET is gebruikt in de berekeningen. Om de data van Schiphol te kunnen gebruiken in de SET moesten de IATA-toesteltypen omgezet worden naar

²⁰ Volgens de EU ETS-wetgeving is de definitie van een kleinere maatschappij een maatschappij die ofwel (i) minder dan 243 vluchten per periode van vier maanden voor drie achtereenvolgende periodes van vier maanden; of (ii) waarvan hun totale jaarlijkse CO₂-uitstoot minder dan 25.000 ton per jaar is (NEa, 2020).



ICAO-toesteltypen. Daarnaast moest er gecorrigeerd worden voor het feit dat vliegtuigen vrijwel nooit de kortste route tussen twee steden mogen vliegen. Dit kan standaard in de SET door rekening te houden met een omvliegafstand van 95 km. Met de SET zijn vluchtdata naar toesteltype en afstand omgezet naar brandstofverbruik en CO₂-emissies per toesteltype en afstandscombinatie.

Toewijzing naar passagiers en vracht

De output uit de SET is vervolgens omgerekend naar gemiddelde energieverbruik en CO₂ per tonkilometer via Formule 24. Voor full-freight-toestellen is dat eenvoudig te doen omdat 100% van het brandstofverbruik toegewezen kan worden aan de vervoerde vracht.

Bij gecombineerde toestellen worden echter zowel passagiers als vracht vervoerd en dienen energieverbruik en CO₂-emissies te worden verdeeld onder passagiers en vracht.

Het vervoeren van vracht in passagiersvliegtuigen kan worden gezien als een extra bonus omdat de vlucht al plaats zal vinden vanwege de passagiers. Er worden echter grote hoeveelheden vracht stelselmatig via passagiersvluchten vervoerd. In Nederland gaat het om 60% (bron CBS) in 2018. Het vervoeren van vracht via passagiersvluchten gebeurt dus systematisch en daarom kan vracht via passagiersvoertuigen niet gezien worden als bonus. Het is dus niet terecht om alle emissies te categoriseren onder passagiers.

Er zijn verschillende manieren waarop men deze onderverdeling kan maken. Men kan er ten eerste voor kiezen om emissie toe te delen aan de hand van economische allocatie.

Theoretisch is dit interessant, maar in de praktijk vereist het informatie die niet publiekelijk beschikbaar is, onder andere over de kosten van het vervoeren van passagiers en vracht en de prijzen die betaald zijn. Een tweede optie is om er conform de Europese Standaard EN16258 van uit te gaan dat een gemiddelde passagier (incl. bagage) 100 kg weegt en vervolgens het energiegebruik of de CO₂-emissies te verdelen op basis van de gesommeerde gewichten van vracht en passagiers. Deze methodiek wordt gehanteerd in (IFEU; INFRAS; IVE, 2019), maar leidt vaak tot een relatief laag aandeel van passagiers-transport in het energiegebruik en de CO₂-emissies van luchtvaart.

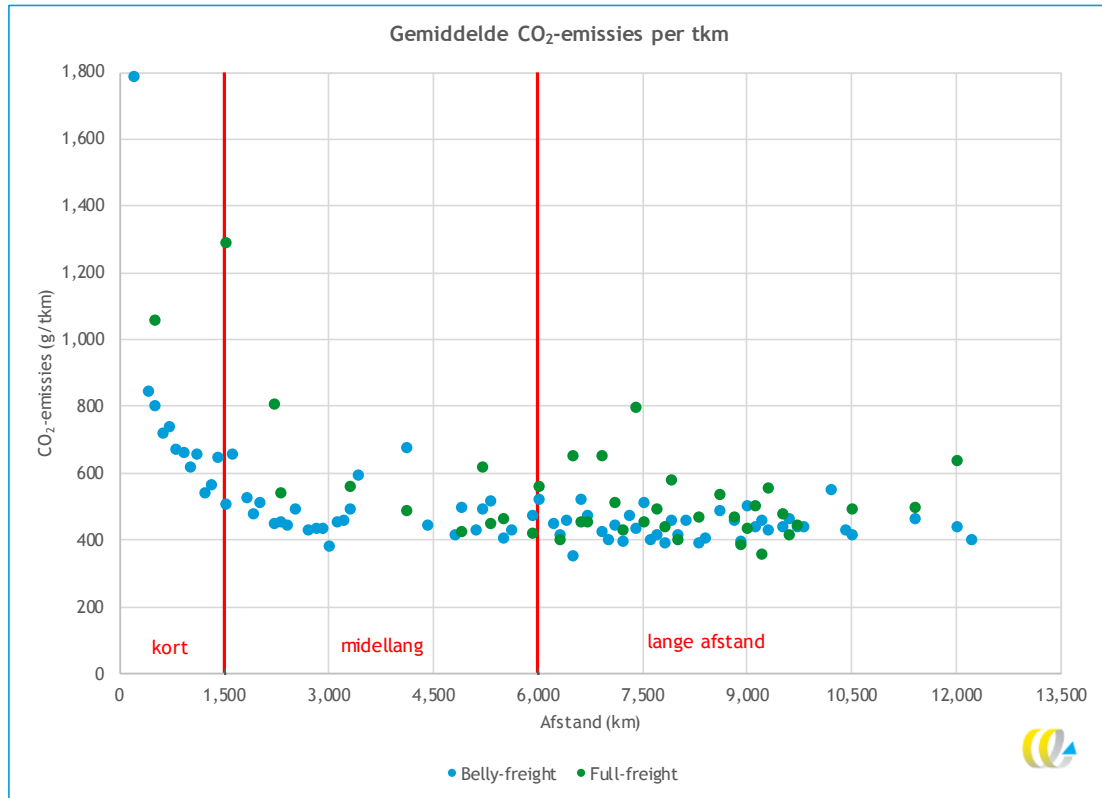
Een derde optie is daarom om ervan uit te gaan dat een gemiddelde passagier (incl. bagage) 100 kg weegt, en dat men daarnaast ook nog rekening houdt met 50 kilo per stoel aan boord. Het maakt daarbij niet uit of deze stoel bezet is door een passagier of niet. Deze 50 kg per stoel dekt het gewicht van de faciliteiten die benodigd zijn om de passagiers te verzorgen, zoals stoelen, wc's, keukens en het personeel aan boord. Deze methodiek wordt gebruikt in de ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology (ICAO, 2017) en door de ICCT (2019) en is vastgelegd in de recommended practice 1678 van IATA (2014).

De laatste methode hebben we gebruikt voor *STREAM*. Het energieverbruik toegewezen naar goederen is berekend uit het gemiddeld aantal passagiers per vlucht (*#Pax*), het aantal stoelen per vlucht (*#stoelen*) en het gewicht van de goederen per vlucht (*G_{goederen}*) volgens Formule 25.

$$E_{goederen-vlucht} = E_{totale vlucht} \times \frac{G_{goederen} (kg)}{G_{goederen} (kg) + \#Pax \times 100 + \#stoelen \times 50} \quad (25)$$

De resultaten per afstandsklasse (met een aggregatie van vluchten per 100 km) zijn weergegeven in Figuur 10. Daarbij is aangegeven waar de grenzen liggen voor de korte, middellange en lange afstand waarvoor de gemiddelde emissiekentallen in Hoofdstuk 2 en 3 zijn gerapporteerd.

Figuur 10 - CO₂ per tkm naar afstand voor belly-freight en full-freight



4.7.3 Emissiedata

De CO₂-emissies zijn berekend zoals aangegeven in de vorige paragraaf. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart zijn niet direct gelinkt aan het brandstofverbruik van het toestel, maar zijn afhankelijk van het motortype en de stuwkracht (in het Engels ‘*thrust*’). Bij hogere thrust-settings, zoals gebruikelijk bij het opstijgen, komen veel meer luchtvervuilende emissies vrij dan bij lagere thrust-settings, zoals cruise of tijdens het dalen. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen vliegtuigmotortypen te vinden. Aangezien vliegtuigbouwers hun klanten graag de keuze geven qua motor is het niet het geval dat alle toestellen van hetzelfde toesteltype ook dezelfde motor hebben.

Om de luchtvervuilende emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is gebruik gemaakt van de Aviation Emissions Calculator van de European Environment Agency (EEA, 2019). Verder is ook hier gebruik gemaakt van de verdeelsleutel tussen vracht- en passagiersemissies, zoals eerder toegelicht in Paragraaf 4.7.2.

Aviation Emissions Calculator

De Aviation Emissions Calculator van de EEA geeft per toestel en per gevlogen afstand onder andere de uitstoot NO_x, SO_x, H₂O, CO, HC, nvPM²¹, vPM²² en totale PM. Omdat het motortype erg kan verschillen, zelfs binnen hetzelfde toesteltype, heeft de EEA de uitstoot

²¹ Non-volatile PM.

²² Volatile PM.

gemodelleerd met het meest voorkomende motortype in 2015 per toesteltype. Zo modelleren ze bijvoorbeeld de uitstoot van een Airbus A320 met twee motoren van het type 3CM026, omdat dat de meest voorkomende configuratie in 2015 was.

De data die we gebruiken om de uitstoot te kunnen berekenen zijn daadwerkelijk gevlogen vluchten van en naar Schiphol in 2018. Het toesteltype waarmee gevlogen is, is bekend, maar de precieze motorconfiguratie niet. We hebben er daarom voor gekozen de Aviation Emissions Calculator met de meest voorkomende configuratie per toesteltype te gebruiken. Een nadeel van het gebruik van de Calculator is echter dat een aantal nieuwere toestellen die wel in onze dataset te vinden zijn, niet in de Calculator staan, zoals de A380 en de toestellen uit de A320neo-familie.

In de berekening voor de luchtvervuilende emissies konden we daarom voor een aantal vluchten geen luchtvervuilende emissies berekenen, zoals aangegeven in Tabel 66. Dat aantal is echter beperkt en heeft daarom het nauwelijks gevolgen voor de gepresenteerde emissies per tonkilometer.

Tabel 66 - Percentage vluchten waar geen luchtvervuilende emissies voor berekend konden worden

	Belly-freight-toestel	Full-freight-toestel
Korte afstand	2,5%	0,2%
Midden afstand	6,7%	0%
Lange afstand	3,8%	0,05%

De Aviation Emissions Calculator berekent de uitstoot van luchtvervuilende emissies onderverdeeld naar LTO-emissies en CCD-emissies. LTO-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens het landen en opstijgen (Landing and Take-Off). CCD-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens de klimfase, cruise fase en daalfase van een vlucht (Climb, Cruise and Descent). De LTO-emissies worden uitgestoten tot 3.000 voet, terwijl de CCD-emissies daarboven worden uitgestoten. In de tabellen maken we daarom ook onderscheid naar LTO en CCD omdat luchtvervuilende emissies op grote hoogte (CCD-emissies) hoog in de atmosfeer blijven en geen directe gevolgen hebben voor de menselijke gezondheid, terwijl LTO-emissies neerdalen en wel gevolgen hebben voor de menselijke gezondheid. Bij het waarderen van de luchtvervuilende emissies dient men daarom alleen de LTO-emissies te gebruiken.

De output van de Aviation Emissions Calculator zijn de hoeveelheden luchtvervuilende emissies (in kilogrammen), onderverdeeld naar het LTO-deel en het CCD-deel. De LTO-emissies worden op twee mogelijke manieren berekend: via de ICAO default LTO-cyclus, of via een LTO-cyclus die typisch is voor een drukke Europese luchthaven in 2015. De cycli verschillen van elkaar in hoe lang ze over verschillende deelfasen van de LTO-cyclus doen. In deze studie hebben we de LTO-cyclus gepakt voor een typische, drukke Europese luchthaven, omdat men Schiphol daar onder kan scharen. De typische, drukke Europese LTO-cyclus is zes seconden sneller dan de ICAO-defaultcyclus, waardoor de LTO-uitstoot van de Europese LTO-cyclus ook lager ligt.

In de Aviation Emissions Calculator zijn alle toesteltypen begrensd wat betreft de maximale afstand die ermee gevlogen kan worden. Uit de data die wij van Schiphol hebben ontvangen blijkt echter dat een zeer beperkt aantal toestellen ingezet wordt om vanaf Schiphol langere afstanden te vliegen dan mogelijk zijn volgens de Aviation Emissions Calculator. Voor die vluchten is de uitstoot berekend door de marginale uitstoot van luchtvervuilende

stoffen per CCD kilometer te berekenen, en deze op te tellen bij de uitstoot die uit de Calculator volgt.

Om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen per tonkilometer te kunnen berekenen moeten we weten hoeveel tonkilometers onder de 3.000 voet plaatsvinden. Op basis van een gemiddelde stijgingshoek van 15° (Boeing, 2009) en een gemiddelde dalingshoek van 3,2° (Trax, 2016) is de (horizontaal) gevlogen afstand per LTO circa 25 kilometer. Vervolgens kan de gemiddelde luchtvervuilende uitstoot berekend worden per tonkilometer gedurende de gehele vlucht, het LTO-gedeelte en het CCD-gedeelte.

Alternatieve technieken en brandstoffen

Voor vliegtuigen zijn er door ICAO (International Civil Aviation Organization) internationale emissie-eisen (CAEP-standaarden) opgesteld waaraan nieuwe vliegtuigmotoren moeten voldoen. Voor NO_x zijn de emissie-eisen gedefinieerd voor de LTO-cyclus. De NO_x-eisen zijn aangescherpt sinds de eerste standaard in 1986 (CAEP1) tot de emissiestandaard CAEP8 in 2011. Vanaf 2020 zijn nieuwe emissie-eisen van kracht met de introductie van PM_v- en CO₂-emissie-eisen (EASA, 2019; Peeters & Melkert, 2018). De huidige vliegtuigen voldoen voor het grootste gedeelte aan de CAEP8-standaard.

Voor vliegtuigen zijn er op dit moment verder nog weinig alternatieven ontwikkeld die al op grotere schaal worden ingezet. Voor het behalen van klimaatdoelen is biokerosine op dit moment de meest waarschijnlijke optie op kortere termijn. De brandstof is vergelijkbaar met HVO (Peeters & Melkert, 2018) en de brandstofafhankelijke emissies zijn op HVO gebaseerd (zie Paragraaf 4.8). Voor brandstofverbruik en de PM_v- en NO_x-emissies is aangenomen dat deze vergelijkbaar zijn aan kerosine.

4.8 Brandstoffen en elektriciteit

Brandstoffen

In deze paragraaf worden de emissiefactoren voor de brandstoffen gegeven die zijn toepast op het energieverbruik per tonkilometer om de emissiecijfers per tonkilometer te berekenen. In Tabel 68 zijn de conventionele brandstoffen opgenomen en in Tabel 69 de alternatieve brandstoffen. Het betreft zowel TTW-emissiefactoren die direct gerelateerd zijn aan het brandstofgebruik (CO₂ via het koolstofgehalte en SO₂ via het zwavelgehalte in de brandstof), als de WTT-emissiefactoren die per definitie ook direct gerelateerd zijn aan het brandstofgebruik. Alleen de emissiefactoren van methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) die zijn opgenomen in de TTW-CO₂-eq.emissies zijn behalve van het brandstofgebruik ook afhankelijk van de aandrijvingstechniek, die verschilt per modaliteit. Daarom zijn de CO₂-eq.-emissiefactoren in een aantal gevallen gedifferentieerd naar modaliteit of voertuigtype.

De dichtheid, stookwaarden en de bijhorende TTW-emissiefactoren voor CO₂, CO₂-eq. en SO₂ zijn gebaseerd op (Task Force on Transportation, 2020) en (Task Force on Transportation, 2019). Voor ontbrekende kentallen zijn er aanvullende bronnen gebruikt of aannames gemaakt:

- De CO₂-emissiefactoren van HFO en MDO zijn gebaseerd op (IMO, 2020), met gelijke CO₂-emissiefactoren als genoemd in EU-verordening 2015/757 voor de rapportage van scheepvaartemissies. Ze zijn daarmee in lijn met internationale methodieken.



- De SO₂-emissiefactoren van biodiesel komen uit (AQB, 2018), die van HVO op (Neste, 2016).
- De SO₂-emissies van LPG zijn gelijk verondersteld aan CNG.
- De voer- en vaartuin specifieke CH₄- en N₂O-emissies voor (bio)CNG en (bio)LNG zijn overgenomen uit (TNO, 2015d).
- De CH₄- en N₂O-emissiefactoren van GTL (in de CO₂-eq.) zijn gelijk verondersteld aan diesel.
- De brandstofkenmerken van HVO en GTL zijn gegeven in (TNO, 2018a) en van CNG en LNG in (TNO, 2015d) en (LNG24, 2015).

De WTT CO₂-emissiefactoren zijn gebaseerd op de WTW-emissiefactoren uit de brandstofrichtlijn (EU, 2015a). In deze richtlijn is vastgelegd met welke WTW-waarden gerekend moet worden om de CO₂-emissiereducties van alternatieve brandstoffen te berekenen door leveranciers van brandstoffen en door bijvoorbeeld de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa) (2019). De WTT-emissiefactoren zijn berekend door het verschil te nemen tussen de TTW-emissiefactoren en de WTW-factoren uit de richtlijn. De resulterende WTT-emissiefactoren zijn in lijn met een eerdere studie vanuit de Europese Commissie van JRC (JRC, 2014b).²³ Figuur 11 laat zien hoe de emissies van diesel, benzine en HFO zijn opgebouwd. De productie van ruwe olie en de raffinage leveren de belangrijkste bijdrage aan de WTT-emissies van diesel, benzine en HFO.

Het aandeel biobrandstoffen in diesel (5%) en benzine (4%) en de emissiefactoren voor de gemiddelde biobrandstofmix zijn gebaseerd op de hoeveelheden brandstof uit (NEa, 2019). Bij de emissiefactoren voor biobrandstoffen is geen rekening gehouden met de CO₂-emissies van indirect landgebruik (ILUC). Volgens de informatie en kentallen in (NEa, 2019) is hier alleen sprake van bij benzinevervangers en zou dit leiden tot een ophoging van 14,1 g CO₂/MJ, waarmee benzinevervangers uitkomen op 29,4 g CO₂/MJ. Bij biodiesel en biogas, die uitsluitend uit afvalstromen worden geproduceerd, is geen sprake van ILUC. ILUC is niet meegenomen, omdat er veel discussie is over de hoogte van het effect. Daarnaast wordt ILUC tegengegaan via de eisen in de FQD.

Voor de WTT-CO₂-emissies zijn er een aantal aanvullende aannames gemaakt en bronnen gebruikt om de cijfers compleet te maken:

- De WTT-emissiefactor van GTL is gebaseerd op (JRC, 2014a). De WTW- (en TTW-) emissiefactoren van GTL zijn gebaseerd op vloeibaar gemaakt aardgas zoals gegeven in de brandstofrichtlijn (EU, 2015a).
- De WTT-emissiefactor van HFO (3,5% S) is gebaseerd op de waarde uit (JRC, 2014b).
- Voor de WTT-emissiefactoren van MDO en kerosine is aangenomen dat deze iets lager zijn dan voor diesel op basis van (JRC, 2014b) door o.a. lagere transportemissies (Figuur 11) en uitkomen op 20 g CO₂-eq./MJ. Ook andere bronnen laten zien dat de WTT-emissies van MDO en kerosine dicht bij die van diesel liggen (BEIS, 2020; IFEU; INFRAS; IVE, 2020).
- Voor laagzwavelige HFO bestaat geen goede bron. De TTW-emissies zullen hoger zijn dan voor HFO (3,5%S), vanwege de extra energie die nodig is voor ontzwaveling, maar lager dan van MDO. Aangenomen is dat de WTT-emissies het gemiddelde zijn van HFO en MDO.

²³ Bij het gereedkomen van deze studie is een nieuwe JEC-studie verschenen met geüpdatete waarden. Deze liggen over het algemeen iets (2 g/MJ, 10%) lager.

Figuur 11 - WTW-emissies zoals gerapporteerd in (JRC, 2014b); OPGEE= Oil Production Greenhouse gas Emissions Estimator

WTW marginal refining emissions + OPGEE production emissions			
[gCO ₂ eq/MJ final fuel]	DIESEL	GASOLINE	HFO
1) production emissions from OPGEE including transport of crude	11.0	10.8	10.5
3) refining emissions	8.6	7.0	2.2
4) transport of product	1.1	1.2	0
5) combustion emissions	73.2	73.4	80.6
Total emissions	93.9	92.4	93.3

De WTT-emissiefactoren voor luchtvervuilende stoffen in *STREAM 2016* zijn gebaseerd op Ecoinvent²⁴. Deze waarden zijn overgenomen in de huidige versie van *STREAM* en daar waar nodig aangevuld met waarden uit Ecoinvent 3.5 (Wernet, et al., 2016).

Elektriciteit

In *STREAM* gaan we uit 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 volgend tekstkader). Wel geven we voor de alternatieve brandstoffen en technieken aan wat de emissies zijn op basis van de Nederlandse mix van hernieuwbare elektriciteit (wind/zon) in- en exclusief biomassa.

Elektrische vervoerswijzen hebben geen directe emissies. Tijdens elektriciteitsproductie en bij de winning en transport van de brandstoffen worden echter wel emissies uitgestoten. De emissies van elektriciteitsproductie zijn gebaseerd op een recente studie over de elektriciteitsmix in 2018 (CE Delft, 2020a), waarin de emissies zijn bepaald voor de gehele keten van grondstofwinning tot en met de elektriciteitsproductie. Voor de elektriciteitslevering op middenspanning en laagspanning is daarbij een opslag toegepast van 1,2 en 3%, respectievelijk, voor de conversie en transportverliezen in het elektriciteitsnetwerk.

Benaderingen voor elektriciteit

In deze studie wordt voor de emissiefactoren 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 upstream-emissies voor elektriciteit uit biomassa).

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. Er kan dus beredeneerd worden dat de belastingbetaler, via de SDE-subsidie, in feite het grootste deel betaald van de meerkosten.

²⁴ De emissies van infrastructuur zijn in de Ecoinventberekeningen niet meegenomen

In tegenstelling tot *STREAM 2016* zijn op basis van (CE Delft, 2020a) in de CO₂-factoren van zon- en windenergie de CO₂-emissies van de productie van de zonnecellen en de windmolen meegenomen. De reden om deze mee te nemen is de relatief (tot kolencentrales) korte levensduur van de zonnecellen en windmolen. Wanneer deze niet worden meegenomen zijn de emissies nagenoeg gelijk aan 0. Voor de overige vormen van elektriciteit zijn de emissies van infrastructuur verwaarloosbaar vanwege de lange levensduur.

In (CE Delft, 2020a) worden geen emissiefactoren van PM_v, NO_x en SO₂ gegeven. Deze emissies zijn berekend op basis van de onderliggende data uit de studie, die zijn gebaseerd op Ecoinvent 3.5 (Wernet, et al., 2016). De Ecoinventwaarden zijn op twee belangrijke punten aangepast met geüpdatete waarden:

- De emissies van kolen-, biomassa- en gascentrales zijn aangepast op basis van de gerapporteerde emissies over 2017 van Nederlandse elektriciteitscentrale volgens Europese richtlijnen (EEA, 2020)²⁵. De centrale emissies zijn opgenomen in Tabel 67.
- De emissies van zeevaart voor kolentransport zijn gebaseerd op de emissies van een bulkcarrier 60.000-99.999 dwt, zoals gerapporteerd in deze versie van *STREAM*.

Tabel 67 - Emissies centrale (mg/kWh geleverde energie)

	SO ₂ (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)	PM (mg/kWh)
Kolencentrale	128,507	208,269	7,410
Biomassacentrale	58,786	233,904	2,120
Aardgas-wkk (wkk)	0,109	108,424	0,278
Aardgas (niet-wkk)	0,144	142,663	0,366

In Tabel 68 en Tabel 69 zijn de emissiefactoren voor brandstoffen en elektriciteit gegeven.

²⁵ Industrial Reporting under the Industrial Emissions Directive 2010/75/EU and European Pollutant Release and Transfer Register Regulation (EC) No 166/2006.



Tabel 68 - Emissiefactoren (g/MJ) van brandstoffen en elektriciteit voor goederenvervoer 2018

Brandstof	Toepassing	Dichtheid (kg/liter)	Stookwaarde (MJ/kg)	TTW (g/MJ)			WTT (g/MJ)			
				CO ₂ -eq.	CO ₂	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM	SO ₂
Diesel, Fossiel	Divers	0,84	43,2	NG	72,5	0,00044	22,6	0,032	0,003	0,098
Biodiesel - NL-blend 2018 ((97% FAME, 3% HVO))	Divers	0,88	37,0	NG	-	0,000377	13,5	0,050	0,008	0,026
Dieselblend NL 2018 (5 % biodiesel (MJ/MJ))	Personenauto ^a	0,84	42,8	69,5	68,9	0,00044	22,1	0,033	0,004	0,094
	Bestelauto			69,3						
	Vrachtauto			70,0						
	Binnenvaart			69,6						
	Spoor			69,2						
Elektriciteit (gemiddelde mix)	Spoor/weg (medium voltage)	N.v.t.	N.v.t.	-	-	-	134,9	0,096	0,005	0,040
	Weg (laag voltage)	N.v.t.	N.v.t.	-	-	-	137,3	0,097	0,005	0,041
HFO (3,5% S ^b)	Zeevaart	0,97	41,0	78,2	77,5	1,07	12,7	0,031	0,003	0,092
HFO (0,5% S ^b)	Zeevaart	0,97	41,0	78,2	77,5	0,24	16,4	0,031	0,003	0,094
MDO (0,1% S ^b)	Zeevaart	0,84	42,7	75,8	75,1	0,05	20,0	0,032	0,003	0,096
HFO (0,5% S ^b)/MDO gemiddeld	Zeevaart	-	41,9	77,0	76,3	0,15	18,2	0,031	0,003	0,095
Kerosine	Luchtvaart	0,8	43,5	72,0	71,5	0,023	20,0	0,041	0,005	0,099

NG: Niet gegeven, omdat waarden voertuig specifiek zijn.

N.v.t.: Niet van toepassing.

^a Niet van toepassing in goederenvervoer, maar ter referentie.

^b Het betreft de zwavelpercentage limiet van de brandstof.

Tabel 69 - Emissiefactoren (g/MJ) van alternatieve brandstoffen en groene elektriciteit voor goederenvervoer 2018

Brandstof	Toepassing	Dichtheid (kg/liter)	Stookwaarde (MJ/kg)	TTW (g/MJ)			WTT (g/MJ)			
				CO ₂ -eq.	CO ₂	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM	SO ₂
Benzine	Benzine (fossiel)	0,750	43	-	73,0	0,00045	20,30	0,041	0,004	0,126
	Benzine vervangers (gem.)	0,748	27	-	-	0,00045	29,40 ^e	0,160	0,029	0,205
	Bestelauto (blend 4% bio)	0,750	42	70,9	70,2	0,00045	20,65 ^e	0,049	0,006	0,131
LPG	Bestelauto	0,536	45,1	67,0	66,7	0,00020	6,9	0,045	0,003	0,039
	Vrachtauto			67,5						
HVO	Vrachtauto	0,785	44	1,1	-	0,00023	9,40	0,050	0,008	0,026
	Binnen- /zeevaart			0,7						
CNG	Bestelauto	0,167	38	60,1	56,5	0,00020	9,20	0,006	0,0003	0,0003
	Vrachtauto			60,1						
BioCNG	Bestelauto	0,167	38	3,6	-	0,00020	24,00	0,016	0,001	0,006
	Vrachtauto			3,6						
LNG	Weg	0,45	49	60,1	56,5	0,00020	14,40	0,027	0,001	0,0004
	Binnen- /zeevaart (lean burn or dual fuel (3% diesel))			73,5						
	Zeevaart (dual fuel, direct injection, < 10% MGO)			58,2						
BioLNG	Weg	0,45	49	3,6	-	0,00020	25,60	0,016	0,001	0,006
	Binnen- /zeevaart (lean burn or dual fuel (< 10% diesel))			17,9						
	Zeevaart (dual fuel, direct injection, < 10% MGO)			1,7						
GTL	Vrachtauto	0,78	44	72,0	70,9	0,00020	23,40	0,036	0,004	0,111
	Binnenvaart			71,6						
Waterstof ^a	Brandstofcel	-	120	-	-	-	104,30	0,134	0,019	0,133
Groene waterstof ^b	Brandstofcel	-	120	-	-	-	9,10	0,0001	0,00001	0,0001
Elektriciteit bio/groen ^c	Batterij	-	N.v.t.	-	-	-	9,87	0,018	0,002	0,005
Groene elektriciteit ^d	Batterij	-	N.v.t.	-	-	-	4,55	0,00003	0,000005	0,00004

^a Uit stoomreforming.

