



# STREAM Personenvervoer

Emissiekentallen modaliteiten 2022



*Committed to the Environment*

# STREAM Personenvervoer

## Emissiekentallen modaliteiten 2022

Dit rapport is geschreven door: Louis Leestemaker, Matthijs Otten, Peter Scholten, Denise Hilster, Christiaan Meijer, Julius Király, Roy van den Berg, Maarten Bruinsma

Delft, CE Delft, februari 2023

Publicatienummer: 23.2210506.108

Opdrachtgevers: ANWB, CO2emissiefactoren.nl (Milieu Centraal, SKOA, Stimular) Koninklijk Vervoer Nederland (KNV), Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, NS en ProRail

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Roy van den Berg](#) (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 meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	Begrippenlijst	5
	Samenvatting	7
1	Introductie	8
	1.1 Achtergrond	8
	1.2 Doel en afbakening van de studie	8
	1.3 Gebruik STREAM-cijfers	10
	1.4 Verschillen met STREAM Personenvervoer 2014 v1.1	12
	1.5 Leeswijzer	13
2	Overzicht van de uitkomsten	15
	2.1 Introductie	15
	2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie	15
	2.3 Vergelijking op basis van levenscyclus	21
3	Duiding van de emissiekentallen	22
	3.1 Inleiding	22
	3.2 Wegverkeer	22
	3.3 Spoorvervoer	27
	3.4 Luchtvaart	27
	3.5 Vervoer over water	28
4	Gebruik kentallen	29
	4.1 Emissies bepalen voor een vervoerswijze	29
	4.2 Vergelijken vervoerswijzen	30
	4.3 Voorbeeldreizen	30
5	Vergelijking op basis van levenscyclusanalyse	49
	5.1 Introductie levenscyclusanalyse	49
	5.2 Aandeel infrastructuur en productie vervoersmiddel van emissies levenscyclus	50
	5.3 Impact batterijproductie op levenscyclus emissies elektrische auto's	52
	5.4 Deelauto's	58
	5.5 Conclusies	59
6	Aannames en methode	61
	6.1 Algemeen	61
	6.2 Personenauto	62
	6.3 Motorfiets	66
	6.4 Bromfiets	68
	6.5 Fiets	69
	6.6 Personenbusje	70
	6.7 Ov-bus	73



	6.8 Touringcar	75
	6.9 Trein	78
	6.10 Tram en metro	79
	6.11 Luchtvaart	81
	6.12 Vervoer over water	87
	6.13 Updates in 2023 en 2024	87
	Literatuur	89
A	Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen	93
B	Gedetailleerde vervoersprestatie	97
	B.1 Personenauto	97
	B.2 Motorfiets	99
	B.3 Bromfiets	100
	B.4 Fiets	101
	B.5 Personenbusje	101
	B.6 Ov-bus	102
	B.7 Touringcar	103
	B.8 Trein	103
	B.9 Tram en metro	104
	B.10 Luchtvaart	104
C	Methodiek uitsplitsing personenauto's naar segment	105
D	Uitkomsten luchtvaart alternatief	108
	D.1 Emissies per LTO	108
	D.2 Emissies met 100 + 50 kg allocatie	109
E	Achtergrondinformatie LCAs	111
	E.1 Overzicht gebruikte bronnen	111
	E.2 Deelauto's	112
F	Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie	114
G	Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen	116

# Begrippenlijst

Afkorting/begrip	
Aandrijflijn	De aandrijflijn is een verzamelnaam voor alle componenten die ervoor zorgen dat de wielen worden aangedreven.
CCD	Climb, Cruise and Descent. De emissies tijdens de klimfase, cruise fase en daalfase van een vlucht.
CH <sub>4</sub>	Methaan (broeikasgas).
CNG	Compressed Natural Gas.
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide.
CO <sub>2</sub> -equivalenten	Totaal broeikas effect van CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> en N <sub>2</sub> O uitgedrukt in eenheden van de sterkte van het broeikasgaseffect van CO <sub>2</sub> .
EC	Elementair koolstof. Het bestaat voornamelijk uit roetdeeltjes die ontstaan bij onvolledige verbranding van fossiele en andere brandstoffen.
Emissiekental	Een waarde voor de uitgestoten hoeveelheid gas of stof.
Energiedrager	Een product dat energie bevat in de vorm van een brandstof, warmte of kracht.
Euroklasse	Euroklasse zijn emissieklasse van wegvoertuigen. De schaal loopt momenteel van emissieklasse 0 (minst schoon) tot aan emissieklasse 6 (het schoonst). Hoe hoger de emissieklasse, hoe minder schadelijke stoffen als fijnstof, koolstofmonoxide en stikstofoxiden het voertuig uitstoot.
GHG-emissie	Greenhouse Gasemissie: broeikasgassen.
GWP	Global Warming Potential. Een relatieve maat, die het aardopwarmingsvermogen van een broeikasgas aangeeft vergeleken met dat van koolstofdioxide, veelal voor een periode van 100 jaar.
kWh	Kilowattuur.
LCA	Levenscyclusanalyse (life-cycle assessment). Dit is een analyse van de emissies gedurende de gehele levenscyclus, dus van productie tot sloop (of recycling).
LPG	Liquefied Petroleum Gas.
LTO	Landing and Take-Off.
MJ	MegaJoule.
N <sub>2</sub> O	Lachgas (broeikasgas).
Niet-CO <sub>2</sub> -emissie	Deze emissies treden voornamelijk op bij luchtvaart. Het vooral waterdamp, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , Contrails (vliegtuigstrepen) en koolwaterstoffen. Deze zijn niet evenredig aan het brandstofverbruik en hebben vaak een relatief korte verblijfstijd in de atmosfeer.
NO <sub>x</sub>	Verzamelnaam voor monostikstofoxiden (NO, NO <sub>2</sub> en NO <sub>3</sub> ). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
Ov	Openbaar vervoer.
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle.
PM	Fijnstof (particulate matter).
PM <sub>10</sub>	Stofdeeltjes kleiner dan tien micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. PM <sub>10</sub> -emissies bestaan onder andere uit PM <sub>2,5</sub> -emissies. Daarnaast zijn ook wat stofdeeltjes groter dan 2,5 micrometer maar kleiner dan tien micrometer onderdeel van PM <sub>10</sub> . De relatief grotere deeltjes zijn minder schadelijk voor de gezondheid.
PM <sub>2,5</sub>	Stofdeeltjes kleiner dan 2,5 micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM <sub>v</sub> ) als door slijtage (PM <sub>st</sub> ) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek). Is bij inademing schadelijk voor de gezondheid.

Afkorting/begrip	
PM <sub>st</sub>	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door slijtage van remmen, banden, rails en het wegdek. Slijtage emissies bestaan vaak uit een combinatie van kleinere (PM <sub>2,5</sub> ) en grotere stofdeeltjes (PM <sub>10</sub> niet zijnde PM <sub>2,5</sub> ).
PM <sub>v</sub>	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door verbranding. Verbrandingsemissies bestaan voor het grootste deel uit PM <sub>2,5</sub> .
rkm	Reizigerskilometer.
SO <sub>2</sub>	Zwavel dioxide-emissies. Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu. Het kan leiden tot o.a. ademhalingsmoeilijkheden, oogirritatie en longproblemen.
STREAM	Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten
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.
Ureum	Een synthetisch product dat voorkomt in AdBlue: een 32,5%-oplossing van ureum in gedemineraliseerd water. Het wordt gebruikt als bijvoeging bij voertuigen die diesel gebruiken, om ze schoner te laten rijden, en aan de emissienormen te laten voldoen. De voertuigen moeten wel zijn voorzien van een uitlaatgas katalysator met SCR-techniek.
vkm	Voertuigkilometer.
VOS	Vluchtige organische stoffen. Deze komen vrij bij verdamping en onvolledige verbranding van brandstoffen. Blootstelling aan vluchtige organische stoffen kan gezondheidsklachten veroorzaken.
Wegtype	We onderscheiden drie type wegen: stadwegen, buitenwegen en snelwegen. Op deze wegen worden verschillende snelheden gereden en kennen verschillend rijgedrag, bijvoorbeeld de mate van start en stoppen. Dit zorgt voor een verschillend brandstofgebruik.
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure. Het is een test waarmee de uitlaatgasemissies van een auto worden gemeten. De meting wordt uitgevoerd bij de typegoedkeuring van een auto om te zien of deze aan de geldende emissienorm voldoet.
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 raffinageproces 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

CE Delft publiceert sinds 2008 onder de naam STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) emissiekentallen voor transport. De kentallen worden veelvuldig gebruikt voor CO<sub>2</sub>-accounting en beleidsanalyses. Het belang van up-to-date emissiekentallen wordt daardoor steeds groter. STREAM Personenvervoer richt zich op het beschikbaar maken van klimaat- en luchtvervuilende emissiekentallen van de verschillende modaliteiten voor personenvervoer per reizigerskilometer in Nederland die met elkaar te vergelijken zijn.

De emissiekentallen zijn uitgewerkt voor de verschillende voertuigtypen, infrastructuurtypen (indien relevant) en meest voorkomende combinaties van aandrijflijnen en energiedragers. In deze studie zijn voor elk van de combinaties voertuig-aandrijflijn-brandstofsoort/energiedragercombinaties de volgende emissies gerapporteerd: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (methaan) en N<sub>2</sub>O (lachgas) (samen kunnen deze worden uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten), NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>, EC, VOS en SO<sub>2</sub>. Zowel de uitlaatemissies (tank-to-wheel) als de emissies die vrijkomen bij de energieproductie (well-to-tank) zijn meegenomen. In lijn met de (aangekondigde) ISO 14083-norm hebben wij bij de emissies van energieopwekking ook de productie van energie-infrastructuur gekwantificeerd, omdat de verschillen in deze emissies met name bij zonne- en windenergie erg relevant zijn. De overige levenscyclusemissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen.

In dit rapport is een overzicht opgenomen van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën op basis van gemiddelden. Meer gedetailleerde kentallen stellen wij beschikbaar via [de webtool](#). Wij hebben daarvoor gekozen om op die manier de kentallen toegankelijker en sneller vindbaar te maken. In aanvulling daarop besteden we aandacht aan de belangrijkste variabelen die van invloed zijn op de emissiekentallen per modaliteit. Voor bijvoorbeeld een personenauto zijn dit: bezetting, brandstofsoort, segment (grootteklasse), wegtype en Euroklasse (leeftijd). Per modaliteit laten we zien wat de impact is op de emissies, daarmee geven we inzicht in het relatieve belang van de variabelen die de emissies beïnvloeden.

Om te komen tot de juiste emissiekentallen voor een reis of gebruik van een voertuig hebben we een stappenplan uitgewerkt voor het uitvoeren van de berekening. Met behulp van een aantal voorbeeldreizen laten we zien tot hoeveel emissies dat leidt. Ook laten we zien wat de verschillen zijn bij gebruik van verschillende modaliteiten voor eenzelfde begin- en eindpunt.

Aan de groeiende behoefte aan inzicht in het effect van voertuigproductie en infrastructuur op de CO<sub>2</sub>-uitstoot voorzien wij ook. Alhoewel we het effect van voertuigproductie en infrastructuur niet hebben opgenomen in de emissiekentallen, gaan we in een apart hoofdstuk wel in op het effect om een beeld te geven over het aandeel dat dit heeft in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot per reizigerskilometer. Ook besteden we aandacht aan de CO<sub>2</sub>-emissies die voortkomen uit de productie van accu's voor elektrische auto's en hoe dat zich verhoudt tot een benzineauto.

Ten slotte hebben wij ons bij het opstellen van de emissiekentallen gebaseerd op bestaande literatuur en bronnen. De toegepaste methode en aannames waren afhankelijk van de modaliteit en beschikbaarheid van data. Per modaliteit hebben we aangegeven op welke manier we de kentallen hebben berekend en welke aannames daarbij zijn gemaakt. We gaan daarbij specifiek in op welke verschillende aandrijflijnen en brandstoffen die we gebruiken voor de verschillende voertuigen, hoe de emissies per voertuig- of zitplaatskilometer worden berekend en hoe we de bezettingsgraden van de voertuigen hebben bepaald.

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

CE Delft publiceert sinds 2008 onder de naam STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) emissiekentallen voor transport, die breed worden gebruikt door beleidsmakers, bedrijven en consultants en ook worden gebruikt door [CO<sub>2</sub>emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl), de website die geharmoniseerde CO<sub>2</sub>-cijfers voor verschillende gebruikers in Nederland aanbiedt. In 2021 is de laatste update van STREAM Goederenvervoer gepubliceerd. De laatste versie van STREAM Personenvervoer dateert uit 2015<sup>1</sup>.

Met de toenemende aandacht voor emissiereductie in het personenvervoer, zowel op het gebied van klimaat als luchtverontreiniging, wordt het belang van up-to-date-emissiekentallen steeds groter. CE Delft merkt dit aan een groeiend aantal verzoeken van verschillende partijen die behoefte hebben aan inzicht in huidige en toekomstige emissies, energieverbruikscijfers en reductiepotentiëlen. De kentallen worden in toenemende mate gebruikt voor CO<sub>2</sub>-accounting en beleidsanalyses.

## 1.2 Doel en afbakening van de studie

STREAM Personenvervoer richt zich op het beschikbaar maken van up-to-date-emissiekentallen voor klimaat effecten en de belangrijkste luchtvervuilende emissies van de verschillende modaliteiten voor personenvervoer per reizigerskilometer in Nederland. Dit doen we volgens één methodiek zodat de emissiecijfers met elkaar te vergelijken zijn. Alle emissiekentallen die als resultaat van deze studie worden opgeleverd worden gepubliceerd via [de webtool](#) om de toegankelijkheid en vindbaarheid te vergroten. In beknopte vorm zijn de emissiekentallen ook in deze rapportage opgenomen, maar de nadruk van deze rapportage ligt vooral op de methodiek en onderbouwing daarvan.

De focus van STREAM ligt op de emissie per reizigerskilometer. Voor alle modaliteiten kunnen namelijk de emissies per reizigerskilometer worden uitgedrukt. De emissiekentallen worden uitgewerkt voor de verschillende voertuigtypen, infrastructuurtypen (indien relevant) en meest voorkomende combinaties van aandrijflijnen en energiedragers.

Voor elk van de combinaties voertuig-aandrijflijn-energiedrager worden de volgende emissies (ook wel componenten genoemd) gerapporteerd:

- broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (methaan) en N<sub>2</sub>O (lachgas), inclusief CO<sub>2</sub>-equivalenten);
- stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>);
- fijnstof van verbrandingsprocessen (PM<sub>2,5</sub>) én door slijtage (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>);
- elementair koolstof (EC);
- vluchtige organische stoffen (VOS);
- zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>).

---

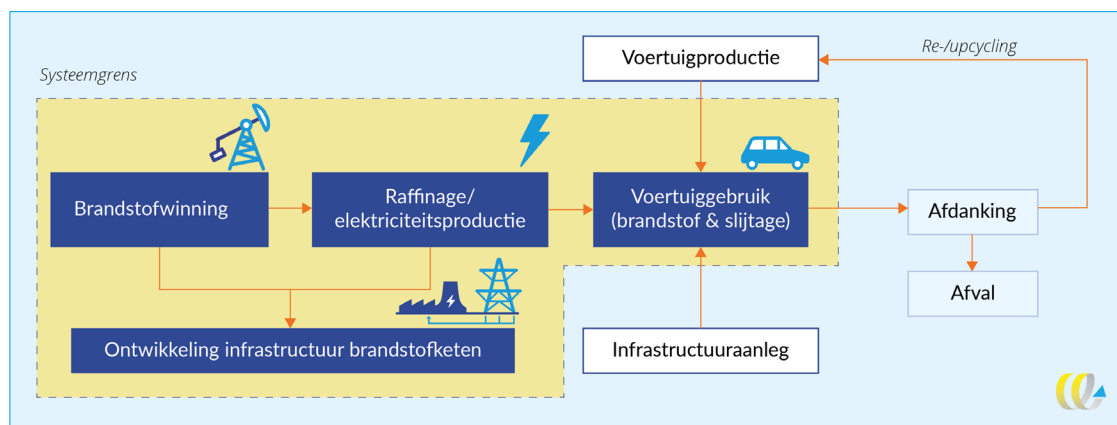
<sup>1</sup> Dit is STREAM Personenvervoer 2014 v1.1.(CE Delft, 2014)



Figuur 1 geeft de scope van STREAM Personenvervoer schematisch weer:

- Zowel de uitlaatemissies (tank-to-wheel) als de emissies die vrijkomen bij de energieproductie (well-to-tank) worden meegenomen. Gezamenlijk vormen deze de well-to-wheel-emissies.
- Bij de emissies van energieopwekking hebben wij ook de productie van energie-infrastructuur gekwantificeerd, omdat de verschillen in deze emissies met name bij zonne- en windenergie erg relevant zijn. Daarnaast presenteren wij ook emissiekentallen waarin de energie-infrastructuur niet is meegenomen.
- Overige levenscyclusmissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen. Wel analyseren we in Hoofdstuk 5 hoe de well-to-wheel-CO<sub>2</sub>-emissies van transport zich verhouden tot de totale levenscyclusmissies van transport inclusief voertuigproductie, infrastructuur aanleg en onderhoud.

Figuur 1 - Schematische weergave van de scope van de emissiekentallen

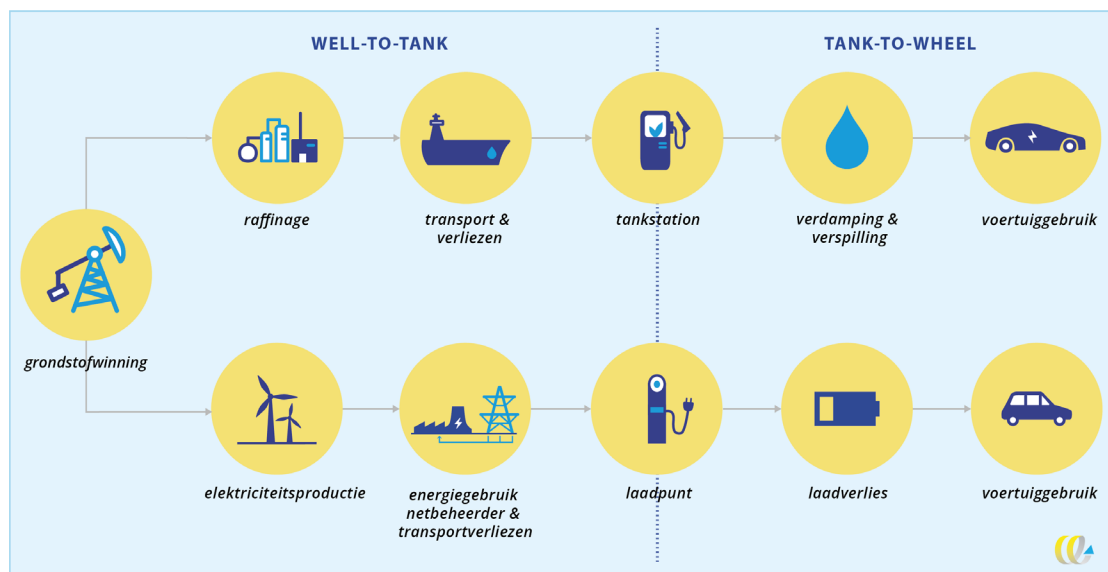


De grens tussen well-to-tank en tank-to-wheel hebben wij getrokken bij de handeling van het laden of tanken. Dit betekent dat:

- Bij een auto met verbrandingsmotor alle emissies tot het bevoorraden van het tankstation bij de well-to-tank-emissies horen.
- Eventuele verspilling van brandstof door de automobilist aan de tank wordt als extra tank-to-wheel-energieverbruik gerekend.
- In het geval van elektrische voertuigen geldt dat verliezen tot en met het laadpunt in de well-to-tank-cijfers zijn meegenomen.
- Laadverliezen worden als extra energieverbruik van het voertuig gerekend.
- De verliezen in de brandstofketen hebben wij meegenomen in de well-to-tank-kentallen. In de emissiekentallen voor elektriciteit per eenheid energie die gebruikt wordt in het voertuig houden wij dus rekening met inefficiënties van het elektriciteitsnet.

Deze keuze voor de ‘knip’ tussen well-to-tank en tank-to-wheel past bij de praktijk: op een tank- of laadbonnetje ziet de automobilist namelijk hoeveel brandstof of elektriciteit er is aangeschaft inclusief verliezen bij het laden of tanken. Dit geldt op vergelijkbare wijze voor andere voertuigen. Een schematische weergave van deze definities hebben wij in Figuur 2 weergegeven.

Figuur 2 - Schematische afbeelding van afbakening 'well-to-tank' en 'tank-to-wheel'



Wij hebben de kentallen opgesteld op basis van beschikbare data, waarbij het jaar 2020 als zichtjaar is gehanteerd. Bij sterk afwijkend reisgedrag door de coronapandemie maken we gebruik van data uit 2019 en voor luchtvaart data uit 2018. Het genereren van nieuwe data voor het vaststellen van emissiecijfers vormt geen onderdeel van deze studie.