^b Uit niet-biologisch hernieuwbare energie (wind, zon).

^c Uit NL-mix van biomassa, wind en zon.

^d NL-mix van niet-biologisch hernieuwbare energie (wind, zon).

^e Wanneer rekening wordt gehouden met ILUC komen de waarden van benzinevervangers en de blend uit op 43,5 en 21,7 g/MJ respectievelijk volgens de methodiek in (NEa, 2019).

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; INFRAS; IVE, 2014) en voor containers (TNO, 2016c). Dit resulteert in de volgende kentallen:

- containeroverslag per verplaatsing²⁶ : 4,4 kWh/TEU (52,2 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).

Voor kranen en werktuigen op diesel gaan we uit van de emissiefactoren uit Tabel 70 op basis van (TNO, 2016c). Ook zijn emissiefactoren voor elektrische kranen en werktuigen inbegrepen. Deze zijn berekend op basis van de emissiefactoren van elektriciteit (zie Paragraaf 4.8), waarbij rekening is gehouden 10% efficiëntieverlies van de elektromotor.

Tabel 70 - Gemiddelde emissiefactoren (g/kWh) voor mobiele werktuigen in 2018

	CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	SO ₂
Diesel	779	3,16	0,17	0,005
Elektrisch	549	0,39	0,02	0,164

²⁶ Gemiddeld gezien bestaat de overslag van een container uit drie a vier verplaatsingen (uitladen-stallen-inladen).

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.

Terwijl de beladingsgraad van een voertuig een beperkte invloed heeft op de uitstoot per *voertuigkilometer*, bepaalt de belading de prestaties in termen van *tonkilometers*. Het brandstofverbruik van een vrachtauto stijgt met ongeveer 20% wanneer de belading toeneemt van half vol (50%) tot vol terwijl de tonkilometers verdubbelen. 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.

We hebben er bij *STREAM* voor gekozen om de transportprestatie uit te drukken in tonkilometers. In principe had ook een andere maat worden gekozen, zoals volume-km (m³-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 verschillende 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 voor in hoeverre het schip kan worden beladen op zijn maximale capaciteit. Bij laagwater is de werkelijke capaciteit soms lager dan de maximale capaciteit bij hoogwater (de hier gegeven capaciteit). Voor containerschepen op vaarwegen met lage bruggen kan hoogwater 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 efficiëntie 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.
- (EU-MRV-dataset, 2020) - zeevaart.
- (Statline (CBS), 2020) - alle modaliteiten.
- (CE Delft, 2011) - alle modaliteiten.
- (IFEU, Infrast, 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 zoal weergegeven in dit hoofdstuk.

5.2 Bulk- en stukgoederen

Tabel 71 - Logistieke kenmerken voor licht, middel en zware lading van bulk/stuk goederen voor alle voertuigtypen

Voertuigtype	Lading- capaciteit (Ton)	Middel			Licht			Zwaar		
		Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad
Wegtransport										
Bestelauto LG 2.000-2.500 kg	1,2	41%	79%	32%	27%	76%	21%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Vrachtauto GVW < 10 ton zonder aanhanger	3,0	48%	73%	35%	28%	75%	21%			
Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger	7,5	52%	75%	39%	30%	85%	26%	64%	65%	42%
Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger	18,0	52%	75%	39%	30%	85%	26%	64%	65%	42%
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger	13,0	52%	75%	39%	30%	85%	26%	64%	65%	42%
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger	28,0	52%	75%	39%	30%	85%	26%	64%	65%	42%
Trekker Licht	15,7	52%	65%	34%	30%	75%	23%	64%	55%	35%
Trekker Zwaar	29,2	65%	70%	46%	37%	80%	30%	80%	60%	48%
LZV	40,8	65%	70%	46%	37%	80%	30%	80%	60%	48%
Spoor										
Middellange trein	Zie tabel*	80%	80%	48%	40%	80%	32%	98%	55%	54%
Lange trein		80%	80%	48%	40%	80%	32%	98%	55%	54%
Extra lange trein		80%	80%	48%	40%	80%	32%	98%	55%	54%
Binnenvaart										
Spits	365	75%	70%	53%	45%	75%	34%	90%	60%	54%
Kempenaar	617	75%	70%	53%	45%	75%	34%	90%	60%	54%
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	1.537	75%	70%	53%	45%	75%	34%	90%	60%	54%
Groot Rijnschip	3.013	65%	85%	55%	40%	87%	35%	80%	70%	56%
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed	5.046	65%	85%	55%	40%	87%	35%	80%	70%	56%
4 baksduwstel	11.181	65%	85%	55%	40%	87%	35%	80%	70%	56%
6 baksduwstel (breed)	16.481	65%	85%	55%	40%	87%	35%	80%	70%	56%

Voertuigtype	Lading- capaciteit (Ton)	Middel			Licht			Zwaar		
		Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad	Beladings- graad	Beladen km	Benuttings- graad
Zeevaart										
Bulkcarrier 0-4.999 dwt	4.450	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.B.	N.B.	54%
Bulkcarrier 5.000-9.999 dwt	8.005									54%
Bulkcarrier 10.000-34.999 dwt	28.385									64%
Bulkcarrier 35.000-59.999 dwt	42.731									65%
Bulkcarrier 60.000-99.999 dwt	80.379									55%
Bulkcarrier 100.000-199.999 dwt	170.075									61%
Bulkcarrier 200.000+ dwt	221.009									55%
General Cargo Ship 0-4.999 dwt	3.552	N.B.	N.B.	31%	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.B.	N.B.	52%
General Cargo Ship 5.000-9.999 dwt	7.966			31%						52%
General Cargo Ship 10.000-19.999 dwt	13.116			33%						46%
General Cargo Ship 20.000+ dwt	30.528			40%						50%
Oil tanker 0-4.999 dwt	3.357	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.B.	N.B.	40%
Oil tanker 5.000-9.999 dwt	7.428									47%
Oil tanker 10.000-19.999 dwt	15.262									46%
Oil tanker 20.000-59.999 dwt	43.288									51%
Oil tanker 60.000-79.999 dwt	73.202									60%
Oil tanker 80.000-119.999 dwt	110.775									53%
Oil tanker 120.000-199.999 dwt	157.137									56%
Oil tanker 200.000+ dwt	310.100									73%

* Laadcapaciteit verschilt per omdat per gewichtsklasse andere wagon combinaties worden ingezet.

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

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

Tabel 72 - Laadcapaciteit voor licht, middel en zware treincombinaties

	Toepassing	Grootte trein	Laadcapaciteit (ton)
Licht	Graan	Middel	945
	Neobulk	Lang	1.134
	Neobulk	Extra lang	1.296
Middel	Neobulk	Middel	1.715
	Neobulk	Lang	2.058
	Neobulk	Extra lang	2.352
Zwaar	Tankwagons	Middel	1.940
	Tankwagons	Lang	2.231
Extra zwaar	Kolen en erts	Medium	2.485
	Kolen en erts	Lang	3.124

Tabel 73 - Belading belly-freight-vluchten

	Totale belading incl. passagiers (ton)	Belading alleen vracht (tonnen)
Belly-freight - Korte afstand	21	0
Belly-freight - Midden afstand	39	5
Belly-freight - Lange afstand	57	11

Tabel 74 - Belading full-freighters

	Gemiddelde capaciteit (ton)	Benuttingsgraad
Full-freight - Korte afstand	56	53%
Full-freight - Midden afstand	106	73%
Full-freight - Lange afstand	111	75%

5.3 Containertransport

Tabel 75 - Ladingcapaciteit en gemiddelde bezetting containerplaatsen

Voertuigtype	Ladingcapaciteit in TEU	Gemiddeld bezetting containerplaatsen ²⁷
Wegtransport		
Zware truck > 20 ton	1	70%
Zware truck + aanhanger > 20 ton	2	70%
Trekker-oplegger	2	70%
LZV	3	70%
Spoor		
Lange trein	88/90/96*	80%
Extra lange trein	100/105/108*	80%
Binnenvaart		
Neo Kemp (32-48 TEU)	40	75%
Rijn-Herne Schip (96 TEU)	96	75%
Duwbak Europa IIa (160 TEU)	160	75%
Groot Rijnschip (208 TEU)	208	75%

²⁷ Inclusief retourtransport en lege containers.

Voertuigtype	Ladingcapaciteit in TEU	Gemiddeld bezetting containerplaatsen ²⁷
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	272	75%
Koppelverband Europa II -C3l (348 TEU)	348	75%
Rijnmaxschip (398-470 TEU)	434	75%
Zeevaart		
Containership 0-999 TEU	810	N.B.
Containership 1.000-1.999 TEU	1.395	N.B.
Containership 2.000-2.999 TEU	2.537	N.B.
Containership 3.000-4.999 TEU	4.119	N.B.
Containership 5.000-7.999 TEU	6.200	N.B.
Containership 8.000-11.999 TEU	9.244	N.B.
Containership 12.000-14.499 TEU	13.625	N.B.
Containership 14.500-19.999 TEU	17.546	N.B.
Containership 20.000+ TEU	20.563	N.B.

* Laadcapaciteit voor licht, middelzwaar en zwaar transport. Laadcapaciteit verschilt per gewichtsklasse, omdat per gewichtsklasse andere wagon combinaties worden ingezet.

N.B.: Niet bepaald, in de gebruikte data worden de gemiddelde tonkm gerapporteerd. Deze zijn gebruikt in de berekening.

Tabel 76 - Beladingsgraden, beladen kilometers en benuttingsgraden voor licht, middel en zware lading voor alle voertuigtypen met containers

Containertransport	Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport
Aandeel beladen containers	72%	72%	72%
Aandeel lege containers	28%	28%	28%
Laadgewicht per beladen TEU*	6 ton/TEU	10,5 ton/TEU	14,5 ton/TEU
Gewicht lege container per TEU*	1,90 ton/TEU	1,95 ton/TEU	2,00 ton/TEU
Berekende waarden			
Gemiddelde gewicht per TEU (vol en leeg) inclusief container ^a (ton/TEU ₂)	6,2 ton/TEU	9,6 ton/TEU	12,5 ton/TEU
Gemiddelde gewicht per TEU (vol en leeg) exclusief container ^b (ton/TEU ₁)	4,3 ton/TEU	7,6 ton/TEU	10,5 ton/TEU

* Gebaseerd op (IFEU; INFRAS; IVE, 2014).

^a (Laadgewicht per beladen TEU · Aandeel beladen containers) + Gewicht lege containers per TEU.

^b Laadgewicht per beladen TEU · Aandeel beladen containers.

5.4 Bestelauto's

Tabel 77 - Laadcapaciteit, beladingsgraden, beladen km en benuttingsgraad voor verschillende inzet en types bestelauto's (op basis van CBS-data)

Gebruikstype	Voertuigtype naar leeggewicht	Laadcapaciteit (ton)	Beladingsgraad excl. gereedschap	Beladingsgraad incl. gereedschap	Beladen km	Benuttingsgraad
Bouw	Bestelauto < 1.500 kg	0,7	7%	17%	100%	17%
Bouw	Bestelauto 1.500-2.000 kg	1,1	7%	20%	100%	20%
Bouw	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,1	9%	29%	100%	29%
Bouw	Bestelauto > 2.500 kg	0,8	42%	64%	100%	64%
Service	Bestelauto < 1.500 kg	0,7	5%	16%	100%	16%
Service	Bestelauto 1.500-2.000 kg	1,1	7%	21%	100%	21%
Service	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,1	9%	24%	100%	24%
Service	Bestelauto > 2.500 kg	0,7	33%	46%	100%	46%
Goederen	Bestelauto < 1.500 kg	0,7	18%	18%	69%	12%
Goederen	Bestelauto 1.500-2.000 kg	1,1	8%	8%	77%	6%
Goederen	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,1	26%	26%	78%	20%
Goederen	Bestelauto > 2.500 kg	0,7	28%	28%	78%	22%
Post	Bestelauto < 1.500 kg	0,7	13%	13%	73%	10%
Post	Bestelauto 1.500-2.000 kg	1,1	12%	12%	78%	10%
Post	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,2	27%	27%	76%	21%
Post	Bestelauto > 2.500 kg	0,6	40%	40%	80%	32%
Gemiddeld	Bestelauto < 1.500 kg	0,7	7%	16%	95%	16%
Gemiddeld	Bestelauto 1.500-2.000 kg	1,1	7%	19%	96%	19%
Gemiddeld	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,1	15%	26%	92%	24%
Gemiddeld	Bestelauto > 2.500 kg	0,7	33%	41%	87%	36%
Goederen (transport en opslag)*	Bestelauto 2.000-2.500 kg	1,2	46%	46%	70%	32%

* Deze waarden gelden voor bestelauto's in bezit van vervoerders. De bestelauto 2,0-2,5 ton is in deze sector de meest gebruikte bestelauto. Deze kentallen zijn toegepast in Tabel 4 voor middelzware goederen. Voor lichte goederen (Tabel 2 en Tabel 5) zijn de kentallen van Post toegepast.

6 Vergelijking vervoerswijzen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden, net als in eerdere *STREAM*-rapportages, een aantal cases voor 2018 doorgerekend met behulp van emissiekentallen uit dit rapport. Op deze manier wordt geïllustreerd hoe met de cijfers gerekend kan worden. De cases Rotterdam-Duisburg, Amsterdam-Regensburg en Rotterdam-Litouwen is zijn vergelijkbaar met de cases uit *STREAM 2016*. De case Kenia-Utrecht is nieuw in *STREAM 2020* en bevat transport via het vliegtuig.

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. Voor de luchtvervuilende stoffen NO_x en PM_v geldt dat de schadelijkheid afhangt van de locatie waar de emissies plaatsvinden. Op basis van alleen de resultaten uit de cases kunnen dus geen vergelijkende uitspraken worden gedaan over de uiteindelijke impact van de NO_x - en PM_v -emissies door de verschillende vervoersopties. Daarnaast geldt voor vliegtuigen dat, dat naast CO_2 -emissies, ook andere non CO_2 -emissies klimaatschade veroorzaken door zogenaamde *radiative forcing*²⁸. Voor informatie over de schadelijkheid van transport-emissies verwijzen wij naar (CE Delft; INFRAS; TRT; Ricardo, 2019).

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 78. De resultaten voor CO_2 , SO_2 , PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 12 tot en met Figuur 15.

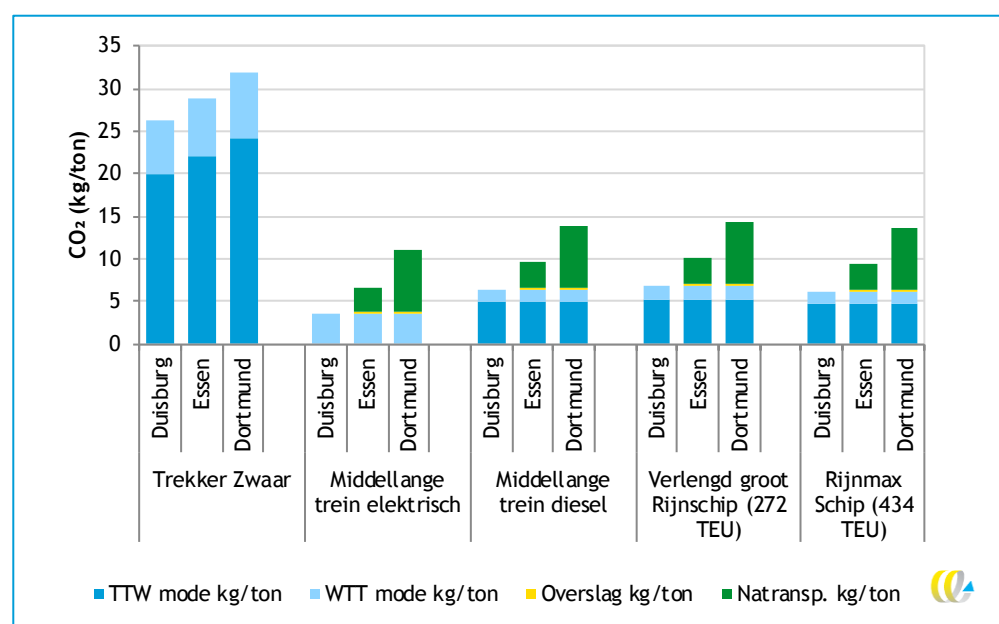
²⁸ Door de uitstoot van roetdeeltjes en waterdamp in de atmosfeer leidt tot de vorming van zogenaamde condenssporen of kunstmatige wolken die het broeikas effect versterken.

Tabel 78 - Afstanden voor de case Rotterdam-Duisburg, natransport via trekker-oplegger

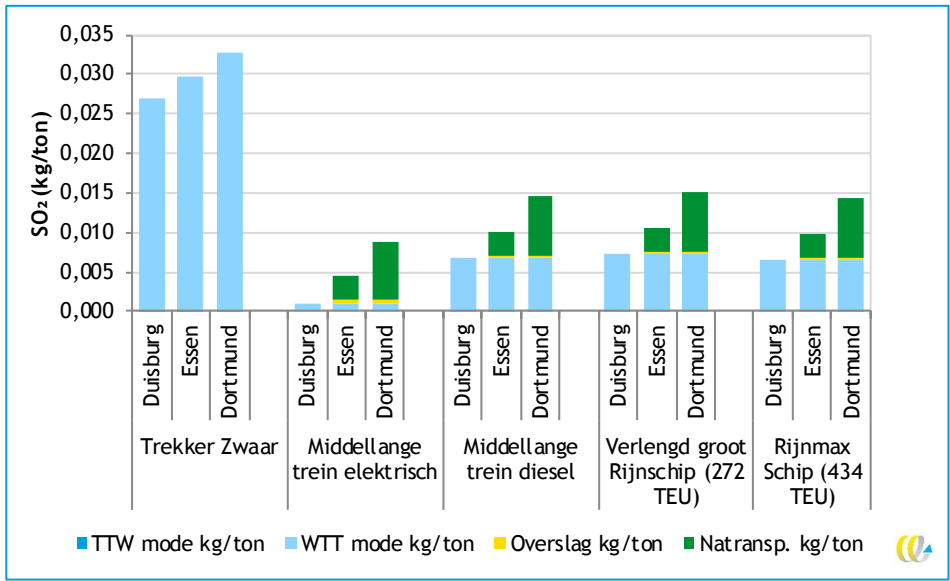
	Rotterdam-Duisburg		Rotterdam-Essen		Rotterdam-Dortmund	
	Afstand (km)	Afstand natransport (km)	Afstand (km)	Afstand natransport (km)	Afstand (km)	Afstand natransport (km)
Trekker-oplegger zwaar	240 (0:12:88)*	0	266 (0:11:89)*	0	290 (1:11:88)*	0
Trein elektrisch middel	241	0	241	26 (8:0:92)*	241	63 (6:6:87)*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

* Stadsweg: buitenweg: snelweg.

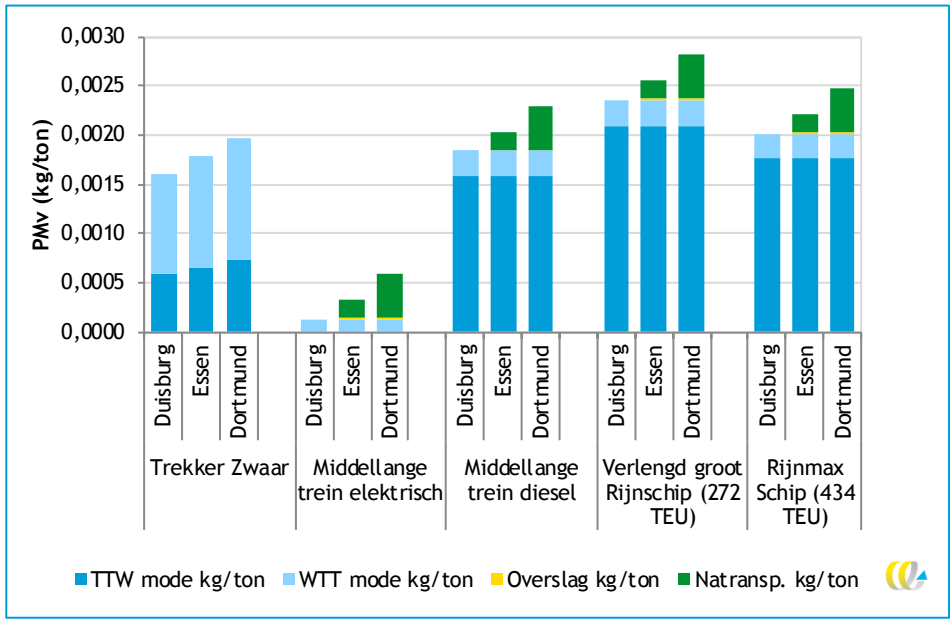
Figuur 12 - CO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



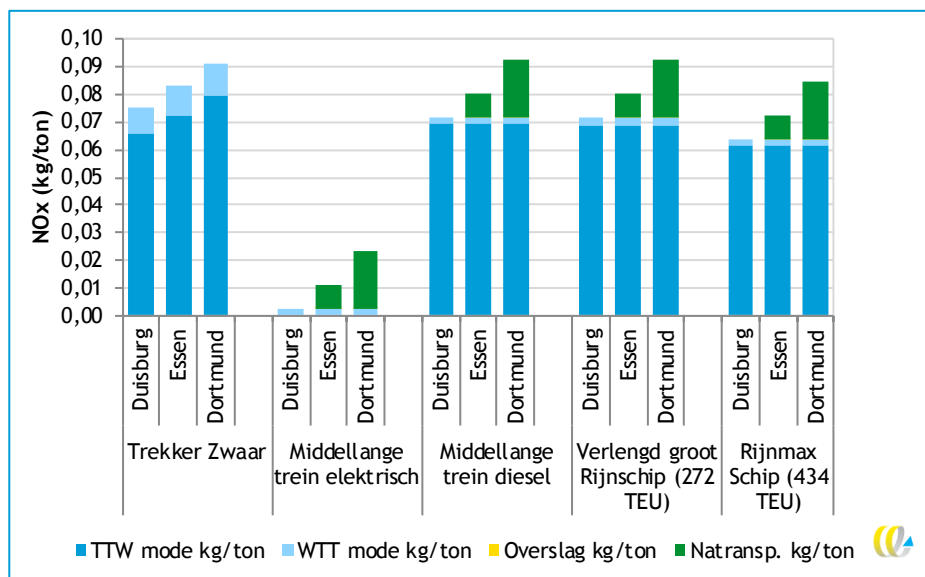
Figuur 13 - SO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



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



Figuur 15 - NO_x-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Duisburg



6.3 Case 2: Amsterdam-Regensburg

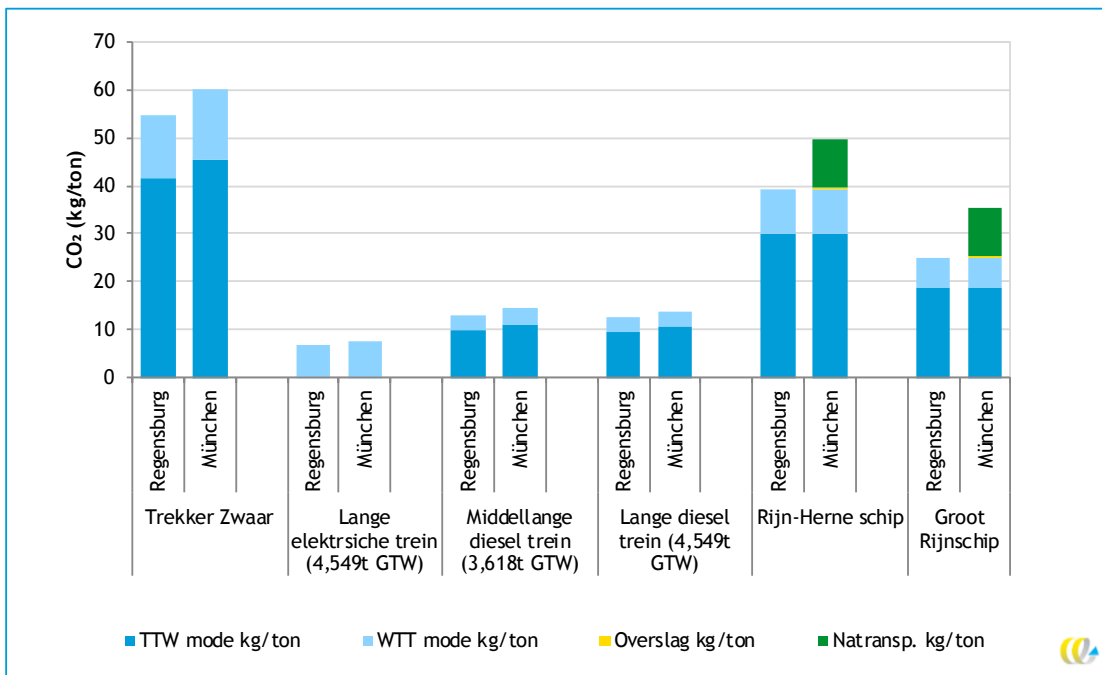
De tweede case betreft staaltransport van Amsterdam naar Regensburg. Het effect van natransport op de emissies per ton is meegenomen door de alternatieve bestemming München op te nemen. De afstanden voor de verschillende modi zijn samengevat in Tabel 79. De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 16 tot en met Figuur 19.

Tabel 79 - Afstanden voor de case Amsterdam - Regensburg, natransport met trekker-oplegger

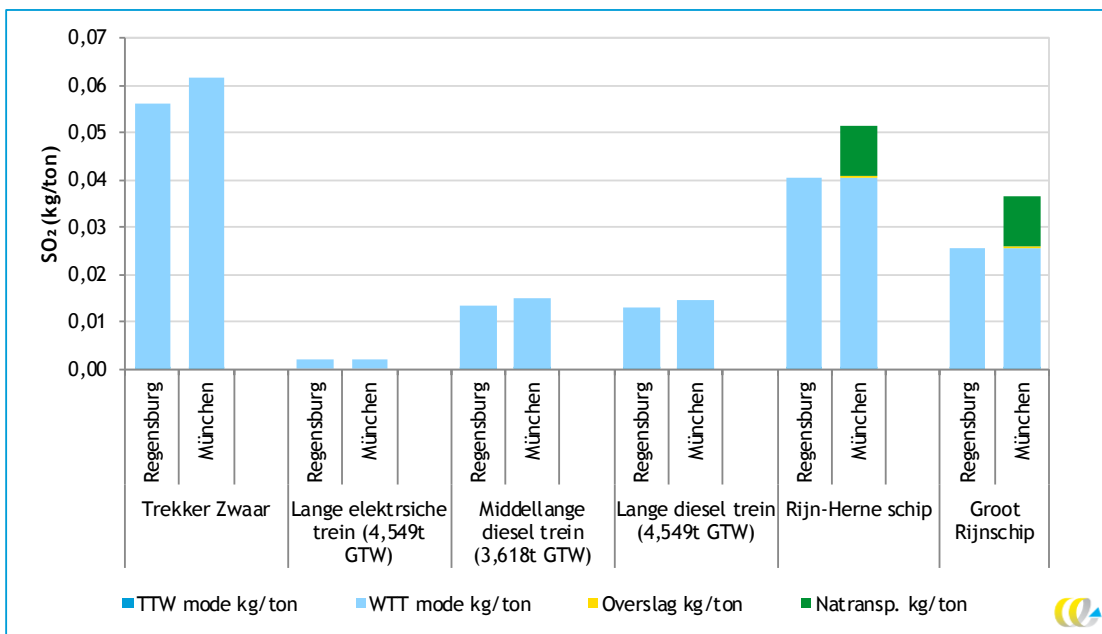
	Amsterdam-Regensburg		Amsterdam-München	
	Afstand (km)	Afstand natransport (km)	Afstand (km)	Afstand natransport (km)
Trekker-oplegger zwaar	759 (0:0:100)*	0	832 (0:0:100)*	0
Trein elektrisch lang	788	0	868	0
Trein diesel lang	788	0	868	0
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip	1.047	0	1.047	141 (0:1:99)*
Groot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

* Stadsweg: buitenweg: snelweg.

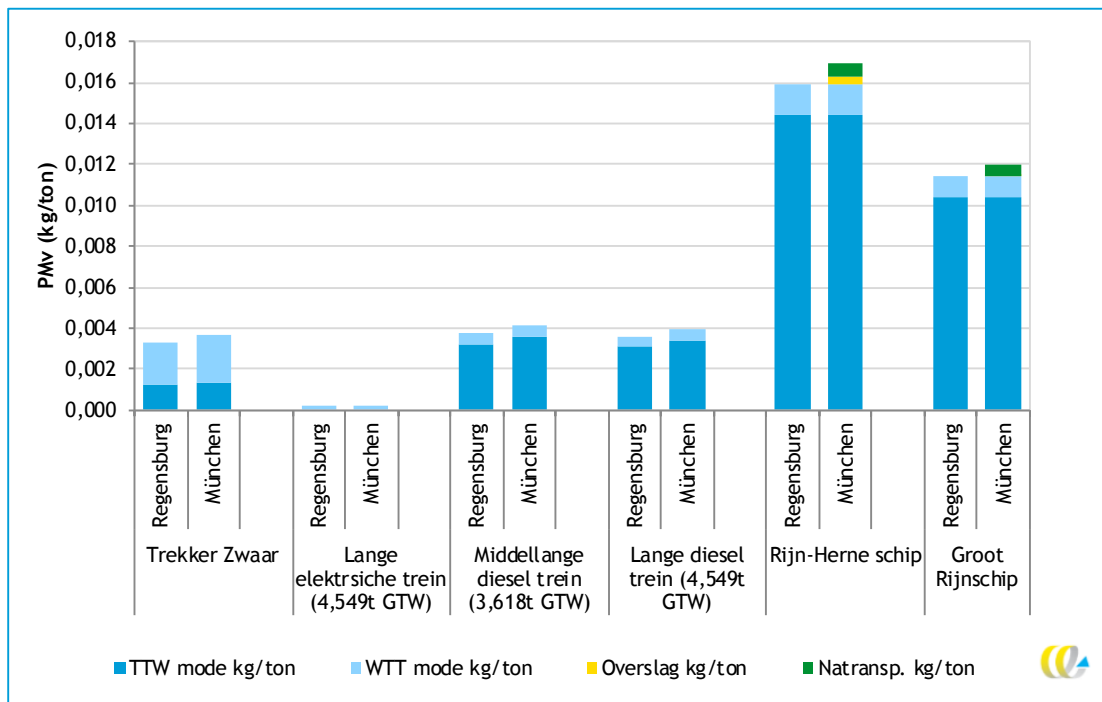
Figuur 16 - CO₂-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



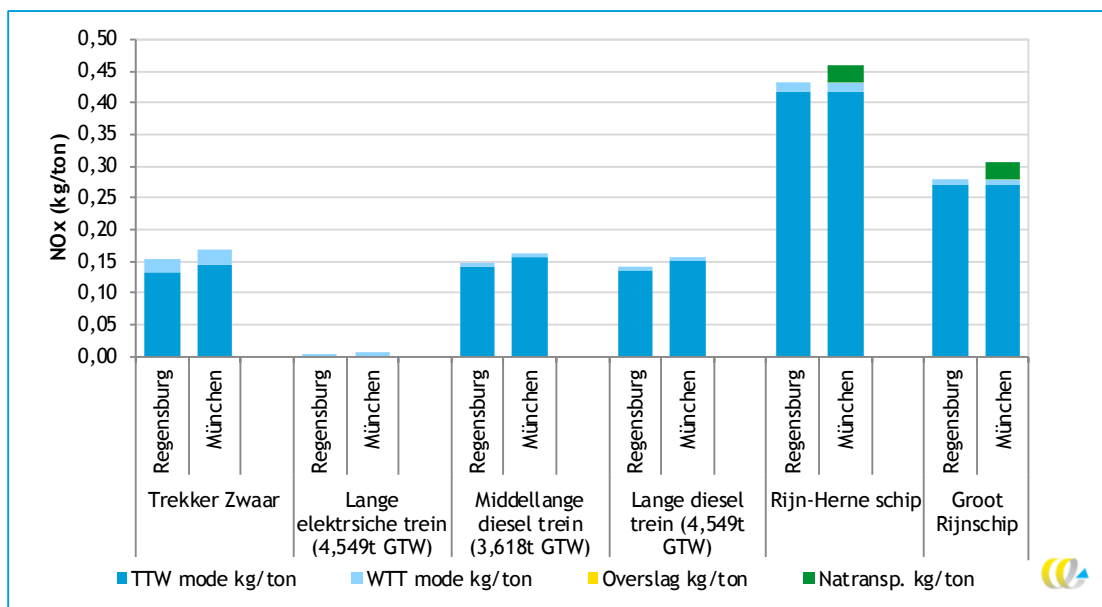
Figuur 17 - SO₂-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



Figuur 18 - PM_v-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



Figuur 19 - NO_x-emissies per ton voor zwaar bulktransport; case: Amsterdam-Regensburg



6.4 Case 3: Rotterdam-Litouwen

De derde case betreft middelzwaar containertransport 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 80.

De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 20 tot en met Figuur 23.

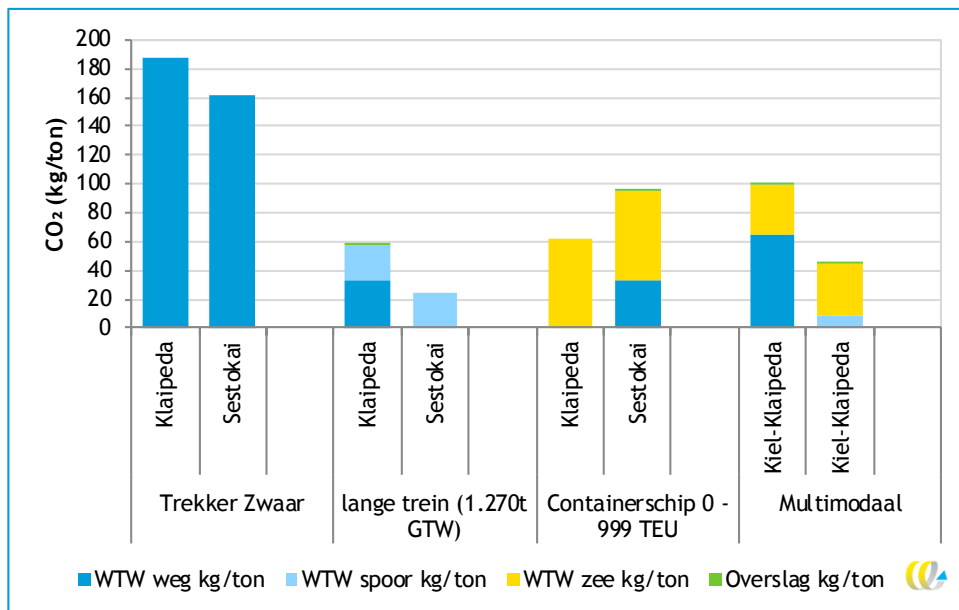
Tabel 80 - Afstanden voor de case Rotterdam-Lithouwen, natransport met trekker-oplegger

	Rotterdam-Klaipeda			Rotterdam-Sestokai		
	Afstand weg (km)	Afstand spoor (km)	Afstand zee (km)	Afstand weg (km)	Afstand spoor (km)	Afstand zee (km)
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			

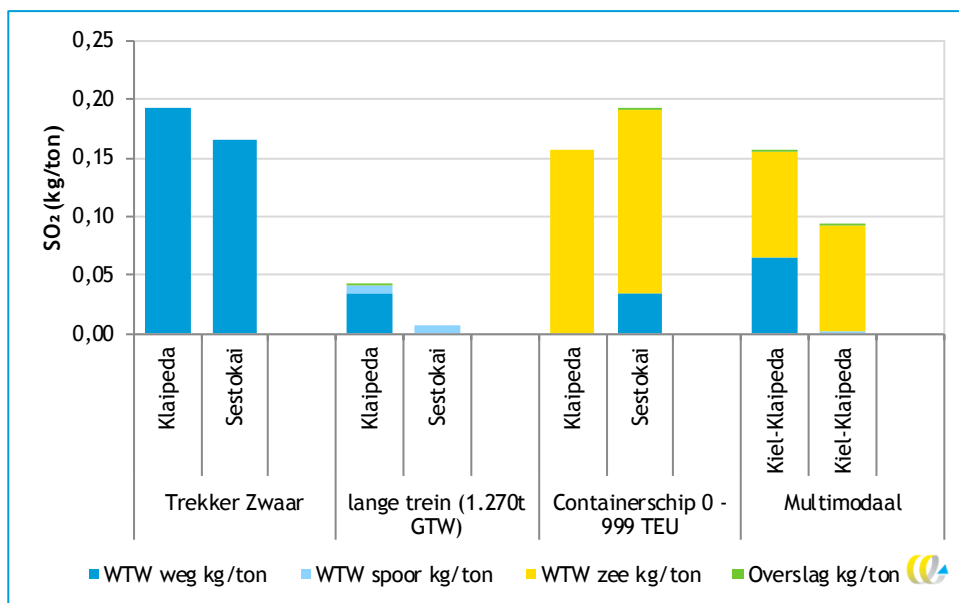
* Stad: buitenweg: snelweg;

** Natransport.

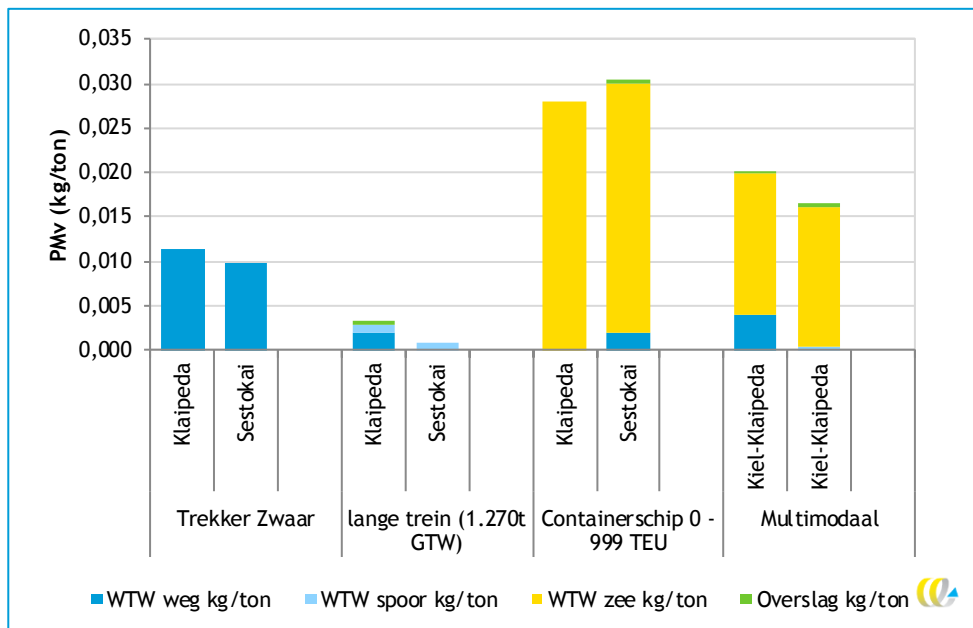
Figuur 20 - CO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



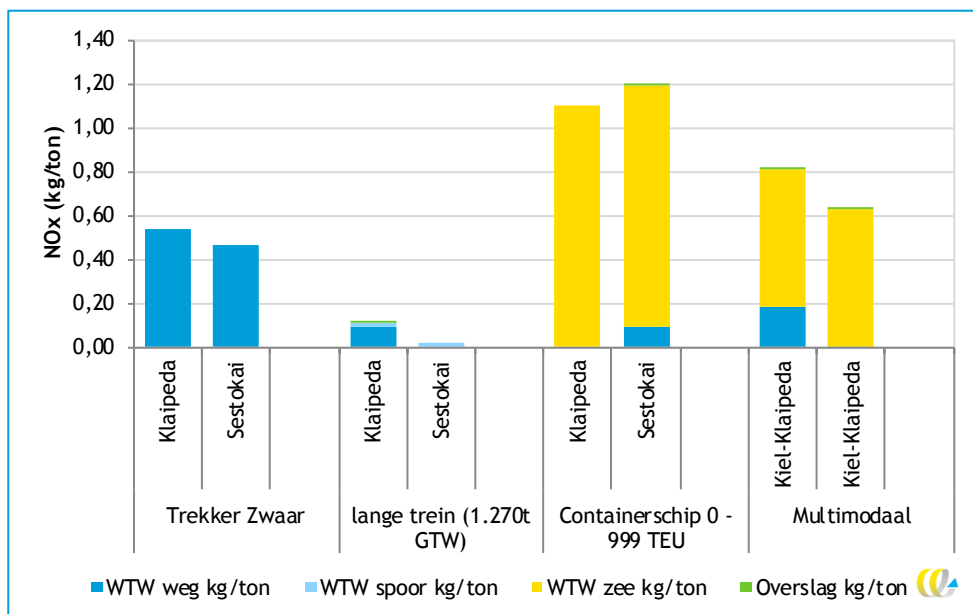
Figuur 21 - SO₂-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



Figuur 22 - PM_v-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



Figuur 23 - NO_x-emissies per ton voor middelzwaar containertransport; case: Rotterdam-Litouwen



6.5 Case 4: Kenia-Utrecht

In de vierde case wordt het transport van ananassen van Kenia (Thika) naar Utrecht. Ananassen zijn vruchten die niet verder rijpen nadat ze geplukt zijn. Rijpe vruchten moeten binnen enkele dagen gegeten worden en zijn daarom aangewezen op transport via het vliegtuig. Een andere mogelijkheid is om ananassen te vroeg te plukken. Dit gaat ten koste van de smaak maar zorgt er wel voor dat de vrucht langer goed blijft en daarom geschikt is voor transport via de zeevaart. In beide gevallen is er sprake van multimodaal transport. Voor

natransport in Kenia zijn we uitgegaan van de Nederlandse situatie in verband met data-beschikbaarheid. 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 81.

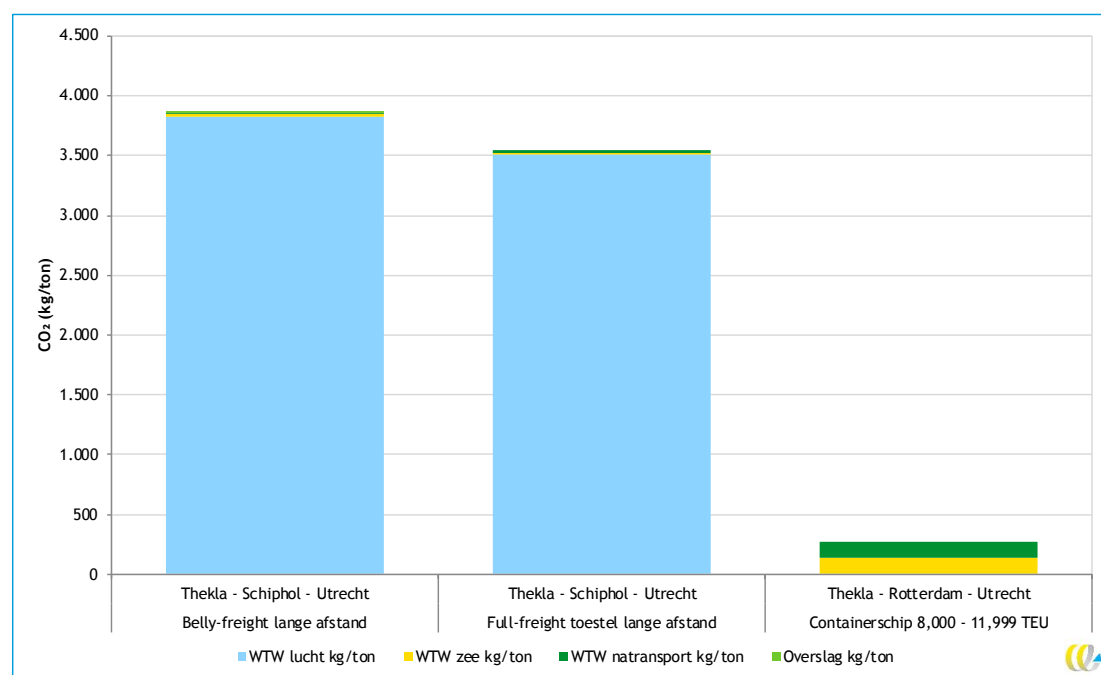
De resultaten voor CO₂, SO₂, PM_v en NO_x worden weergegeven in Figuur 24 tot en met Figuur 27.

Tabel 81 - Afstanden voor de case Kenia-Utrecht, natransport met trekker-oplegger

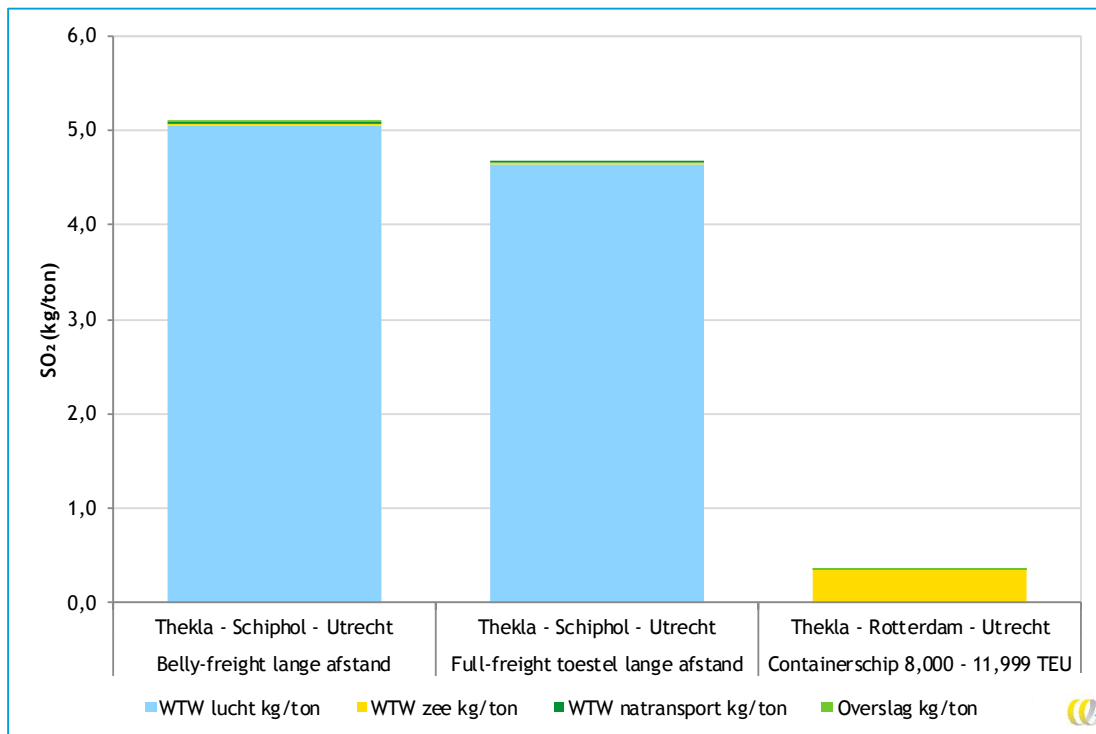
	Kenia-Utrecht	
	Afstand (km)	Afstand natransport (km)
Belly-freight lange afstand	6.684	108 (4:60:44)*
Full-freight lange afstand	6.684	108 (4:60:44)*
Containership 8.000-11.999 TEU	11.569	628 (4:536:88)*

* Stad: buitenweg; snelweg.

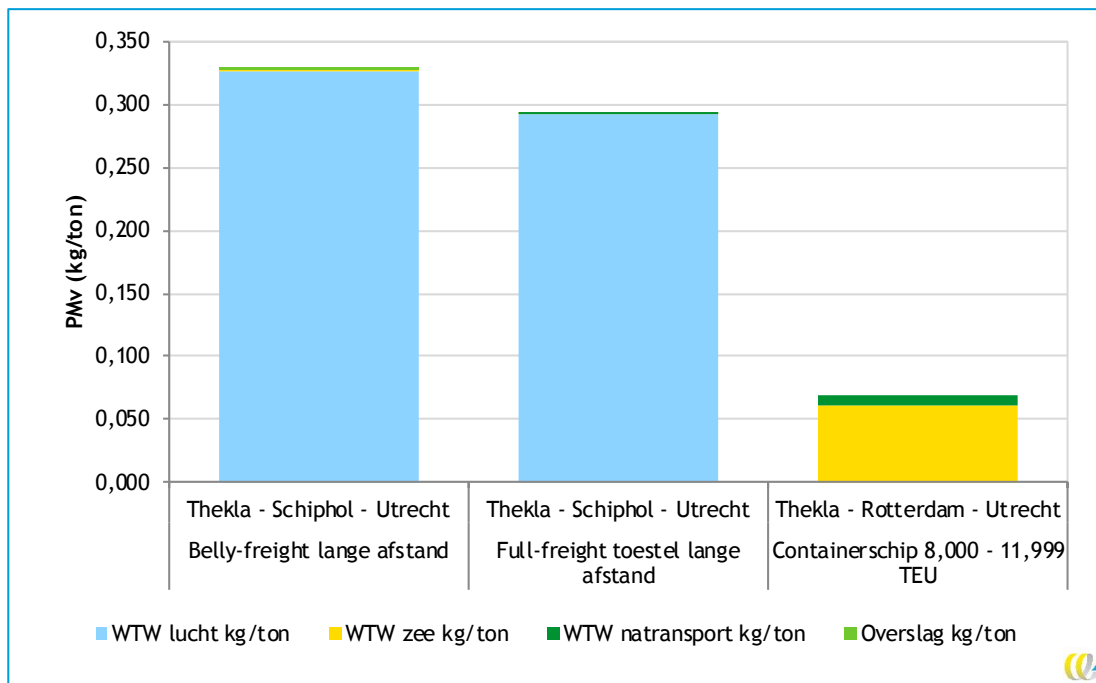
Figuur 24 - CO₂-emissies per ton voor licht transport; case: Kenia-Utrecht



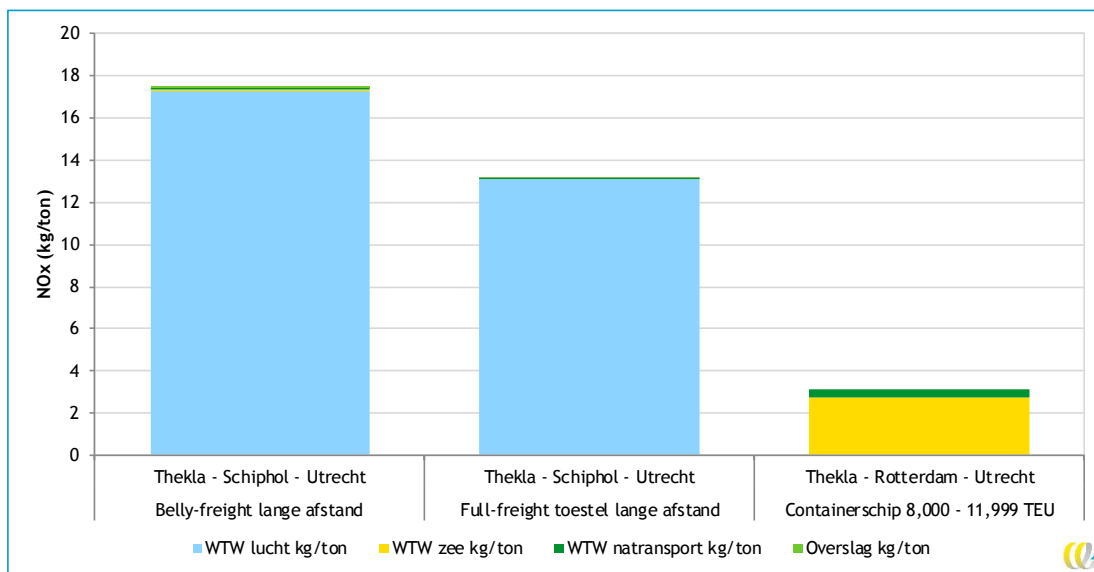
Figuur 25 - SO₂-emissies per ton voor licht transport; case: Kenia-Utrecht



Figuur 26 - PM_v-emissies per ton voor licht transport; case: Kenia-Utrecht



Figuur 27 - NO_x-emissies per ton voor licht transport; case: Kenia-Utrecht



6.6 Conclusie

De cases op basis van de 2018-cijfers laten zien dat de onderlinge verhouding van de modaliteiten (in kg/ton), behalve van de emissiekentallen per tonkilometer, ook sterk afhankelijk van de afstand en van het voor- en natransport. In alle cases, behalve de laatste, zijn de CO₂-emissies over de weg het hoogst. De case Amsterdam-München laat echter zien dat wanneer de afstand over het binnenwater relatief hoog is en er ook nog natransport plaatsvindt, de CO₂-emissies die van de weg kunnen naderen. De CO₂-emissies van de elektrische trein zijn over het algemeen het laagst.

De SO₂-WTW-emissies worden gedomineerd door de SO₂- WTT-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, vliegtuig 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 Ketenenmissies voertuigen en infrastructuur

Zoals in Hoofdstuk 1 is aangegeven, richten de kentallen in de voorgaande hoofdstukken zich op de emissies die direct gerelateerd zijn aan het gebruik van het voertuig²⁹. Emissies van infrastructuur en voertuigproductie zijn niet meegenomen. Deze emissies worden echter steeds vaker betrokken in discussies over de meest duurzame wijze van transport. Bijvoorbeeld in vergelijkingen tussen spoor- en luchtvaartinzet wordt vaak het argument gebruikt dat spoorinfrastructuur een grote bijdrage heeft in de totale ketenenmissies. Daarnaast wordt met de opkomst van elektrische voertuigen veelvuldig gesproken over de emissies die veroorzaakt worden door de productie van de batterijen.

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de emissies van infrastructuur en voertuigproductie en hoe deze zich verhouden tot de CO₂-emissies van het energiegebruik. Er wordt specifiek aandacht besteed aan de CO₂-emissies van batterijproductie vanwege de toenemende rol van elektrische voertuigen binnen de transportsector. Zo zijn er inmiddels meerdere elektrische bestelauto's en trucks op de markt en zijn er voor de binnenvaart een aantal elektrische schepen ontworpen die naar verwachting in de loop van 2020 in de vaart genomen zullen worden. Daarnaast is het NLR bezig met een Living Lab Electric Flight.

In Paragraaf 7.1 wordt aan de hand van literatuur inzicht gegeven in de bijdrage van infrastructuur en voertuigproductie en -onderhoud op de totale levenscyclusemissies van goederentransport. In Paragraaf 7.2 wordt dieper ingegaan op het effect van batterijproductie op de levenscyclusemissies van wegvoertuigen. In Paragraaf 7.3 worden tenslotte conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan om voor Nederland specifieke kentallen te ontwikkelen met betrekking tot de impact van infrastructuur en voertuigproductie en -onderhoud.

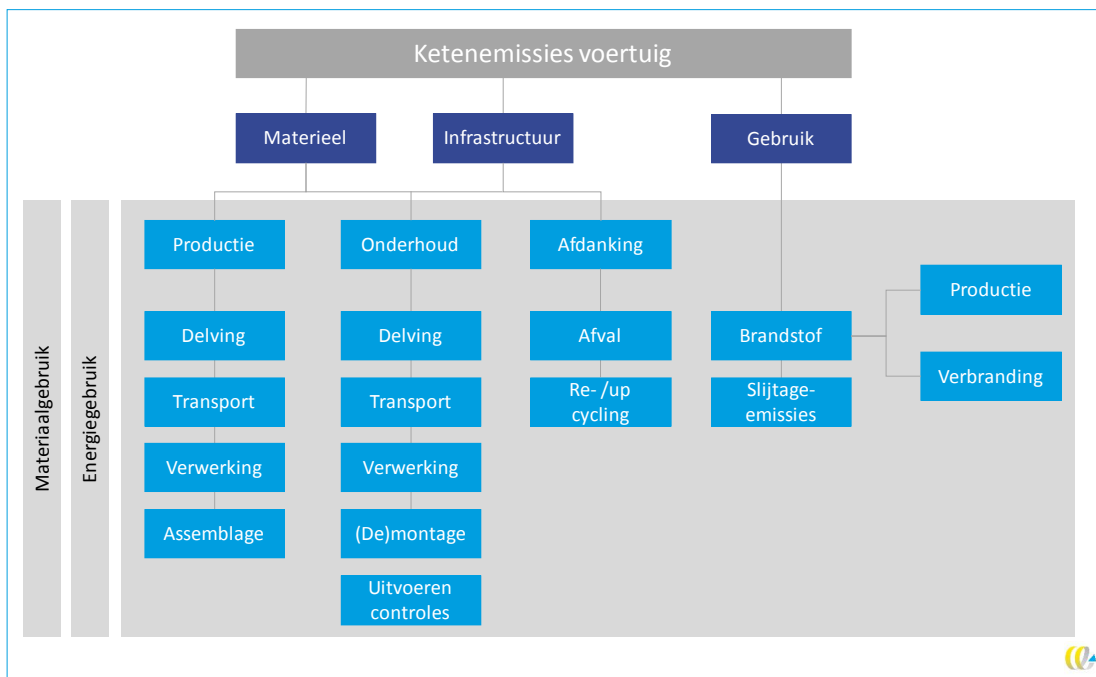
7.1 Bijdrage van infrastructuur en voertuigproductie op de totale levenscyclus-emissies van voertuigen

7.1.1 Levenscyclusanalyse

Met een levenscyclusanalyse (LCA) kunnen emissies bepaald worden voor een bepaald proces of product over de hele levenscyclus. Voor de levenscyclus van een voertuig wordt gekeken naar de milieu-impact die veroorzaakt wordt vanaf het delven van de materialen tot aan de afdanking. Daartussen wordt gekeken naar het productieproces, logistieke processen tijdens de productie, het gebruik, de infrastructuur en het onderhoud. Voor mobiliteit zijn alle factoren weergegeven in Figuur 28 waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen materieel, infrastructuur en gebruik. De emissies van de keten worden bepaald door het materiaalgebruik en het energiegebruik per onderdeel. Daar valt bijvoorbeeld ook het machinegebruik onder tijdens de productie en het onderhoud van het voertuig.