### 1.3 Gebruik STREAM-cijfers

STREAM presenteert emissiekentallen gericht op de Nederlandse situatie. De emissiekentallen kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De belangrijkste zijn beleidsanalyse, het vergelijken van modaliteiten en (carbon) footprinting om bijvoorbeeld de totale uitstoot van transport te kunnen berekenen. Dit kan op basis van de gemiddelde kentallen die gepresenteerd worden, zo geheten 'default data'. Daarnaast kunnen gebruikers specifiekere emissiekentallen bepalen op basis van op de situatie van de gebruiker toepasbare vervoersinformatie (zoals de bezettingsgraad).

STREAM biedt een zeer uitgebreide selectie aan emissiekentallen voor verschillende voertuigtypen, vervoersklassen, brandstoffen en 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)vaartuigcategorie goed aansluit bij de case. Belangrijke aspecten in de definitie zijn de bezettingsgraad en de aandrijflijn/energiedrager.
- De kentallen in STREAM zijn behoorlijk gedifferentieerd voor verschillende cases, maar dienen beschouwd te worden als 'default data' voor analyses waar geen detailinformatie voor bekend is. Zo zal het bepalen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op basis van werkelijk brandstofverbruik altijd de voorkeur verdienen boven een bepaling op basis van passagierskilometers en STREAM-kentallen. Dergelijke meer specifieke analyses zijn vaak alleen mogelijk op basis van voertuigen in eigen bezit.

Voor consumenten gaat het dan om auto's en tweewielers. Voor bedrijven kunnen het ook bussen, treinen, vliegtuigen, ferry's en personenbusjes zijn.

- Totale emissies van transport kunnen worden berekend door de emissiekentallen per reizigerskilometer te vermenigvuldigen met passagierskilometers. In Hoofdstuk 4 is een meer uitgebreide toelichting te vinden. De passagierskilometers dienen gebaseerd te worden op werkelijk gereden/gevaren/gevlogen afstand en bijvoorbeeld niet op basis van vogelvluchtafstand of de kortste route.
- De emissiekentallen van STREAM houden rekening met het gemiddeld aantal lege zitplaatsen voor de verschillende vervoerswijzen. Indien specifiekere informatie beschikbaar is kan de bezettingsgraad worden aangepast in [de webtool](#)<sup>2</sup>.
- 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 4 wordt dit geïllustreerd.
- Luchtvervuilende emissies hebben invloed op de lokale omgeving waar de stoffen worden uitgestoten. Daarom dient bij een vergelijking van de schade door luchtvervuilende stoffen altijd rekening te worden gehouden met de locatie van de uitstoot. (CE Delft, 2019) laat zien dat PM- en NO<sub>x</sub>-emissies schadelijker zijn in (groot)stedelijke omgeving. PM- en NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart zijn echter gemiddeld genomen aanzienlijk minder schadelijk doordat deze op zee of in de lucht plaatsvinden. De luchtvervuilende stoffen die bij het opstijgen of landen worden uitgestoten zijn echter vaak wel in de buurt van steden. Om deze reden zijn bij de luchtvaart ook specifiek de emissies bij landen of opstijgen gekwantificeerd. Ook luchtvervuilende emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie (doorgaans gebeurt dit in dunbevolkte gebieden) zijn over het algemeen minder schadelijk dan emissies tijdens het gebruik van voertuigen (deze emissies zijn doorgaans in dichtbevolkte gebieden).

Het ligt niet in alle situaties voor de hand om de kentallen per reizigerskilometer van STREAM te gebruiken om emissies van transport te berekenen. Als specifieke informatie over het brandstofverbruik en vervoersprestatie (bijv. tankbonnetjes en de kilometerteller van bedrijfswagens) beschikbaar is, is het namelijk mogelijk om een preciezere berekening van de CO<sub>2</sub>-emissies (per kilometer) te maken met behulp van Tabel 40 t/m Tabel 42.

Factoren die niet worden meegenomen in de gemiddelde kentallen van STREAM zijn bijv.:

- het specifieke voertuigmodel waarin wordt gereden;
- rijgedrag van de bestuurder;
- de bandenspanning van het voertuig;
- de weersomstandigheden waarin is gereden;
- de staat van de motor.

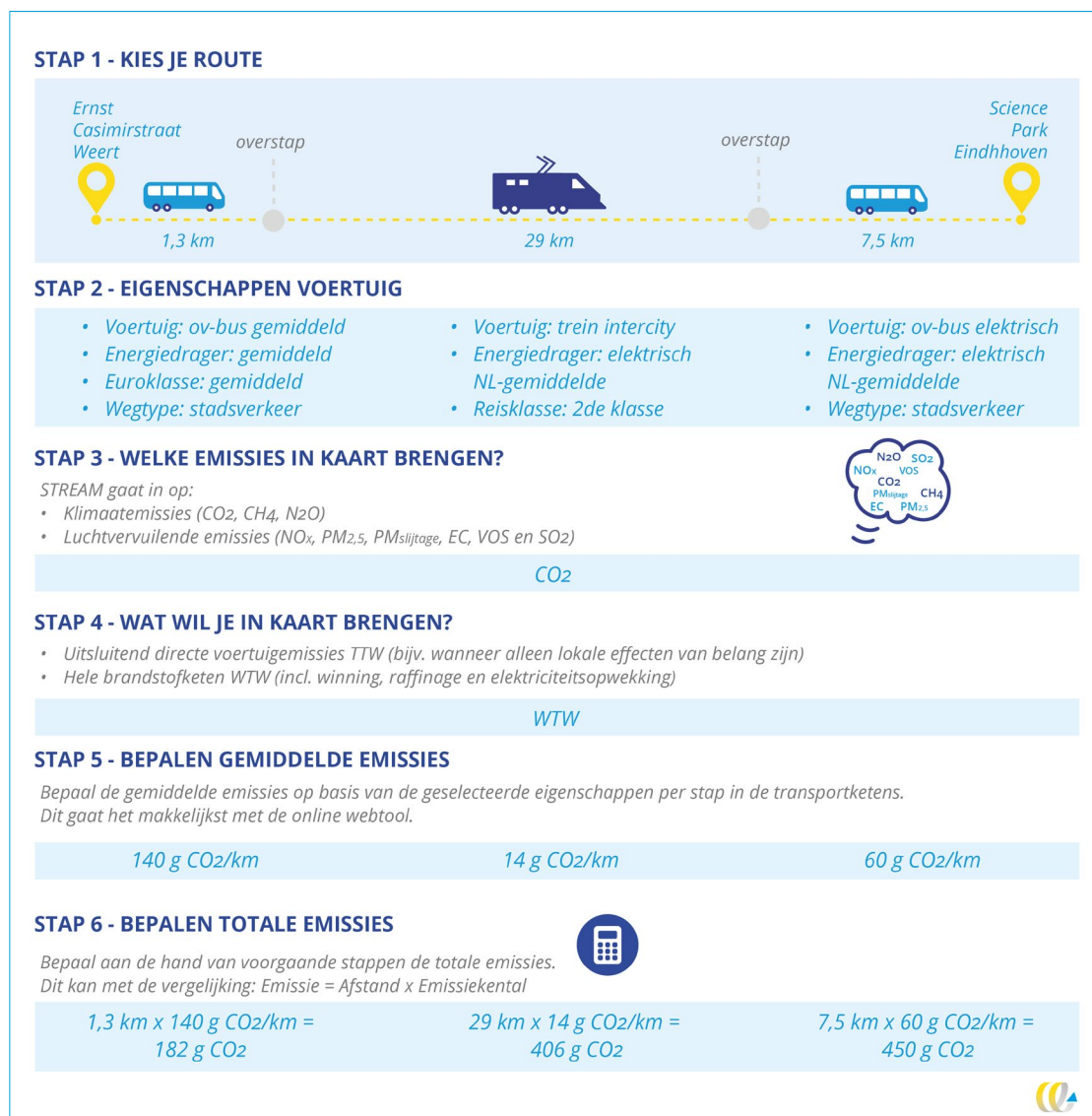
In de praktijk is specifieke informatie over brandstofverbruik en gereden kilometers niet altijd voorhanden. In deze situaties kunnen de kentallen per reizigerskilometer van STREAM gebruikt worden.

---

<sup>2</sup> Deze optie hebben wij niet opgenomen voor het ov en luchtvaart, omdat een passagier hier geen invloed heeft op de bezetting tijdens de rit. Verschillen tussen een lege of een volle bus hoeven dus niet te worden meegewogen.

Figuur 3 geeft een schematisch stappenplan om de emissies van een reis te bepalen met behulp van de STREAM Personenvervoer-kentallen. Een uitgebreide toelichting van rekenstappen inclusief meerdere voorbeelden hebben wij opgenomen in Hoofdstuk 4.

Figuur 3 - Stappen om emissies te bepalen op basis van STREAM-kentallen



## 1.4 Verschillen met STREAM Personenvervoer 2014 v1.1

In deze paragraaf staan wij kort stil bij de methodologische wijzigingen die wij ten opzichte van de vorige versie van STREAM Personenvervoer hebben gemaakt.

Allereerst hebben wij gebruikgemaakt van de nieuwste beschikbare data. Dit leidt tot verschillen in vergelijking met de vorige versie van STREAM. Verder hebben wij een aantal voertuigcategorieën toegevoegd ten opzichte van de voorgaande versie: de elektrische fiets, speed pedelec en ferry. Ook hebben wij binnen bestaande voertuigcategorieën nieuwe typen uitsplitsingen toegevoegd, zoals elektrische motor- en bromfietsen en waterstof-ov-bussen.

Daarnaast hebben wij de volgende methodologische wijzigingen gemaakt:

- Bij de berekening van well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.-emissies nemen wij nu standaard de emissies die horen bij de infrastructuur van de energieopwekking mee (het bouwen van de windmolen, raffinaderij, hoogspanningsmast, etc.). Dit doen wij ten eerste omdat deze emissies erg relevant zijn bij de opwekking van groene stroom. Ten tweede is deze keuze in lijn met de aanbevelingen van de laatste draft van de ISO 14083-norm. Deze norm heeft als doel om de methodieken voor het berekenen van emissies van transport te harmoniseren. Bij deze versie van STREAM Personenvervoer hebben wij gepoogd om, anticiperend op de introductie van deze norm, bij de adviezen aan te sluiten. Daarnaast presenteren wij ook nog CO<sub>2</sub>-eq.-emissiekentallen zonder de emissies van infrastructuur voor energieopwekking.
- In de huidige versie van STREAM berekenen wij emissies voor brandstoffen zoals die aan de pomp kunnen worden getankt (dus bijvoorbeeld E10, B7 of HVO100). In de voorgaande versie van STREAM Personenvervoer lag de focus op het gemiddelde bijmengpercentage van biobrandstoffen in Nederland. Met de huidige scope is het beter mogelijk om de emissies van voertuigen met de brandstofmixen die daadwerkelijk worden getankt te bepalen<sup>3</sup>.
- Deze versie van STREAM Personenvervoer zal gevolgd worden door ten minste tweejaarlijkse updates. Op deze manier zorgen wij dat de komende jaren up-to-date-emissiekentallen beschikbaar blijven.

Daarnaast hebben wij enkele aanpassingen gemaakt in de wijze waarop de resultaten zijn gepresenteerd. De belangrijkste wijziging is dat wij de uitgebreide set met kentallen hebben opgenomen in [de webtool](#). Hierdoor is het eenvoudiger om de juiste kentallen op te stellen (bijvoorbeeld door bezettingsgraden aan te passen), te vinden en te downloaden. Omdat alle kentallen in de webtool beschikbaar zijn hebben wij deze niet opgenomen als uitgebreide tabellen in het rapport: het rapport bevat slechts de gemiddelde hoofdkentallen. Verder wordt in het rapport juist veel aandacht besteed aan de afwijkingen ten opzichte van deze gemiddelden, zodat de getallen uit de webtool goed kunnen worden geïdentificeerd.

## 1.5 Leeswijzer

Deze studie levert een groot aantal emissiekentallen. Omdat het eenvoudig is om in de hoeveelheid aan getallen het overzicht te verliezen hebben we in dit rapport geprobeerd om de kentallen en de onderbouwing daarvan zo toegankelijk mogelijk op te schrijven. Daarbij hebben we ervoor gekozen de meest gebruikte (gemiddelde) cijfers op te nemen in dit rapport en de gespecificeerde kentallen beschikbaar te stellen via [de webtool](#). In Hoofdstuk 2 beginnen we daarom met een uitgebreide samenvatting van de uitkomsten.

Vanaf Hoofdstuk 3 gaan we de diepte in. Hierin worden de emissiekentallen per modaliteit gepresenteerd. Een toelichting op hoe de kentallen te gebruiken is opgenomen in Hoofdstuk 4. Vervolgens gaan we in Hoofdstuk 5 in op een vergelijking van de emissiekentallen met de kentallen op basis van de levenscyclusanalyse.

<sup>3</sup> Voor brandstoffen zoals E10 en B7 geldt dat je als gebruiker nooit precies weet hoeveel biobrandstof er is bijgemengd in de brandstof die je tankt: E10 geeft aan dat er maximaal 10% benzinevervangers (op volumebasis) zijn bijgemengd en B7 geeft aan dat er maximaal 7% biodiesel is bijgemengd (op volumebasis). Wij hebben niet kunnen achterhalen wat het gemiddelde bijmengpercentage van biobrandstoffen in de praktijk is. Het gemiddelde zit echter dicht in de buurt bij de maximale hoeveelheid, om deze reden hebben wij aangenomen dat er bij E10 10% benzinevervangers wordt bijgemengd en bij B7 7% biodiesel. Dit geldt ook voor de overige brandstofmixen waarmee we rekenen.



Dit is een eenvoudige analyse met als doel de emissiekentallen in perspectief te plaatsen en een antwoord te geven op veelgestelde vragen. Ten slotte wordt in Hoofdstuk 6 een uitgebreide toelichting gegeven op de gebruikte methode om te komen tot de emissiekentallen en de aannames die we daarbij gebruikt hebben.



## 2 Overzicht van de uitkomsten

### 2.1 Introductie

In dit hoofdstuk presenteren wij een overzicht van de uitkomsten voor gemiddelde weg-typen en voertuigcategorieën. Op dit detailniveau kan een vergelijking worden gemaakt van de emissies van verschillende voertuigcategorieën op hoofdlijnen. De emissies van verschillende voertuigen kunnen echter niet zonder meer met elkaar worden vergeleken (zie de volgende tekstbox voor een nadere uitleg).

#### Disclaimer bij vergelijkend overzicht van kentallen

In deze paragraaf vatten wij de emissies per reizigerskilometer van verschillende voertuigen samen. Het ligt voor de hand om aan de hand van deze informatie de verschillende voertuigcategorieën te vergelijken.

Een vergelijking van de emissies per reizigerskilometer kan inzicht geven, maar hierbij moet wel rekening gehouden worden met de volgende beperkingen:

- Naast de emissies per reizigerskilometer is ook de afstand die je reist van belang. Wanneer je eenzelfde reis maakt met andere voertuigcategorieën kan de totale afstand verschillen (bijv.: met de auto omrijden naar de eerstvolgende brug of rechtdoor met de pont). Lagere emissies per reizigerskilometer hoeven dus niet altijd gelijk te staan aan de minste emissies voor een reis.
- De kentallen in dit hoofdstuk betreffen gemiddelden. In de praktijk zijn er verscheidene factoren die ervoor kunnen zorgen dat de emissies afwijken van deze gemiddelden. In Hoofdstuk 3 analyseren we de voornaamste factoren die kunnen zorgen voor afwijkingen van de gemiddelde emissiefactoren.

Een uitgebreidere omschrijving van het correct gebruik van de kentallen is opgenomen in Hoofdstuk 4.

Paragraaf 2.2 geeft een overzicht van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën op hoofdlijnen. De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in [de webtool](#). Een vergelijking van de LCA-emissies van verschillende voertuigcategorieën is opgenomen in Paragraaf 2.3.

### 2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie

In deze paragraaf geven wij een overzicht op hoofdlijnen van de belangrijkste emissies (CO<sub>2</sub>-eq., NO<sub>x</sub> en PM) van verschillende voertuigcategorieën. De belangrijkste gemiddelde emissiekentallen per reizigerskilometer hebben wij samengevat in Tabel 1. Tabel 2 geeft voor het wegverkeer een vergelijkbaar overzicht van de emissies per voertuigkilometer. In dit overzicht hebben wij voor alle gemiddelde voertuigcategorieën, uitgesplitst naar het brandstoftype, de belangrijkste tank-to-wheel- en well-to-tank-emissies samengevat<sup>4</sup>. Voor de klimaatemissies hebben wij ook well-to-wheel-emissiekentallen opgenomen. Voor luchtvervuiling hebben wij de tank-to-wheel- en well-to-tank-emissies niet samen genomen, omdat de uitstoot lokaal schade veroorzaakt waardoor deze emissies niet goed vergelijkbaar zijn.

<sup>4</sup> Naast de kentallen uit dit overzicht zijn in deze studie ook de klimaatemissies van CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> apart berekend (samen vormen deze de CO<sub>2</sub>-eq.-emissies). Naast de luchtvervuilende emissies uit dit overzicht hebben wij ook de tank-to-wheel-emissies van VOS, EC, PM<sub>2,5,sl</sub> en SO<sub>2</sub> gekwantificeerd.

De emissiekentallen uit Tabel 1 en Tabel 2 zijn slechts een kleine subset van (gemiddelden van) de uitgebreide kentallen die in [de webtool](#) zijn opgenomen.

De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in de webtool.

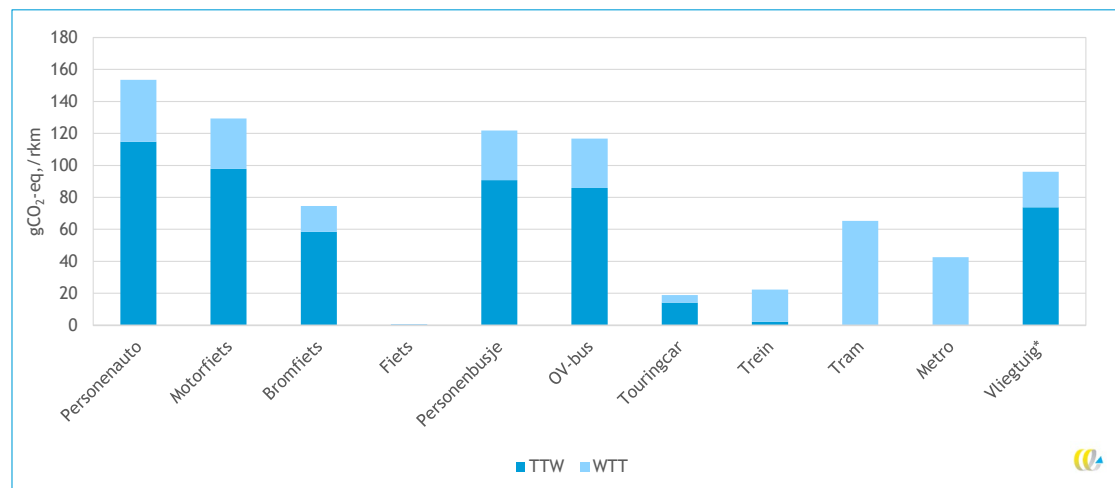
Ook hebben wij in Hoofdstuk 3 een analyse van de uitkomsten in meer detail opgenomen.

De kentallen voor elektrische voertuigen die wij in dit hoofdstuk presenteren gaan uit van de gemiddelde Nederlandse stroommix. Dit geldt dus ook voor het ov. In het geval van waterstofvoertuigen gaan wij uit van elektrolyse op basis van gemiddelde stroom.

Kentallen voor elektrische voertuigen op basis van 100% groene of grijze stroom en waterstofvoertuigen op basis van 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage G en in de webtool.

Figuur 4 geeft een overzicht van de well-to-wheel-klimaatemissies per voertuigcategorie, waarbij de tank-to-wheel- en de well-to-tank-emissies gestapeld zijn weergegeven. In de praktijk bestaat de klimaatimpact van luchtvaart voor een aanzienlijk deel door niet-CO<sub>2</sub>-effecten (zie Paragraaf 6.11 voor verdere toelichting). Deze emissies vallen echter buiten de well-to-wheel-methodiek. De kentallen in deze studie zijn dus een onderschatting van de werkelijke klimaatimpact van luchtvaart. Tot slot hebben wij in deze figuur de ferry niet opgenomen, omdat deze categorie per reizigerskilometer een erg hoge uitstoot van broeikasgassen heeft.

Figuur 4 - Overzicht gemiddelde well-to-wheel-klimaatemissies (CO<sub>2</sub>-eq.) per voertuigcategorie

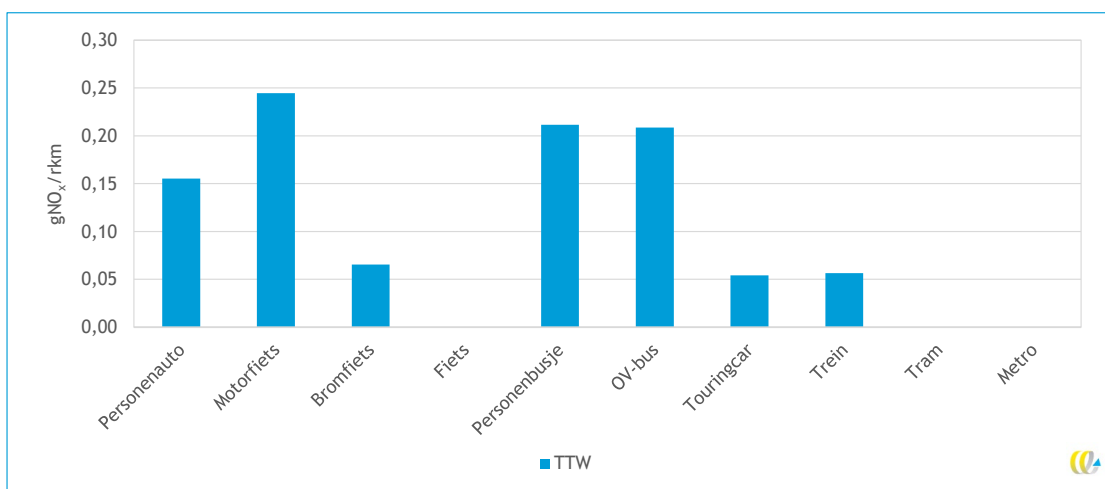


\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100, gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020). Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO<sub>2</sub>-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaatimpact uitgedrukt in GWP\*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO<sub>2</sub>-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO<sub>2</sub>-impact is echter sterk afhankelijk van de vlucht. Wij hebben deze emissies niet gekwantificeerd omdat dit buiten de scope van de studie valt.



Figuur 5 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-emissies van stikstofemissies per voertuigcategorie. Wij hebben de well-to-tank-stikstofemissies niet meegenomen in de figuur, omdat deze stikstofuitstoot op andere locaties is en gemiddeld genomen minder schade veroorzaakt<sup>5</sup>. In deze figuur hebben wij de luchtvaart weggelaten, omdat de uitstoot per reizigerskilometer van luchtvaart anders gewaardeerd dient te worden dan bij de andere voertuigcategorieën. Dit komt omdat de uitstoot van stikstof op grote hoogte niet direct tot gezondheidsschade leidt. Om deze reden ligt het bij de luchtvaart meer voor de hand om emissies per *Landing and Take-Off* (LTO)-cyclus te berekenen. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart per LTO-cyclus staan samengevat in Bijlage D.1.

Figuur 5 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-stikstofemissies (NO<sub>x</sub>) per voertuigcategorie

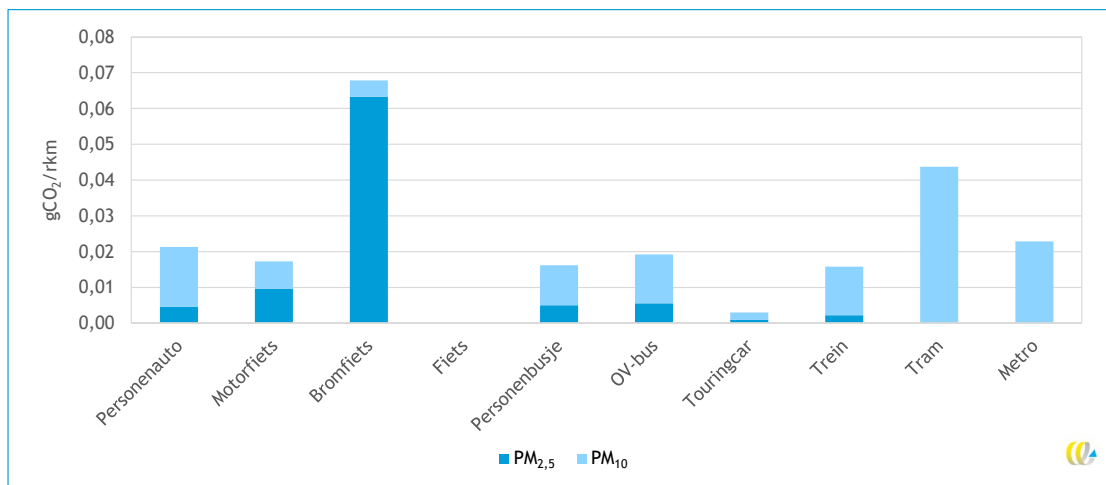


Figuur 6 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-fijnstofemissies per voertuigcategorie, waarbij de PM<sub>2,5</sub>- en de PM<sub>10</sub>-emissies (groter dan PM<sub>2,5</sub>) gestapeld zijn weergegeven. De PM<sub>2,5</sub>-emissies zijn een onderdeel van de PM<sub>10</sub>-emissies: de totale PM<sub>10</sub>-emissies zijn dus het totaal van de gestapelde balk. De weergegeven emissies zijn het totaal van de emissies die vrijkomen bij verbranding en slijtage.

Wij hebben de well-to-tank-fijnstofemissies niet meegenomen in de figuur, omdat deze fijnstofuitstoot op andere locaties is en gemiddeld genomen minder schade veroorzaakt. In deze figuur hebben wij de luchtvaart weggelaten, omdat de uitstoot per reizigerskilometer van de luchtvaart anders gewaardeerd dient te worden dan bij de andere voertuigcategorieën. Dit komt omdat de uitstoot van fijnstof op grote hoogte in mindere mate tot gezondheidsschade leidt. Om deze reden ligt het bij de luchtvaart meer voor de hand om emissies per LTO-cyclus te berekenen. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart per LTO-cyclus staan samengevat in Bijlage D.1.

<sup>5</sup> Dit betreft in ieder geval schade aan mens: deze is over het algemeen lager in dunbevolkte gebieden waar brandstof of elektriciteit wordt geproduceerd in vergelijking met dichtbevolkte gebieden waar de voertuigen rondrijden. Wat betreft schade aan natuur is het vooral relevant of de bron van uitstoot zich in de nabijheid van kwetsbare natuur bevindt.

Figuur 6 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-fijnstofemissies (PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>) per voertuigcategorie



Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2020 (g/rkm)

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO <sub>2</sub> -eq incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Gemiddeld	1,31	153,6	150,6	114,8	0,155	0,002	0,017	38,8	35,8	0,074	0,010
	Benzine	1,31	154,5	151,5	116,8	0,091	0,001	0,017	37,7	34,7	0,078	0,010
	Diesel	1,31	160,5	157,6	119,5	0,373	0,006	0,017	41,0	38,1	0,067	0,011
	Plug-in hybride-benzine	1,31	162,0	158,4	107,5	0,010	0,002	0,013	54,5	50,9	0,072	0,007
	Plug-in hybride-diesel	1,31	154,9	152,6	108,0	0,177	0,001	0,013	46,9	44,5	0,056	0,005
	LPG	1,31	142,8	139,7	126,7	0,167	0,003	0,017	16,0	13,0	0,114	0,011
	CNG	1,31	150,0	148,9	129,5	0,050	0,003	0,017	20,5	19,4	0,028	0,001
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	1,31	62,1	60,8	-	-	-	0,013	62,1	60,8	0,036	0,002
	Brandstofcel <sup>2</sup>	1,31	165,7	162,4	-	-	-	0,013	165,7	162,4	0,090	0,004
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	1,15	129,4	126,8	97,9	0,245	0,009	0,008	31,5	28,9	0,065	0,009
	Batterij-elektrisch	1,15	62,0	60,7	-	-	-	0,006	62,0	60,7	0,036	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	1,10	74,2	72,9	58,0	0,065	0,062	0,005	16,2	14,9	0,033	0,004
	Benzine	1,10	74,7	73,4	58,5	0,065	0,063	0,005	16,2	14,9	0,033	0,004
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	1,10	14,6	14,3	-	-	-	0,003	14,6	14,3	0,008	0,000
Fiets	Gemiddeld	1,00	0,7	0,7	-	-	-	-	0,7	0,7	0,0004	-
	Gewone fiets	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike <sup>1</sup>	1,00	3,2	3,1	-	-	-	-	3,2	3,1	0,002	-
	Speed pedelec <sup>1</sup>	1,00	3,9	3,8	-	-	-	-	3,9	3,8	0,002	-

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO <sub>2</sub> -eq incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenbusje	Diesel (gemiddeld)	2,40	121,9	119,7	90,7	0,212	0,003	0,011	31,2	29,0	0,051	0,008
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	2,40	58,4	57,2	-	-	-	0,008	58,4	57,2	0,034	0,001
Ov-bus	Gemiddeld	8,11	116,8	115,1	85,9	0,209	0,004	0,014	30,9	29,1	0,042	0,006
	Diesel	8,11	131,0	128,7	97,7	0,272	0,005	0,014	33,3	31,0	0,054	0,009
	HVO100	8,11	15,0	14,6	1,7	0,263	0,005	0,014	13,3	12,9	0,016	0,008
	CNG	8,11	124,0	123,1	106,4	0,167	0,003	0,014	17,6	16,7	0,024	0,001
	Bio-CNG	8,11	49,1	48,2	5,2	0,167	0,003	0,014	43,9	43,1	0,007	0,001
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	8,11	56,1	55,0	-	-	-	0,011	56,1	55,0	0,032	0,001
	Brandstofcel <sup>1</sup>	8,11	149,8	146,9	-	-	-	0,011	149,8	146,9	0,082	0,003
Touringcar	Diesel (gemiddeld)	48,00	18,8	18,5	14,1	0,054	0,001	0,002	4,7	4,4	0,008	0,001
	HVO100	48,00	2,1	2,0	0,2	0,049	0,001	0,002	1,9	1,8	0,002	0,001
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	48,00	8,6	8,4	-	-	-	0,001	8,6	8,4	0,005	0,000
Trein	Gemiddeld	29%	22,3	21,9	2,3	0,057	0,002	0,014	20,0	19,6	0,012	0,001
	Stoptrein elektrisch <sup>1</sup>	24%	41,7	40,8	-	-	-	0,028	41,7	40,8	0,024	0,001
	Stoptrein diesel	26%	90,2	88,6	67,6	-	-	0,022	22,6	21,0	0,036	0,004
	Intercity <sup>1</sup>	32%	13,8	13,5	-	-	-	0,009	13,8	13,5	0,008	0,000
	Internationale trein <sup>1</sup>	47%	17,4	17,1	-	-	-	0,012	17,4	17,1	0,010	0,000
Tram	Gemiddeld <sup>1</sup>	36%	65,4	64,0	-	-	-	0,044	65,4	64,0	0,038	0,002
Metro	Gemiddeld <sup>1</sup>	84%	42,6	41,8	-	-	-	0,023	42,6	41,8	0,025	0,001
Vliegtuig**	Gemiddeld	88%	96,1	94,4	73,8	-	-	0,000	22,3	20,6	0,038	0,004
	Korte afstand	86%	142,5	140,1	109,5	-	-	0,002	33,0	30,6	0,057	0,005
	Middellange afstand	85%	96,0	94,4	73,8	-	-	0,000	22,3	20,6	0,038	0,004
	Lange afstand	89%	86,1	84,6	66,1	-	-	0,000	20,0	18,5	0,034	0,003
Veerboot	Diesel (gemiddeld)	24%	1.445,2	1.420,1	1085,3	-	-	-	359,9	334,9	0,581	0,060
Ov gemiddeld	Gemiddeld	n.v.t.	40,4	39,7	1,7	0,0	0,002	0,015	24,3	23,6	0,019	0,001
Bus/tram/ metro gemiddeld	Gemiddeld	n.v.t.	96,4	94,9	59,0	0,1	0,003	0,019	37,4	35,9	0,038	0,004

\* Dit betreft de energie-infrastructuur zoals windmolens, raffinaderijen en kabels. De infrastructuur van het vervoerssysteem, zoals wegen en bruggen, valt buiten de scope van deze kentallen.

\*\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100 gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020). Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO<sub>2</sub>-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaateffecten uitgedrukt in GWP\*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO<sub>2</sub>-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO<sub>2</sub>-impact is echter sterk afhankelijk van de vlucht. Wij hebben deze emissies niet gekwantificeerd omdat dit buiten de scope van de studie valt.

<sup>1</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene of grijze stroom hebben wij opgenomen in Bijlage G.

<sup>2</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met elektrolyse o.b.v. de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage G.

Tabel 2 - Overzicht gemiddelde emissies per voertuigkilometer voor het wegverkeer in 2020 (g/vkm)

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	WTW		TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq.	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10st</sub>	CO <sub>2</sub> -eq Incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Gemiddeld	201,7	197,8	150,8	0,20	0,003	0,022	50,9	47,0	0,10	0,013
	Benzine	203,0	198,9	153,4	0,12	0,002	0,022	49,6	45,5	0,10	0,013
	Diesel	210,8	207,0	157,0	0,49	0,008	0,022	53,8	50,1	0,09	0,014
	Plug-in hybride-benzine	212,7	208,0	141,2	0,01	0,002	0,017	71,6	66,9	0,09	0,009
	Plug-in hybride-diesel	203,5	200,4	141,9	0,23	0,001	0,017	61,6	58,5	0,07	0,007
	LPG	187,5	183,5	166,5	0,22	0,004	0,022	21,0	17,0	0,15	0,014
	CNG	197,1	195,6	170,1	0,07	0,004	0,022	27,0	25,5	0,04	0,001
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	81,5	79,9	-	-	-	0,017	81,5	79,9	0,05	0,002
	Brandstofcel <sup>2</sup>	217,6	213,3	-	-	-	0,017	217,6	213,3	0,12	0,005
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	148,8	145,8	112,5	0,28	0,010	0,009	36,2	33,3	0,07	0,010
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	71,3	69,8	-	-	-	0,007	71,3	69,8	0,04	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	81,7	80,2	63,8	0,07	0,068	0,005	17,8	16,4	0,04	0,005
	Benzine	82,1	80,7	64,3	0,07	0,069	0,005	17,8	16,4	0,04	0,005
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	16,1	15,8	-	-	-	0,004	16,1	15,8	0,01	0,000
Fiets	Gemiddeld	0,7	0,7	-	-	-	-	0,7	0,7	0,00	-
	Gewone fiets	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike <sup>1</sup>	3,2	3,1	-	-	-	-	3,2	3,1	0,00	-
	Speed pedelec <sup>1</sup>	3,9	3,8	-	-	-	-	3,9	3,8	0,00	-
Personenbusje	Diesel (gemiddeld)	292,6	287,4	217,7	0,51	0,008	0,027	74,8	69,6	0,12	0,020
	Batterij-elektrisch	140,2	137,3	-	-	-	0,020	140,2	137,3	0,08	0,003
Ov-bus	Gemiddeld	946,7	932,7	696,5	1,69	0,031	0,111	250,2	236,2	0,34	0,045
	Diesel	1.062,2	1.043,4	791,9	2,20	0,039	0,114	270,3	251,5	0,44	0,072
	HVO100	122,0	118,5	14,2	2,14	0,038	0,114	107,8	104,3	0,13	0,067
	CNG	1.005,4	997,6	862,4	1,35	0,027	0,114	143,0	135,3	0,19	0,005
	Bio-CNG	397,7	391,1	42,0	1,35	0,027	0,114	355,8	349,1	0,06	0,008
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	455,0	445,7	-	-	-	0,086	455,0	445,7	0,26	0,011
	Brandstofcel <sup>2</sup>	1.214,3	1.190,7	-	-	-	0,086	1.214,3	1.190,7	0,66	0,028
Touringcar	Diesel (gemiddeld)	903,9	888,1	676,5	2,60	0,035	0,095	227,3	211,6	0,37	0,061
	HVO100	100,3	97,4	9,6	2,33	0,030	0,095	90,7	87,8	0,11	0,057
	Batterij-elektrisch <sup>1</sup>	412,9	404,4	-	-	-	0,071	412,9	404,4	0,24	0,010

\* Dit betreft de energie-infrastructuur zoals windmolens, raffinaderijen en kabels. De infrastructuur van het vervoerssysteem, zoals wegen en bruggen, valt buiten de scope van deze kentallen.

<sup>1</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene of grijze stroom hebben wij opgenomen in Bijlage G.

<sup>2</sup> De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met elektrolyse o.b.v. de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage G.



## 2.3 Vergelijking op basis van levenscyclus

In deze paragraaf geven we een overzicht van de CO<sub>2</sub>-emissies per voertuigcategorie over de hele levensduur. In Hoofdstuk 5 hebben we een vergelijking gemaakt tussen de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm, uitgesplitst over de verschillende ketenstappen. Hierbij is aangesloten op de emissiekentallen en bezettingsgraden die in de andere hoofdstukken aan bod komen.

Bij het bepalen van de CO<sub>2</sub>-emissies over de hele levensduur, zijn de volgende factoren van invloed op de emissies per rkm:

- De levensduur: hoe langer een voertuig of de infrastructuur meegaat, hoe kleiner de impact wordt van de CO<sub>2</sub>-emissies door productie, onderhoud en afdanking van het voertuig of de infrastructuur per rkm.
- De bezettingsgraad: de CO<sub>2</sub>-emissies worden verdeeld over de verschillende gebruikers van een voertuig of infrastructuur. Een hogere bezettingsgraad leidt daarmee tot minder CO<sub>2</sub>-emissies per rkm.
- De hoeveelheid CO<sub>2</sub>-emissies per ketenstap: elke stap in de keten brengt bepaalde CO<sub>2</sub>-emissies met zich mee. Deze hoeveelheid wordt beïnvloed door onder andere het materiaalgebruik (type en hoeveelheid) en de locatie waarin de ketenstap plaatsvindt (en daarmee lokale omstandigheden omtrent energiemix).

In Hoofdstuk 5 staat beschreven welke aannames zijn gemaakt en welke literatuur is gebruikt om de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm te berekenen voor de verschillende voertuigcategorieën.

We hebben gekeken naar zowel fossiel-aangedreven voertuigen als naar elektrisch-aangedreven voertuigen. Bij fossiel-aangedreven voertuigen domineren de WTT- en TTW-emissies altijd ten opzichte van de andere ketenstappen. Bij elektrisch-aangedreven voertuigen domineren meestal de WTT-emissies. Van alle voertuigcategorieën zijn de CO<sub>2</sub>-emissies van fiets het laagst per rkm, namelijk 8 g CO<sub>2</sub>-eq./rkm en die van de door de benzinemotor-aangedreven personenauto het hoogst, namelijk 216 g CO<sub>2</sub>-eq./rkm. Naar verwachting nemen de emissies per rkm af voor voertuigen die in 2030 worden geproduceerd. Dit geldt voor alle voertuigcategorieën. De mate waarin dit gaat gebeuren, zal afhankelijk zijn van keuzes die gemaakt worden door bedrijven en overheden en door technologische ontwikkelingen.

In Hoofdstuk 5 hebben we ook gekeken naar deelauto's. We hebben hierbij literatuuronderzoek uitgevoerd en de potentiële emissiereductie gekwantificeerd als gevolg van het gebruik van deelauto's. De belangrijkste conclusie die uit dit gedeelte van het onderzoek naar voren is gekomen, is dat het kwantificeren van de emissiereductie afhankelijk is van lokale factoren. Hierbij valt te denken aan de samenstelling van het wagenpark, de verandering van de vlootsamenstelling (bijv.: vervangen deelauto's grotere personenauto's), reismotieven bij gebruik van deelauto's en welke ritten vervangen worden door een rit met een deelauto.

# 3 Duiding van de emissiekentallen

## 3.1 Inleiding

Deze versie van STREAM geeft, anders dan voorgaande versies, geen gedetailleerd overzicht van alle kentallen per modaliteit. De reden is dat deze kentallen in [de webtool](#) zijn opgenomen. Wel besteden wij in dit hoofdstuk aandacht aan de belangrijkste variabelen die van invloed zijn op de emissiekentallen per modaliteit. Het geeft inzicht in het relatieve belang van variabelen die de emissies beïnvloeden.

## 3.2 Wegverkeer

De gemiddelde emissies van wegverkeer worden bepaald door de bezettingsgraad, het rijgedrag, het brandstoftype, de grootte van het voertuig en eventueel toegepaste emissiereducerende technieken. Niet al deze variabelen komen in hun volledigheid terug in de kentallen die in STREAM gebruikt zijn. De kentallen voor STREAM zijn gericht op representatieve en gemiddelde situaties. Om deze reden zijn sportief rijgedrag of sportieve auto's met hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot geen onderdeel van deze studie. Wel presenteren we verschillende wegtypen waarin verschillen in rij snelheden en doorstroming terugkomen. Voor de variabelen die onderdeel zijn van deze studie bespreken we in deze paragraaf in hoeverre deze de uitkomsten op CO<sub>2</sub>-emissies en luchtvervuilende emissies beïnvloeden. We gaan eerst in op de personenauto's en daarna de ov-bus. De overige categorieën van het wegvervoer (tweewielers, touringcars, personenbusjes) bespreken we niet in detail in dit hoofdstuk.