²⁹ Waar in dit hoofdstuk voertuig staat worden ook vaartuigen en vliegtuigen bedoeld.

Figuur 28 - Overzicht milieu-impact keten van transport



Om de emissies van voertuigproductie per (ton)kilometer te bepalen worden de totale productie-emissies afgeschreven over de totale (ton)kilometers gedurende de levensduur. De emissies per (ton)kilometer die veroorzaakt worden door de productie van het voertuig hangen dus niet alleen af van het productieproces (en de aannames die ten grondslag liggen aan het productieproces), maar ook van (aannames omtrent) de levensduur van onderdelen en het voertuig als geheel.

Infrastructuur wordt door meerdere voertuigen gebruikt over meerdere jaren. Om de emissies van infrastructuur per voertuigkilometer of tonkilometer te bepalen worden de totale emissies over de jaren en gebruikers verdeeld. Voor bijvoorbeeld weginfrastructuur variëren de gebruikers van motoren tot zware vrachtauto's. Omdat het verschillende voertuigen betreft, wordt met behulp van allocatiefactoren omgerekend wat de bijdrage van de infrastructuur per voertuig is. De aannames hierover kunnen per land en per bron verschillen.

7.1.2 Emissies van voertuigproductie en infrastructuur

Bronnenonderzoek

Op het gebied van LCAs in de mobiliteit zijn diverse bronnen beschikbaar die relevant zijn voor *STREAM* en die zijn onderzocht voor deze analyse, zie Tabel 82. Van de onderzochte bronnen zijn er slechts twee die informatie geven over alle onderwerpen voor alle modaliteiten in het kader van de levenscyclus van voertuigen en infrastructuur en deze ook uitdrukken per tonkilometer, namelijk Ecoinvent (2010) en Frischknecht, et al. (2016).

Ecoinvent is een database met informatie over emissies van duizenden producten, inclusief het productie- en onderhoudsproces. In Frischknecht, et al. (2016) wordt informatie uit de Ecoinventdatabase gebruikt en aangepast op basis van specifieke aannames per type

voertuig. De resultaten zijn opgenomen in een dataset met de naam Mobitool. In vergelijking met de andere bronnen zijn de ketenemissies in Mobitool het duidelijkst gesplitst naar bijdrage van infrastructuur, voertuigproductie, -onderhoud en -gebruik. Daarnaast komen de voertuigcategorieën grotendeels overeen met de categorieën die in *STREAM* gehanteerd worden en zijn er gegevens over CO₂, NO_x en PM beschikbaar. Mobitool is daarmee de meest complete bron en dient als basis voor de rest van dit hoofdstuk. De overige bronnen bevatten informatie die gedeeltelijk overlap hebben met de categorieën die in Ecoinvent (2010) en Frischknecht, et al. (2016) zijn toegepast.

In Bijlage E staat een beknopte beschrijving van de bronnen. Een exacte vergelijking tussen de bronnen is niet in alle gevallen te maken omdat de emissies niet altijd uitgedrukt zijn per tonkilometer. Ook bevatten niet alle bronnen informatie over elke stap in de keten waardoor de totale ketenemissies onbekend zijn. Om te komen tot een vergelijking zullen er aannames gemaakt moeten te worden over bijvoorbeeld het jaarkilometrage, de levensduur van het voertuig en het vervoerde gewicht tijdens de levensduur. Daarnaast moeten de uitgangspunten van de berekeningen in de bronnen vergeleken worden. Hierbij valt te denken aan het gewicht van het voertuig, uitgangspunten over de productie van het voertuig en de allocatiefactor voor infrastructuur.

Tabel 82 - Overzicht bestudeerde bronnen *STREAM* 2020

Bron	Modaliteit	Publicatiejaar	LCA	Voertuigproductie	Infrastructuur	Conventioneel	Elektrificatie
(Ecoinvent; PSI ESU, 2007)	Alle modaliteiten	2013	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja (spoor)
(Frischknecht, et al., 2016) (Mobitool)	Alle modaliteiten	2016	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja (spoor)
(AEA; CE Delft; TEPR; TNO, 2012)	Alle modaliteiten	2012	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee
(CE Delft, 2018)	Alle modaliteiten	2018	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
(CE Delft, 2020b)*	Wegtransport	2020	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
(Soriano & Laudon, 2012)	Wegtransport	2012	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja
(Yang, et al., 2018)	Wegtransport	2018	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
(NMRI, 2014)	Zeescheepvaart	2014	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
(Université Liege, 2017)	Railtransport	2017	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
(UIC, 2016)	Railtransport	2016	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee

* Deze bron gaat over personenvervoer en niet over goederenvervoer.

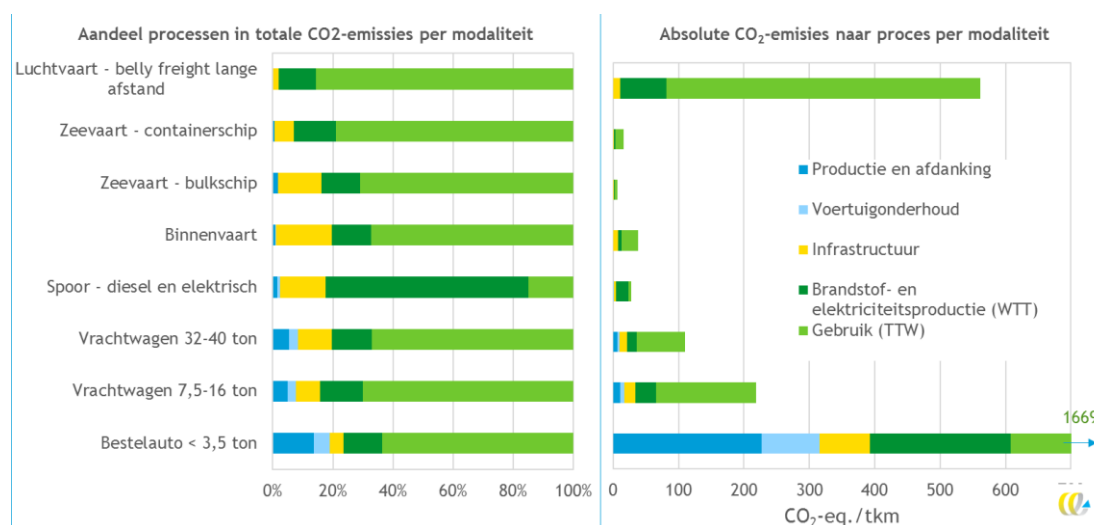
Tijdens de afronding van *STREAM* is er nog een belangrijke nieuwe studie verschenen over de levenscyclusanalyse van wegvoertuigen (Ricardo, 2020). Deze studie is in de huidige analyse niet meegenomen, maar lijkt in grote lijken in overeenstemming met de data uit Mobitool.

Emissies van voertuigproductie en infrastructuur

In Figuur 29 zijn op basis van Mobitool de CO₂-emissies per proces in percentages en absolute waarden weergegeven van alle modaliteiten over de hele keten. Bij alle modaliteiten worden de meeste CO₂-emissies veroorzaakt door het energiegebruik van de voertuig-aandrijving (TTW + WTT) met een minimale bijdrage van 80% in de totale levenscyclus CO₂-emissies. In absolute zin zijn de emissies van voertuigproductie, -onderhoud en infrastructuur het hoogst voor de wegvoertuigen en voor luchtvaart. Wat betreft voertuig-

productie en -onderhoud heeft dit met name te maken met de relatief lage tonkilometerprestatie over de levensduur van vliegtuigen en vrachtauto's ten opzichte spoor, binnen- en zeevaart. De infrastruktuuremissies van wegtransport zijn hoog vanwege de tonkilometerprestatie, maar ook vanwege het relatief uitgebreide wegennetwerk ten opzichte van het infrastruktuurnetwerk van de andere modaliteiten. Voor vliegtuigen is dit niet het geval maar vliegtuigen op kortere afstand (Europees) hebben relatief hoge CO₂-emissies van infrastructuur, omdat ze relatief veel beslag leggen op de infrastructuur ten opzichte van de kilometers die ze maken. Bij langeafstandsvluchten is dit logischerwijs minder het geval.

Figuur 29 - Aandelen processen aan CO₂-emissies in de keten per modaliteit (Frischknecht, et al., 2016)



Relatief gezien zijn de bijdrage van infrastructuur van spoor en binnenvaart juist hoger dan bij de andere modaliteiten, wat te danken is aan de lage CO₂-emissies van energiegebruik. Bij luchtvaart is te zien dat in relatieve zin de emissies door productie, afdanking en onderhoud te verwaarlozen zijn ten opzichte van het totaal, door de veel hogere WTT-emissies per tonkilometer. In Bijlage E zijn de resultaten voor NO_x en PM opgenomen.

7.2 De impact van batterijproductie op de CO₂-emissies in de levenscyclus van elektrische voertuigen³⁰

Elektrische voertuigen worden steeds belangrijker in de toekomst van transport. Met de Klimaatakkoord van Parijs en de Nederlandse uitwerking in het Klimaatakkoord neemt de behoefte aan zero-emissie voertuigen toe. Batterij-elektrische voertuigen hebben de afgelopen tien jaar een sterke ontwikkeling doorgemaakt. De batterijen in de voertuigen zijn twee keer zo licht geworden per eenheid ladingscapaciteit en kunnen nu meer energie opslaan dan tien jaar geleden. Tien jaar geleden waren de kosten ongeveer drie keer zo hoog en de levensduur drie tot tien keer zo kort. De komende jaren wordt deze ontwikkeling verder doorgezet omdat er veel onderzoeken lopen naar het door ontwikkelen van batterijen. Zo zijn er recent testen uitgevoerd met een nieuwe type batterij met een gewichtsbesparing van 75% met dezelfde energie-inhoud (Kesseler, 2020).

Voor het wegtransport zijn er al verschillende elektrische bestelauto's en enkele vrachtwagens op de markt en in gebruik (CBS, 2020). Naar verwachting komen de elektrische

³⁰ Aan deze paragraaf heet Auke Hoekstra bijgedragen met het aanleveren van bronnen en een kritische review

vrachtwagens voor 2025 in serieproductie (zie ook kader hieronder) waardoor de prognose is dat het aantal elektrische vrachtwagens op de weg zal toenemen. Ook zijn er plannen voor batterij-elektrische binnenvaartschepen waarbij batterijen in een container op (kleine) containerschepen worden geplaatst.

Batterijen in goederentransport over de weg

Op dit moment is het aantal elektrische vrachtauto's in het Nederlandse park nog beperkt. Er waren op 1 januari 2020 in totaal 193 elektrische vrachtauto's, voornamelijk bakwagens, en 20 trekkers. Voor stads-distributie zijn er verschillende modellen op de markt met een range van 200-300 kilometer, die naar verwachting komende jaren in serieproductie komen. Voor zwaar transport (40 ton) betreft het vooral nog omgebouwde modellen met een voor deze klasse nog een erg beperkte range (100-200 km). De meeste zware trucks rijden 500-800 kilometer per dag waardoor de inzetbaarheid van een truck met een bereik van 100 km zeer beperkt is. Tesla test een aantal prototypes met een range van 800 kilometer en zegt enkele duizenden pre-orders te hebben. De productie is echter uitgesteld tot 2021 (Volvo, sd; Tesla, 2020a; Lambert, 2020).

Door ontwikkelingen op het gebied van capaciteit van batterijen en aandrijflijnen zijn de bijbehorende kosten aan het veranderen. In een studie voor het Rotterdams Havenbedrijf door EVConsult en ZEnMo is berekend dat geleidelijke vervanging van een deel van de vloot door elektrische vrachtwagens die steeds in hun optimale range ingezet worden, snel economisch rendabel gaat worden. Nu zijn de meerkosten van batterijen nog erg hoog maar de verwachting is dat deze meerkosten snel lager worden. Ook moet er een herontwerp van de aandrijflijn komen om de potentiële gewichtsvoordelen van de elektrische aandrijflijn (die kunnen oplopen tot 3,5 ton) optimaal te benutten (Sloten, et al., 2019). De verwachting is dat een BET met een bereik groter dan 900 km binnen twaalf jaar rendabel wordt (Sloten, et al., 2019). In ELaadNL (2019) wordt in drie scenario's beschreven dat de TCO voor vrachtauto's in stadslogistiek tussen 2023 en 2026 aantrekkelijk wordt. Het aantal trucks in de stadslogistiek betreft naar schatting 30.000 van de in totaal 143.000 vrachtauto's die in totaal geregistreerd staan (ELaadNL, 2019).

Ook Transport & Environment (2017) komen tot de conclusie dat op termijn zware vrachtauto's in de EU technisch haalbaar en zowel economisch aantrekkelijk als milieuvriendelijk zijn.

Een belangrijk aspect van de batterij elektrische voertuigen is het gewicht van de batterij. Het hoge gewicht van de batterij zou tot gevolg kunnen hebben dat er minder gewicht aan lading mee kan in de vrachtwagen. In EU-regelgeving is echter vastgelegd dat zero-emissie vrachtwagens 1-2 ton zwaarder mogen zijn dan een conventionele vrachtwagen (EU, 2019). Kijkend naar de nabije toekomst zal een 40 ton vrachtwagen met een bereik van 400 km een batterij van 700 kWh hebben met een gewicht van circa 3,5 ton. Het uitgangspunt is hierbij dat het gewicht hetzelfde is als een batterij in een state-of-the-art personenauto, namelijk 5 kg/kWh (Hoekstra, 2020). Op dit moment worden veel reguliere trucks omgebouwd tot elektrische trucks. Hierbij wordt de brandstofmotor vervangen maar blijft de aandrijflijn intact. Bij een volledig nieuwe elektrische truck zal de elektromotor tussen de assen geplaatst worden en wordt er een nieuwe aandrijflijn geplaatst. Bij plaatsing tussen de wielen zou de aandrijflijn 2,7 ton lichter kunnen zijn (Verbruggen, et al., 2018). De verwachting is dat het gewicht van de batterij de komende jaren zal afnemen en in combinatie met de EU-regulering zou dit ervoor kunnen zorgen dat een truck met een range van 800 km niet of nauwelijks vervoerscapaciteit in zal hoeven te leveren.

7.2.1 Introductie Lithium-ion-batterijen

De meest toegepaste batterij op dit moment in het goederenvervoer (op de weg) is de Lithium-ion (LLi-ion) batterij. Dit geldt hoofdzakelijk voor het wegtransport. Voor de andere modaliteiten wordt gekeken naar de toepassing van ander type batterijen, hier is minder over bekend.

Het toepassen van Li-ion-batterijen in transport is een relatief jonge ontwikkeling en is eigenlijk pas rond de eeuwwisseling op gang gekomen. Zoals in de inleiding is geschetst,

zijn de batterijen sterk in ontwikkeling. Tegelijkertijd is er maatschappelijke discussie over de impact van de productie van een batterij op de totale CO₂-uitstoot in de hele keten. In deze paragraaf schetsen we de ontwikkelingen en vertalen we dit naar de impact die dit nu en in de toekomst kan hebben op goederenvervoer en CO₂-uitstoot.

Er is nog niet veel bekend over de impact van de batterijproductie op de levenscyclus-CO₂-uitstoot van vrachtvoertuigen, maar er kan wel veel worden afgeleid uit de kennis die er is over de CO₂-emissies van batterijproductie voor elektrische personenauto's. De belangrijkste afwegingen om de CO₂-impact voor vrachtvoertuigen te bepalen zijn de volgende:

- Het grootste aandeel van de footprint van productie van batterijen komt uit de productie van batterijcellen. Deze cellen zijn niet anders voor zwaar of licht vervoer, maar het aantal cellen in een batterijpakket verschilt. De emissies per kWh batterijproductie zijn daardoor voor vrachtwagens en personenauto's vergelijkbaar.
- De specifieke emissies hangen af van de samenstelling van de batterij die wordt toegepast. In een studie uit 2012 van de Chalmers University worden LFP-batterijen toegepast in (hybride) vrachtwagens. De afgelopen jaren wordt vaker gesproken over het toepassen van NCA- of NCM-batterijen omdat deze lichter zijn. Alle drie zijn Li-ion-batterijen met een andere samenstelling, waardoor de emissies verschillen. In Hao, et al. (2017) wordt benoemd dat de emissies door de productie van een 28 kWh batterij hoger zijn bij een LFP-batterij dan bij een NCM-batterij (Soriano & Laudon, 2012).
- Een vrachtwagen maakt intensiever gebruik van zijn batterij dan een personenauto. Terwijl een vrachtauto de range van de batterij dagelijks zal benutten is dit bij personenauto's meestal niet het geval. Elke laadcyclus betekent in vergelijking met rijden op diesel een besparing van brandstof en daarmee CO₂-uitstoot en kosten. De ecologische en financiële terugverdientijd is daardoor bij batterijen van vrachtwagens, die veel laadcycli maken, korter dan bij personenauto's.
- De batterijpakketten in vrachtauto's en alle componenten in vrachtauto's zijn groter dan in een personenauto. Prototypes bouwen en testen is daarom relatief kostbaar. Daar komt bij dat de afzetmarkt voor de vrachtautobatterijen juist kleiner is. De overheadkosten van vrachtautobatterijproductie liggen daarom naar verwachting hoger dan bij personenauto's. Naar verwachting heeft dit echter geen groot effect op de CO₂-uitstoot van de batterijproductie omdat de cellen niet anders zijn dan bij kleinere voertuigen zoals personenauto's.

In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op de CO₂-emissies van batterijproductie en de levensduur van de batterij om vervolgens uitspraken te kunnen doen over de impact per tonkilometer.

7.2.2 CO₂-emissies batterijproductie

Op 7 mei 2018 presenteerde de Europese Commissie haar agenda voor veilige, schone en geconnecteerde mobiliteit (EC, 2018). Onderdeel van de agenda was een strategisch actieplan voor ontwikkeling en productie van batterijen. Om invulling te geven aan dit actieplan is er binnen de Ecodesign directive een studie uitgevoerd gericht op emissies van batterijen. In de studie wordt specifiek gekeken naar een BEV-vrachtwagen. De studie komt uit op een waarde van 114 kg CO₂-eq. per kWh batterijcapaciteit (zie Tabel 83) (EC, 2019; Vito/Energyville; Viegand Maagoe, 2019).

Daarnaast zijn er de laatste jaren studies uitgevoerd die veelal gericht zijn op de productie van lichtgewicht auto's zoals personenauto's (Emilsson, 2019; Hao, et al., 2017; T&E, 2020b). De CO₂-emissies voor de productie van batterijen in deze studies variëren van 61-106 kg CO₂-eq./kWh (Emilsson, 2019), 96-109 kg CO₂-eq./kWh (Hao, et al., 2017) en

86 kg CO₂-eq./kWh (T&E, 2020b), zie ook Tabel 83. Opvallend in deze studies is de theoretische benadering en het expliciet benoemen van gebrek aan data uit de praktijk. (A. Hoekstra, 2020) noemt een waarde van 75 kg CO₂-eq./kWh. Recent heeft Tesla een impactrapport uitgebracht aangaande de zogenaamde Gigafactories van Tesla, de grootste productiefaciliteit van elektrische auto's ter wereld. Uit het impactrapport blijkt dat batterijproductie daar in 2017 87 kg CO₂-eq./kWh veroorzaakte en in 2019 77 kg CO₂-eq./kWh (Tesla, 2020b).

In alle studies wordt benoemd dat de emissies van productie van batterijen sterk afhankelijk is van de volgende factoren:

- De toegepaste energiemix: bij de toepassing van hernieuwbare energie nemen de emissies significant af.
- De locatie: productie in China komt als meest vervuilend naar voren. Productie in de V.S. of Europa levert ongeveer 50% minder emissies op door een minder CO₂-intensieve elektriciteitsproductie.
- De fabriek: de omstandigheden en werkwijze verschillen per fabriek en opschaling leidt tot sterke emissiereducties.

De CO₂-emissies van batterijproductie variëren per bron. Een overzicht van de waarden is weergegeven in Tabel 83.

Tabel 83 - CO₂-eq.-emissies van Li-ion-batterijproductie in verschillende bronnen

Bron	Emissies batterijproductie (kg CO ₂ -eq./kWh)
(Emilsson, 2019)	61-106
(Hao, et al., 2017)	96-109
(Hoekstra, 2019)	75
(T&E, 2020b)	86
(Vito/Energyville; Viegand Maagoe, 2019)	114
(Tesla, 2020b)	87 (2017); 77 (2019)

Recent heeft Transport & Environment een tool gepresenteerd waarbij de uitstoot over de hele levensduur van een BEV-personenauto vergeleken kan worden met die van een diesel- of benzineauto (T&E, 2020b). In de achtergrondinformatie bij de tool is te lezen dat rekening is gehouden met elektriciteitsmixen tijdens productie op verschillende locaties (Zweden, Polen en China) en dat veel studies conservatieve waarden presenteren. In Tabel 83 is te zien dat de door Transport & Environment gehanteerde waarde ongeveer een gemiddelde is van de andere bronnen samen. Daarnaast valt het binnen de range uit het impact report van Tesla.

7.2.3 Levensduur van de batterij

Om de CO₂-emissies per kilometer of tonkilometer te bepalen speelt de levensduur van de batterij een belangrijke rol, aangezien de totale CO₂-emissies worden gedeeld door het aantal (ton)kilometers gedurende de levenscyclus van de batterij. Bij de levensduur van een batterij kan onderscheid gemaakt worden tussen 'calendar aging' en 'capacity fade'. Bij calendar aging bereikt de batterij de einde levensduur door ouderdom en het niet (volledig) gebruiken van de batterij. Bij capacity fade bereikt de batterij de einde levensduur door het aantal keer volledig opladen van de batterij, dus het aantal keer doorlopen van de volledige cyclus van laden en ontladen. Dit is het beste uit te leggen met een rekenvoorbeeld, zie volgend tekstkader (Battery University, 2019).

Verschil in levensduur batterij op basis van actieradius

Stel: een BEV-auto A met een actieradius van 500 km en een BEV-auto B met een actieradius van 250 km rijden beiden 250.000 km totdat ze het einde van de levensduur van de auto hebben bereikt. Dit betekent het volgende:

- de batterij in auto A doorloopt $250.000 / 500 = 500x$ de volledige cyclus van opladen en ontladen;
- de batterij in auto B doorloopt $250.000 / 250 = 1.000x$ de volledige cyclus van opladen en ontladen.

Dat betekent dat de batterij van auto A na 250.000 km een relatief minder verlies heeft aan batterijcapaciteit dan de batterij van auto B. In principe verlengt het hebben van meer batterijcapaciteit dus de levensduur van de batterij.

In de praktijk betekent niet dat een batterij met een grotere capaciteit altijd langer mee gaat. Bij weinig gebruik wordt calendar aging maatgevend en zal de batterij achteruitgaan en de einde levensduur bereiken door veroudering zonder de volledige capaciteit benut te hebben.

Het altijd volledig opladen van de batterij versnelt het capacity fade-proces. Vaker kleine hoeveelheden opladen en laden tot aan de benodigde hoeveelheid kWh voor een bepaalde rit verlengt de levensduur. Ultrasnel laden verkort juist de levensduur, vooral als de batterij koud is. Het opladen van en het gebruik van een koude batterij verlaagt de capaciteit en verkort daarmee de levensduur. De ideale temperatuur van een batterij is kamertemperatuur.

Lithiumbatterijen in auto's gingen in het verleden vaak maar 500 cycli mee. De accupakketten in nieuw verkochte auto's gaan op dit moment naar verwachting 1.500-3.000 cycli mee voor 20% van de capaciteit verloren gaat en in 2030 zal dit toenemen naar 5.000-10.000 cycli (Hoekstra, 2019). Dit betekent dus dat er met een batterij meer kilometers gemaakt kunnen worden. Voor de huidige situatie nemen we aan dat de batterijen 1.500 cycli meegaan en dat voor vrachtvoertuigen calendar aging minder belangrijk is dan capacity fading, vanwege het intensieve gebruik van de batterij.

7.2.4 Vergelijking conventionele en elektrische voertuigen wegtransport

In deze paragraaf analyseren we wat het effect is van de CO₂-emissies die vrijkomen bij de productie van de batterij op de totale emissies van elektrische voertuigen tijdens de levenscyclus. We maken daarbij een vergelijking met conventionele voertuigen uit Mobitool (Frischknecht, et al., 2016). We beschouwen een kleine en grote elektrische bestelauto, een vrachtauto en een trucktrailer. De kleine bestelauto komt niet direct voor in Mobitool, maar is op basis van de grote bestelauto met waarden uit Mobitool benaderd. We hebben de kleine bestelauto meegenomen in de analyse omdat dit type voertuig al veel op de markt is en zich qua verbruik anders verhoudt tot diesel dan de zwaardere voertuigen (zie Paragraaf 3.2.4).

De impact van de batterij op de emissies is gemaakt op basis van bestaande/aangekondigde elektrische modellen, die qua grootteklasse lijken op de voertuigen uit Mobitool:

- De Renault Kangoo Maxi ZE 33 (35 kWh);
- de Toyota PROACE Electric (75 kWh);
- de DAF LF Electric (235 kWh);
- de Tesla Semi (1.000 kWh).

Voor de levensduur van de elektrische varianten zijn dezelfde waarden aangehouden als voor conventionele bestelauto's, vrachtwagens en trucktrailers. Voor de CO₂-emissie per kWh is de waarde van 86 kg CO₂-eq./kWh aangehouden die wordt gehanteerd in de recente

studie van Transport & Environment (T&E, 2020b).³¹ Een overzicht van kenmerken en aannames per voertuig is te zien in Tabel 84.

Tabel 84 - Data en aannames voor de vergelijking van voertuigen elektrisch wegtransport

	Kleine bestelauto (LG 1,6 ton)	Grote bestelauto (LG 2,2 ton)	Vrachtwagen	Trucktrailer
Type voertuig	Renault Kangoo	Toyota PROACE Electric	DAF LF Electric Innovation Truck	Tesla Semi Truck
Fase	Op de markt	Op de markt	Op de markt	In ontwikkeling
Toepassing	Stadslogistiek	Stadslogistiek	Stadslogistiek	Lange afstand
Maximaal laadvermogen goederen (ton)	0,74	1,3	12	23
Gemiddelde ladinggewicht per rit (ton)	0,11	0,2	5,8	11,6
Capaciteit batterijpakket (kWh)	35	75	235	1.000
Bereik batterij (km)	Max 170	max 330	Max 235	Max 800
Theoretisch einde levensduur batterij (Cycli)	1.500 (2018) 5.000 (2030)	1.500 (2018) 5.000 (2030)	1.500 (2018) 5.000 (2030)	1.500 (2018) 5.000 (2030)
Levensduur voertuig (km)	250.000	350.000 ^b	700.000	900.000
Aantal batterijen in levensduur voertuig ^a	1 (2018) 1 (2030)	1 (2018) 1 (2030)	2 (2018) 1 (2030)	1 (2018) 1 (2030)
Productie-emissies per kWh - batterijcapaciteit (Kg CO ₂ -eq./kWh)	86 (2018) 60 (2030)			
Productie-emissies per tkm (g CO ₂ /tkm)	108 (2018) 22,5 (2030)	48 (2018) 10 (2030)	10 (2018) 2,1 (2030)	8,2 (2018) 1,7 (2030)
Energieverbruik (kWh/km)	0,22	0,40	1,3	1,6
Energieverbruik diesel referentie (Mobitool) (kWh diesel/km)	0,64	0,86	2,8	3,4
Emissie per kWh gedurende levensduur voertuig (bouwjaar 2018 en 2030) (g CO ₂ /kWh)	82 (max 137) (2018) 14 (max 27) (2030)			

^a Het aantal batterijen is berekend door aantal benodigde cycli in levensduur auto (levensduur/75% van maximale bereik) te delen door maximum aantal cycli (1.500), in het geval van een tweede batterij in de levensduur van het voertuig, is een langere levensduur van 3.000 cycli aangenomen.