### Personenauto's

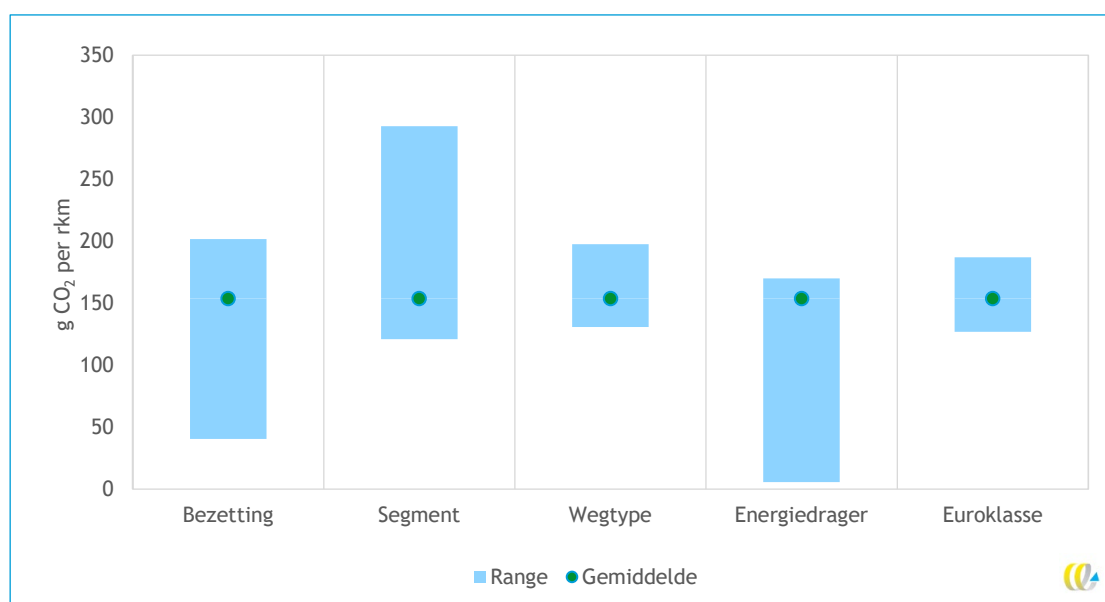
Figuur 7 geeft de invloed van verschillende variabelen op de well-to-wheel-CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's inclusief brandstofinfrastructuur weer. De gemiddelde emissies van een gewogen gemiddelde personenauto op basis van afgelegde afstanden in Nederland zijn het uitgangspunt van deze figuur. Hierbij verandert steeds één variabele ten opzichte van de gemiddelde situatie.

Bij bezetting verandert dus alleen de bezetting, maar de overige variabelen gaan uit van een gemiddelde situatie:

- **Bezetting:** Gemiddeld gezien wordt een personenauto door 1.31 personen bezet in Nederland: een lage bezetting (minder dan 1,31 in de auto) zorgt dus voor hogere emissies. Een hogere bezetting, meer dan 1,31, zorgt voor lagere emissies per reizigerskilometer. We gaan uit van een range van 1 tot 5 personen voor de bezetting van de auto.
- **Segment personenauto (grootteklasse):** De omvang van een voertuig is een belangrijke variabele doordat grotere voertuigen ook vaak sterkere motoren hebben en daardoor ook meer uitstoten. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van een personenauto in het I-segment (groot en luxueus) is gemiddeld 242% maal zo hoog als de emissies van een personenauto in het A-segment (submini).

- **Wegtype:** Op stadswegen, waar verkeer vaker opstart en remt, stoot de gemiddelde auto meer uit dan op buitenwegen. Op buitenwegen is de doorstroming beter zonder dat er veel van het motorvermogen wordt gevraagd. Dit zorgt voor lagere emissies ten opzichte van het gemiddelde. Op snelwegen zijn de emissies juist weer wat hoger in vergelijking met buitenwegen omdat bij hoge snelheden de luchtweerstand snel toeneemt.
- **Energiedrager:** Een gemiddelde elektrische auto op groene stroom stoot slechts 6 gCO<sub>2</sub><sub>eq</sub> per rkm uit terwijl een gemiddelde dieselauto op fossiele diesel ongeveer 170 gCO<sub>2</sub> per rkm uitstoot.
- **Euroklasse/leeftijd:** De Euroklassen van voertuigen hebben op zichzelf geen invloed op de CO<sub>2</sub>-emissies omdat de Euronormeringen alleen luchtvervuilende emissies beperken. Er is wel een indirect verband tussen de Euroklasse van personenauto's en de CO<sub>2</sub>-uitstoot<sup>6</sup> omdat oudere voertuigen meer uitstoten<sup>7</sup>.

Figuur 7 - Invloed van variabelen op CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's ten opzichte van gemiddelde situatie

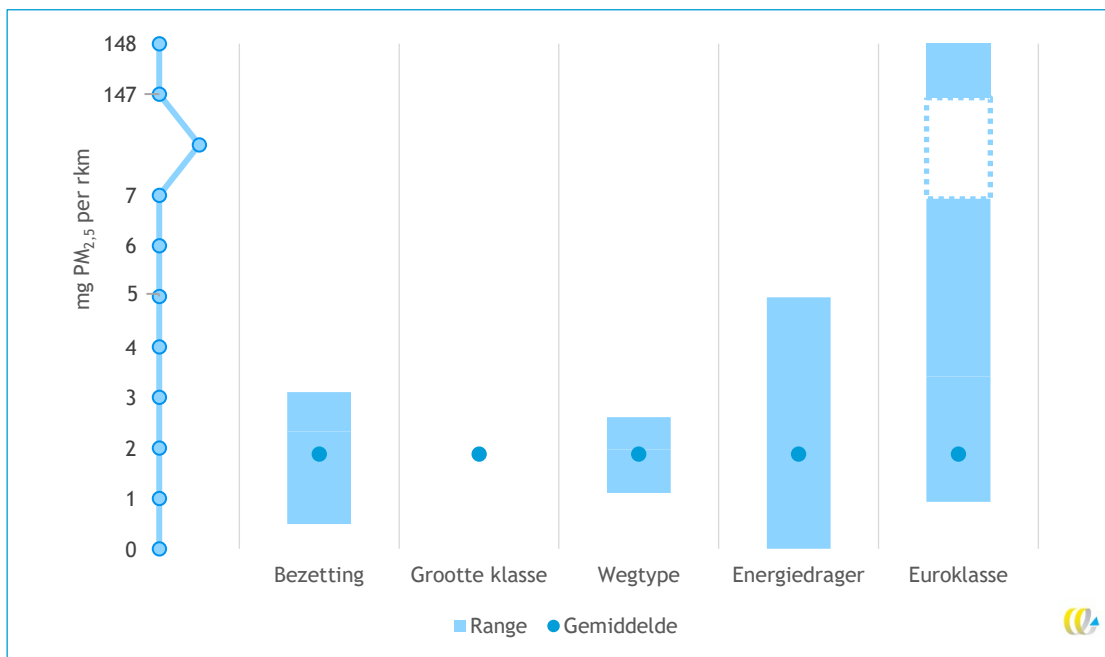


In Figuur 8 en Figuur 9 staat de invloed van variabelen op luchtvervuilende emissies weer-gegeven. Voor de hoogte van de luchtvervuilende emissies speelt de Euroklasse een veel grotere rol ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissies. Dit geldt met name voor fijnstof waar de emissies van oude, pre-Euro, voertuigen veel hoger uitvallen. Voor de andere variabelen geldt dat de invloed vergelijkbaar is ten opzichte van CO<sub>2</sub>-emissies. Doordat elektrische voertuigen geen verbrandingsmotor hebben begint de range bij energiedrager bij nul emissies van fijnstof en stikstof. De grootteklasse heeft geen invloed op de emissies van fijnstof en NO<sub>x</sub> per kilometer aangezien die gereguleerd zijn door de Euroklassen.

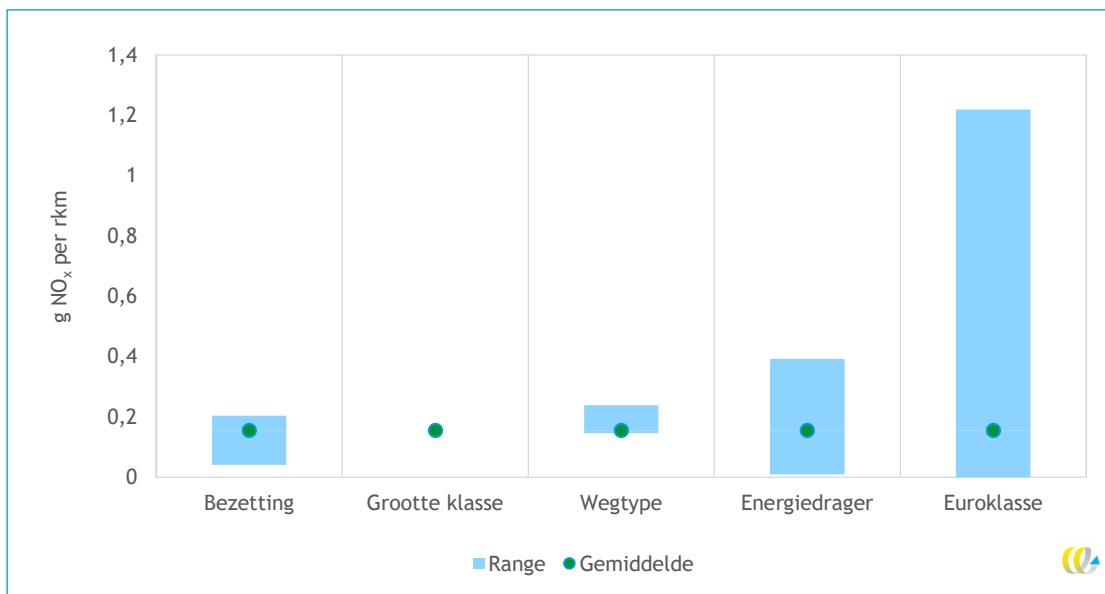
<sup>6</sup> Nieuwe voertuigen zijn in de afgelopen jaren zuiniger geworden. Tegelijkertijd zijn ook de Euronormeringen aangescherpt, maar brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies zijn geen onderdeel van de Euronormering.

<sup>7</sup> Dit komt omdat de maximaal toegestane CO<sub>2</sub>-emissies van nieuwe personenauto's geleidelijk naar beneden worden bijgesteld in Europese wetgeving.

**Figuur 8 - Invloed van variabelen op PM<sub>2,5</sub>-emissies door verbranding van personenauto's ten opzichte van gemiddelde situatie**



**Figuur 9 - Invloed van variabelen op NO<sub>x</sub>-emissies van personenauto's ten opzichte van gemiddelde situatie**





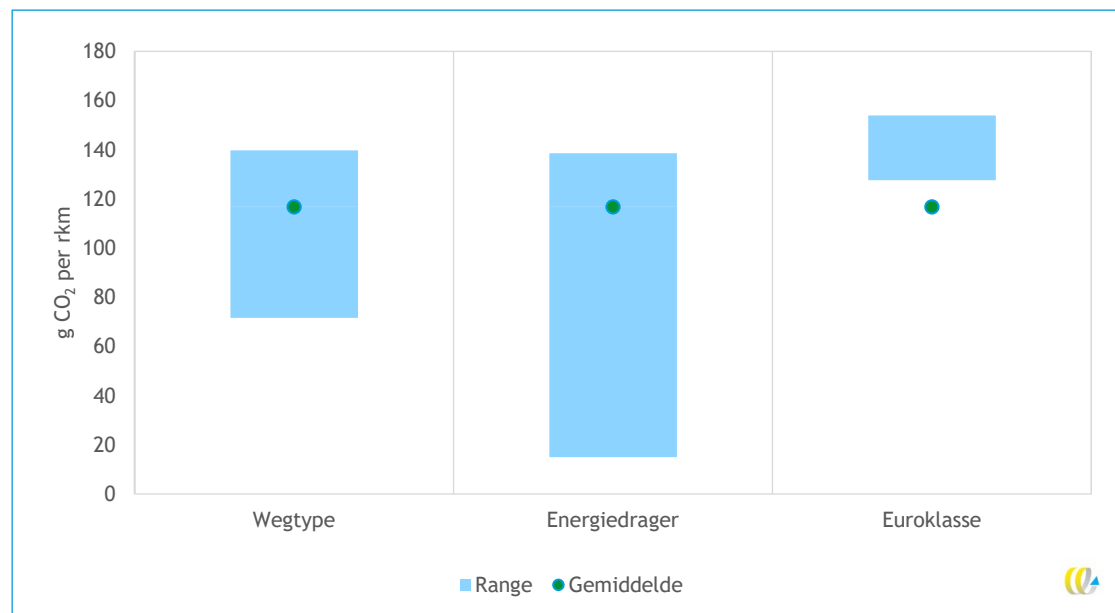
## Ov-bus

Voor ov-bussen geldt dat de volgende variabelen onderdeel zijn van STREAM Personenvervoer: aandrijflijn, energiedrager, het wegtype en de Euroklasse van het voertuig. De bezetting van het voertuig is geen onderdeel van de variabelen omdat het per situatie kan verschillen en de reiziger daarop geen invloed heeft.

In Figuur 10 staat de invloed van verschillende variabelen op de emissies van ov-bussen ten opzichte van het gemiddelde voor Nederland:

- **Wegtype:** Op stadswegen, waar verkeer vaak meer startstop is, verbruikt de gemiddelde ov-bus meer uit dan op buitenwegen. Op buitenwegen is de doorstroming beter zonder dat er veel van het motorvermogen wordt gevraagd. Dit zorgt voor lagere emissies ten opzichte van het gemiddelde.
- **Energiedrager:** Een gemiddelde ov-bus stoot 117 gCO<sub>2</sub>-eq. per rkm uit terwijl een dieselaangedreven ov-bus gemiddeld bijna 139 gCO<sub>2</sub>-eq. per rkm uitstoot. Een elektrisch aangedreven ov-bus op groene stroom stoot daarentegen slechts 5 gCO<sub>2</sub>-eq. per rkm uit.
- **Euroklasse/leeftijd:** De Euroklassen van voertuigen hebben op zichzelf geen invloed op de CO<sub>2</sub>-emissies omdat de Euronormeringen alleen luchtvervuilende emissies beperken. Er is wel een correlatie met de leeftijd van voertuigen<sup>8</sup>, omdat oudere voertuigen meer uitstoten. Het aandeel elektrische ov-bussen is 12% in 2020. Dit zorgt ervoor dat de gemiddelde emissies onder de range van Euroklassen voor verbrandingsmotoren liggen. We zijn uitgegaan van een Euro VI- en Euro II-ov-bus om de range te bepalen voor Euroklassen. Bussen met oudere Euroklassen worden namelijk niet meer als ov-bus ingezet (CROW-KpVV, 2020).

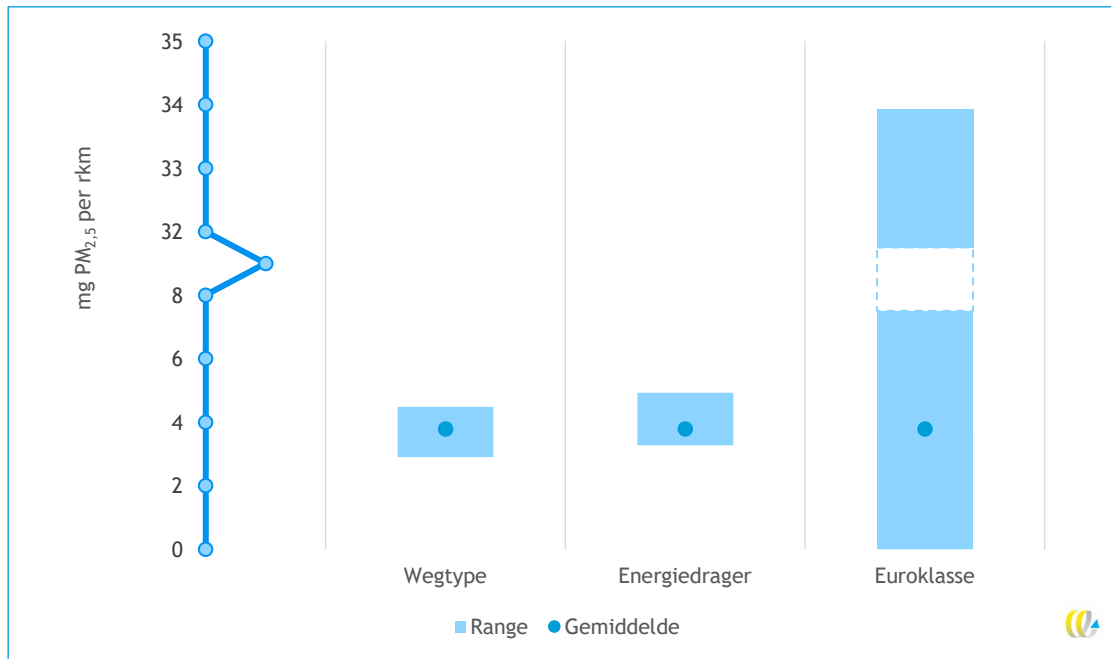
Figuur 10 - Invloed van variabelen op CO<sub>2</sub>-emissies van ov-bussen door verbranding ten opzichte van gemiddelde situatie



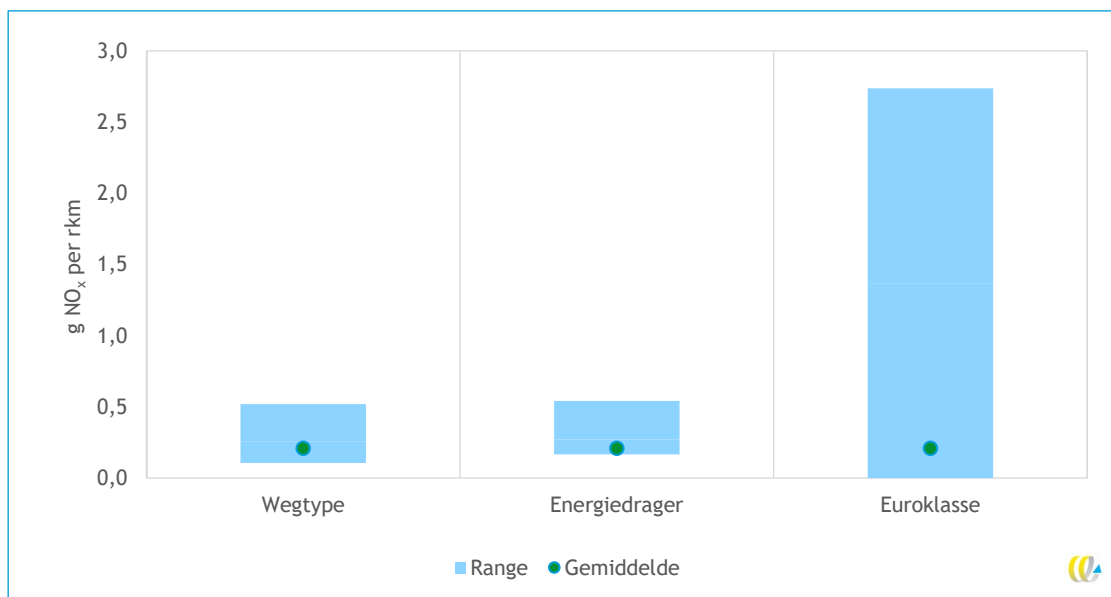
<sup>8</sup> Voertuigen zijn in de afgelopen jaren zuiniger geworden. Tegelijkertijd zijn ook de Euronormeringen aangescherpt maar brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies zijn geen onderdeel van de Euronormering.

In Figuur 11 en Figuur 12 staat de invloed van variabelen op de luchtvervuilende emissies van ov-bussen weergegeven. De Euroklasse is de belangrijkste factor voor de luchtvervuilende emissies. Dit geldt met name voor fijnstof waar de emissies van oudere, Euro III-voertuigen veel hoger uitvallen. Voor de andere variabelen geldt dat de invloed vergelijkbaar is ten opzichte van CO<sub>2</sub>-emissies. Doordat elektrische voertuigen geen verbrandingsmotor hebben begint de range van de energiedrager bij nul emissies.

**Figuur 11 - Invloed van variabelen op PM<sub>2,5</sub> emissies van ov-bussen ten opzichte van gemiddelde situatie**



**Figuur 12 - Invloed van variabelen op NO<sub>x</sub>-emissies van ov-bussen ten opzichte van gemiddelde situatie**



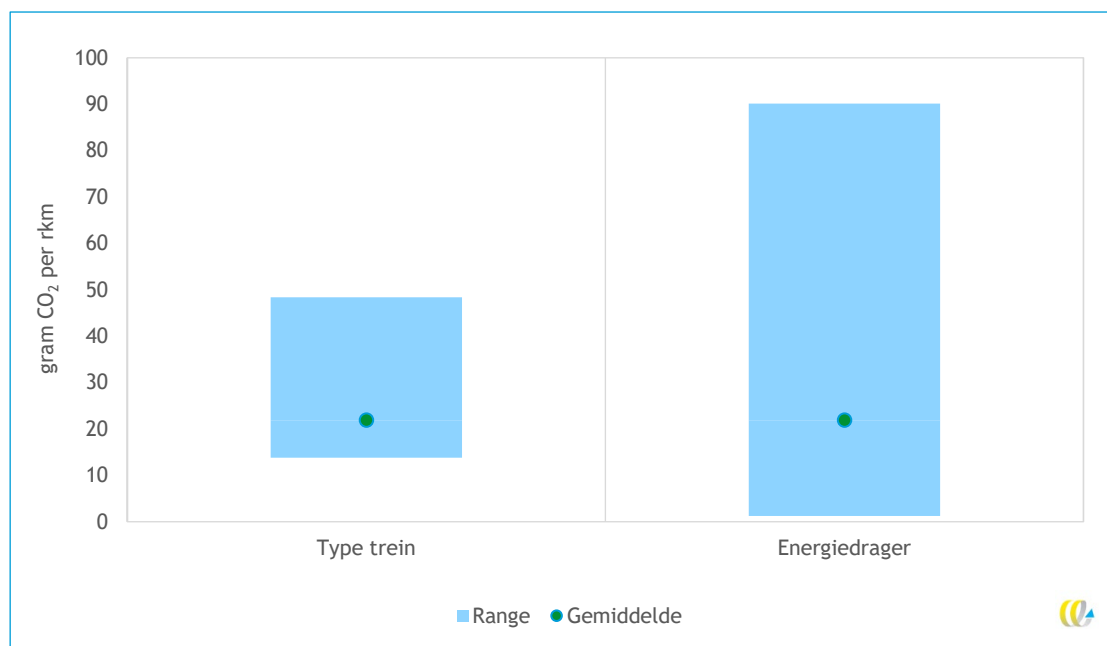
### 3.3 Spoorvervoer

Voor spoorvervoer spelen verschillende variabelen mee op de uitstoot. Dit zijn de bezetting, het treintype, de aandrijflijn en brandstofsoort. De bezetting is buiten de invloed van de treinreiziger, waardoor wij deze niet als instelbare parameter meenemen in STREAM.

In Figuur 13 staat de invloed van variabelen op CO<sub>2</sub>-emissies van treinen:

- **Type trein:** Het type trein bepaalt in zekere mate het energieverbruik. Een intercity is over het algemeen beter bezet en stopt relatief minder, waardoor er efficiënter gereden wordt.
- **Energiedrager:** Als we puur naar de aandrijflijn en brandstofsoort kijken dan zien we dat in Nederland alleen regionaal nog stoptreinen op diesel rijden. Stoptreinen hebben sowieso al een hoger energieverbruik waardoor de uitstoot relatief hoger uitvalt. Voor elektrische treinen is er een groot verschil tussen groen opgewekte stroom (deze stroom heeft zeer beperkte emissies) en gemiddelde of grijze stroom met relatief hogere emissies.

Figuur 13 - Invloed van variabelen op CO<sub>2</sub> emissies van treinen ten opzichte van gemiddelde situatie



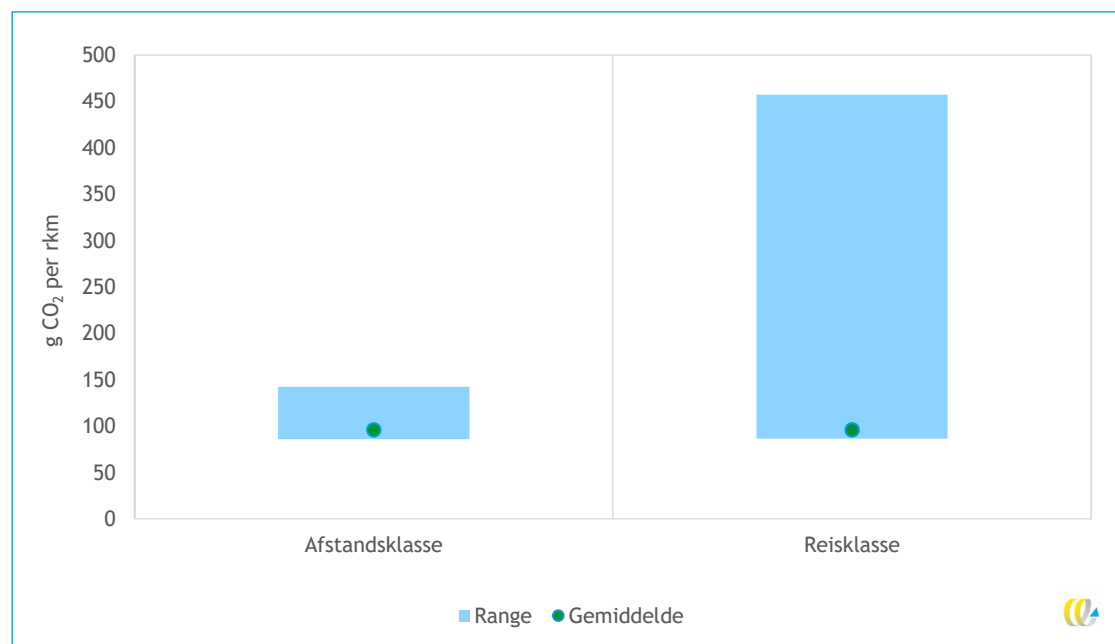
### 3.4 Luchtvaart

Voor luchtvaart spelen verschillende variabelen mee op de uitstoot. Dit zijn de bezetting, het vliegtuigtype, de gevlogen afstand, de brandstofsoort en de reizigersklasse. De bezetting is buiten de invloed van de reiziger, waardoor wij deze niet als instelbare parameter meenemen in STREAM. In Paragraaf 6.11 leggen we uit dat er een correlatie zit tussen het vliegtuigtype en de gevlogen afstand. Grotere vliegtuigen worden ingezet op langere afstanden en hebben relatief lagere emissies. Op langere afstanden zijn de niet-CO<sub>2</sub>-effecten wel groter. Hierdoor kan het zijn dat de gemiddelde klimaatimpact (per rkm) van een lange vlucht wel groter is dan die van een korte vlucht. De niet-CO<sub>2</sub>-effecten zijn niet meegenomen in Figuur 14, omdat het niet goed mogelijk is om de impact te kwantificeren voor specifieke afstanden. Voor de globale luchtvaart wordt de impact ingeschat op een factor 0.7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

In Figuur 14 staat de invloed van variabelen op CO<sub>2</sub>-emissies van vliegtuigen. Doordat het gebruik van biokerosine beperkt is, hebben we dit niet meegenomen in het overzicht.

- **Afstandsklasse:** De emissies vallen hoger uit op kortere afstanden dan lange afstanden. Dit komt omdat langere afstanden een groter gedeelte van de vlucht op de meer efficiënte kruisfase vliegen.
- **Reisklasse:** In het vliegtuig hebben reizigers de keuze tussen verschillende klassen. In volgorde van ruimtegebruik gaat het om: Economy, Economy premium, Business class en First class. In de hoogste klassen is het ruimtegebruik groter. Dit zorgt ervoor dat de gemiddelde emissies hoger uitvallen. Het gemiddelde ligt vrij dicht bij de emissies van economy class, omdat de meeste reizigers met deze klasse vliegen.

Figuur 14 - Invloed van variabelen op CO<sub>2</sub>-emissies van vliegtuigen ten opzichte van gemiddelde situatie



### 3.5 Vervoer over water

De emissies van personenvervoer over water hangen af van verschillende factoren. Ten eerste gaat het om het type waterweg. De stroming, afstand, weersomstandigheden bepalen mede hoeveel energie een vaartuig moet leveren. De energievraag hangt af van de omvang van het schip en de belading. Daarnaast is de gebruikte techniek van belang voor de emissies. Zo zijn er op enkele plekken al elektrische vaartuigen die worden ingezet als pont of waterbus. Het aantal reizigers bepaalt de gemiddelde emissieprestatie. Hierbij geldt dat het in geval van veerponten nog noodzakelijk is om emissies onder te verdelen naar individuele reizigers. Het ruimtegebruik kan hier gebruikt worden om emissies te verdelen. Zo neemt een reiziger in een auto meer ruimte in dan een reiziger te voet. Over het algemeen geldt dat personenvervoer over water, ten opzichte van andere vervoerswijzen, een relatief grote energievraag per kilometer heeft. Door gebrek aan beschikbare data hebben we slechts één type veerpont op kunnen nemen. Het is dus niet mogelijk om de invloed van verschillende factoren hier te illustreren.

## 4 Gebruik kentallen

### 4.1 Emissies bepalen voor een vervoerswijze

In deze paragraaf leggen we uit hoe emissies van een reis te bepalen zijn op basis van de kentallen in dit rapport.

Het volgende stappenplan kan als basis worden gehanteerd:

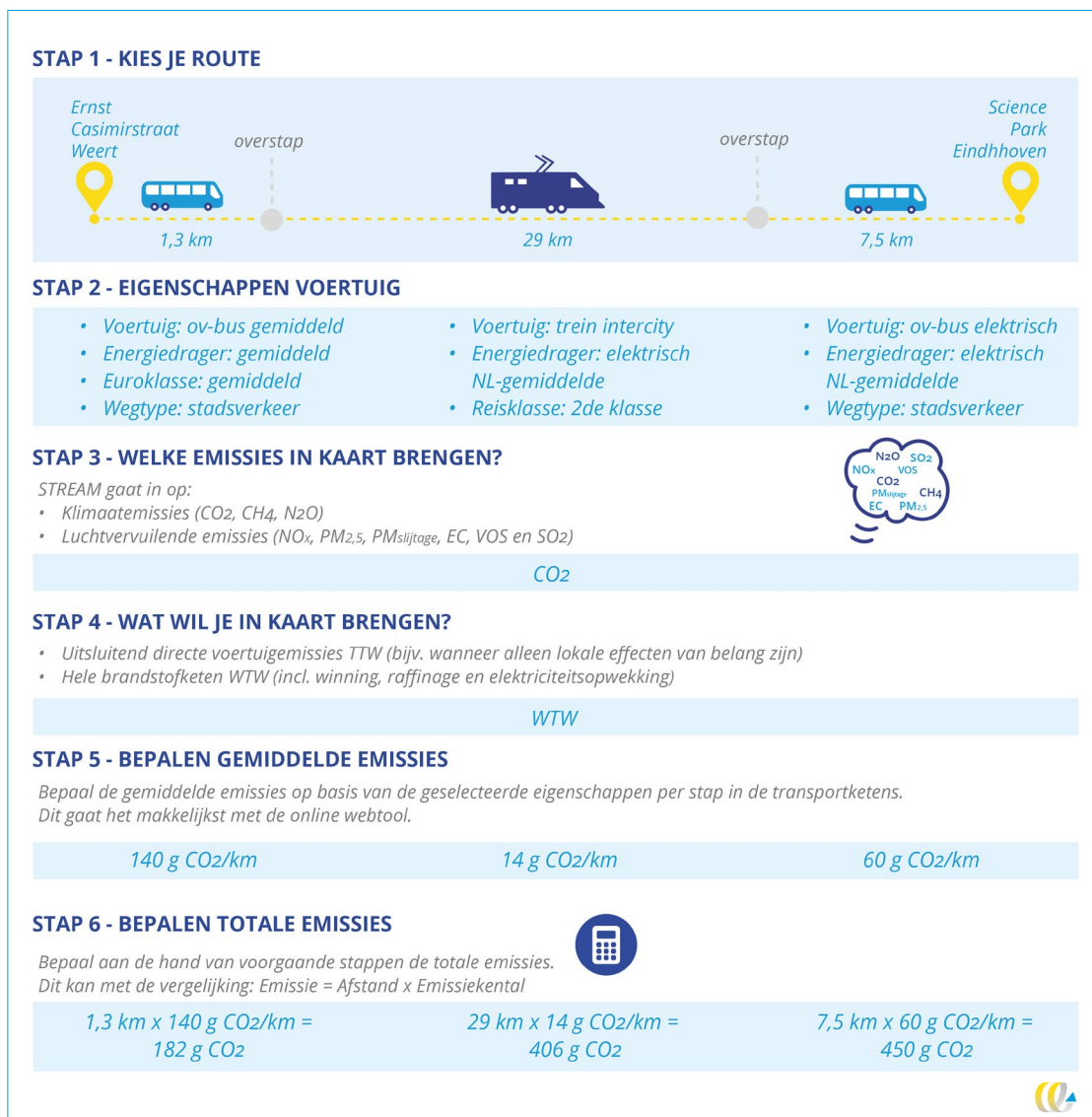
1. Kies de route die je in beeld wil brengen en de modaliteiten die hierbij horen. Definieer de complete transportketens van begin tot eind: welke modaliteiten worden gebruikt en voor welke afstanden? Voor wegverkeer is ook van belang op welke wegtypes wordt gereden. Het kan handig zijn dit uit te tekenen.
2. Naast de modaliteit is het ook van belang om te kijken naar de eigenschappen van de vervoerswijze. Het gaat dan om: bezettingsgraad, Euroklasse, energiedrager, segment. Als geen data voor de specifieke transportketens beschikbaar is, kan gekozen worden om gemiddelde kentallen te gebruiken.
3. Bepaal welke emissies je in kaart wilt brengen: STREAM gaat in op klimaatemissies (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) en luchtvervuilende emissies (NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>slijtage</sub>, EC, VOS en SO<sub>2</sub>).
4. Kies of de hele brandstofketen in kaart moet worden gebracht (incl. winning, raffinage en elektriciteitsopwekking) of alleen de directe emissies van de voertuigen (bijv. wanneer alleen de lokale effecten van belang worden geacht).
5. Bepaal de gemiddelde emissies per vervoerswijze op basis van de geselecteerde specifieke eigenschappen per stap in de transportketens. Dit gaat het makkelijkst via [de webtool](#).
6. Bepaal aan de hand van de vorige stappen de te gebruiken emissiedata (zie hiervoor de data in Hoofdstuk 2 en 3). Gebruik de volgende vergelijking per vervoerswijze (<sub>vw</sub>) om emissies te berekenen.

$$\text{Emissie}_{vw} = \text{Afstand}_{vw} \times \text{Emissiekental}_{vw}$$

Voor de totale keten moeten de emissies voor de verschillende vervoerswijzen bij elkaar opgeteld worden. Voor wegverkeer kan bovenstaande berekening ook apart per wegtype worden gemaakt.

In Figuur 15 is een voorbeeld gegeven voor een berekening van emissies voor één reis op basis van emissiekentallen. De reis gaat van de Ernst Casimirstraat in Weert naar het Sciencepark Eindhoven in Son.

Figuur 15 - Voorbeeldberekening op basis van emissiekentallen



## 4.2 Vergelijken vervoerswijzen

Voor een vergelijking tussen vervoerswijzen is het belangrijk om een representatieve situatie te selecteren en rekening te houden met daadwerkelijke transportafstanden en voor- en natransport. Een vergelijking op basis van gemiddelde emissiekentallen is weinig zinvol als een vergelijking in de praktijk niet mogelijk is.

## 4.3 Voorbeeldreizen

In deze paragraaf berekenen wij voor een aantal cases de emissies op basis van emissiekentallen uit dit rapport. In de reizen worden alternatieve vervoersopties met elkaar vergeleken voor een situatie waar er verschillende vervoerswijzen mogelijk zijn.

Het doel van de cases is te illustreren op welke wijze de kentallen gebruikt kunnen worden. Daarnaast illustreren de cases dat de specifieke situatie een grote rol kan spelen in de emissies van de verschillende vervoersopties.

## Geselecteerde cases

Bij de vergelijking van modaliteiten is het van belang om voor een specifieke situatie reële opties te gebruiken. Zo heeft het voor een reis naar de Verenigde Staten weinig zin om een vergelijking te doen met vervoer over water, omdat in de praktijk vervoer via de lucht de enige reële optie is. We onderscheiden de volgende opties:

- woon-werkverkeer (3 cases, afstand 9 km (Randstad), 15 km (buiten Randstad) en 50 km);
- zakelijke reis (650 km);
- sportwedstrijd (200 km);
- toeristisch (2 cases, afstand 15 km (uitstapje in Nederland en 1.400 km (reis naar Zuid-Frankrijk)).

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

- grootte van voertuig of vervoersklasse (emissies per kilometer);
- bezettingsgraad;
- Euroklasse of voertuigtechnologie;
- voor- en natransport.

De volgende emissies nemen we mee in de vergelijking:

- CO<sub>2</sub>;
- NO<sub>x</sub>
- Fijnstof (PM<sub>2,5</sub>);
- VOS.

We hebben ervoor gekozen om zeven cases te selecteren, die het speelveld goed illustreren. Het gaat om de volgende situaties:

1. Woon-Werk: Den Haag-Delft.
2. Woon-Werk: Winsum-Groningen.
3. Woon-Werk: Weert-Eindhoven.
4. Zakelijk: Alkmaar-Berlijn.
5. Sport en recreatie: Aalten-Buitenpost.
6. Toeristisch: Vlissingen-Breskens.
7. Toeristisch: Utrecht-Nice.

De cases worden in de volgende subparagrafen uitgewerkt. Bij de casebeschrijving is ook de reistijd weergegeven. Dit is om een idee te geven in hoeverre de modaliteiten werkelijk met elkaar concurreren (qua tijd).

### 4.3.1 Woon-werk: Den Haag-Delft

Motief: Woon-werk  
 Afstand: ca. 9 km  
 Traject: Den Haag, Spaarnestraat → Delft, Oude Delft  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>

In deze eerste case vergelijken we de opties die er op het traject Den Haag-Delft zijn. Tabel 3 toont de belangrijkste kenmerken van de verschillende vervoerswijzen die mogelijk zijn. Voor het vervoer per auto geven we een verdere uitsplitsing op basis van verschillende brandstoffen en motorcombinaties. De gewone fiets is in de grafieken niet opgenomen omdat de emissies daarvan 0 zijn.

Tabel 3 - Uitgangspunten van de casus

Vervoerswijze	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min.)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Fiets	8,5	31	Nee	0	31
E-Fiets	8,5	23	Nee	0	23,0
Tram	7,5	20	Lopen	1,0	31,8
Bus	10,6	27	Lopen	1,0	38,8
Trein (intercity, elektrisch)	8,5	7	Lopen	1,6	25,8
Auto	11,9	14	Lopen (parkeren buiten centrum)	0,6	26,2

In Tabel 4 staan de details van de vervoerswijzen. Zo gaan we uit van vijf verschillende typen auto's. Voor de bezetting gaan we uit van de gemiddelde bezettingen van de verschillende voertuigen. Dit betekent dat een bromfiets met 1,1 persoon is bezet en een auto op zakelijke reis met 1,07 persoon.