^b Voorzichtige aanname, de garantie is 1.000.000 km voor dit model.

Voor het bepalen van alle ketenemissies, zijn de volgende waarden uit Frischknecht, et al. (2016) gelijk gehouden voor conventionele en elektrische voertuigen:

- productie en afdanking voertuig;
- voertuigonderhoud;
- infrastructuur ³².

Omdat Mobitool alleen data heeft voor een grote bestelauto (LG 2,0-2,5 ton) hebben we voor de kleine bestelauto de ketenemissies bepaald door de emissies te schalen op basis van gewicht en tonkilometerprestatie in de levensduur. Voor elektrische voertuigen zijn vervolgens de emissies van batterijproductie toegevoegd.

³¹ (Ricardo, 2020) komt uit op een vergelijkbare waarde van 90 kg/kWh.

³² De impact van laadinfrastructuur is niet bepaald, de bijdrage hiervan is naar verwachting beperkt.

Het brandstofverbruik van de grote bestelauto en de vrachtauto's is gebaseerd op Mobitool (Frischknecht, et al., 2016) en voor de kleine bestelauto op basis van de kentallen uit Tabel 10. De WTT CO₂-uitstoot van diesel en elektrisch hebben we berekend op basis van de emissiefactoren in Paragraaf 4.8 (WTT-diesel) en Paragraaf 3.2.4 (index factoren elektrisch). Er is daarbij uitgegaan van een gemiddelde CO₂-uitstoot van de elektriciteitsmix van 82 gram CO₂/MJ³³ gedurende de levensduur en van 137 g CO₂/MJ (2018-mix) maximaal. Voor diesel is aangenomen dat er gedurende de levensduur van het voertuig 5% extra biodiesel in de dieselblend zal komen (in de maximaal variant niet).

Naast de CO₂-emissies voor het jaar 2018 is ook geanalyseerd hoe de emissies uitkomen op basis van elektriciteit- en batterijproductie-emissies voor het jaar 2030, uitgaande van CO₂-emissies van elektriciteit van 13,7 CO₂/MJ gemiddeld en 27,4 g CO₂/MJ (2030-mix) maximaal.³³ Voor de productie-emissies van de batterij is aangenomen dat deze afnemen tot 60 kg/kWh en het aantal cycli van een batterij is toegenomen tot 5.000. Voor diesel is aangenomen dat de voertuigen 30% zuiniger zijn in 2030 dan de huidige voertuigen³⁴ en dat er 5% meer biodiesel in de brandstofmix zit.

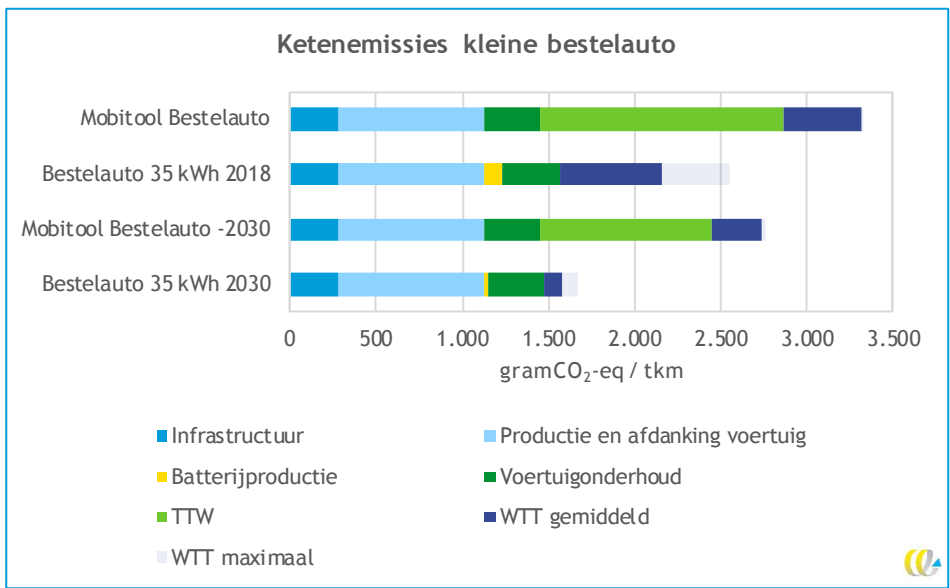
In Figuur 30-Figuur 33 zijn de levenscyclus-CO₂-emissies weergegeven voor de voertuigen uit Tabel 84 in vergelijking met conventionele voertuigen. Uit de figuren wordt direct duidelijk dat een elektrisch voertuig uit 2018 gedurende zijn levensduur een reductie van 33-44% CO₂ veroorzaakt (minimaal 15-23% bij geen verbetering in elektriciteitsmix). In 2030 zal de reductie veel hoger zijn naarmate de elektriciteitsmix verbetert. De CO₂-reductie wordt voor 2030 ingeschat op 40-70% ten opzichte van de conventionele voertuigen over de levensduur.

Geconcludeerd kan worden dat de extra emissies van batterijproductie niet opwegen tegen de emissiereductie tijdens het gebruik. Er blijft duidelijk een netto CO₂-reductie over die naarmate de batterijen verbeteren, het productieproces efficiënter wordt en de elektriciteitsemissies lager worden, alleen maar groter wordt richting 2030.

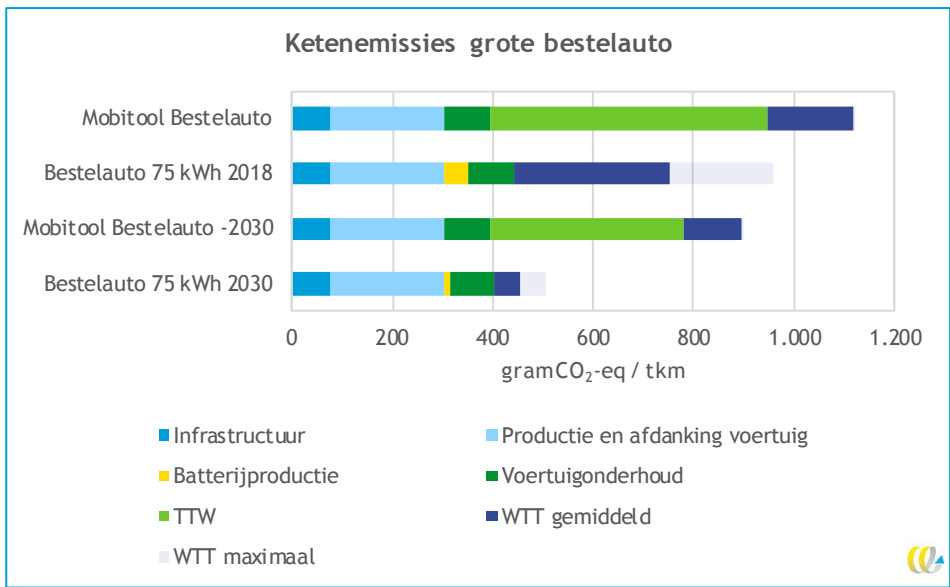
³³ Voor het voertuig uit 2018 is uitgegaan van een gemiddelde van 137 g CO₂/MJ in 2018 en 27,4 g CO₂/MJ in 2030 (o.b.v. (PBL, 2019)). Voor het voertuig uit 2030 van 27,4 g/MJ in 2030 (maximaal) en de helft hiervan als gemiddelde gedurende de levensduur).

³⁴ Gebaseerd op de EU-target voor vrachtauto's om in 2030 30% zuiniger te zijn. Voor bestelauto's is een gelijke reductie aangenomen.

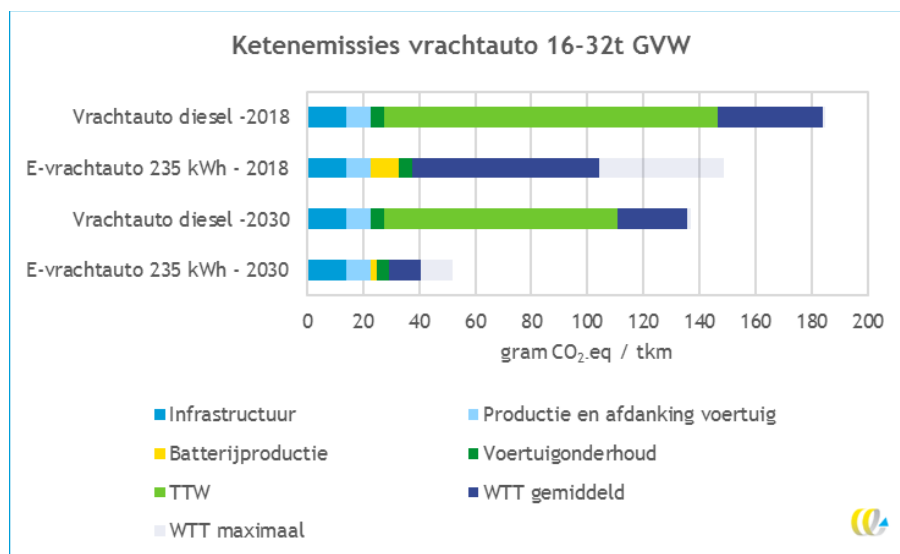
Figuur 30 - Ketenemissies kleine conventionele en elektrische bestelauto in 2018 en 2030



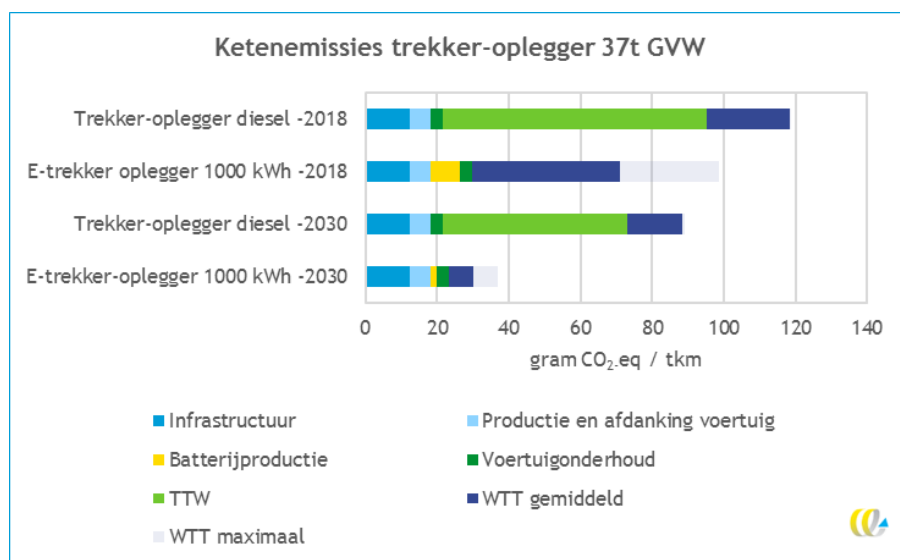
Figuur 31 - Ketenemissies grote conventionele en elektrische bestelauto in 2018 en 2030



Figuur 32 - Ketenemissies conventionele en elektrische vrachtwagen in 2018 en 2030



Figuur 33 - Ketenemissies conventionele en elektrische trucktrailers in 2018 en 2030



Bovenstaande vergelijking is gericht op het effect van de batterijproductie op de totale emissies. De batterij is er uitgelicht omdat hier de grootste impact van verwacht wordt. Er is in de vergelijking geen rekening gehouden met een verlaging van de CO₂-emissies van voertuigproductie, onderhoud en infrastructuur richting 2030. Een reductie hierin zal echter ongeveer hetzelfde zijn voor diesel als elektrische voertuigen. Ook is bij de elektrische voertuigen geen rekening gehouden met waarschijnlijk lagere onderhoudsemissies en extra infrastructuuremissies van laadpalen ten opzichte van dieselveertuigen.

In de huidige berekeningen is het effect van de verlenging van de levensduur alleen meegenomen bij de batterijproductie. Een verlenging van de levensduur van de batterij kan tot gevolg hebben dat de levensduur van de totale auto verlengd wordt waardoor de emissies per tonkilometer lager uit kunnen vallen. Aanvullende berekeningen in dit kader zijn te vinden in Bijlage E.

Elektrificatie binnenvaart

Niet alleen vrachtautofabrikanten richten zich op batterij-elektrische aandrijving voor de toekomst. Ook binnenvaartondernemers onderzoeken de mogelijkheden van batterij-elektrische aandrijving. Dit jaar heeft Combined Cargo Terminals (CCT) het eerste volledig elektrische binnenvaartschip in de vaart genomen. Het schip, de Alphenaar, wordt volledig ingezet voor het vervoeren van bierflesjes van Heineken tussen Alphen aan den Rijn en Moerdijk. Vanuit Moerdijk gaan de flesjes bier naar Rotterdam en Antwerpen en van daaruit verder op transport naar de rest van de wereld. Het schip maakt gebruik van batterijen, die zijn geplaatst in containers die als geheel makkelijk verwisseld kunnen worden. De batterijcontainers kunnen gehuurd worden en hoeven daardoor niet aangeschaft te worden (Nieuwsblad Transport, 2020; AD, 2020; Nedcargo, sd).

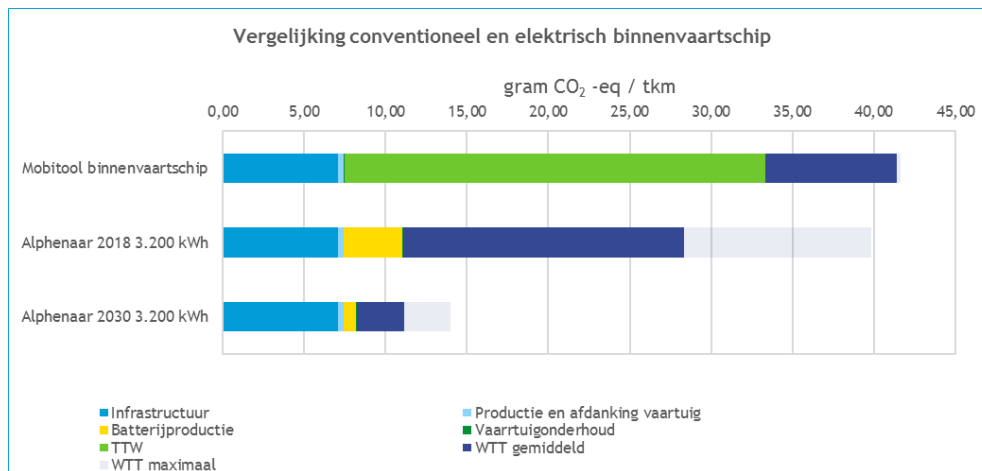
De Alphenaar maakt gebruik van twee batterijcontainers om het schip aan te drijven. Samen leveren deze containers 3.200 kWh waarmee 50-100 kilometer gevaren kan worden. Het batterijpakket weegt 20-22 ton. Ten opzichte van de 1.850 ton ladingcapaciteit (104 TEU) van de Alphenaar is het aandeel van het batterijpakket ongeveer 1,1% (Modulair Energie Concept, 2019; Concordia DAMEN, sd).

Ter illustratie van het effect van de batterij op de totale levenscyclus-CO₂-emissies hebben we een indicatieve analyse gemaakt de CO₂-impact van dit elektrische schip gebouwd in 2018 en een versie gebouwd in 2030 ten opzichte van een dieselschip in 2018. De Alphenaar is vergelijkbaar met het binnenvaartschip in Mobitool (Frischknecht, et al., 2016) met een laadcapaciteit van 2.000 ton en gemiddelde lading (benutting) van 1.030 ton (Figuur 34). Voor de vergelijking zijn we uitgegaan van dezelfde levensduur als voor een binnenvaartschip in Mobitool, uitgedrukt in kilometers, namelijk 3.357.500 km (Messmer & Frischknecht, 2016). Voor de gemiddelde lading is dezelfde waarde gehanteerd als in Mobitool, namelijk 1.030 ton. Voor de vergelijking hebben we dezelfde methode toegepast als voor het wegtransport, waarbij is aangenomen dat de elektrische aandrijving 54% van de energieverbruik heeft ten opzichte van de dieselvariant.³⁵ Er is gerekend met dezelfde waarden van CO₂-uitstoot per kWh bij batterijproductie als bij wegtransport voor 2018 en 2030.³⁶ Voor de uitstoot van CO₂-emissies is ook bij het binnenvaarschip uitgegaan van een gemiddelde uitstoot over twaalf jaar vanaf 2018 (Alphenaar 2018) en vanaf 2030 (Alphenaar 2030). Over de gehele levensduur van het schip (veel meer dan 12 jaar) zullen de emissies gemiddeld genomen echter lager zijn.

³⁵ Er is gekozen voor een hoge relatieve energieverbruikswaarde uit literatuur voor trucks (INFRAS, 2019a), aangezien dieselmotoren in de binnenvaart een hoge efficiëntie hebben.

³⁶ Er is voor 2018 gerekend met een gelijke emissies per kWh (2018 waarde) voor alle vervangingsbatterijen die nodig zijn gedurende de levensduur. De waarde is dus een overschatting.

Figuur 34 - Vergelijking ketenemissies conventioneel en elektrisch binnenvaartschip in 2018 en 2030



De emissies per tonkilometer liggen voor de Alphenaar uit 2018 op 28 g CO₂-eq./tkm (max 40 g/tkm) en in 2030 op 11, g CO₂-eq./tkm (max 14 g/tkm). Ten opzichte van een conventioneel binnenvaartschip met een uitstoot van 42 g CO₂-eq./tkm is dit voor het schip met bouwjaar 2018 een reductie van 32% (minimaal 9%). In 2030 is dit 66%. De batterijproductie heeft in 2018 een aandeel in de totale emissies van 10% en in 2030 is dit al gereduceerd tot 6%. Deze afname is mede het gevolg dat in 2030 de levensduur van het batterijpakket zal zijn toegenomen. Ook door de toepassing van grote batterijen in de binnenvaart is er netto een CO₂-emissiereductie die in de toekomst zal toenemen.

7.3 Conclusies en aanbevelingen

In de vorige paragrafen is beschreven welke elementen er in een LCA thuishoren en wat de emissies zijn van batterijproductie. Ook is er op een vereenvoudigde manier laten zien wat de ketenemissies zijn van een elektrisch voertuig ten opzichte van een conventioneel voertuig. In deze paragraaf bespreken we welke stappen er genomen moeten worden om tot een volledige LCA voor de Nederlandse situatie te komen voor voertuigen. In Bijlage E staat een beschrijving van verschillen in LCAs van conventionele en elektrische voertuigen op basis van een drietal bronnen.

7.3.1 Conclusies

Er is voor alle modaliteiten informatie beschikbaar voor het opstellen van een LCA. In de paragrafen hierboven zijn de ketenemissies van de modaliteiten vergeleken op basis van (Frischknecht, et al., 2016). De bijdragen van de CO₂-emissies van infrastructuur en voertuigproductie en -onderhoud liggen voor de verschillende modaliteiten tussen de 10-20% van de totale levenscyclusemissies. Alleen voor luchtvaart is de relatieve bijdrage lager, mede door de hoge CO₂-emissies van het energiegebruik. In absolute zin zijn de emissies van infrastructuur en voertuigproductie en onderhoud het hoogst voor wegverkeer en luchtvaart.

Voor NO_x en PM_v is het beeld gevarieerder. Modaliteiten met relatief lage NO_x- en PM_v-emissies door energiegebruik (trein) hebben een groot aandeel van de levenscyclusemissies door infrastructuur en voertuigproductie. Met name voor PM₁₀ is deze bijdrage soms hoog (tot 70% van PM_v voor spoor diesel), door de relatief hoge emissies van mobiele werktuigen en het gebruik van kolenstroom (in het buitenland) voor staalproductie.

Voor batterij-elektrische voertuigen hebben we laten zien dat de batterijproductie zorgt voor een toename van de emissies bij productie maar zorgt voor een afname van emissies bij brandstofproductie en in het gebruik. Het netto-effect is een afname in de CO₂-emissies dat versterkt zal worden naarmate batterijen efficiënter geproduceerd worden, de levensduur van de batterij toeneemt en de CO₂-emissies van elektriciteit afnemen.

7.3.2 Aanbevelingen

Het is moeilijk om een goede vergelijking te maken tussen verschillende bronnen omdat er extra aannames gedaan moeten worden om tot een CO₂-emissie per tonkilometer te komen. Daarnaast bevatten de meeste bronnen slechts informatie over de emissies van een deel van de keten. In Frischknecht et al. (2016) en Ecoinvent (2007) zijn de extra aannames wel expliciet benoemd.

De kentallen in dit hoofdstuk geven een beeld maar zijn niet specifiek ontwikkeld voor de Nederlandse situatie. Belangrijke parameters die een rol spelen in de CO₂-emissies van infrastructuur zijn bijvoorbeeld de intensiteit van het infrastructuurgebruik, het aantal kunstwerken en de mate van onderhoud. Om tot specifiek Nederlandse kentallen te komen zou dit in een LCA-studie verder uitgewerkt moeten worden. De meest voor de hand liggende keuze is om, op vergelijkbare wijze als in Mobiltool, de kentallen te gebruiken uit Ecoinvent (2010) en deze voor Nederland aan te passen. Daarnaast kunnen ook batterij-elektrische voertuigen op deze wijze verder worden gemodelleerd, waarbij ook rekening wordt gehouden met verschillen in het productieproces van het voertuig zelf en de benodigde infrastructuur.

Aansluitend op de doelstellingen van het Klimaatakkoord om CO₂-reductie te realiseren in 2030 en 2050, kan het besparingspotentieel ingeschat worden voor het gehele wagenpark bij elektrificatie van het wegtransport. De kentallen uit dit hoofdstuk zijn berekend per tonkilometer en kunnen daarvoor dienen als aanknopingspunt. Daarnaast kan dezelfde methodiek worden gehanteerd voor het berekenen van kentallen voor andere categorieën in het wegtransport. Zowel in het wegtransport als bij de andere modaliteiten kan worden gekeken naar andere manieren van elektrificatie, zoals het gebruik van bovenleidingen (wegtransport) en het toepassen van ander type batterijen (scheepvaart).

8 Vergelijking met *STREAM*

Goederenvervoer 2016

STREAM 2020 is gebaseerd op het basisjaar 2018. In grote lijnen wordt dezelfde methodiek gebruikt als in *STREAM 2016*. Er zijn echter een aantal aanpassingen gemaakt die hieronder verder worden toegelicht.

8.1 Wegtransport

Voor wegtransport zijn de volgende verschillen in methodiek ten opzichte van 2016:

- De categorieën voor het wegtransport zijn uitgebreid naar aanleiding van uitgebreidere gegevens die beschikbaar zijn gekomen over bestelauto's op basis van het onderzoek van Connekt (2017). Omdat een bestelauto maximaal 3,5 ton mag wegen zie je dat de ladingcapaciteit van de grootste bestelauto's (meer dan 2,5 ton leeggewicht) relatief laag is. Deze voertuigen worden vooral ingezet om volumineuze goederen te vervoeren. Een vergelijking tussen de indeling van 2016 en de huidige studie is weergegeven in Tabel 85.

Tabel 85 - Categorieën voor het wegtransport in *STREAM 2016* en *STREAM 2020*

Categorie 2016	Laadcapaciteit		Laadcapaciteit
Bestelauto < 2 ton	0,7	Bestelauto LG < 1.5 ton	0,7
		Bestelauto LG 1,5-2 ton	1
Bestelauto > 2 ton	1,2	Bestelauto LG 2-2,5 ton	1
		Bestelauto LG > 2,5 ton	0,7
Vrachtauto GVW < 10 ton zonder aanhanger	3	Vrachtauto GVW < 10 ton zonder aanhanger	3
Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger	7,5	Vrachtauto GVW 10-20 ton zonder aanhanger	7,5
Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger	18	Vrachtauto GVW 10-20 ton met aanhanger	18
Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger	13	Vrachtauto GVW > 20 ton zonder aanhanger	13
Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger	28	Vrachtauto GVW > 20 ton met aanhanger	28
Trekker-oplegger licht	16	Trekker-oplegger licht	16
Trekker-oplegger zwaar	29	Trekker-oplegger zwaar	29
LZV	41	LZV	41

- De emissiefactoren zijn geüpdatet op basis van de meest recente versie van Task Force on Transportation, (2020). Hierin zijn onder andere de praktijk uitstootcijfers van NO_x door Euro 6-voertuigen aangepast. Deze zijn op basis van metingen verhoogd ten opzichte van *STREAM 2016*.
- Er zijn enkele methodische aanpassingen gedaan in (Task Force on Transportation, (2020). Zo zijn er meer specifieke kilometrages en wegtypeverdelingen beschikbaar voor voertuigtypes. Ook is de samenstelling van het wagenpark aangepast naar de situatie in

2018. Het gevolg is dat de bijdrage van de lagere Euroklassen significant afneemt waardoor de gemiddelde uitstoot van luchtvervuilende stoffen afneemt. De veranderingen in wegtypeverdeling slaan vooral op vrachtwagens. Deze rijden na de aanpassing meer kilometers op buitenwegen ten koste van snelwegen en stads-kilometers.

- De nieuwverkoop van lichte bestelauto's is al jarenlang aan het dalen ten opzichte van zwaardere varianten. Het gevolg is dat het gewicht van bestelauto's is toegenomen en daardoor vallen de emissies van bestelauto's hoger uit.
- Pre-Euro-voertuigen zijn in deze editie van *STREAM* ook meegenomen als zijnde Euro 0. Hierdoor nemen de emissies van deze groep toe, en het parkgemiddelde als geheel. In de vorige editie werden pre-euro voertuigen niet meegenomen.

Ten opzichte van de vorige editie van *STREAM* zijn er enkele verschillen in de resultaten. De verandering in parksamenstelling zorgt ervoor dat voor vrachtwagens en trekkers de energievraag (MJ/km) in kleine mate verschilt van de vorige editie. Voor vrachtwagens is er een afname zichtbaar doordat Euro V en VI zuiniger zijn dan Euro III en IV. Euro VI-trekkers zijn niet of nauwelijks zuiniger dan Euro V-trekkers. Veranderingen in wegaandelen en parksamenstelling zorgen in bepaalde situaties voor een toename van het energieverbruik. De uitstoot van NO_x is voor vrachtwagens aanzienlijk lager doordat er meer gereden wordt met Euro V- en Euro VI-vrachtwagens. Om dezelfde reden zijn de emissies van PM_v een stuk lager ten opzichte van *STREAM 2016*. Voor bestelauto's is er gebruik gemaakt van meer specifieke data. De voor transport ingezette bestelauto's zijn relatief groot en hebben per km een hoger energieverbruik dan in *STREAM 2016* werd vermeld. Hieruit volgt onder andere een hogere uitstoot per kilometer van CO₂ en NO_x. De uitstoot van PM_v valt wel lager uit door andere samenstelling van het park. Per tonkm is de uitstoot van bestelauto's vergelijkbaar met de vorige editie van *STREAM*.

8.2 Spoor

De grootste wijziging ten opzichte van *STREAM 2016* is een aanpassing van de trein-categorieën op basis van gesprekken met experts en een nieuwe bron (ProRail, 2019):

- Voor het stuk- en bulkgoederenvervoer zijn middellange, lange en extra lange treinen gedefinieerd.
- Voor het containervervoer zijn lange en extra lange treinen gemodelleerd. De lange trein is op basis van een lengte van 650 meter en de extra lange trein is op basis van een treinlengte van 740 meter.
- Bij het bulktransport is een nieuwe categorie toegevoegd voor een extra zware goederentrein. Deze categorie is representatief voor het transport van kolen en erts. Een overzicht van de toepassingen per treincategorie is te vinden in Bijlage C.

Verder zijn ten opzichte van *STREAM 2016* de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- De emissiefactoren voor NO_x en PM_v zijn gewijzigd:
 - NO_x is nu 0,984 g/MJ ten opzichte van 0,978 g/MJ in *STREAM 2016*;
 - PM_v is nu 0,023 g/MJ ten opzichte van 0,027 g/MJ in *STREAM 2016*.
- Het energiegebruik voor elektrische treinen is gewijzigd op basis van nieuwe data van het UIC. Het verbruik in kWh per tonkilometer is daardoor afgenomen (UIC, 2019).
- Er is in kaart gebracht wat het aandeel elektrisch en het aandeel diesel is in tonkilometers in Nederland, waardoor er nu een betere uitspraak is gedaan over het gewogen gemiddelde van diesel en elektrische treinen.

Door de aanpassing van het type treinen is het lastig om een directe vergelijking van de resultaten te maken tussen *STREAM 2016* en *STREAM 2020*. Het gebruik van relatief langere treinen zorgt voor een hogere efficiëntie per tonkm. Daarnaast zorgt het gebruik van iets lagere emissiefactoren voor NO_x en PM_{sl} een nog grotere afname van luchtvervuilende emissies per tkm.

8.3 Binnenvaart

Voor de binnenvaart zijn een aantal aanpassingen gemaakt op grond van nieuw beschikbare data en bronnen. De belangrijkste aanpassingen voor binnenvaart zijn de volgende:

- De vaarsnelheden in het binnenvaart model zijn geüpdatet met praktijkcijfers die zijn samengesteld door CBS op basis van AIS-data gemeten door transponders van Rijkswaterstaat. De snelheden zijn op basis van de maand juli 2015. Vooral de vaarsnelheden voor kleine schepen op smalle vaarwegen vallen aanzienlijk lager uit. Tegelijkertijd kan op bepaalde trajecten de vaarsnelheid enigszins hoger uitvallen. De verschillen in vaarsnelheid ten opzichte van *STREAM 2016* zijn te zien in Tabel 100 tot en met Tabel 103 in Bijlage D.
- Op basis van het aantal observaties van scheepstypen in de vaarsnelheid data is een aantal schip en-vaarwegcombinaties aangepast naar combinaties die representatiever zijn:
 - 6 baksduwstel (breed) in plaats van 6 baksduwstel (lang).
 - Vaarweg Vb i.p.v. Va voor koppelverband C3l.
- Daarnaast is op basis van verschillende studies (STC-NESTRA; RebelGroup; EICB, 2015) een gemiddeld geïnstalleerd vermogen aangenomen per scheepstype, waarvoor in de modellering als voorwaarde is gesteld dat de vermogensvraag het geïnstalleerde vermogen niet overtreft. Door de aanpassingen van de vaarsnelheden is dit echter ook niet meer het geval.
- De emissiefactoren zijn aangepast op basis van de meest recente versie van het EMS-protocol. Ten opzichte van de vorige editie zijn voor NO_x-emissies wijzigingen aangebracht op basis van door TNO uitgevoerde metingen in scheepspluimen (Emissieregistratie, 2018). NO_x-emissiefactoren voor CCR2-motoren vallen daardoor hoger uit ten opzichte van de vorige editie.
- In lijn met de meest recente versie van het EMS-protocol (Emissieregistratie, 2018) passen we in de huidige versie correctiefactoren voor motorbelasting toe op het brandstofverbruik en de emissiefactoren van NO_x, PM_v, VOS en methaan en CO. Een lagere motorbelasting zorgt voor relatief hogere emissies per kWh motorvermogen doordat het gebruik van de motor bij deze belasting niet optimaal is. De motorbelasting van een schip is bepaald door de vermogensvraag te vergelijken met de belasting op een traject. Deze vermogensvraag wordt vergeleken met het geïnstalleerde vermogen per scheepstype. Zo gebruikt een M1-schip met gemiddelde lading op een CEMT1-kanaal gemiddeld 13% van zijn vermogen waardoor NO_x-emissies per kWh toenemen met 140%. In absolute zin zorgt de lage vermogensvraag wel voor lage NO_x-emissies.
- Als gevolg van deze aanpassing is de energievraag en uitstoot van binnenvaartschepen veranderd ten opzichte van de vorige editie van *STREAM*. Vooral voor kleine schepen is er sprake van een afname in de vaarsnelheid. Dit zorgt voor een lagere motorbelasting en een daaraan gerelateerde afname in emissies. Tegelijkertijd zorgen het toepassing van correctiefactoren op de emissies voor niet optimale motorbelasting ervoor dat de uitstoot toeneemt ten opzichte van de vorige editie van *STREAM*. Het is afhankelijk van het scheepstype en de vaarweg of dit resulteert in een af- of toename in energieverbruik in emissies.

8.4 Zeevaart

De aanpassingen voor zeevaart betreffen in de eerste plaats een aanpassing in scope. In *STREAM 2020* wordt niet alleen naar short sea-scheepvaart gekeken, maar ook naar deep sea-scheepvaart. Dit heeft als consequentie dat we in deze versie van *STREAM* niet alleen uitgaan van scheepvaart in de SECA³⁷ van de Noord en Baltische zee, maar ook van emissie eisen voor de deep sea-scheepvaart. Op 1 januari 2020 is van kracht geworden dat zeeschepen alleen nog op laagzwavelige dieselolie mogen varen (max. 0,5% S) of een alternatief toepassen waarmee de zwaveluitstoot vergelijkbaar laag of lager is (onder andere scrubbers, LNG). Ondanks dat deze regeling in het basisjaar 2018 nog niet van kracht was, nemen we deze nieuwe regelgeving wel mee in de huidige versie van *STREAM*. Dit doen we omdat het grote verschillen oplevert in emissies en we willen voorkomen dat de emissiekentallen meteen al achterhaald zijn.

In de tweede plaats hebben we een belangrijkste aanpassing gemaakt in de gebruikte bronnen en methodiek ten opzichte van *STREAM 2016*. In *STREAM 2016* is de 3rd IMO GHG Study gebruikt om met behulp van gemodelleerde getallen de emissie en energiewaarden per tonkm uit te rekenen. In *STREAM 2020* wordt er gebruik gemaakt van verbruiksdata van schepen die in het kader van EU Regulation 2015/757 verplicht zijn CO₂-emissies per tonkilometer te rapporteren als ze EU-lidstaten aandoen. Deze gegevens uit de zogenaamde EU-MRV-database betreft schepen boven 5.000 GT. De gegevens uit deze database zijn gebruikt in combinatie met data uit de Clarksons Research Portal. De EU-MRV-database geeft geen informatie weer voor schepen onder de 5.000 GT. Voor deze schepen hebben we daarom praktijkwaarden gebruikt die verkregen zijn via de KVNVR (Koninklijke Vereniging van Nederlandse Reders).

De aanpassing in bronnen en methodiek levert de volgende belangrijkste verschillen in de resultaten op:

- De gemiddelde grootte van de schepen (uitgedrukt in dwt) binnen een grootteklasse is in *STREAM 2020* bepaald op basis van de EU-MRV-database. Over het algemeen is de gemiddelde grootte redelijk gelijk aan die van de categorieën in *STREAM 2016*. Alleen het General cargoschip 10-20 dwkt is significant (40%) kleiner dan in 2016, wat leidt tot hogere emissiekentallen. De olietanker 0-5.999 dwt is significant groter (70%), wat leidt tot lagere emissiekentallen.
- Het energieverbruik (in MJ/tonkm), de CO₂- en de luchtvervuilende emissies zijn per tonkm voor de bulkcarriers, de olietankers en de containerschepen over het algemeen lager dan in de 2016-versie, wat te danken is aan het lagere energiegebruik per tonkilometer op basis van de EU-MRV-database. Met name grotere containerschepen blijken in de praktijk een lager energieverbruik per tonkm te hebben dan eerder werd ingeschat. In tegenstelling tot wat in de vorige editie is ingeschat neemt de benuttingsgraad bij sommige grotere scheepstypen juist iets af. De general cargoschepen hebben een hoger energieverbruik ten opzichte van 2016 en daarmee ook hogere klimaat en luchtvervuilende emissies.
- De PM_v- en SO₂-emissies per eenheid brandstof zijn iets hoger dan in *STREAM 2016* vanwege de wijziging in scope. Er wordt namelijk gerekend met een gemiddeld hoger percentage zwavel in de brandstof en niet met de 0,1% zwavel zoals in 2016 op basis van de SECA in de Noordzee en de Baltische zee.
- NO_x-emissies per eenheid brandstof zijn gemiddeld genomen iets lager dan in 2016 vanwege vlootvernieuwing.
- De energie en emissiewaarden zijn afgeleid van het brandstofverbruik. Vanwege het feit dat er bij zowel de EU-MRV-database als de data van de KVNVR gebruik is gemaakt van

³⁷ Sulphur Emission Control area: eis maximaal 0,1% S.



echte waarden omtrent de hoeveelheid brandstofverbruik, de afgelegde afstand en de hoeveelheid lading, vinden wij de uitkomsten in *STREAM 2020* betrouwbaarder ten opzichte van de in theoretisch uitgerekende energie en emissiewaarden in *STREAM 2016*.

8.5 Luchtvaart

Luchtvaart is nieuw toegevoegd in *STREAM2020*.

8.6 Upstream-emissies

De upstream-emissies CO₂-emissies van brandstoffen zijn voor *STREAM 2020* grotendeels gebaseerd op (NEa, 2019). De NEa rapportage hanteert de emissiefactoren volgens de Uitvoeringsrichtlijn Brandstofkwaliteit (FQD), die gebaseerd zijn op studies van JRC en JEC. In *STREAM 2016* waren de CO₂-emissies gebaseerd op de (nog steeds) meest recente studies van JRC (JRC, 2014a) (JRC, 2014b) en deze factoren komen goed overeen met de waarde vanuit de NEa-rapportage.

De upstream-emissies van de luchtvervuilende emissies van brandstoffen zijn niet aangepast. De CO₂-emissiefactor voor elektriciteit is nagenoeg gelijk gebleven.

De luchtvervuilende emissies van elektriciteit zijn iets afgenomen.

9 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

STREAM 2020 geeft een overzicht van de gemiddelde emissiekentallen voor transport gebaseerd op de samenstelling de vaar- en voertuigen in Nederland in 2018. Het is interessant om een doorkijk naar de toekomst te maken bijvoorbeeld voor de jaren 2025, 2030 en verder op basis van verwachte vlootvernieuwing. De ingroei van elektrische voertuigen en mogelijk ook voertuigen op waterstof zal in het wegverkeer een belangrijke rol spelen.

Op dit moment zijn praktijkdata van batterij-elektrische vrachtauto's nog beperkt en de waarden voor het relatieve energieverbruik ten opzichte van dieselvrachtauto's lopen nog uiteen. Het is aan te bevelen deze data de komende jaren te updaten naarmate nieuwe praktijkdata komen.

Naar verwachting zullen komende jaren ook meer praktijkdata voor de binnenvaart beschikbaar komen, onder andere via meetprogramma's zoals CLINSH. Met name recentere en completere vaarsnelheden voor binnenvaartschepen kunnen de huidige resultaten verbeteren. Hiervoor zijn ook nieuwe metingen nodig, bijvoorbeeld op basis van AIS.

10 Bibliografie

- A. Hoekstra, M. S., 2020. *Comparing the lifetime green house gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel*, Eindhoven: TU/e.
- AD, 2020. *Primeur! Dit Alphense containerschip vaart op batterijen*. [Online] Available at: <https://www.ad.nl/alphen/primeur-dit-alphense-containerschip-vaart-op-batterijen-ac19654b/> [Geopend 23 07 2020].
- AEA; CE Delft; TEPR; TNO, 2012. *EU Transport GHG: Routes to 2050 II*, Brussels: Europese Commissie, DG Climate Action.
- 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.
- Alfa Laval Aalborg A/S, 2012. *Exhaust Gas Scrubber Installed Onboard MV Ficaria Seaways : Public Test Report , Environmental Project No. 1429*, Copenhagen: The Danish Environmental Protection Agency.
- AQB, 2018. *Biodiesel Analytics, Important Parameters and their Meaning*, Berlin: Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V..
- Arcadis, 2013. *Onderzoek invoering 3kV - Xandra simulaties*, Amersfoort: Arcadis.
- AVV, 2003. *Schatting energiegebruik binnenvaartschepen, versie 3*, Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV).
- Battery University, 2019. *BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV)*. [Online] Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_ev [Geopend 2 juli 2020].
- BEIS, 2020. *2020 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting*, London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS).
- Boeing, 2009. *AERO QTR 02 09*, Seattle: Boeing.
- Bundesamt, K., 2014. *Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) Gesamtverker Marz, Juni, September, Dezember 2014*, Flensburg ; Dresden: Kraftfahrt 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.
- CBS, 2020. *Bedrijfsvoertuigen; voertuigkenmerken, regio's, 1 januari*. [Online] Available at: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/71407ned/table?dl=8068&ts=1593696907300> [Geopend 2 juli 2020].
- CBS, 2020. *Wegvervoer bestelauto's; vervoerd gewicht, ladington- en voertuigkilometers*. [Online] Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82836NED/table?ts=1593630673682> [Geopend 2 juli 2020].



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

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

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

CE Delft; INFRAS; TRT; Ricardo, 2019. *Handbook on the external costs of transport*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2008. *STREAM Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten*, 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, 2015c. *Verificatie emissiekentallen binnenvaart (vertrouwelijk)*, Delft: CE Delft.

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

CE Delft, 2016b. *STREAM Goederenvervoer : Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer, versie 2*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Review GHG emission factors for transport for the EIB*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020a. *Emissiekentallen elektriciteit*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020b. *LCA drie typen personenauto's - Een vergelijking van een benzineauto, batterij-elektrische auto en een waterstofauto*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020c. *Review of Dutch rail diesel emissions calculation methodology*, Delft: CE Delft.

Clarksons, 2020. *World Fleet Register*. [Online]
Available at: <https://www.clarksons.net/portal>
[Geopend 2020].

Concawe, 2020. *Role of e-fuels in the European transport system - Literature review*, Brussels: Concawe.

Concordia DAMEN, sd *Bezoek aan Gouwenaar III bij Santierul Naval Orsova*. [Online]
Available at: <https://www.concordiadamen.com/news/bezoekgouwenaarIII>
[Geopend 23 07 2020].

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

Connekt, 2017. *Gebruikers en inzet van bestelauto's in Nederland*, Delft: Connekt.

Corbett, J. J. et al., 2016. *Health Impacts Associated with Delay of MARPOL Global Sulphur Standards*, sl: FMI.

DBSchenker Rail AG, 2009. *Our Freight Wagons*. Mainz: DB Schenker.

De Ingenieur, 2019. *Binnenvaart op stroom*. [Online]
Available at: <https://www.deingenieur.nl/artikel/binnenvaart-op-stroom>
[Geopend 2 juli 2020].

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 , 2019. *Comparison of Alternative Marine Fuels*, Høvik: DNV GL AS Maritime.

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.

EASA, 2019. *Milieurapport over de Europese Luchtvaart*, Keulen: EASA.

EC, 1998. Richtlijn 97/68/EG van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 1997 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendige *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L59(27.2.98), pp. 1-85.

EC, 2018. *Europa in beweging : Commissie voltooit haar agenda voor veilige, schone en geconnecteerde mobiliteit*. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/nl/IP_18_3708
[Geopend 2 juli 2020].

EC, 2019. *Ecodesign preparatory study for batteries*. [Online]
Available at: <https://ecodesignbatteries.eu/introduction>
[Geopend 2 juli 2020].

Ecoinvent; PSI ESU, 2007. *Transport services data v2.0*. Villigen; Uster: Ecoinvent.

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

EEA; EASA: EUROCONTROL, 2019. *European Aviation Environmental Report*, sl: EEA; EASA; EUROCONTROL.

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>
[Geopend 6 januari 2016].

EEA, 2019. *1.A.3.a Aviation 1 Master emissions calculator 2019*. [Online]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-1/view>
[Geopend juni 2020].

EEA, 2020. *Industrial Reporting under the Industrial Emissions Directive 2010/75/EU and European Pollutant Release and Transfer Register Regulation (EC) No 166/2006 file: LCP_extract_v5.2xlsx*. [Online]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/industrial-reporting-under-the-industrial>
[Geopend maart 2020].

ELaadNL, 2019. *Volgeladen naar zero-emissie stadslogistiek - De ontwikkeling van elektrische trucks voor stadslogistiek in Nederland t/m 2035*, sl: ELaadNL.

Emilsson, D., 2019. *Lithium-Ion vehicle battery production*, Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.

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

Emissieregistratie, 2018. *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart: Verbrandingsmotoren, versie 5*, sl: Taakgroep Verkeer en Vervoer (Emissieregistratie).

EMSA, 2018. *CO₂ Emission Report*. [Online]
Available at: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>
[Geopend 2020].

EU, 2015a. Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad van 20 april 2015 tot vaststelling van berekeningsmethoden en rapportageverplichtingen overeenkomstig Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende de kwaliteit van benzine en van dieselbrandstof. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L107(25.4.2015), pp. 26-67.



EU, 2015b. Verordening (EU) 2015/757 van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2015 betreffende de monitoring, de rapportage en de verificatie van kooldioxide-emissies door maritiem vervoer en tot wijziging van Richtlijn 2009/16/EG. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L123(19.5.2015), pp. 55-76.

EU, 2015c. Richtlijn (EU) 2015/1513 van het Europees Parlement en de Raad van 9 september 2015 tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG betreffende de kwaliteit van benzine en dieselbrandstof en tot wijziging van Richtlijn 2009/28/EG ter bevordering van het.... *Publicatieblad van de Europese Unie*, L239(15.9.2015), pp. 1-29.

EU, 2016. Verordening (EU) 2016/1628 van het Europees Parlement en de Raad van 14 september 2016 inzake voorschriften met betrekking tot emissiegrenswaarden voor verontreinigende gassen en deeltjes en typegoedkeuring voor in niet voor de weg bestemde mobiele machin. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L252(16.9.2016), pp. 53-117.

EU, 2019. Verordening (EU) 2019/1242 van het Europees Parlement en de Raad van 20 juni 2019 tot vaststelling van CO2-emissionormen voor nieuwe zware bedrijfsvoertuigen en tot wijziging van Verordeningen (EG) nr. 595/2009 en (EU) 2018/956 van het Europees Parlement. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L198(25.7.2019), pp. 202-240.

EUROCONTROL, 2020. *Small emitters tool*. [Online]
Available at: <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>
[Geopend juni 2020].

Frischknecht, R., Messmer, A., Stolz, P. & Tuchschnid, M., 2016. *Mobitool : Grundlagenbericht. Hintergrund, Methodik & Emissionfaktoren*. Zürich: Mobitool.

Geotab, 2020. *Geotab electric vehicle battery degradation tool*. [Online]
Available at: <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>
[Geopend 13 7 2020].

Hao, H. et al., 2017. GHG Emissions from the production of Lithium-ion batteries for electric vehicles in China. *Sustainability*, Volume 9, p. 504.

Hellenic Shipping News, 2020. *Want Electric Ships? Build a Better Battery*. [Online]
Available at: <https://www.hellenicshippingnews.com/want-electric-ships-build-a-better-battery/>
[Geopend 2 juli 2020].

Hoekstra, A., 2019. The Underestimated Potential of Battery Electric Vehiclesto Reduce Emissions. *Joule*, Issue 3, pp. 1404-1414.

Hoekstra, A., 2020. *Electric trucks: economically and environmentally desirable but misunderstood*. [Online]
Available at: <https://innovationorigins.com/electric-trucks-economically-and-environmentally-desirable-but-misunderstood/>
[Geopend 2 juli 2020].

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).

Huisman, M., 2018. *Electric trucks: wishful thinking or the real deal?*, Delft: TU Delft.

Hungaria RailCargo, sd *Bedienungsanleitung Zas Vierachsige Kesselwagen*. [Online]
Available at: https://rch.railcargo.com/dam/jcr:3308b137-5fdb-4782-be9b-29fd23cb91bb/7850_Zas_DE.pdf
[Geopend 2020].

IATA, 2014. *Recommended practice 1678 - CO2 measurement methodology*. [Online]
Available at: <https://www.iata.org/contentassets/34f5341668f14157ac55896f364e3451/rp-carbon-calculation.pdf>

ICAO, 2017. *Carbon Emissions Calculator Methodology*, Montreal: ICAO.

ICCT, 2019. *CO2 emissions from commercial aviation 2018*, Berlin: International Council on Clean Transportation (ICCT).

IEA, 2017. *The future of trucks - Implications for energy and the environment*, sl: International Energy Agency.



IFEU; INFRAS; IVE, 2014. *EcoTransIT methodology report 2014*, Berne ; Hannover ; Heidelberg: IFEU; INFRAS; IVE.

IFEU; INFRAS; IVE, 2019. *EcoTransIT Ecological Information Tool for Worldwide Transports Methodology and Data Update 2019*, Berne; Hannover; Heidelberg: IFEU; INFRAS; IVE.

IFEU; INFRAS; IVE, 2020. *Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports*, Berne; Hannover; Heidelberg: EcoTransIT World Initiative (EWI).

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

IMO, 2020. *Reduction of GHG Emissions from Ships : 4th IMO GHG Study*, London: IMO.

INFRAS, 2019a. *HBEFA 4.1*, Bern: INFRAS.

INFRAS, 2019b. *How to include non-CO2 climate change contributions of air travel at ETH Zurich*, Bern: INFRAS.

IPCC, 2014. *Fifth Assessment Report (Exclusive of Climate - Carbon Feedbacks - ARS method)*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

JEC, 2020. *Tank-To-Wheels report v5: Heavy duty vehicles*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, .

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*, Ispra: Joint Research Centre (JRC), 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 (JRC), Institute for Energy and Transport .

Kessler, A., 2020. *Doorbraak zorgt voor betere lithium-batterijen*. [Online]
Available at: <https://www.kijkmagazine.nl/nieuws/zorgt-deze-ontwikkeling-voor-betere-lithium-batterijen/>
[Geopend 23 07 2020].

Kongsberg, sd *Autonomous Ship Project, Key facts about Yara Birkland*. [Online]
Available at: <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkland/>
[Geopend 2 juli 2020].

KVNR, 2018. *Annual Energy Record 2018*, sl: Koninklijke Vereniging van Nederlandse Reders (KVNR).

Lambert, F., 2020. *Daimler delivers more electric Freightliner eCascadia semi-trucks*. [Online]
Available at: <https://electrek.co/2020/03/04/daimler-electric-freightliner-semi-trucks-ecascadia/>
[Geopend 2 juli 2020].

LNG24, 2015. *LNG Facts & Figures*. [Online]
Available at: <https://www.lngholland.com/files/LNG%20facts%20and%20figures.pdf>
[Geopend maart 2020].

MARIN, 2010. *Scheepskarakteristieken voor nieuwe grote schepen*, Wageningen: Maritiem Research Instituut Nederland (MARIN).

MARIN, 2014. *Sea shipping emissions 2012: Netherlands continental shelf, 12 mile zone, port areas and ospar region II*, Wageningen: Maritiem Research Instituut Nederland (MARIN).

MARIN, 2019. *Sea Shipping Emissions 2017 : Netherlands Continental Shelf, 12 Mile Zone and Port Areas*, Wageningen: Maritiem Research Instituut Nederland (MARIN).

Messmer, A. & Frischknecht, R., 2016. *Life Cycle Inventories of Water Transport Services*, Uster: Treeze.

Modulair Energie Concept, 2019. *Varen op batterijen : Nut en noodzaak*. Gorinchem, Marine Industry Gorinchem.



Muñoz, I. & Schmidt, J., 2016. Methane oxidation, biogenic carbon, and the IPCC's emission metrics. Proposal for a consistent greenhouse-gas accounting. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 2016, pp. 1069-1075.

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

NEa, 2019. *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2018*, Den Haag: Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).

NEa, 2020. *Small emitters within ETS aviation*. [Online]
Available at: <https://www.emissionsauthority.nl/topics/participants---ets-aviation/small-emitters-within-the-eu-aviation-ets>
[Geopend juni 2020].

Nedcargo, sd *Nedcargo zet in op semi-autonoom varen binnenvaart!*. [Online]
Available at: <https://www.nedcargo.com/2017/04/04/nedcargo-zet-in-op-semi-autonoom-varen-binnenvaart/>
[Geopend 23 07 2020].

Neste, 2016. *Neste Renewable Diesel Handbook*, Expoo: Neste Corporation.

Nieuwsblad Transport, 2020. *ZES wil binnenvaart elektrificeren met verwisselbare superbatterij + video*. [Online]
Available at: <https://www.nieuwsbladtransport.nl/binnenvaart/2020/06/02/zes-wil-binnenvaart-elektrificeren-met-verwisselbare-superbatterij/>
[Geopend 23 07 2020].

NMRI, 2014. *Development of LCA software for ships and LCI Analysis based on actual shipbuilding and operation*. Tokyo: National Maritime Research Institute (NMRI).

Oberhaus, D., 2020. *Want Electric Ships? Build a Better Battery*. [Online]
Available at: <https://www.wired.com/story/want-electric-ships-build-a-better-battery/>
[Geopend 2 juli 2020].

PBL, 2019. *Klimaat- en energieverkenning 2019*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Peeters, P. & Melkert, J., 2018. *Parlement En Wetenschap: Factsheet Toekomst Verduurzaming Luchtvaart*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal, KNAW, NWO, VSNU, Jonge Akademie.

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

ProRail, 2017. *Goederen over het spoor (in Nederland en daarbuiten)*. [Online]
Available at: <https://www.prorail.nl/spoorgoederenvervoer/goederen-over-het-spoor-in-nederland-en-darbuiten>
[Geopend 23 07 2020].

ProRail, 2019. *Ontwikkeling spoorgoederenvervoer in Nederland : 2018 vergeleken met 2017*, sl: ProRail.

ProRail, 2019. *Vanaf 2020 treinen van 740 meter lang op het spoor*. [Online]
Available at: <https://www.prorail.nl/nieuws/vanaf-2020-structureel-treinen-van-740-meter-lang-op-het-spoor>
[Geopend 29 Juni 2020].

ProRail, A., 2020. *Vragen CE Delft mbt onderzoek emissiefactoren* [Interview] (18 februari 2020).

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

Ricardo, 2020. *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA*, Brussels: European Commission (EC).

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

RVO, 2020. *Cijfers elektrisch vervoer*. [Online]
Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu->



[innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers](#)

[Geopend 2 juli 2020].

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-AVV).

RWS-DVS, 2011. *Richtlijn vaarwegen 2011*, Rotterdam: Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart (RWS-DVS).

Shell, 2020. <https://www.shell.com/>. [Online]

Available at: https://www.shell.com/business-customers/commercial-fuels/shell-gtl-fuel/technical-information/_jcr_content/par/relatedtopics.stream/1496056917944/5bbe2047ad53280f54ce84ba3f824c68ef8be723/shell-gtl-fuel-knowledge-guide-en.pdf

[Geopend oktober 2020].

Sloten, R. v. et al., 2019. *E-trucks vanuit de Rotterdamse haven*, Amsterdam ; Den Haag: EVConsult ; ZEnMo.

Soriano, M. I. & Laudon, N. P., 2012. *Comparative LCA of electrified heavy vehicles in urban use*, Gothenburg: Chalmers University.

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].

STC-NESTRA; RebelGroup; EICB, 2015. *Inventarisatie milieupresentaties bestaande binnenvaartvloot West-Europa*, Rotterdam: SCT-NESTRA.

T&E , 2019. *EU target to cut truck CO2 and boost zero-emission truck sales must only be the start*. [Online]

Available at: <https://www.transportenvironment.org/press/eu-target-cut-truck-co2-and-boost-zero-emission-truck-sales-must-only-be-start>

[Geopend 2 juli 2020].

T&E, 2017. *Analysis of long haul battery electric trucks in EU Marketplace and technology, economic, environmental and policy perspectives*. Graz, European Federation for Transport and Environment (T&E).

T&E, 2020a. *Recharge EU trucks : time to act!; A roadmap for electric truck charging infrastructure deployment*, Brussels: T&E.

T&E, 2020b. *How clean are electric cars? - T&E's analysis of electric car lifecycle CO2 emissions*. [Online]

Available at: <https://www.transportenvironment.org/news/how-clean-are-electric-cars>

[Geopend 2 juli 2020].

Task Force on Transportation, 2014. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, sl: 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.

Task Force on Transportation, 2019. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: Task Force on Transportation.

Task Force on Transportation, 2020. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: Task Force on Transportation.

Tesla, 2020a. *Semi*. [Online]

Available at: https://www.tesla.com/nl_NL/semi

[Geopend 2 juli 2020].



Tesla, 2020b. *Impact Report 2019*. [Online]
 Available at: https://www.tesla.com/ns_videos/2019-tesla-impact-report.pdf
 [Geopend 2020].

The Blue Roadmap, 2020. *The Blue Roadmap*. [Online]
 Available at: <https://www.blueroadmap.nl/#/>
 [Geopend 23 07 2020].

TML, 2008. *Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC*, Brussels: TML.

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

TNO, 2013. *Voertuigcategorieën en gewichten van voertuigcombinaties op de Nedelandse snelweg op basis van assen-combinaties en as-lasten*, sl: TNO.