Tabel 4 - Details vervoerswijzen casus

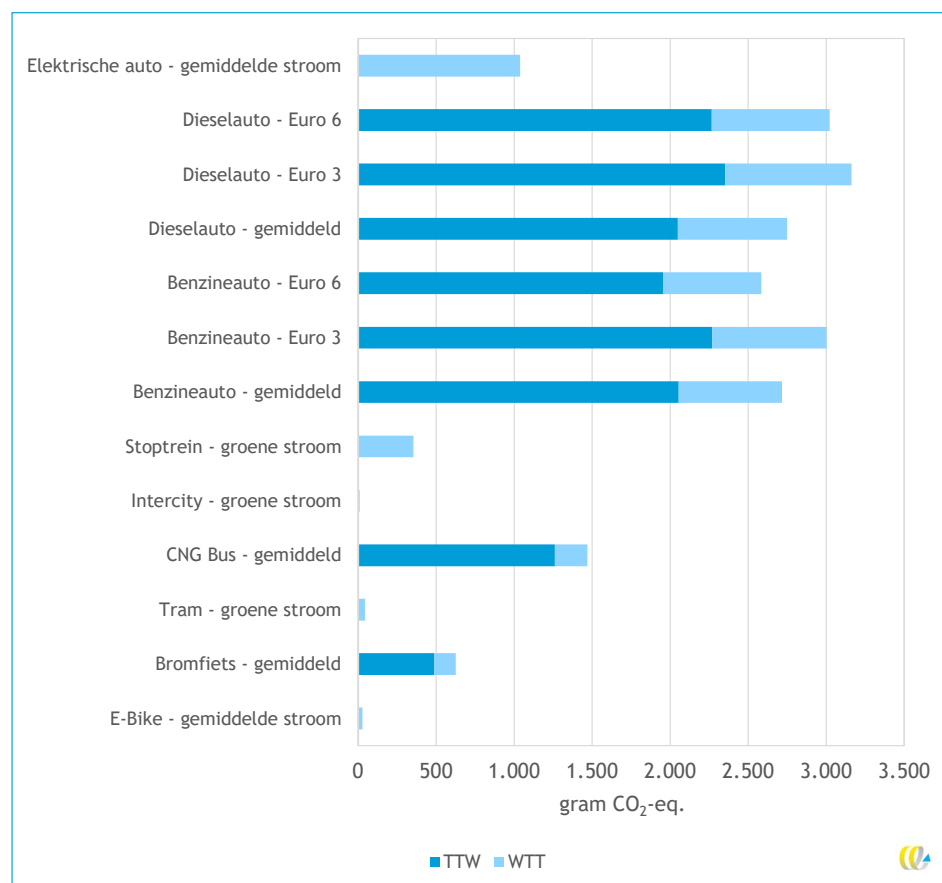
Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)
E-bike	Gemiddeld	1,0	76:24:0
Bromfiets	Gemiddeld	1,1 (gemiddeld)	76:24:0
Tram	Elektrisch 100% duurzaam	24%	
Bus	CNG	7,2	81:19:0
Stoptrein	Elektrisch 100% duurzaam	24%	
IC-trein	Elektrisch 100% duurzaam	33%	
Auto	Gemiddeld benzine	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Benzine Euro 6	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Benzine Euro 3	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Elektrisch gemiddelde mix	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Diesel gemiddeld	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Diesel Euro 6D	1,07 (woon-werk)	68:0:32
	Diesel Euro 3	1,07 (woon-werk)	68:0:32





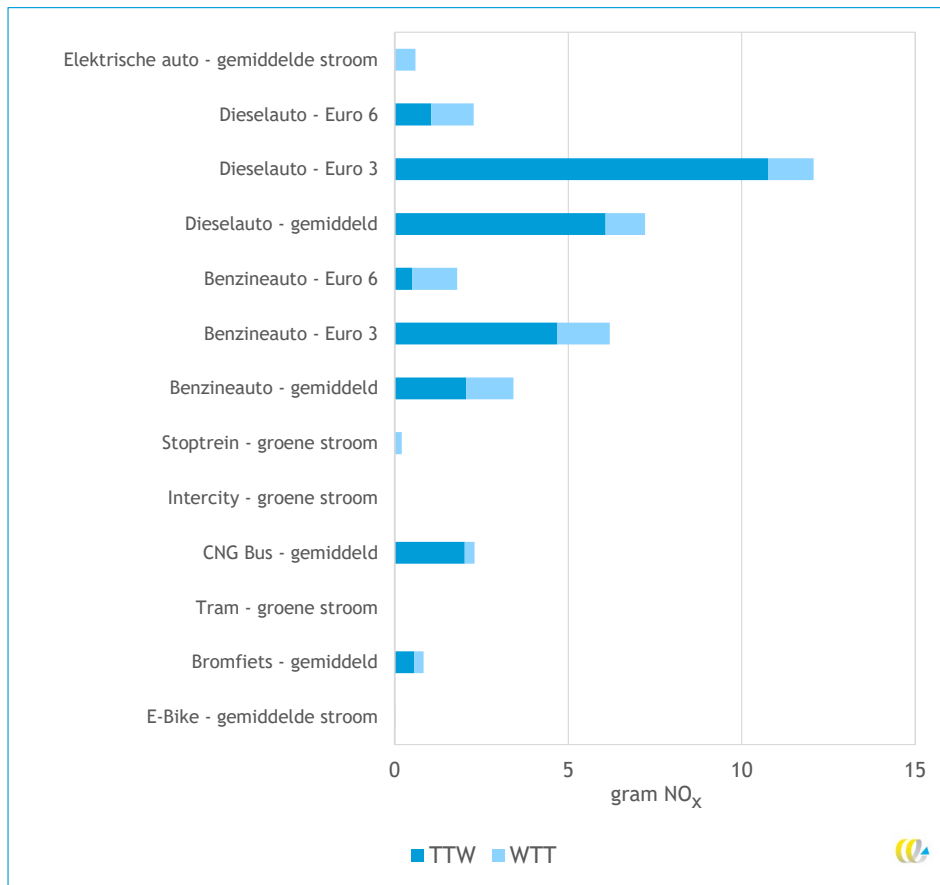
In Figuur 16 zijn de CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen vergeleken. De personenauto's stoten over het algemeen de meeste CO<sub>2</sub> uit. De elektrische auto is hierbij wel een uitzondering. Daarnaast stoten nieuwere Euro 6-voertuigen iets minder uit dan de oudere Euro 3-voertuigen. De verschillen zijn echter beperkt. De elektrische voertuigen, zoals trams en treinen, stoten de minste hoeveelheid CO<sub>2</sub> uit op de rit.

**Figuur 16 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen**



Figuur 17 laat de NO<sub>x</sub>-emissies zien van verschillende vervoerswijzen op de rit tussen Den Haag en Delft. Voor de NO<sub>x</sub>-emissies geldt dat de voertuigen met verbrandingsmotor de hoogste uitstoot hebben. Hierbij geldt dat er grote verschillen zijn tussen Euro 3- en Euro 6-voertuigen. De nieuwere auto's zijn uitgerust met meer geavanceerde emissiereductie-techniek en hebben daardoor lagere TTW-emissies. De emissies die vrijkomen bij de brandstofproductie, de zogeheten WTT-emissies, zijn vrijwel constant tussen de verschillende auto's op fossiele brandstoffen omdat het energieverbruik vergelijkbaar is. Voor de vervoerswijzen die op elektriciteit rijden geldt dat de WTT de enige emissiebron is. Hierdoor hebben deze vervoerswijzen de laagste uitstoot van NO<sub>x</sub>.

Figuur 17 - NO<sub>x</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen



### 4.3.2 Woon-werk: Winsum-Groningen

Motief: Woon-werk  
 Afstand: ca. 15 km  
 Traject: Sylvenne, Winsum → Broerstraat, Groningen  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en VOS

De tweede voorbeeldreis gaat wederom om een woon-werkreis. Ditmaal van Winsum naar Groningen. Voor deze reis zijn enkele reisopties geselecteerd. Het gaat om de e-bike, bromfiets, bus, trein en auto. De uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-Modaliteit (min.)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
E-Fiets	14.4	39	-	-	39
Bromfiets	14,4	28	-	-	28,0
Bus	17,0	17	Lopen	0,9	27,3
Trein (diesel)	11,6	11	Bus (diesel) + lopen	1,3 + 0,9	27,6
Auto	14,6	23	Lopen	0,7	36,5

De details van de vervoerswijzen zijn weergegeven Tabel 6. We zijn uitgegaan van de gemiddelde bezetting voor de verschillende vervoerswijzen. Voor de ov-bus zijn we uitgegaan van twee varianten, een dieselaangedreven bus en een waterstofbus, die volgens OVNL<sup>9</sup> rijden op de relevante buslijn.

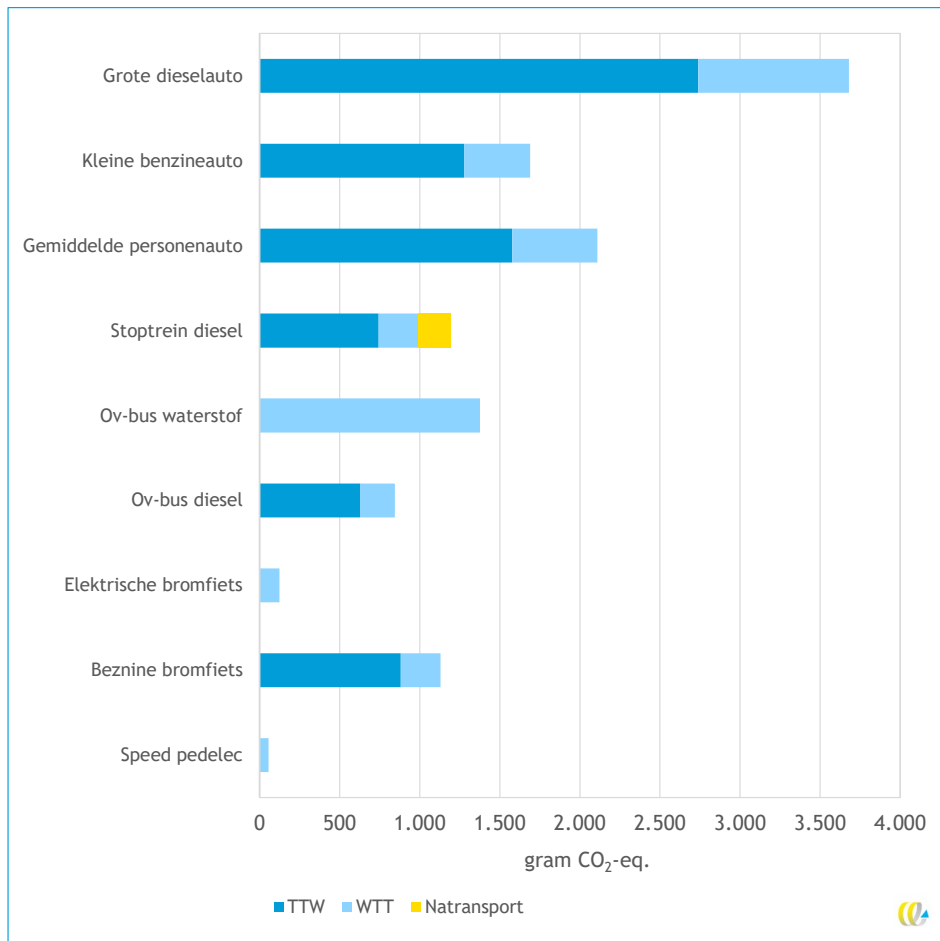
Tabel 6 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)
Speed pedelec	Gemiddelde stroom	1,0	30:70
Bromfiets	Benzine gemiddeld	1,1 (gemiddeld)	30:70
Bromfiets	Elektrisch gemiddelde stroom	1,1 (gemiddeld)	30:70
Ov-bus	Diesel gemiddeld	7,2	24:76:0
Ov-bus	Waterstof elektrolyse gemiddelde stroom	7,2	24:76:0
Stoptrein	Diesel	24%	
Auto	Gemiddeld	1,07 (woon-werk)	20:80:0
	Benzine, gemiddeld, kleine auto (A-segment)	1,07 (woon-werk)	20:80:0
	Diesel, gemiddeld, grote auto (F-segment)	1,07 (woon-werk)	20:80:0

In Figuur 18 zijn de CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven voor de verschillende voertuigen voor de rit tussen Winsum en Groningen. Hierbij geldt dat een grote, luxe auto de meeste uitstoot veroorzaakt terwijl een kleine benzineauto meer dan de helft minder uitstoot. De laagste uitstoot hebben de speed pedelec en de elektrische bromfiets. De waterstofbus heeft geen directe uitstoot maar er komen, momenteel, wel veel emissies vrij bij de productie van waterstof waardoor de totale emissies hoger uitvallen dan bij de dieselvariant. Bij de route met de stoptrein wordt een ov-bus gebruikt als natransport. Deze ov-bus op diesel draagt ook bij aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot op de rit.

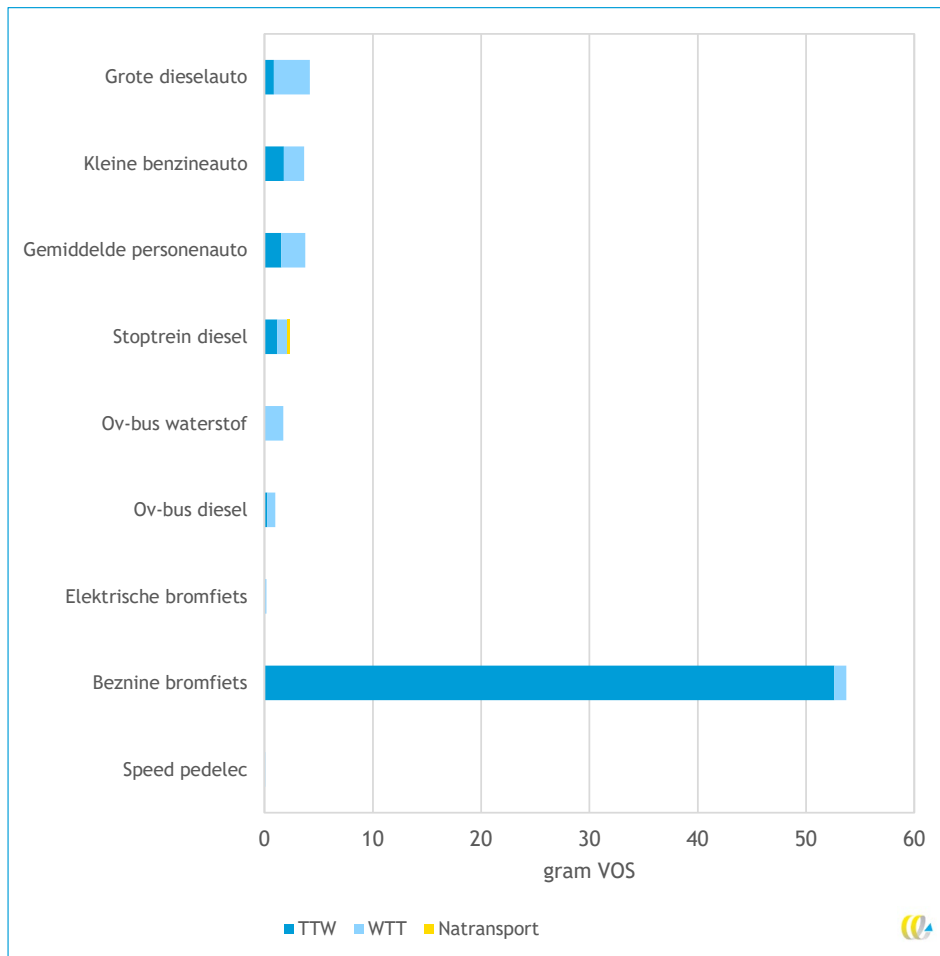
<sup>9</sup> Zie <https://wiki.ovinnederland.nl/wiki/Hoofdpagina>

Figuur 18 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen



De uitstoot van vluchtige organische stoffen (VOS) is het hoogst bij de bromfiets op benzine. Dit komt onder andere doordat emissienormen voor personenauto's en bussen relatief strenger zijn. Voor de andere vervoerswijzen geldt dat een benzineauto relatief meer VOS direct uitstoot dan de grote dieselauto. Omdat de grote dieselauto een hoger energie-verbruik heeft stoot deze meer uit.

Figuur 19 - VOS-emissies van verschillende vervoerswijzen



### 4.3.3 Woon-werk: Weert-Eindhoven

Motief: Woon-werk  
Afstand: ca. 50 km  
Traject: Ernst Casimirstraat, Weert → Sciencepark Eindhoven, Son  
Emissies: CO<sub>2</sub> en PM<sub>2,5</sub>

Tabel 7 presenteert de uitgangspunten voor derde case: een rit tussen Weert en Eindhoven. We gaan van vier opties uit. Bij de trein en de auto wordt uitgegaan voor een individuele reis. Daarnaast nemen we opties mee voor carpoolen en besloten vervoer met een personenbusje.

Tabel 7 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min.)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Trein (IC)	29,0	17	Ov-bus (diesel + elektrisch)	1,3 + 7,5	63,2
Auto	44,1	37	Lopen	0,2	41,4
Carpoolen	44,1	37	Lopen, +fietsen	0,2 (2pers.) + 2 (1 pers)	41,4/ 49,5
Personenbusje besloten vervoer	44,1	37	Lopen, +fietsen	0-2 km	41,4

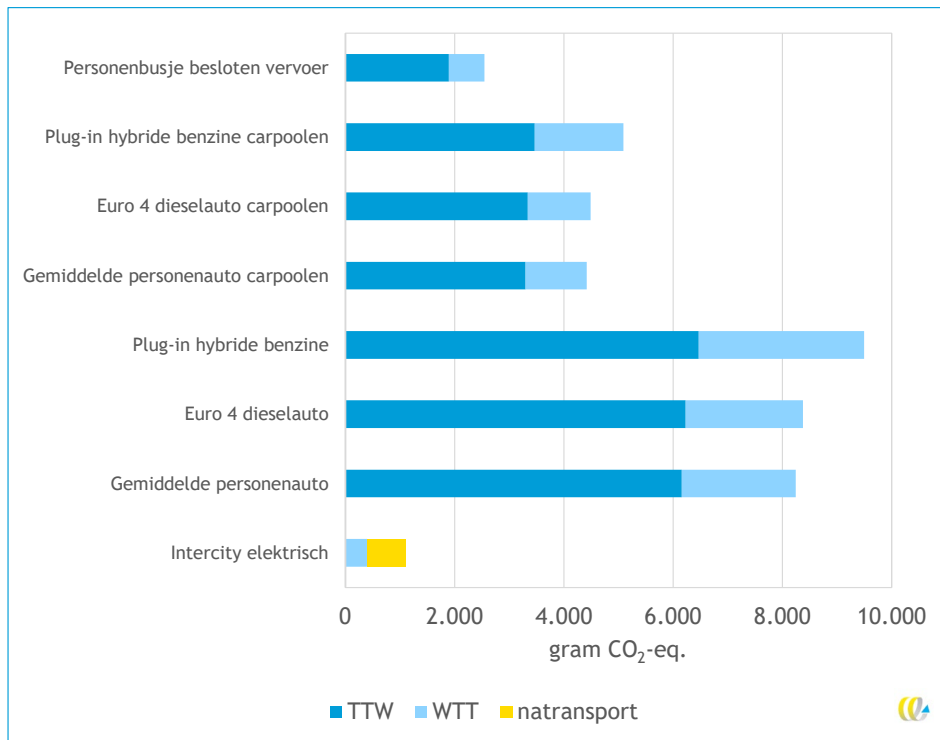
In Tabel 8 staan de details van de voertuigen. We onderscheiden drie type auto's, een gemiddelde auto, een Euro 4-diesel en een plug-in hybride. Tussen Eindhoven en Weert rijdt een intercitytrein en we gaan uit van een gemiddelde mix. Voor het natransport gaan we uit van een gemiddelde ov-bus.

Tabel 8 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)
IC-trein	Gemiddelde stroommix	33%	
Auto	Gemiddeld	1,07 (zakelijk)	7:9:84
	Diesel, Euro 4, zakelijk	1,07 (zakelijk)	7:9:84
	Plug-in hybride benzine, zakelijk	1,07 (zakelijk)	7:9:84
Carpoolen	Gemiddeld, carpoolen	2	7:9:84
	Diesel, Euro 4, carpoolen	2	7:9:84
	Plug-in hybride benzine, carpoolen	2	7:9:84
Personenbusje	Gemiddeld besloten vervoer	5	7:9:84

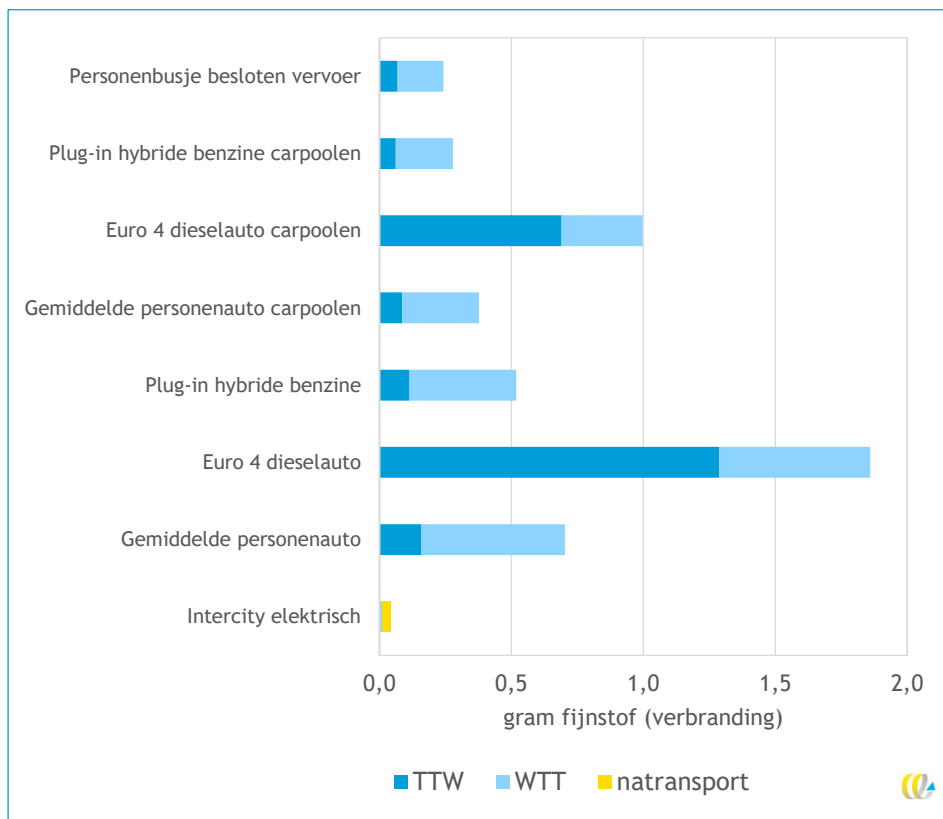
We kijken wederom eerst naar de CO<sub>2</sub>-emissies van de verschillende vervoerswijzen op de route. Deze zijn weergegeven in Figuur 20. De trein is de optie met de minste uitstoot, mede omdat het natransport beperkt is. Bij de andere vervoerswijzen zie je dat een betere bezetting tot lagere emissies leidt. Wat opvalt is dat de plug-in hybride nog een hogere uitstoot heeft dan de dieselauto.