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, 2015. *LNG for trucks and ships: fact analysis Review of pollutant and GHG emissions*, sl: 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, 2016c. *Emissions of mobile machinery at Dutch container terminals*, Utrecht: TNO.

TNO, 2017. *Onderscheidende kenmerken van brandstoftypen als alternatief voor diesel*, Den Haag: TNO.

TNO, 2018a. *20 LCA's van brandstof-machinecombinaties*, Utrecht: TNO.

TNO, 2018b. *PROMINENT: D2.8 / D2.9 Standardized model and cost/benefit assessment for right-size engines and hybrid configurations*, sl: TNO.

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

Trax, 2016. *3.2 degrees Slightly Steeper Approach Trial Report*, London: Trax International.

TRL, 2008. *Longer and/or Longer and havier Goods Vehicles (LHVs) - a Study of the likely Effects if permitted in the UK: Final Report*, UK: TRL.

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

UIC, 2016. *Carbon footprint of railway infrastructure*, Paris: Union Internationale des Chemins de fer (UIC).

UIC, 2019. *UIC Energy CO2_updated August 1st*. sl:UIC.

Université Liege, 2017. *Life Cycle Assessment of railway infrastructure in Belgium*. Villeneuve d'Ascq, Université Liege.

Verbruggen, F., Hoekstra, A. & Hofman, T., 2018. *Evaluation of the state-of-the-art of full-electric medium and heavy-duty trucks*. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven.

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

VIA Donau, 2015. *Prominent: D 1.2 List of best available greening technologies and concepts*, s.l.: Via Donau.

Vito/Energyville; Viegand Maagoe, 2019. *Preparatory Study on Ecodesign and energy labelling of batteries under FWC ENER/C3/2015-619-Lot 1 Task 5*, Brussels: European Commission (EC).

Volvo, sd *Elektromobiliteit binnen handbereik : Elektrische Transporten in de Stad met Volvo Trucks*. [Online]



Available at: <https://brochures.volvotrucks.com/nl/brochures/elektromobiliteit-binnen-handbereik/?page=1>

[Geopend 2020].

Wärtisilä, 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].

Wernet, G. et al., 2016. Theecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016(Issue (online) 21 (9)), pp. 1218-1230.

Yang, L., Hao, C. & Chai, Y., 2018. Life Cycle Assessment of commercial delivery trucks: diesel, plug-in electric and battery-swap electric. *Sustainability*, Volume 10, p. 45/47.



A Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

In *STREAM 2020* worden voor elektriciteit en brandstoffen emissiefactoren per MJ gegeven. In deze bijlage zijn de emissiefactoren uitgedrukt in meer gebruikte eenheden zoals per liter, kWh of kg brandstof/energiedrager.

Tabel 86 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (zie ook Tabel 68 voor factoren per MJ)

Brandstof	Toepassing	Eenheid	TTW			WTT			
			CO ₂ -eq. kg/ eenheid	CO ₂ kg/ eenheid	SO ₂ g/ eenheid	CO ₂ -eq. kg/ eenheid	NO _x g/ eenheid	PM g/ eenheid	SO ₂ g/ eenheid
Diesel	Diesel fossiel	Liter	n/a	2,62	0,02	0,82	1,16	0,12	3,54
	Biodiesel -NL-blend (97% FAME, 3% HVO)*	Liter	n/a	0,00	0,12	0,44	1,64	0,27	0,84
	Personenauto	Liter	2,50	2,47	0,02	0,80	1,18	0,13	3,39
	Bestelauto	Liter	2,49	2,47	0,02	0,80	1,18	0,13	3,39
	Vrachtauto	Liter	2,51	2,47	0,02	0,80	1,18	0,13	3,39
	Binnenvaart	Liter	2,50	2,47	0,02	0,80	1,18	0,13	3,39
	Spoor	Liter	2,48	2,47	0,02	0,80	1,18	0,13	3,39
Elektriciteit	Spoor (medium voltage)	kwh	0,00	0,00	0,00	0,486	0,34	0,02	0,15
	Weg (laag voltage)	kwh	0,00	0,00	0,00	0,494	0,35	0,02	0,15
HFO (3,5% S)	Zeevaart	Liter	3,11	3,08	42,68	0,51	1,22	0,12	3,68
HFO (0,5% S)	Zeevaart	Liter	3,11	3,08	9,70	0,65	1,24	0,13	3,75
MDO (0,1% S)	Zeevaart	Liter	2,71	2,68	1,67	0,71	1,13	0,12	3,44
HFO (0,5% S)/ MDO gemiddeld	Zeevaart	kg	3,22	3,19	6,08	0,76	1,31	0,13	3,99
Kerosine	Luchtvaart	Liter	2,51	2,49	0,79	0,70	1,41	0,18	3,44

Tabel 87 - Emissiefactoren (alternatieve) brandstoffen en groene elektriciteit (zie ook Tabel 69 voor factoren per MJ)

Brandstof	Toepassing	Eenheid	TTW			WTW			
			CO ₂ -eq.	CO ₂	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM	SO ₂
			Kg/eenheid	Kg/eenheid	g/eenheid	Kg/eenheid	g/eenheid	g/eenheid	g/eenheid
Benzine	Benzine (fossiel)	Liter	n/a	2,35	0,0145	0,65	1,33	0,14	4,05
	Benzinevervangers (gem)	Liter	n/a	0	0,0091	0,88	3,24	0,60	4,14
	Benzine bestelauto (mix, 4% bio)	Liter	2,20	2,18	0,0143	0,66*	1,55	0,19	4,15
LPG	Bestelauto	Liter	1,62	1,61	0,0049	0,17	1,08	0,08	0,95
	Vrachtauto	Liter	1,63	1,61	0,0049	0,17	1,08	0,08	0,95
HVO	Vrachtauto	Liter	0,04	0,00	0,0078	0,32	1,74	0,28	0,89
	Binnen-/zeevaart	Liter	0,03	0,00	0,0078	0,32	1,74	0,28	0,89
CNG	Bestelauto	Liter	0,38	0,36	0,0013	0,06	0,04	0,00	0,00
	Vrachtauto	Liter	0,38	0,36	0,0013	0,06	0,04	0,00	0,00
BioCNG	Bestelauto	Liter	0,02	0	0,0013	0,15	0,10	0,01	0,04
	Vrachtauto	Liter	0,02	0	0,0013	0,15	0,10	0,01	0,04
LNG	Weg	Liter	1,33	1,25	0,0045	0,32	0,59	0,02	0,01
	Binnen-/zeevaart (lean burn or dual fuel (3% diesel))	Liter	1,62	1,25	0,0045	0,32	0,59	0,02	0,01
	Zeevaart (dual fuel, direct injection, <10% MGO)	Liter	1,28	1,25	0,0045	0,32	0,59	0,02	0,01
BioLNG	Weg	Liter	0,08	0	0,0045	0,56	0,36	0,02	0,13
	Binnen-/zeevaart (lean burn or dual fuel (3% diesel))	Liter	0,39	0	0,0045	0,56	0,36	0,02	0,13
	Zeevaart (dual fuel, direct injection, <10% MGO)	Liter	0,04	0	0,0045	0,56	0,36	0,02	0,13
GTL	Vrachtauto	Liter	2,47	2,43	0,0070	0,80	1,24	0,13	3,80
	Binnenvaart	Liter	2,46	2,43	0,0070	0,80	1,24	0,13	3,80
Waterstof (stoomreforming)	Brandstofcel	kg	0	0	0	12,52	16,04	2,28	15,94
Groene waterstof uit niet-biologisch hernieuwbare energie	Brandstofcel	kg	0	0	0	1,09	0,01	0,00	0,01
Elektriciteit groen (hernieuwbare elektriciteit bio/niet-bio)	Batterij	kWh	0	0	0	0,00	0,06	0,01	0,02
Elektriciteit groen (uit niet-biologisch hernieuwbare energie)	Batterij	kWh	0	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00

* 0,69 inclusief ILUC.



B Wegtransport

B.1 Aanvullende tabellen

Tabel 88 - Voertuigkilometerverdeling van de verschillende Euroklassen per voertuigtype, berekend o.b.v. (Task Force on Transportation, 2020).

Euro-klasse	Bestel-auto < 1,5t	Bestel-auto 1,5-2,0 t	Bestel-auto 2,0-2,5t	Bestel-auto > 2,0 t	Vracht-auto < 10 tn	Vracht-auto 10-20 t	Vracht-auto > 20 t	Trekker Licht	Trekker Zwaar
Euro 0	0%	0%	0%	0%	3%	2%	0%	0%	0%
Euro I	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%
Euro II	1%	2%	2%	2%	7%	5%	4%	0%	0%
Euro III	9%	10%	10%	10%	10%	12%	14%	0%	11%
Euro IV	15%	13%	13%	13%	14%	10%	8%	0%	8%
Euro V	47%	49%	49%	49%	38%	28%	24%	25%	20%
Euro VI	27%	26%	26%	26%	28%	41%	50%	75%	61%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel 89 - Aandelen bestelautocategorieën van taakgroep (Task Force on Transportation, 2020) in toegepaste bestelautocategorieën op basis van leeggewicht (LG) in *STREAM*

	Taakgroep categorie licht (N1-I)	Taakgroep categorie middelzwaar (N1-II)	Taakgroep categorie zwaar (N1-III)
Bestelauto LG < 1,5t	1%	27%	72%
Bestelauto LG 1,5-2,0 t	0%	0%	100%
Bestelauto LG 2,0-2,5 t	0%	0%	100%
Bestelauto LG > 2,5 t	0%	0%	100%

Tabel 90 - Ratio van LZV- en trekker-oplegger emissiefactoren in g/km

Emissie	Ratio emissiefactoren (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 _v	1.21	TML, 2008/McKinnon, 2008
PM _{st} (PM ₁₀ wear and tear)	Zie hoofdstekst	Eigen berekening afhankelijk van aantal banden volgens methodiek Taakgroep, 2016

Tabel 91 - Wegtypeverdeling per voertuigtype, Berekend o.b.v. (Task Force on Transportation, 2020)

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

B.2 Relatief energiegebruik batterij-elektrische vrachtwagens

Om het relatieve energiegebruik van batterij-elektrische voertuigen ten opzichte van diesel te bepalen zijn bronnen onderzocht die voor eenzelfde type voertuig en een gelijke inzet zowel het energiegebruik van een elektrisch als van een dieselvoertuig geven: (INFRAS, 2019a; Huismans, 2018; T&E, 2020a; JEC, 2020). De verschillende bronnen waarvan de relatieve waarden in Tabel 92-Tabel 94 worden getoond laten een brede spreiding zien van relatief energiegebruik. Voor een stadsrit komen bijna alle bronnen uit op een relatief energiegebruik van ca. 42%. Voor de snelweg en gemiddeld variëren de waarden tussen de 39 en 58%.

Transport and Environment (T&E, 2017) vergelijkt in hun studie elektrisch en diesel door de verliezen in de aandrijflijn van beide concepten te vergelijken. Op basis van deze cijfers komen we op een waarde van 43% wanneer een niet geoptimaliseerde batterij-elektrische truck (cabine-over-motor) wordt vergeleken met een gemiddelde dieseltruck en op 52% in de vergelijking tussen een geoptimaliseerde batterij-elektrische truck (aerodynamisch) en een zeer efficiënte diesel. De T&E-waarden geven aan dat het veel uitmaakt welke stand van de techniek wordt vergeleken. Dit geldt voor zowel elektrische als dieselaandrijving. We hebben gekozen voor een waarde van 47% die tussen de twee waarden inzit. Dit lijkt ook een goede middenwaarde voor de overige bronnen, uitgaande van een groot aandeel snelweg voor vrachtauto's.

Tabel 92 - Relatieve waarden elektrische vrachtwagens t.o.v. diesel uit (INFRAS, 2019a)

	Snelweg	Buitenweg	Stadsweg	Gemiddeld Duitsland
Vrachtauto >7,5-12 t Euro VI	51%	51%	41%	50%
Vrachtauto <=7,5 t Euro VI	53%	53%	39%	51%
Trekker oplegger/truck >34-40 t Euro VI	59%	55%	41%	54%

Tabel 93 - Relatieve waarden elektrische vrachtwagens t.o.v. diesel uit (JEC, 2020)

	Snelwegrit	Regionale rit	Stadsrit
Vrachtwagen 2016	58%	48%	42%
Vrachtwagen 2025	40%	45%	34%

Tabel 94 - Relatieve waarden truck voor 2020 en 2030 volgens (Huismans, 2018)

Wegtype	2020 (kWh/km)			2030 (kWh/km)		
	Diesel	Elektrisch	Elektrisch /diesel	Diesel	Elektrisch	Elektrisch /diesel
Snelweg	3,37	1,53	45%	2,03	1,01	50%
Buitenweg	4,45	1,74	39%	3,5	1,55	44%
Stadsweg	4,92	2,02	41%	3,15	1,28	41%

C Spoor

C.1 Aanvullende tabellen

Tabel 95 - Eigenschappen locomotieven

	Lengte locomotief (m)	Gewicht locomotief (t)	Trekkracht (t)
Elektrisch	18	88	1.800
Diesel	18	110	1.800

Bron gewicht loc: (CE Delft, 2008), lengte en trekkracht op basis van diverse websites.

Tabel 96 - Toepassingen per type trein

Type trein	Licht transport	Middelzwaar transport	Zwaar transport	Extra zwaar transport
Bulk- en stukgoederentreinen				
Middellange trein	Graan	Neobulk	Tankwagons	Kolen en erts
Lange trein	Neobulk	Neobulk	Tankwagons	Kolen en erts
Extra lange trein	Neobulk	Neobulk	-	-
Containerentreinen				
Lange trein	Containers	Containers	Containers	Containers
Extra lange trein	Containers	Containers	Containers	Containers

Tabel 97 - Gemiddeld bruto tonnage van treinen in Nederland op Betuweroute en grenspassages in 2018

Grensovergang	Aantal treinen	Bruto tonnage (mln ton)	Gemiddeld bruto tonnage per trein (GTW)
Oldenzaal- Bad Bentheim	6.100	7	1.148
Zevenaar-Emmerich	20.650	37,8	1.831
<i>waarvan via gemengd net</i>	450	0,7	1.556
<i>waarvan via Betuweroute</i>	20.200	31,1	1.540
Venlo-Kaldenkirchen	16.550	25,1	1.517
Eijsden-Visé	2.550	3,6	1.412
Rosendaal-Essen	8.050	8,8	1.093
Totaal/gemiddeld bij grensovergangen	53.900	82,3	1.527

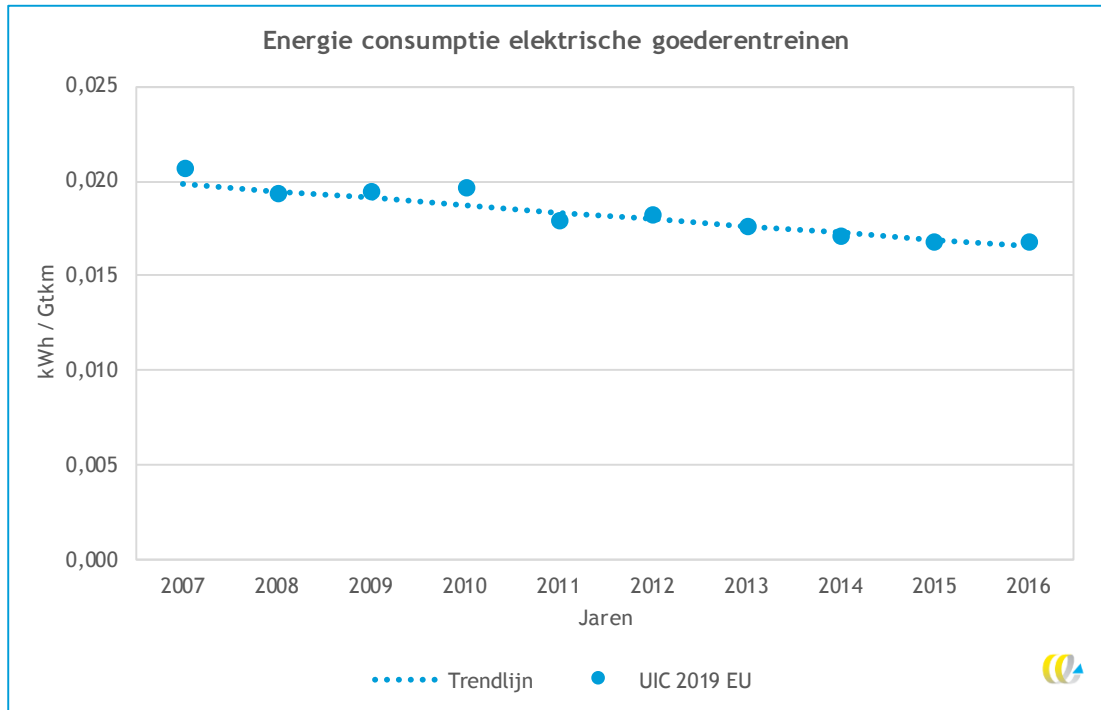
Bron: (ProRail, 2019).

Tabel 98 - Overzicht door goederentreinen vervoerde producten

Product	Aandeel
Containers	43%
Kolen	17%
Ertsen	14%
Bulk	11%
Staal	7%
Droge bulk	6%
Overig	2%
Totaal (per jaar)	100%

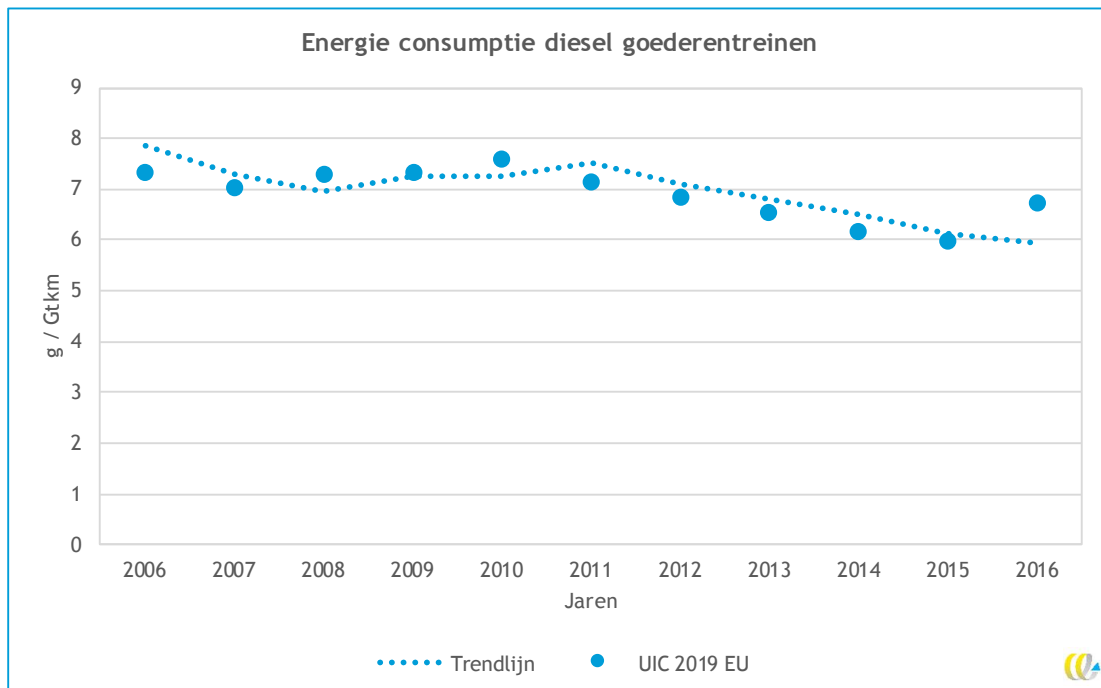
Bron: (ProRail, 2017).

Figuur 35 - Trend energieconsumptie elektrische goederentreinen op basis van UIC-data



Bron: (UIC, 2019).

Figuur 36 - Trend energieconsumptie diesel goederentreinen op basis van UIC-data



Bron: (UIC, 2019).

D Binnenvaart

D.1 Aanvullende tabellen

Tabel 99 - Scheepsparameters toegepast in de modelering 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 (breed)	16,481	34.20	193.00	3.75	0.60
Containers					
Neo Kemp (32-48 TEU)	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
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	3.736	11,40	135,00	3,50	1,00
Koppelverband Europa-II-C3L (348 TEU)	4.518	11,40	180,00	3,75	0,95
Rijnmax Schip (398-470 TEU)	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).

Tabel 100 - Vaarsnelheden bulk schepen *STREAM 2016*

Scheepstype	Vaarwegtype	Snelheid geladen stroom op/ beide	Snelheid geladen stroom af	Snelheid ongeladen stroom op/ beide	Snelheid ongeladen stroom af
Spits	CEMT I	9	9	23	23
	CEMT Va	11	11	17	17
	CEMT VIb	11	11	16	16
	Waal	11	12	15	16
Kempenaar	CEMT II	9	9	16	16
	CEMT Va	12	12	18	18
	CEMT VIb	12	12	17	17
	Waal	13	14	16	17
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	CEMT IV	9	9	16	16
	CEMT Va	12	12	19	19
	CEMT VIb	14	14	19	19
	Waal	14	14	18	19
Groot Rijnschip	CEMT Va	10	10	17	17
	CEMT VIb	14	14	19	19
	Waal	13	14	18	18

Scheepstype	Vaarwegtype	Snelheid geladen stroom op/ beide	Snelheid geladen stroom af	Snelheid ongeladen stroom op/ beide	Snelheid ongeladen stroom af
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed	CEMT VIb	8	8	15	15
	Waal	11	11	15	16
4 baksduwstel	CEMT VIb	10	10	17	17
	Waal	12	11	16	17
6 baksduwstel (breed)	CEMT VIc	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*
	Waal	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*

* Deze combinatie was niet opgenomen in *STREAM 2016*.

Tabel 101 - Vaarsnelheden bulk schepen *STREAM 2020* op basis van praktijk AIS-data

Scheepstype	Vaarwegtype	Snelheid geladen stroom op/ beide	Snelheid geladen stroom af	Snelheid ongeladen stroom op/ beide	Snelheid ongeladen stroom af
Spits	CEMT I	7	7	9	9
	CEMT Va	9	9	12	12
	CEMT VIb	10	10	13	13
	Waal	9	11	12	17
Kempenaar	CEMT II	7	7	8	8
	CEMT Va	11	11	12	12
	CEMT VIb	13	13	14	14
	Waal	12	16	12	17
R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal)	CEMT IV	9	9	11	11
	CEMT Va	10	10	12	12
	CEMT VIb	14	14	15	15
	Waal	13	17	14	18
Groot Rijnschip	CEMT Va	9	9	11	11
	CEMT VIb	13	13	14	14
	Waal	13	17	14	18
Klasse Va + 1 Europa II-bak breed	CEMT VIb	12	12	12	12
	Waal	11	15	16	17
4 baksduwstel	CEMT VIb	10	10	11	11
	Waal	11	16	16	18
6 baksduwstel (breed)	CEMT VIc	14	14	15	15
	Waal	10	17	16	18

Tabel 102 - Vaarsnelheden containerschepen *STREAM 2016*

Scheepstype	Vaarwegtype	Geladen stroom op/ beide	Geladen stroom af	Ongeladen stroom op/ beide	Ongeladen stroom af
Neo Kemp (32-48 TEU)	CEMT III	9,2	9,2	15,1	15,1
	CEMT Va	12,2	12,2	17,4	17,4
	CEMT VIb	13,9	13,9	16,7	16,7
	Waal	13,2	14,3	17,1	17,5
Rijn-Herne Schip (96 TEU)	CEMT IV	9,3	9,3	15,7	15,7
	CEMT Va	12,1	12,1	18,5	18,5
	CEMT VIb	14,1	14,1	18,7	18,7
	Waal	14,1	14,1	18,3	18,5
Duwbak Europa Ila (160 TEU)	CEMT Va	10,8	10,8	17,4	17,4
	CEMT VIb	12,8	12,8	17,2	17,2
	Waal	12,5	13,1	16,2	16,5
Groot Rijnschip (208 TEU)	CEMT Va	10	10	17,3	17,3
	CEMT VIb	13,6	13,6	19,2	19,2
	Waal	13,2	13,5	18	18,2
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	CEMT Va	10,5	10,5	18,3	18,3
	CEMT VIb	13,7	13,7	19,5	19,5
	Waal	12,5	13,6	18	18,1
Koppelverband Europa II-C3I (348 TEU)	CEMT Vb	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*	N.v.t.*
	CEMT VIb	11,7	11,7	18,2	18,2
	Waal	11,3	12	16,3	16,4
Rijnmaxschip (398-470 TEU)	CEMT VIb	14	14	18,5	18,5
	Waal	15,2	17,3	18,2	20,3

* Deze combinatie was niet opgenomen in *STREAM 2016*.

Tabel 103 - Vaarsnelheden containerschepen *STREAM 2020* op basis van praktijk AIS-data

Scheepstype	Vaarwegtype	Geladen stroom op/ beide	Geladen stroom af	Ongeladen stroom op/ beide	Ongeladen stroom af
Neo Kemp (32-48 TEU)	CEMT III	7,2	7,2	8,1	8,1
	CEMT Va	10,7	10,7	11,7	11,7
	CEMT VIb	13,0	13,0	14,1	14,1
	Waal	12,0	15,9	13,1	17,6
Rijn-Herne Schip (96 TEU)	CEMT IV	9,0	9,0	10,5	10,5
	CEMT Va	10,0	10,0	11,7	11,7
	CEMT VIb	13,6	13,6	14,7	14,7
	Waal	13,5	17,3	13,6	18,1
Duwbak Europa Ila (160 TEU)	CEMT Va	9,3	9,3	10,6	10,6
	CEMT VIb	12,8	12,8	13,1	13,1
	Waal	11,0	16,3	12,4	16,1
Groot Rijnschip (208 TEU)	CEMT Va	9,1	9,1	11,1	11,1
	CEMT VIb	13,4	13,4	14,4	14,4
	Waal	12,8	17,2	13,5	18,0
Verlengd groot Rijnschip (272 TEU)	CEMT Va	10,4	10,4	9,7	9,7
	CEMT VIb	14,0	14,0	14,9	14,9
	Waal	12,6	16,6	14,0	18,0



Scheepstype	Vaarwegtype	Geladen stroom op/ beide	Geladen stroom af	Ongeladen stroom op/ beide	Ongeladen stroom af
Koppelverband Europa II -C3I (348 TEU)	CEMT Vb	9,7	9,7	14,6	14,6
	CEMT Vlb	13,6	13,6	14,7	14,7
	Waal	12,3	16,4	11,9	17,0
Rijnmaxschip (398-470 TEU)	CEMT Vlb	14,1	14,1	14,4	14,4
	Waal	12,7	16,7	16,6	19,3



E Ketenenmissies

E.1 Beschrijving bronnen

Ecoinvent

Ecoinvent is een Zwitserse non-profit organisatie met een 'Life Cycle Inventory' (LCI) database. De database bevat informatie over emissies van duizenden producten, inclusief het productie- en onderhoudsproces. Het programma SimaPro biedt de mogelijkheid om de informatie uit deze database in te lezen en te verwerken voor een 'Life Cycle Analysis' (LCA) en daarmee de emissies te bepalen over de hele levensduur voor een bepaald proces of product.

Voor mobiliteit bevat de Ecoinventdatabase informatie over alle modaliteiten die in *STREAM* zijn opgenomen en over de bijbehorende infrastructuur. Voor alle modaliteiten is de informatie beschikbaar voor verschillende geografische situaties, zoals: Zwitserland, Europa zonder Zwitserland en de wereld. Voor een aantal modaliteiten zijn specifieke landen beschouwd waarover informatie beschikbaar is.

Mobitool (Frischknecht, et al., 2016)

Het Zwitserse platform Mobitool heeft de tool 'Mobitool-Factoren' ontwikkeld om een overzicht te geven van de emissies van voertuigen per modaliteit. De tool is gebaseerd op de LCA-methodiek en maakt overwegend gebruik van de data uit de Ecoinventdatabase. Om een specifiek geval te definiëren, past Mobitool een factor toe om de emissies en modellen te schalen. Voor de definitie van een voertuig geldt:

$$voertuig_{mobitool} = voertuig_{ecoinvent} * \frac{voertuiggewicht_{mobitool}}{voertuiggewicht_{ecoinvent}}$$

En voor de indirecte uitstoot door elektriciteitsproductie geldt:

$$energielevering_{mobitool} = energielevering_{ecoinvent} * \frac{gemiddeld\ verbruik_{mobitool}}{gemiddeld\ verbruik_{ecoinvent}}$$

Eenzelfde methode is toegepast om de directe uitstoot en de emissies van onderhoud en infrastructuur te bepalen.

LCA drie typen personenauto's (CE Delft, 2020b)

Bovengenoemde studie voert LCAs uit voor drie personenauto's in het C-segment. De drie personenauto's hebben ieder een andere aandrijving, namelijk benzine, elektriciteit en waterstof. Er is een vergelijking gemaakt voor emissies en kosten in 2020 en 2030. In 2030 zal het productieproces efficiënter zijn en grotendeels plaatsvinden met gebruik van hernieuwbare energie. De einde levensduur is niet meegenomen in de studie omdat de recyclinginfrastructuur nog niet is vormgegeven. De verwachting is dat dit weinig effect zal hebben op de totale ketenenmissies. Infrastructuur is niet meegenomen in de LCAs maar ook dit zal naar verwachting weinig effect hebben op de totale ketenenmissies. De studie focust zich op verschillen in ketenenmissies door de, voor de aandrijving, specifieke onderdelen te onderzoeken.

Review GHG emission factors for transport for the EIB (CE Delft, 2018)

Dit onderzoek is uitgevoerd voor de EIB met het doel om een update te geven van emissiekentallen. Dit is gedaan door middel van een review van verschillende bronnen. Het resultaat is een update van emissiekentallen per modaliteit voor de WTW- en TTW-emissies. Daarnaast zijn er correctiefactoren berekend voor 2030 voor nieuwe emissiekentallen.

Comparative LCA of Electrified Heavy Vehicles in Urban Use (Soriano & Laudon, 2012)

Er is gekeken naar een twee hybride trucks van Volvo voor de staddistributie en het ophalen van vuilnis. De productie van de Li-ion-batterijen heeft de grootste impact op de keten-emissies als onderdeel van de aandrijflijn. Qua onderhoud is er alleen één batterijvervanging gemodelleerd gedurende de levensduur voor één van de hybrides. Er is een groot verschil te zien tussen de emissies van de vuilniswagen en van de distributietruck voor zowel conventionele voertuigen en de hybride variant. In beide gevallen veroorzaakt de vuilniswagen minder emissies dan de distributietruck.

Life Cycle Assessment of Commercial Delivery Trucks: Diesel, Plug-In Electric, and battery-Swap Electric (Yang, et al., 2018)

Productie van een truck leidt tot 8 kg CO₂-eq./kg voertuig. De levensduur is aangenomen op 240.000 km. Per jaar wordt er 14.728-30.000 km gereden.

Development of LCA software for ships and LCI Analysis (NMRI, 2014)

Er zijn in dit onderzoek acht verschillende zeeschepen (bulk, tanker en container) gemodelleerd waarvoor de CO₂-, NO_x- en SO_x-emissies zijn bepaald. In de LCAs zijn de productie, gebruik, ontmanteling en recycling meegenomen. De infrastructuur wordt niet genoemd.

Life Cycle Assessment of railway infrastructure in Belgium (Université Liege, 2017)

In deze studie is gekeken naar het aandeel van infrastructuur in de totale ketenemissies van het spoor in België. Tunnels en bruggen zijn meegenomen evenals de opbouw van het spoor. Er is onderscheid gemaakt tussen diesel en elektrische treinen.

Carbon Footprint of Railway Infrastructure (UIC, 2016)

Het UIC heeft in dit rapport een vergelijking gemaakt tussen verschillende bronnen en de emissiekentallen die daarin gehanteerd worden voor spoorinfrastructuur. Er zijn een aantal casestudies uitgevoerd en er is onderscheid gemaakt tussen het vervoer van goederen en personen.

EU Transport GHG: Routes to 2050 II (AEA; CE Delft; TEPR; TNO, 2012)

In dit onderzoek is gekeken naar de emissies van infrastructuur, voertuigproductie en afdanking per modaliteit. Er is gekeken naar zowel goederen- als personenvervoer.

E.1.1 Analyse van LCA conventioneel en elektrisch voertuig in verschillende bronnen

In deze paragraaf presenteren we een vergelijking in de benadering van LCAs van conventionele en elektrische voertuigen.

(CE Delft, 2020b)

In (CE Delft, 2020b) is het verschil gepresenteerd tussen een benzineauto en een elektrische auto. In Tabel 104 is eenzelfde overzicht gepresenteerd met aanpassingen en aanvullingen voor goederenvervoer.

Tabel 104 - Verschillen tussen een conventioneel voertuig en een elektrisch voertuig

Onderdeel	Conventioneel voertuig	Elektrisch voertuig
Aandrijflijn en transmissie	<ul style="list-style-type: none"> – Verbrandingsmotor – Hoger gewicht aandrijflijn (trucks) 	<ul style="list-style-type: none"> – Elektromotor – Lager gewicht aandrijflijn (trucks) – N.t.b. (overige modaliteiten)
Energievoorziening	<ul style="list-style-type: none"> – Brandstoftank 	<ul style="list-style-type: none"> – Li-ion-batterij (wegtransport) – Flow battery (binnenvaart) – Modulair container batterij (binnenvaart containerschepen) – Solid electrolyte battery (scheepvaart) – Bovenleiding (spoor)
Elektronica en bedrading	<ul style="list-style-type: none"> – Kleine hoeveelheid elektronica 	<ul style="list-style-type: none"> – Grote hoeveelheid elektronica
Overige aanpassingen	<ul style="list-style-type: none"> – N.v.t. 	<ul style="list-style-type: none"> – Versterking assen (trucks) – N.t.b. (overige modaliteiten)

(Ecoinvent, 2010)

In (Ecoinvent, 2010) zijn voor goederenvervoer geen elektrisch-aangedreven voertuigen gemodelleerd, behalve voor spoor. In Tabel 105 zijn de verschillen in de LCAs van een diesel-aangedreven goederentrein en een elektrisch-aangedreven goederentrein weergegeven.

Tabel 105 - Verschillen en overeenkomsten LCA goederentrein diesel en goederentrein elektrisch per tonkilometer

LCA-onderdeel	Diesel	Elektrisch
Productie locomotief	Waarden gelijk	
Productie wagons	Waarden gelijk	
Onderhoud locomotief	Waarden gelijk	
Onderhoud wagons	Waarden gelijk	
Infrastructuur	Allocatiefactor gelijk	
Diesel	0,0107 kg	0,000677 kg
Elektriciteit	0 kWh	0,0478 kWh

Bron: (Ecoinvent, 2010).

De bijdrage van de productie, het onderhoud en de infrastructuur aan de LCA zijn voor beide treinen gelijk. In de praktijk is het verschil tussen een diesel-aangedreven en elektrisch-aangedreven goederentrein de locomotief. De wagons zijn voor beide treinen

gelijk en daarmee de bijdrage van de infrastructuur aan de LCA ook. De locomotief is echter anders waardoor het de vraag is of de waarden voor de productie en het onderhoud gelijk moeten blijven. Daarbij wordt er voor een elektrisch-aangedreven goederentrein een fractie diesel bij gerekend.

(Frischknecht, et al., 2016)

Mobitool heeft voor goederenvervoer geen vergelijking gemaakt tussen conventioneel en elektrisch-aangedreven voertuigen behalve voor spoor. Voor personenauto's is deze vergelijking wel gemaakt. Hierin zijn in principe dezelfde uitgangspunten gebruikt als voor conventionele personenauto's, zoals de levensduur van de auto. In Tabel 106 is weer gegeven welke uitgangspunten er gebruikt zijn voor de elektrische auto.

Tabel 106 - Verschil modelleren benzineauto en elektrische personenauto

	Benzine	Elektrisch
Levensduur batterij	N.v.t.	100.000 km
Gemiddeld verbruik	7,5 l/100 km	20 kWh/100 km
Range	N.v.t.	165 km
Slijtage-emissies	100%	10%
Laadinfrastructuur	N.v.t.	Niet meegenomen

Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

E.1.2 Vergelijking data Mobitool met andere bronnen

In het hoofdrapport is een vergelijking gemaakt tussen de CO₂-uitstoot van alle modaliteiten over de hele keten. Hieronder beschrijven we voor de overige bronnen de overeenkomsten en verschillen met Mobitool (Frischknecht, et al., 2016) per modaliteit. Niet voor alle modaliteiten zijn specifieke bronnen beschikbaar dus we beperken ons tot wegtransport, spoor en zeescheepvaart. Voor alle modaliteiten en bronnen geldt dat deze niet specifiek gericht zijn op goederenvervoer in de Nederlandse situatie. De kentallen geven een beeld op basis van internationale situatie. Aannames achter de kentallen dienen getoetst te worden op toepasbaarheid op de Nederlandse situatie.

Wegtransport

Voor het wegtransport zijn de meeste bronnen beschikbaar. Toch valt op basis van de verschillende bronnen niet direct te kwantificeren wat de aandelen aan emissies per onderdeel van de keten zijn. Dit komt doordat er gegevens ontbreken en er zijn aannames gedaan moeten worden om tot emissies per tonkilometer te komen.

In de studie van Yang, et al. (2018) wordt een vergelijking gemaakt tussen twee bestelwagens en twee lichte vrachtwagens (3,5-7,0 ton). Voor zowel de bestelwagen als vrachtwagen wordt een diesel en elektrische variant beschouwd.

De elektrische bestelauto heeft over de keten 69% minder CO₂-emissies per tonkilometer dan de dieselbestelauto. De elektrische vrachtwagen heeft daarentegen over de keten 9,8% meer CO₂-emissies per tonkilometer dan de dieselvrachtwagen. Het aandeel van de voertuigproductie van Yang, et al. (2018) valt binnen dezelfde range als Mobitool (Frischknecht, et al., 2016). De enige uitschieter is de productie van de elektrische bestelauto. Absoluut gezien is dit aandeel iets kleiner dan bij een dieselbestelauto. Het aandeel in de totale ketenemissies is echter hoger doordat de totale ketenemissies van de elektrische bestelauto lager uitvallen. De aandelen Wheel-To-Well (WTW) liggen voor de dieselbestelauto en vrachtwagen in de buurt van de waarden van Mobitool (Frischknecht, et al., 2016).

Het aandeel WTW is voor de elektrische varianten kleiner maar toch nog relatief groot. Een oorzaak hiervan kan zijn dat uitgegaan is van grijze stroom in China, zie ook de volgende paragraaf.

Tabel 107 - Vergelijking bijdrage voertuigproductie en WTW in levenscyclusmissies wegtransport

Voertuigtype	Aandrijving	Ketenemissies (excl. Infra) (g CO ₂ /tkm)	Aandeel voertuigproductie (excl. batterij) (-)	Aandeel WTW (-)
Mobitool, 2016				
Bestelauto < 3,5 ton	Diesel	1.592	14%	80%
Vrachtwagen 3,5-7,5 ton	Diesel	482	7%	88%
Yang et al., 2018				
Bestelauto < 3,5 ton	Diesel	745	10%	91%
	Elektrisch	231	22%	59%
Vrachtwagen 3,5-7,0 ton	Diesel	265	12%	84%
	Elektrisch	291	13%	67%

In de studie van (Soriano & Laudon, 2012) worden twee hybride trucks beschouwd: een vuilniswagen en een distributietruck. In de studie wordt aangetoond dat de CO₂-emissies over de hele levensduur veel lager liggen voor de hybride voertuigen ten opzichte van conventionele voertuigen. De totale hoeveelheid CO₂-emissies over de levensduur liggen voor de vuilniswagen lager dan voor de distributietruck. Als dit omgerekend zou worden naar tonkilometer dan zullen de emissies per tonkilometer dichter naar elkaar toe komen omdat de distributietruck langere afstanden rijdt en meer lading vervoert. De hybride voertuigen zijn vanwege de samenstelling niet één op één te vergelijken met de voertuigen uit Mobitool (Frischknecht, et al., 2016).

Spoor

Voor spoor is naast Mobitool (Frischknecht, et al., 2016) gekeken naar studies van de Universiteit Liege en van het UIC. In beide studies wordt gekeken naar de impact van railinfrastructuur op emissies over de hele levensduur. Bij (Universiteit Liege, 2017) wordt specifiek gekeken naar Belgische railinfrastructuur, de studie van het UIC is algemener. In Tabel 108 is een vergelijking gemaakt tussen deze bronnen en Mobitool (Frischknecht, et al., 2016) op het gebied van infrastructuur. In alle bronnen wordt gesproken over de invloed van tunnels en bruggen op de hoogte van de emissies. (UIC, 2019) laat zien dat bij een hoog aandeel tunnels en bruggen de CO₂-emissies per kilometer per jaar wel drie keer zo hoog kunnen liggen als spoor met een laag aandeel bruggen en tunnels. In Tabel 108 is te zien dat de waarden uit de verschillende bronnen binnen dezelfde range vallen.

Tabel 108 - Vergelijking bijdrage infrastructuur spoor aan ketenemissies

	g CO ₂ /tkm infrastructuur	Aandeel CO ₂ infra totale ketenemissies	mg PM/tkm infrastructuur	Aandeel PM infra totale ketenemissies
(Frischknecht, et al., 2016)				
Diesel en elektrisch	4,15	15%	4,82	38%
Elektrisch	4,15	18%	4,82	46%
(Université Liege, 2017)				
Diesel	-	19%	-	23%
Elektrisch	-	26%	-	42%
(UIC, 2019)				
Gemiddeld	6-7	-	-	-

Zeescheepvaart

In NMRI (2014) zijn LCAs gemaakt van acht verschillende zeeschepen. De productie van een schip van 10.000 ton veroorzaakt 15.000 tCO₂ over de hele levensduur. Daarvan zijn 500 tCO₂ directe emissies op de scheepswerf door het te water laten (43%), las- snij- en vormwerk (46%) en transport over de werf (11%). In Mobitool (2016) worden de emissies voor productie uitgedrukt per tonkilometer. Een exacte vergelijking tussen de twee bronnen is niet te maken zonder aannames te doen over het aantal tonkilometer dat gedurende de levensduur van de acht verschillende schepen wordt afgelegd.

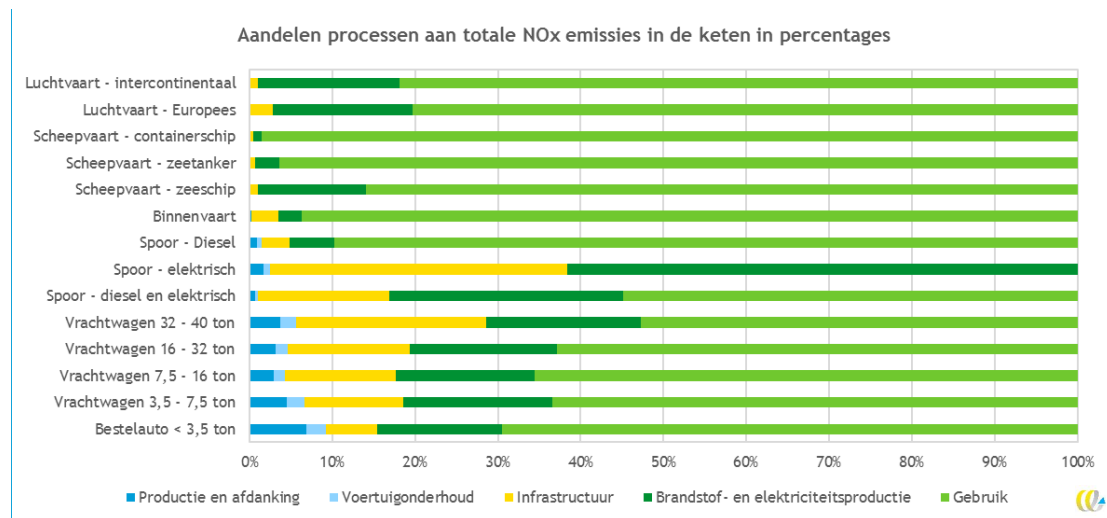
In NMRI (2014) worden per schip emissies genoemd per tonkilometer voor de gebruiksfase. Daarvan worden 7% van de emissies veroorzaakt door brandstofproductie, tegenover 15,2% in Mobitool (2016).

E.2 Aanvullende grafieken LCA-voertuigen

In Figuur 37 en Figuur 38 zijn de aandelen van de processen in de keten achtereenvolgens voor NO_x- en PM-emissies afgebeeld uit Mobitool. Voor spoor-elektrisch en weg is te zien dat de bijdrage van NO_x-emissies door infrastructuur in het totaal relatief hoog is in vergelijking met de verdeling bij CO₂. Voor de lucht-, sloop-, binnenvaart en spoordiesel is het aandeel van de NO_x-emissies juist lager dan bij CO₂. De verklaring hiervoor is dat de NO_x-emissies voor een belangrijk deel worden veroorzaakt door de inzet van mobiele werktuigen tijdens de bouw van wegen en spoorlijnen. De regulering van de emissies van mobiele werktuigen is minder streng dan van de wegvoertuigen en de emissies per liter diesel zijn daarom hoger dan voor de weg, maar niet ten opzichte van de andere modaliteiten. Op het gebied van voertuigproductie, -afdanking en onderhoud valt op dat de NO_x-emissies een laag aandeel hebben in de sloop- en binnenvaart terwijl de CO₂-emissies als gevolg van deze processen wel een significant aandeel hebben.

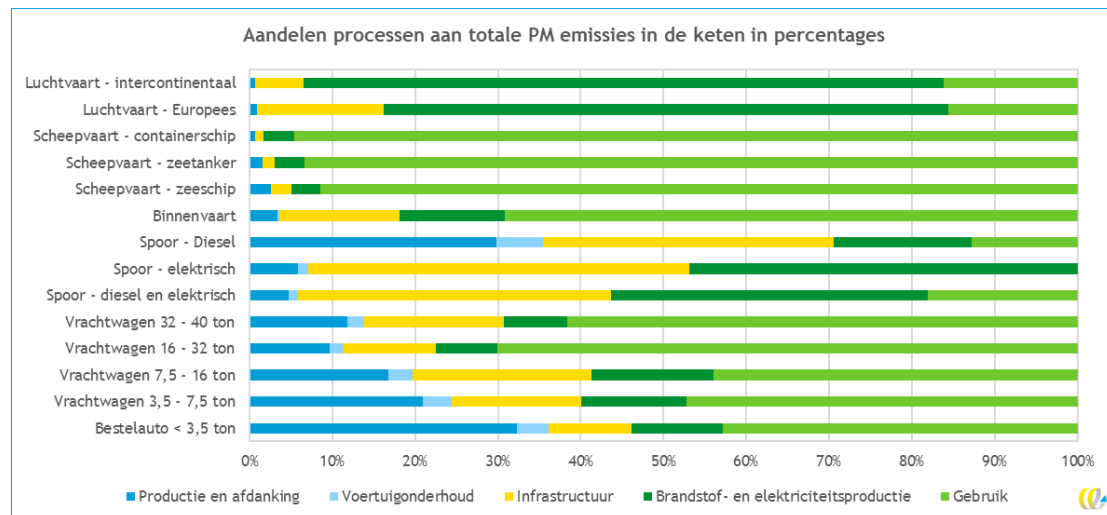
Voor PM_v-emissies laat de bijdrage van infrastructuur een vergelijkbaar beeld zien als voor NO_x maar dan versterkt. Daarnaast hebben voertuigproductie, -afdanking en -onderhoud bij alle modaliteiten een veel groter aandeel in de totale PM-emissies dan bij NO_x en CO₂. Samen met infrastructuur zorgt dit bij bestelauto's voor bijna de helft van de keten-emissies. Bij een volledig elektrisch spoor is het aandeel hiervan zelfs meer dan 50%. De hoge bijdrage van de PM_v-emissies van voertuigproductie zijn met name door toedoen van de inzet van kolenstroom in de productieketen van staal.

Figuur 37 - Aandelen processen aan NO_x-emissies in de keten per modaliteit



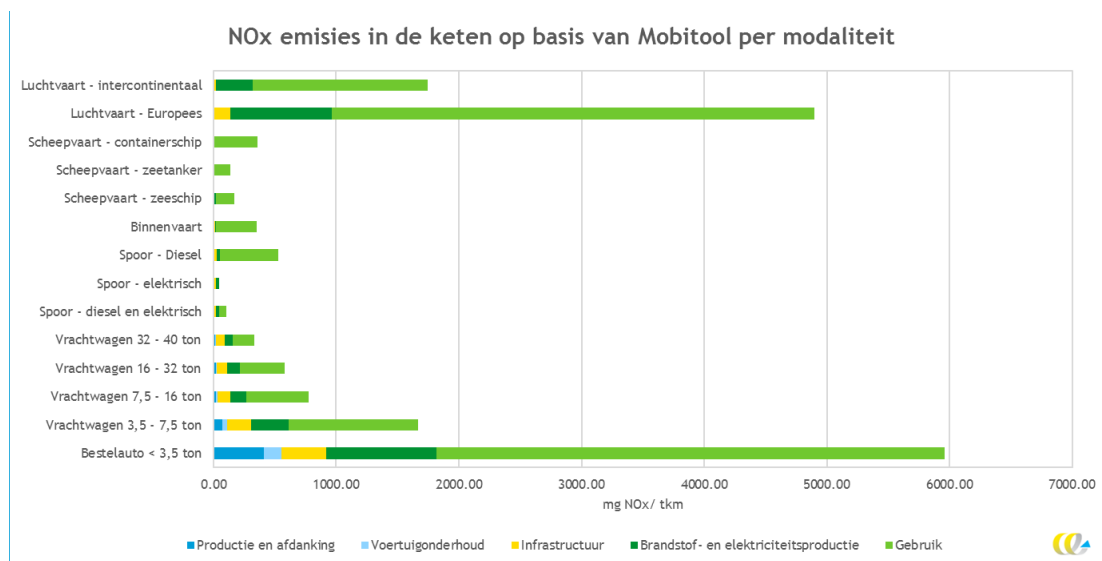
Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

Figuur 38 - Aandelen processen aan PM_v-emissies in de keten per modaliteit



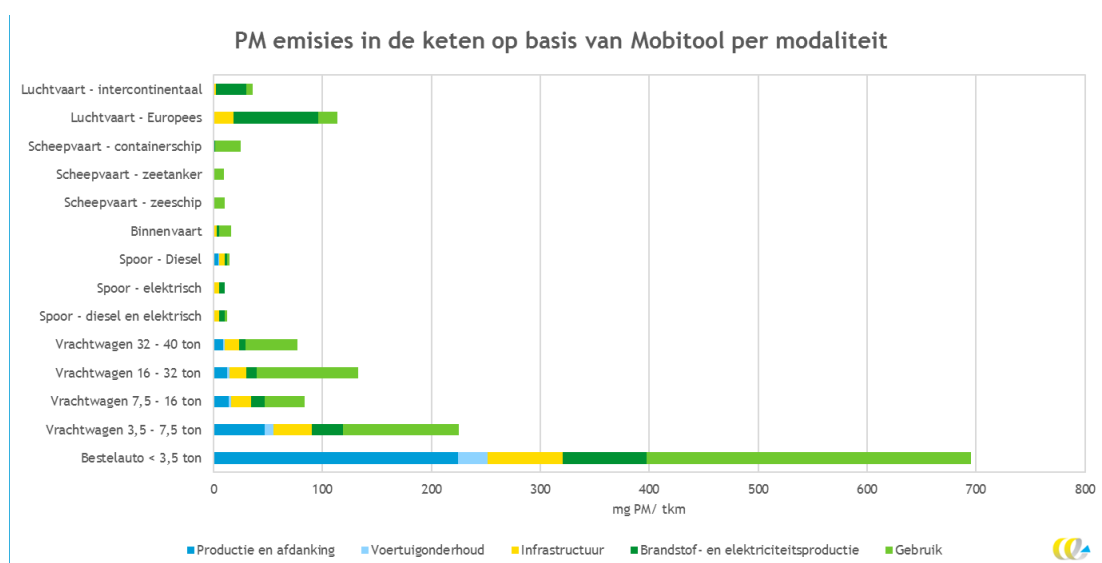
Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

Figuur 39 - NO_x-emissies per tkm over de hele keten per modaliteit



Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

Figuur 40 - PM_v-emissies per tkm over de hele keten per modaliteit



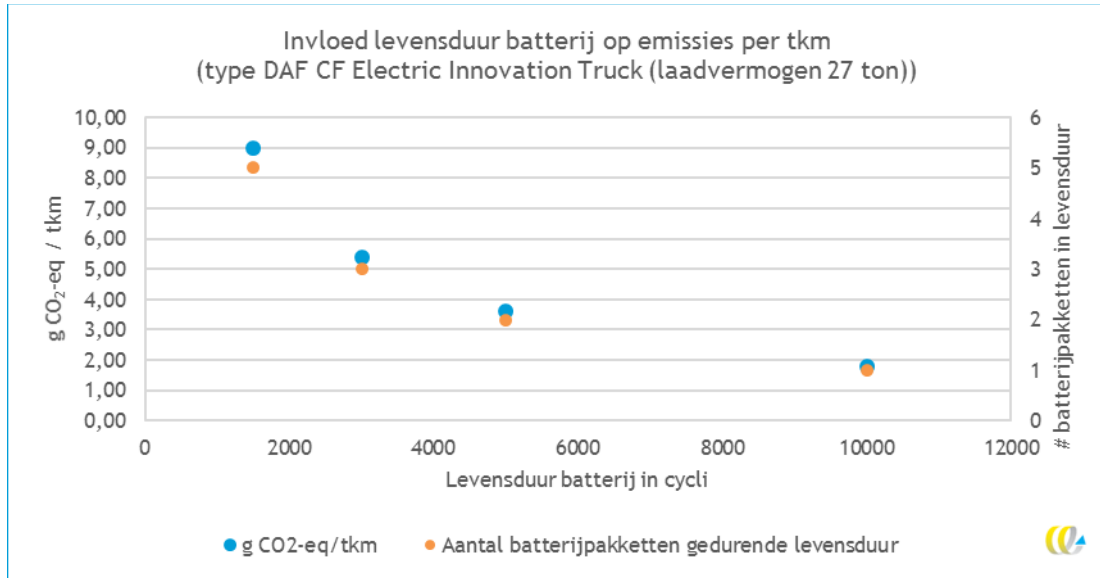
Bron: (Frischknecht, et al., 2016).

E.3 Aanvullende berekeningen batterijen

In Paragraaf 7.2 is ingegaan op de levensduur van batterijen en dat deze in de komende jaren flink zal toenemen. In de berekeningen is nu uitgegaan van een theoretisch einde levensduur van 1.500 cycli (Hoekstra, 2019). Dit is een conservatieve waarde omdat literatuur aangeeft dat de levensduur van batterijen momenteel ligt tussen de 1.500 en 3.000 cycli. De komende jaren zal dit toe gaan nemen richting 5.000 à 10.000 cycli. Het effect hiervan op de CO₂-emissies per tonkilometer is weergegeven in Figuur 41. Er is te zien dat de emissies per tonkilometer afnemen bij een langere levensduur van de batterij.



Figuur 41 - Invloed levensduur batterij op emissies per tonkilometer



De emissies als gevolg van de productie van batterijen zijn berekend op basis van de levensduur van het voertuig. Dat betekent dat in sommige gevallen de batterij gedurende die levensduur één of meerdere keren vervangen dient te worden. Een andere invalshoek is om als uitgangspunt voor de emissies de levensduur van de batterij te hanteren. Dit wordt gunstig zodra de levensduur van de batterij hoger komt te liggen dan de levensduur van het voertuig. In *STREAM* zijn we uitgegaan van een levensduur van 1.500 cycli. De werkelijke waarde zal tussen de 1.500 en 3.000 liggen. De verwachting is dat de levensduur van de batterijen verlengd zal worden naar 5.000-10.000 cycli in 2030. Door het verlengen van de levensduur, zal in sommige gevallen de levensduur van batterijen hoger komen te liggen dan de levensduur van de auto.

E.4 Belangrijke variabelen in LCAs voor transport

Aanvullend op het hoofdrapport presenteren we hier welke aannames van invloed zijn op het opstellen van een LCA voor een voertuig. Algemeen geldt dat de volgende aannames van invloed zijn op de emissies per tonkilometer:

- De levensduur van het voertuig: als de levensduur verlengd wordt en er meer afstand afgelegd wordt gedurende die levensduur dan zullen de emissies per tkm lager uitvallen.
- Het gemiddelde jaarlijkse of totale gewicht gedurende de levensduur dat vervoerd wordt.
- Het jaarlijkse kilometrage.
- De vlootsamenstelling per voertuigcategorie.
- Bezetting van de infrastructuur in verband met het bepalen van een allocatiefactor.
- Percentage tunnels en bruggen in de infrastructuur.
- Levensduur van de infrastructuur.
- Voor batterijen geldt dat de emissies tijdens productie afhankelijk zijn van de locatie van de fabriek. Dit zal in zeker mate ook gelden voor de productie van de rest van het voertuig.