**Figuur 20 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen**



Wanneer we kijken naar de fijnstofemissies van de verschillende voertuigen dan zien we dat de Euro 4-dieselauto de hoogste uitstoot heeft. De gemiddelde personenauto heeft een lagere uitstoot omdat het gemiddelde ook bestaat uit nieuwere auto's en auto's met schonere aandrijflijnen. De uitstoot van PM<sub>2,5</sub>-emissies van de trein is beperkt omdat er alleen bij de productie van elektriciteit emissies vrijkomen.

**Figuur 21 - PM<sub>2,5</sub>-verbrandingsemissies van verschillende vervoerswijzen**



#### 4.3.4 Zakelijk: Alkmaar-Berlijn

Motief: Zakelijk  
 Afstand: ca. 650 km  
 Traject: Lekstraat Alkmaar → Oranienburgerstrasse Berlijn  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en PM<sub>2,5</sub>

Voor het vierde traject kijken we naar een reis tussen Alkmaar en Berlijn. We gaan uit van een zakelijke reis en bijbehorende bezettingen. We onderscheiden vier opties: trein, vliegtuig, touringcar en auto. We gaan uit van twee opties voor het voor- en natransport. In de eerste optie gaan we uit van het ov (bus en metro) en de tweede optie van de taxi.



Tabel 9 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Trein (IC + ICE internat.)	Ca. 650 (425 +255)	7u 55 min	1) Bus (gemiddeld) en metro (S-bahn) 2) Taxi (Euro 6 E-segment diesel)	Ca. 6 km	8u 25 min
Vliegtuig 700 km	630	1 u 20 min	1) Bus/trein en metro (S-bahn) 2) taxi (Euro 6 E-segment diesel)	Ca. 60 km	4u 55 min
Touringcar	640	9 u 40 min	1) Bus/trein en metro (S-bahn) 2) taxi (Euro 6 E-segment diesel)	Ca. 30 km	10:20
Auto	689	6u 30 min	Lopen	Ca. 0,5 km	6 u 36 min

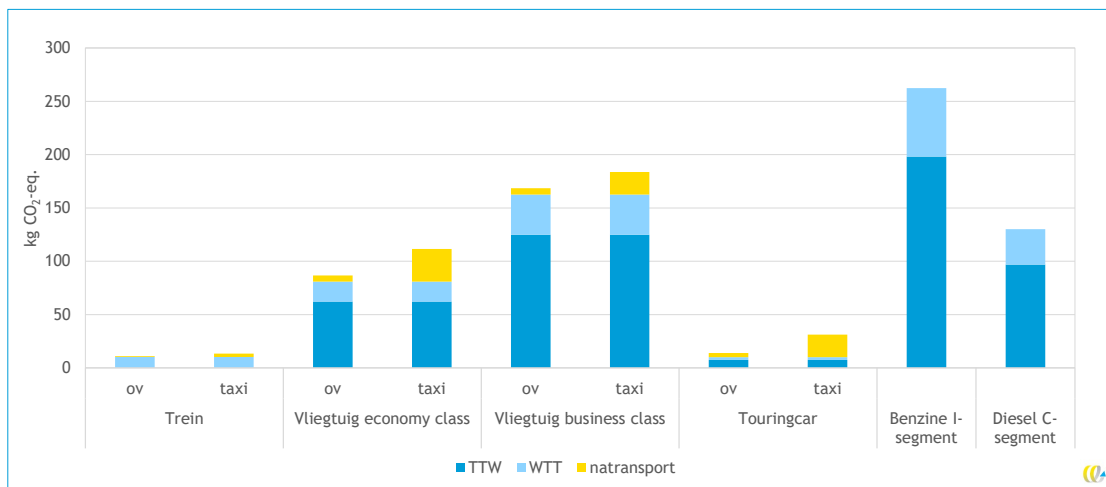
In Tabel 10 staan de details van de verschillende routes. We nemen voor het vliegtuig twee reisklassen mee. Hierbij geldt dat we een grote dieselauto meenemen en een kleine benzineauto.

Tabel 10 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)	Voor/ natransport
Trein	Intercity, internationaal gemiddelde mix	33%, 22%		Ov
Trein	Intercity, internationaal gemiddelde mix	33%, 22%		Taxi
Vliegtuig	Korte afstand, business class	116		Ov
	Korte afstand, economy class	116		Ov
	Korte afstand, business class	116		Taxi
	Korte afstand, economy class	116		Taxi
Touringcar	Flixbus	48	2:6:92	Ov
Touringcar	Flixbus	48	2:6:92	Taxi
Auto	Gemiddeld, zakelijk	1,07	1:3:96	
	Benzine I-segment gemiddeld	1,07	1:3:96	
	Diesel C-segment gemiddeld	1,07	1:3:96	

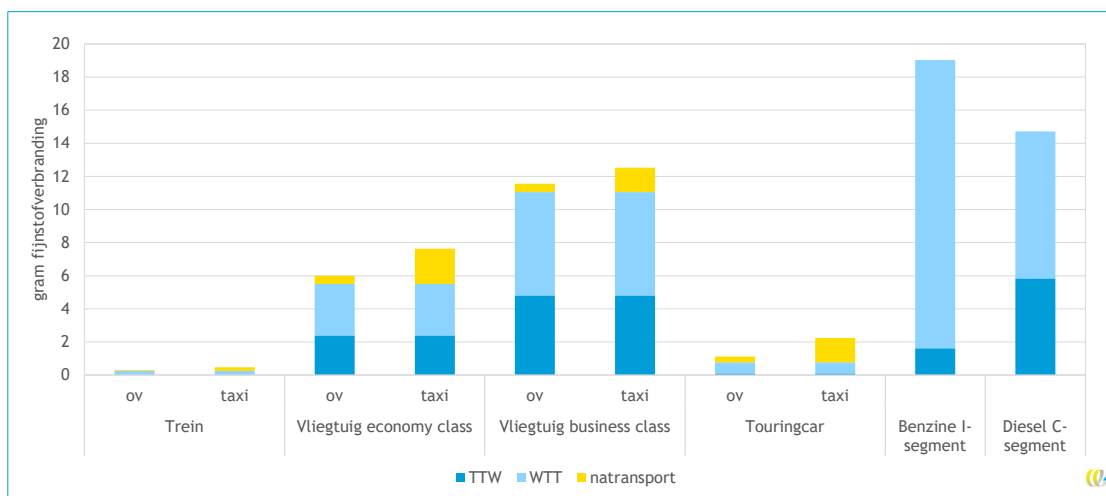
Figuur 22 laat de CO<sub>2</sub>-emissies zien van verschillende vervoerswijzen op de route. Hierbij geldt dat de optie met het ov voor alle opties tot een lagere uitstoot leidt dan de optie met de taxi. Wel verschilt de impact van natransport per vervoerswijze doordat de afstanden van natransport verschillen. Zo liggen de luchthavens vaak buiten de stad waardoor meer natransport nodig is. Mede omdat we uitgaan van een gemiddelde bezetting van 1,07 komt de auto er hoog uit. Een grote en luxe benzineauto leidt bij een dergelijke bezetting tot meer emissies dan een businessclassvliegtuigreis.

**Figuur 22 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen**



Wanneer we kijken naar de verbrandingsemissies van fijnstof zien we een vergelijkbaar beeld als bij de CO<sub>2</sub>-emissies. Een groot verschil is dat de WTT-uitstoot van de brandstoffen ten opzichte van de TTW-uitstoot significant toegenomen is. Dit komt omdat er bij de productie en het vervoer van brandstoffen veel emissies vrijkomen.

**Figuur 23 - PM<sub>2,5</sub>-emissies door verbranding van verschillende vervoerswijzen**



### 4.3.5 Sport en recreatie; Aalten-Buitenpost

Motief: Sport en recreatie  
 Afstand: ca. 200 km  
 Traject: Haartsestraat, Aalten → Jeltingalaan, Buitenpost  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>

De vijfde voorbeeldreis laat de effecten zien van het inzetten van een touringcar voor een sportwedstrijd. Hierdoor is er één voertuig nodig in plaats van twaalf auto's die carpoolen. We gaan ervan uit dat de helft van de personen met de auto naar het vertrekpunt komt, en de andere helft met de fiets. Vanwege de lange reistijd hebben we een optie via het ov buiten beschouwing gelaten.

Tabel 11 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min.)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Touringcar	200 + 10 km verplaatsing	3 uur	Fietsen + Auto	5 * 24	3 uur 10 min
Auto carpoolen	200	2 uur 30 min	Fietsen + Auto	5 * 24	2 uur 40 min

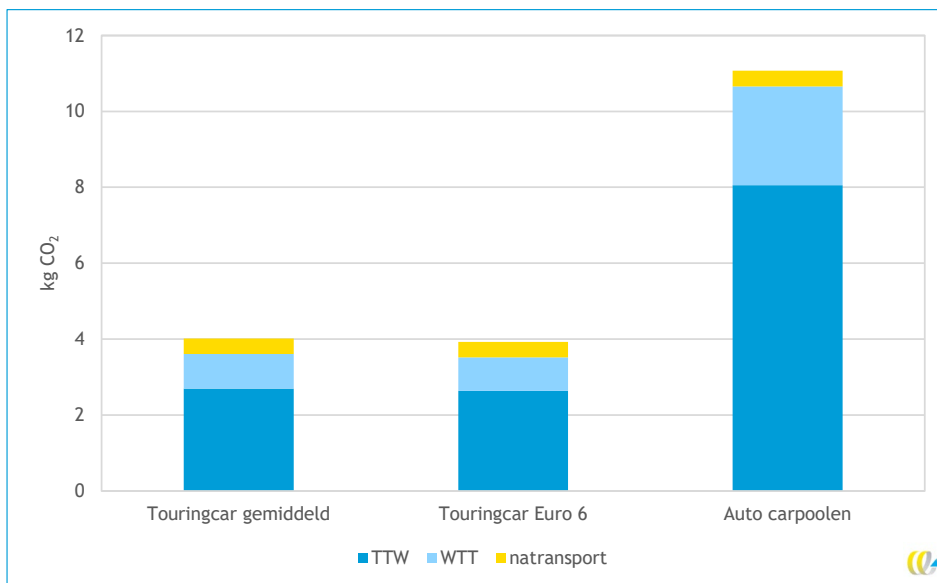
Tabel 12 laat de details zien. We gaan uit van een gemiddeld bezette touringcar met 48 personen. Daarnaast gaan we uit van een bezetting per auto van vier personen.

Tabel 12 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)
Touringcar	Gemiddeld	48	2:49:49
Touringcar	Euro VI	48	2:49:49
Auto	Benzine, Euro 6 D-segment	4	2:49:49

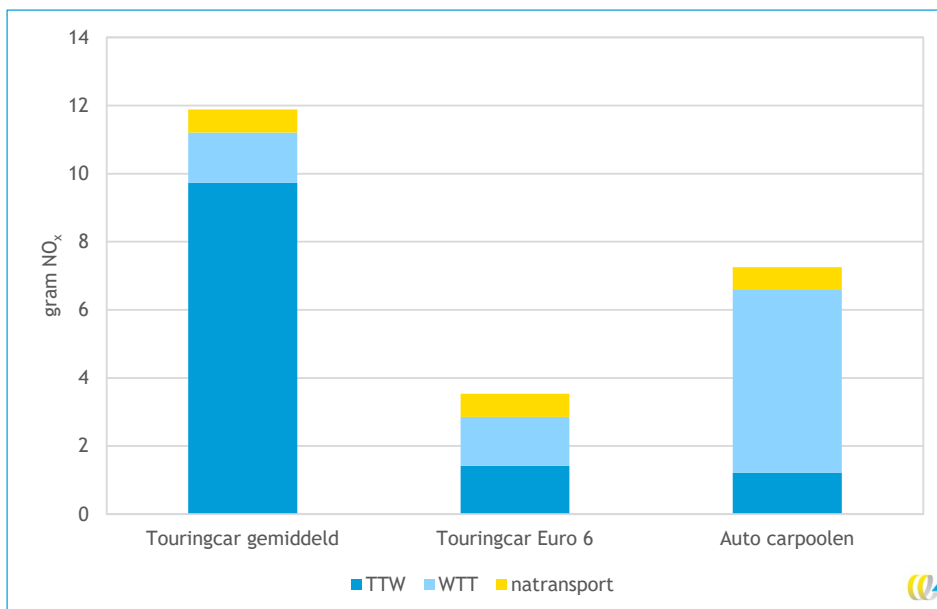
In Figuur 24 zijn de uitkomsten te zien voor deze rit. Het gebruik van de touringcar zorgt voor significant lagere emissies dan het carpoolen met auto's. Te zien is dat een nieuwe Euro VI-touringcar slechts in beperkte mate lagere CO<sub>2</sub>-emissies heeft dan een gemiddelde touringcar.

**Figuur 24 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen**



Wanneer we kijken naar de emissies van stikstof zien we dat een gemiddelde touringcar slechter scoort dan carpoolen met benzineauto's. Dit komt omdat de gemiddelde touringcar over het algemeen wat ouder is en daardoor over minder geavanceerde emissiereducerende technieken beschikt. Een recente Euro VI-touringcar stoot daarentegen weer minder uit dan de optie met carpoolen.

**Figuur 25 - NO<sub>x</sub>-emissies voor verschillende vervoerswijzen**



### 4.3.6 Toeristisch: Vlissingen-Breskens

Motief: Toeristisch  
 Afstand: ca. 15 km  
 Traject: Galgweg Vlissingen → Vuurtoren Breskens  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en PM

In Tabel 13 staan de uitgangspunten voor de zesde voorbeeldreis die gebruikmaakt van de Westerscheldeferry tussen Vlissingen en Breskens.

Tabel 13 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min.)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Fiets + Veerpont	8,8 + 7	28 + 23	-	-	51
Bus + Veerpont	5,5 + 7	17 + 23	Lopen	2,1 + 2,2	1 uur 39
Auto	68,3	58	Lopen	1	58

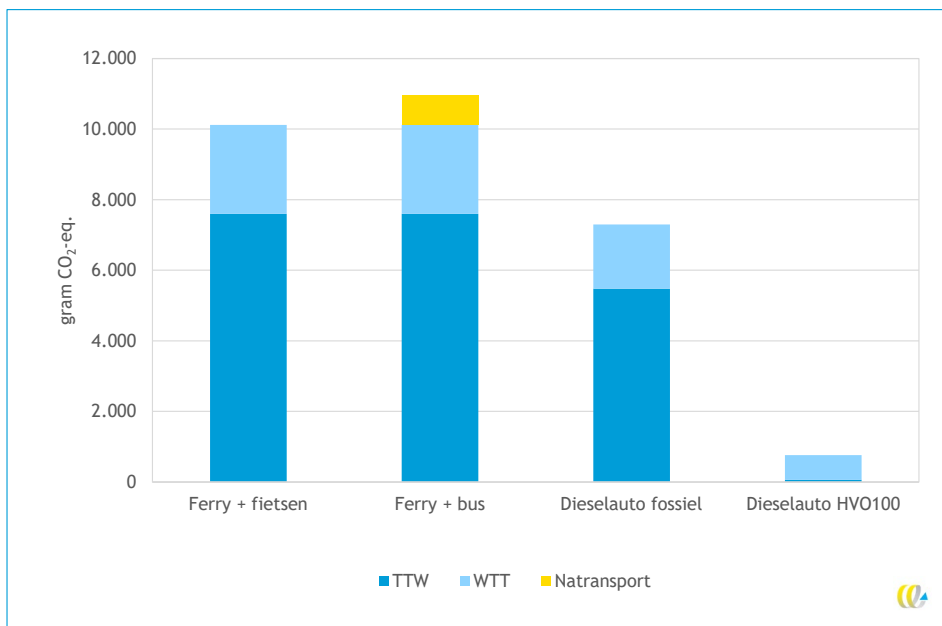
De details zijn zichtbaar in Tabel 14. We gaan uit van de gemiddelde bezettingen van de verschillende voertuigen. We gaan uit van een gemiddelde bezetting van de auto voor wandelen en toeren.

Tabel 14 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)
Fiets	Gemiddeld	1,0	10:90:0
Ov-bus	CNG gemiddeld	7,2	100:0:0
Veerpont	Gemiddeld	24%	
Auto	Diesel gemiddeld, fossiel	1,57	5:70:25
Auto	Diesel gemiddeld, HVO100	1,57	5:70:25

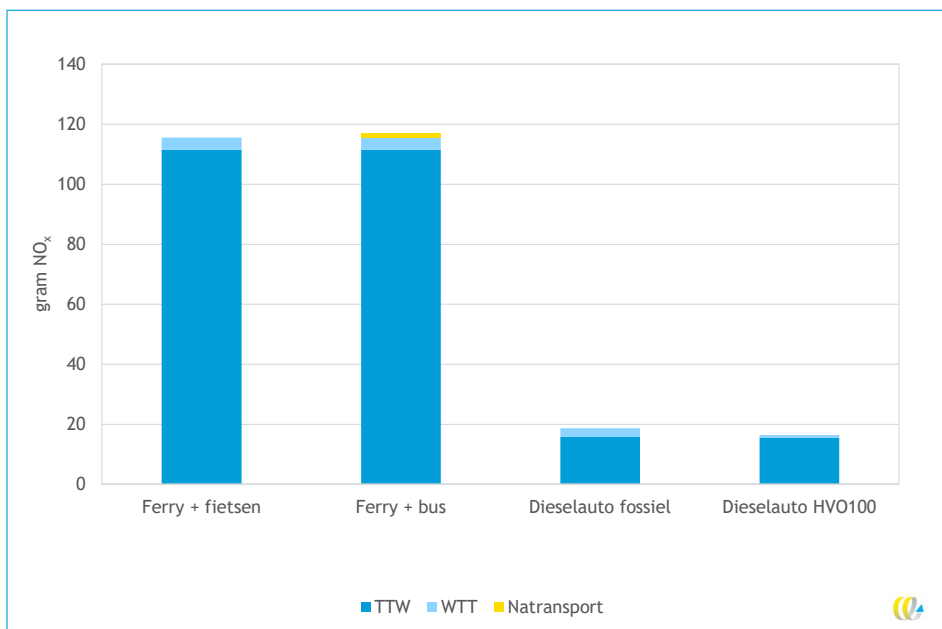
In Figuur 26 zijn de CO<sub>2</sub>-emissies voor de verschillende vervoerswijzen te zien. Te zien is dat de ferry de optie is met de hoogste emissies. Dit komt doordat personenvervoer over water energie-intensief is. Hierbij speelt ook mee dat de ferry tussen Vlissingen en Breskens voor langere afstand op relatief hoge snelheid vaart over water met veel stroming. De Westerscheldeferry is dus niet representatief voor alle soorten personenvervoer over water. Wanneer we naar de auto kijken dan zien we dat met het gebruik van biodiesel (100% HVO) de emissies significant lager uitvallen. Er blijven voornamelijk nog emissies over die tijdens de productie plaatsvinden.

Figuur 26 - CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende vervoerswijzen



In Figuur 27 staan de stikstofemissies van verschillende vervoerswijzen tussen Vlissingen en Breskens. Hier is te zien dat de emissies van de veerpont significant hoger zijn. Dit komt omdat de gemiddelde dieselauto uitgerust is met relatief meer geavanceerde emissie-reductietechnieken.

Figuur 27 - Gram NO<sub>x</sub> van verschillende vervoerswijzen



### 4.3.7 Toeristisch: Utrecht-Nice

Motief: Toeristisch/Zakelijk  
 Afstand: ca. 1.400 km  
 Traject: Utrecht → Nice  
 Emissies: CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>

We kijken als laatste naar een toeristische reis tussen Utrecht en Nice. Hiervoor onderscheiden we vier vervoerswijzen. We kijken naar de trein, touringcar, vliegtuig en de auto. In Tabel 15 zijn de uitgangspunten zichtbaar. Bij de trein en touringcar is er beperkte mate van voor- en natransport omdat deze in de stad vertrekken en eindigen. Bij het vliegtuig is er meer voor- en natransport nodig.

Tabel 15 - Uitgangspunten van de casus

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (uur)
Trein (IC+HSL)	Ca. 1.400 (50 + 1.350)	10 uur 15 min	Stadsbus (gemiddeld), metro (gemiddelde mix), taxi (Euro 6 diesel E-segment)	6-8 km	11 uur
Touringcar	1.360	> 1 dag	Stadsbus (gemiddeld), metro (gemiddelde mix), taxi (Euro 6 diesel E-segment)	6-8 km	13 uur
Vliegtuig	1.000	2 uur	Stadsbus (gemiddeld), IC (gemiddelde mix), taxi (Euro 6 diesel E-segment)	55-70 km	Ca. 6 uur
Auto	1.360	13 uur	-	-	13 uur

Tabel 16 laat de details zijn van de verschillende vervoerswijzen. We onderscheiden twee reisklassen voor vliegtuigen, drie touringcars en twee bezettingsgraden voor de auto's.

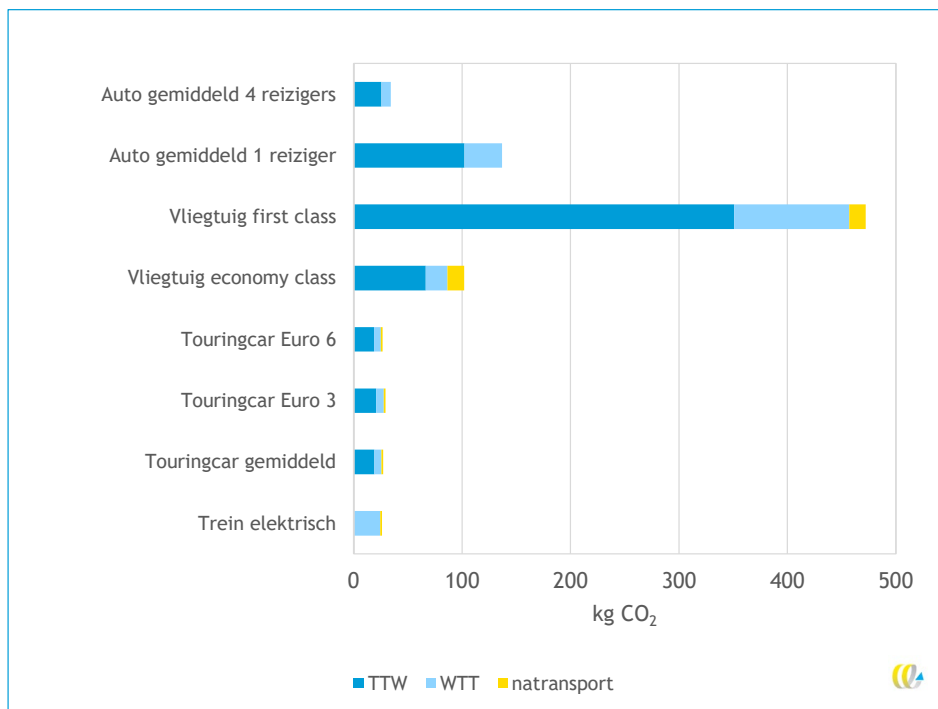
Tabel 16 - Details vervoerswijzen casus

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting (personen/%)	Wegtype verdeling % (stad: buiten: snelweg)	Voor/natransport
Trein (IC+ICE)	Nice	33%/24%		Stadsbus, metro, taxi
Vliegtuig	Middellange afstand, economy class, Nice	183		Stadsbus, IC-trein, taxi
	Middellange afstand, first class, Nice	183		Stadsbus, IC-trein, taxi
Touringcar	Gemiddeld, Nice	48,0	1 : 0 : 99	
	Euro 3, Nice	48,0	1 : 0 : 99	
	Euro 6, Nice	48,0	1 : 0 : 99	
Auto	Gemiddeld, Nice	1,0	1 : 0 : 99	
	Gemiddeld, Nice	4,0	1 : 0 : 99	

Figuur 28 laat de uitkomsten zien voor CO<sub>2</sub>-emissies voor de verschillende vervoerswijzen. De hoogste uitstoot heeft een vliegtuigreiziger met first class, gevolgd door een auto met een bezetting van één persoon. Op de gekozen route is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de auto met één persoon hoger dan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het vliegtuig op de korte afstand. Dit betekent niet direct dat de klimaatimpact van die vlucht ook lager is, omdat de niet-CO<sub>2</sub>-effecten niet zijn meegenomen omdat deze niet goed gekwantificeerd kunnen worden (zie ook Paragraaf 6.11). De trein en de touringcar zijn de opties die tot de laagste uitstoot leiden. Een met vier personen bezette auto heeft een vergelijkbare uitstoot.

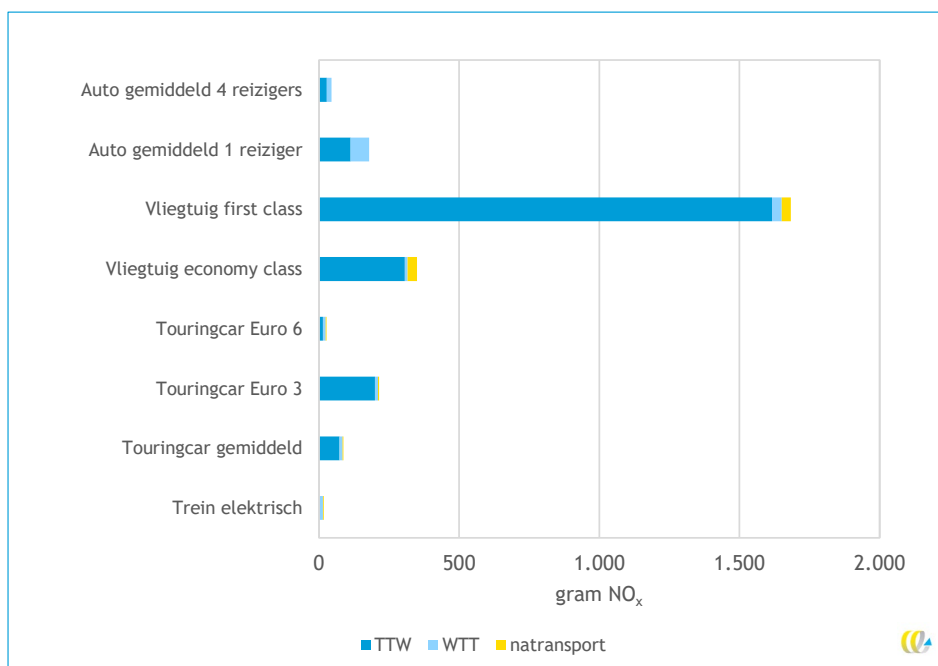


**Figuur 28 - CO<sub>2</sub>-emissies voor verschillende vervoerswijzen**



Wanneer we kijken naar de uitstoot van stikstofoxiden zien we dat het vliegtuig de hoogste uitstoot heeft. Dit komt omdat de andere vervoerswijzen gebruik van emissiereducerende technieken en, in het geval van de trein, geen verbrandingsmotor hebben. Bij de touringcar is te zien dat de Euroklasse een grote invloed heeft op de uitstoot.

**Figuur 29 - NO<sub>x</sub>-emissies voor verschillende vervoerswijzen**





# 5 Vergelijking op basis van levenscyclusanalyse

In de voorgaande hoofdstukken hebben we emissiekentallen gepresenteerd die horen bij het gebruik van voertuigen. In deze kentallen zijn de emissies die vrijkomen als gevolg van de productie en de einde levensduur van voertuigen of de infrastructuur niet meegenomen. De emissies die vrijkomen tijdens de productiefase komen steeds vaker voor in de discussies over verduurzaming. Dit speelt met name een rol bij elektrische auto's, waarbij het effect op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de productie van het accupakket als discussiepunt wordt aangemerkt (Radar, 2019). Daarnaast wordt het gebruik van materialen en het creëren van een afvalberg aan accupakketten genoemd als punt van zorg bij elektrisch rijden (AD, 2022).

Om tegemoet te komen aan de behoefte om inzicht te krijgen in het effect van voertuigproductie en infrastructuur op de CO<sub>2</sub>-uitstoot, zullen we in dit hoofdstuk ingaan op het begrip levenscyclusanalyse (Paragraaf 5.1). Daarna zullen we op basis van literatuuronderzoek in Paragraaf 5.2 kwantificeren wat het aandeel van infrastructuur en productie van voertuigen is op de levenscyclus. Specifiek besteden we aandacht aan de impact van batterijproductie in Paragraaf 5.3 en deelauto's in Paragraaf 5.4.

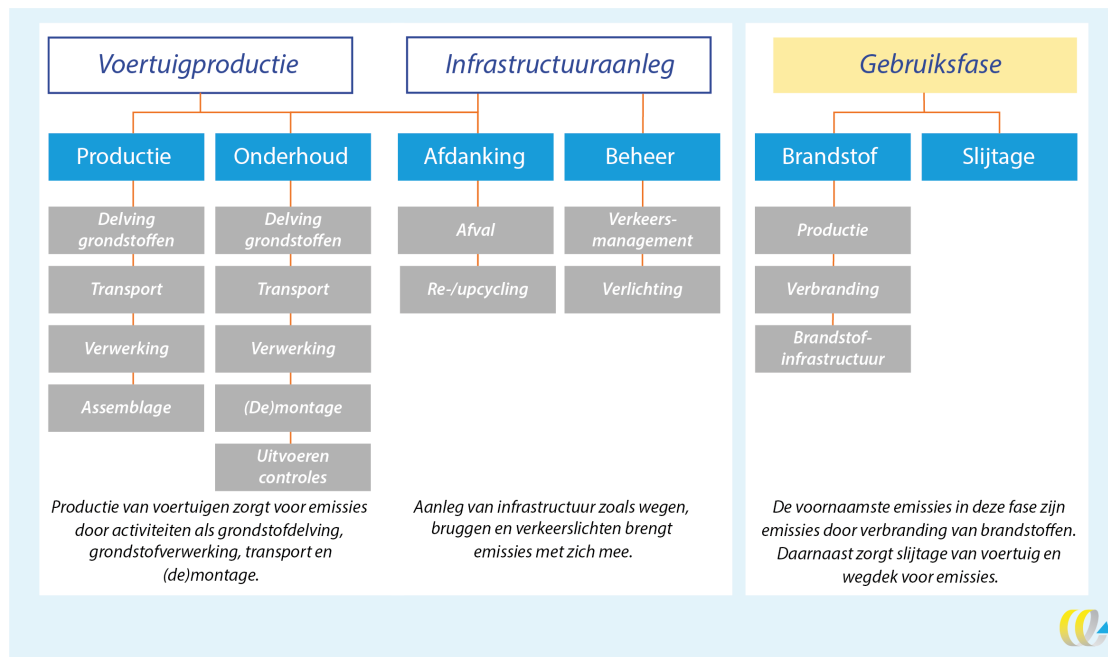
## 5.1 Introductie levenscyclusanalyse

Met een levenscyclusanalyse (LCA) kunnen emissies bepaald worden voor een 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 (CE Delft, 2021c).

Een overzicht van de verschillende stappen die leiden tot ketenemissies van voertuigen en infrastructuur worden weergegeven in Figuur 30. Daarnaast zijn in deze figuur ook de emissies uit de gebruiksfase weergegeven, zodat de gehele keten in beeld is gebracht. Bij voertuigen kunnen drie belangrijke ketenstappen onderscheiden worden (productie, onderhoud en afdanking), die op hun beurt uiteenvallen in verschillende deelstappen. Ditzelfde patroon zien we ook voor infrastructuur, waar we vier belangrijke ketenstappen kunnen onderscheiden (productie of constructie, onderhoud, beheer en afdanking) (CE Delft, 2021b).

De hoeveelheid (en soort) ketenemissies worden bepaald door het materiaalgebruik en het energieverbruik per ketenstap. Daar vallen bijvoorbeeld de emissies onder die vrijkomen bij de asfaltproductie, maar ook de emissies als gevolg van het gebruik van machines voor het onderhoud van een voertuig (CE Delft, 2021b).

Figuur 30 - Overzicht van componenten binnen de levenscyclusanalyse van mobiliteit (CE Delft, 2021c, 2021b)



Om de emissies van voertuigproductie per (reizigers)kilometer te bepalen worden de totale productie-emissies afgeschreven over de totale (persoons)kilometers gedurende de levensduur. De emissies per (reizigers)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 (CE Delft, 2021c).

## 5.2 Aandeel infrastructuur en productie vervoersmiddel van emissies levenscyclus

In de afgelopen jaren heeft CE Delft een aantal studies uitgevoerd die van toepassing zijn voor STREAM Personenvervoer. In deze studies is uitvoerig bronnenonderzoek verricht waardoor de studies een goede basis vormen voor STREAM Personenvervoer. Daarnaast hebben we aanvullend bronnenonderzoek uitgevoerd zodat nieuwe inzichten en studies worden meegenomen om een zo compleet en actueel mogelijk beeld geven van LCAs in de mobiliteit. In Bijlage C staat een beknopte beschrijving van de gebruikte studies en van de bronnen die uit het aanvullende bronnenonderzoek naar voren zijn gekomen.

In Tabel 17 staat een overzicht van de bestuurde bronnen en uitgevoerde relevante studies. De meest complete bronnen zijn (Ecoinvent, 2007) en (Frischknecht et al., 2016) (mobitool, 2020). Deze bronnen hebben ook de basis gevormd voor de andere studies van CE Delft over het onderwerp ketenemissies in de mobiliteit. In STREAM Personenvervoer 2022 bouwen we voort op de kennis die we hebben opgedaan in deze studies. Verder heeft Ricardo Energy & Environment een uitgebreide studie uitgevoerd naar LCAs in het wegverkeer (zowel voor personen- als goederenvervoer). Inzichten uit deze studie zijn meegenomen in (CE Delft, 2021b) en, aanvullend daarop, nemen wij deze ook mee in STREAM Personenvervoer 2022 in het gedeelte over de impact van batterijproductie. (Buberger et al., 2022) sluit aan bij bevindingen uit de voorgaande studies van CE Delft en biedt wat dat betreft geen nieuwe inzichten voor STREAM Personenvervoer 2022.

Tabel 17 - Overzicht bestudeerde bronnen STREAM Personenvervoer 2022

Bron	Modaliteit	Publicatie-jaar	LCA	Voertuig-productie	Infra	Conventioneel	Elektrificatie
(Ecoinvent, 2007)	Alle modaliteiten	2013	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja (spoor)
(Frischknecht et al., 2016) (mobitool, 2020)	Alle modaliteiten	2016	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja (spoor)
(CE Delft, 2020a)	Personenauto's	2020	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
(CE Delft, 2021c)*	Alle modaliteiten	2020	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
(CE Delft, 2021b)	Alle modaliteiten	2021	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
(Ricardo Energy & Environment, 2020)	Wegvervoer	2020	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja
(Buberger et al., 2022)	Wegvervoer	2022	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja

\* Deze bron gaat over goederenvervoer en niet over personenvervoer.

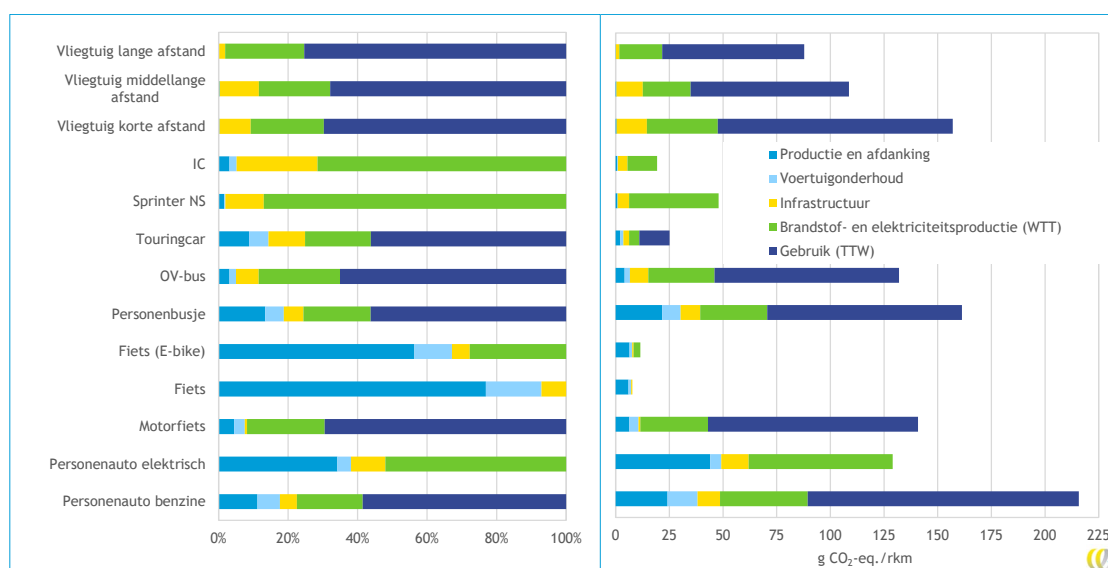
In Figuur 31 geven we per voertuigtype een eerste beeld van de emissies die vrijkomen per rkm over de hele levenscyclus. Hiervoor hebben we gekeken naar vijf verschillende ketenstappen, te weten: productie en afdanking, voertuigonderhoud, infrastructuur, brandstof- en elektriciteitsproductie (WTT) en gebruik (TTW). De WTT en TTW corresponderen met de kentallen uit het hoofdmodel van STREAM Personenvervoer 2022. De overige kentallen zijn gebaseerd op de studies in Tabel 17.

Opvallend is het grote verschil in de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm bij de verschillende voertuigtypen. De minste emissies komen vrij bij de fiets (8 g CO<sub>2</sub>-eq./rkm) en de meeste emissies bij de personenauto benzine (205 g CO<sub>2</sub>-eq./rkm). Verder valt op dat bij de voertuigtypen met een fossiele energiedrager in alle gevallen de TTW-emissies domineren ten opzichte van de andere ketenstappen. Bij de elektrisch aangedreven voertuigen domineren de WTT-emissies, behalve bij de elektrische fiets. Een mogelijke verklaring hiervoor is de grotere afstand die gereden kan worden per geladen kWh ten opzichte van de andere modaliteiten.

In Figuur 31 is verder te zien dat het aandeel infrastructuur bij spoor en luchtvaart groter is ten opzichte van de andere ketenstappen dan bij de andere voertuigtypen. Bij spoor is dit te verklaren doordat spoorinfrastructuur kostbaar is in termen van materiaalgebruik en daarentegen veel minder intensief gebruikt wordt dan geasfalteerde wegen. Ter vergelijking: een stuk asfalt kan worden gebruikt door al het wegverkeer, van personenauto tot vrachtwagen, terwijl het spoor alleen gebruikt kan worden door treinen. Het relatief grote aandeel infrastructuur bij luchtvaart wordt voornamelijk veroorzaakt door emissies die vrijkomen bij het beheer van de infrastructuur (bijv. verkeersmanagement en verlichting) (CE Delft, 2021b). De voertuigproductie en het onderhoud van vliegtuigen heeft daarentegen een zeer klein aandeel per rkm over de hele levensduur.



**Figuur 31 - Emissies uitgesplitst naar voertuigtype gebaseerd op (mobitool, 2020, CE Delft, 2021b) en eigen berekeningen**



### 5.3 Impact batterijproductie op levenscyclus emissies elektrische auto's

In Stream Goederenvervoer 2020 is onderzocht wat de impact is van batterijproductie op de levenscyclus. Daaruit is naar voren gekomen dat de emissies die vrijkomen bij de productie van accupakketten afhankelijk zijn van verschillende factoren, namelijk de grootte van het accupakket, de locatie waar het accupakket geproduceerd wordt (in verband met fossiele of groene energie die gebruikt wordt bij de productie) (CE Delft, 2021c).

In de studie is een vergelijking gemaakt tussen de LCAs van verschillende elektrische voertuigen en vergelijkbare conventionele voertuigen. Daarbij is te zien dat de emissies per tonkilometer afhankelijk zijn van het aantal accupakketten dat nodig is gedurende de levensduur van een voertuig en het aantal laadcycli dat het accupakket doorloopt. Daarnaast is berekend wat de verwachte emissies zijn in 2030 ten opzichte van 2018. Uit literatuur is naar voren gekomen dat de batterijproductie in 2030 minder CO<sub>2</sub>-uitstoot met zich meebrengt dan in 2018 vanwege het optimaliseren van het productieproces en de toepassing van groene energie. Ook wordt verwacht dat de levensduur van accupakketten toe zal nemen (CE Delft, 2021c).

Voor personenvervoer valt eenzelfde vergelijking te maken tussen verschillende modaliteiten. Hiervoor is dezelfde methode toegepast als in Stream Goederenvervoer 2020, waarbij gekeken is naar emissies per rkm. In zekere zin is deze studie een actualisatie van de berekeningen in Stream Goederenvervoer omdat er, sinds het verschijnen van de vorige studie, nieuwe literatuur beschikbaar is gekomen over de emissies die vrijkomen bij het produceren van accupakketten. Voor Stream Personenvervoer 2022 zijn er drie studies relevant, deze bespreken we hieronder.

## Emissies die vrijkomen bij de productie van accupakketten

In Tabel 18 staat een overzicht van de emissiekentallen voor de productie van accupakketten in de verschillende bronnen. In een studie van ICCT is berekend welke emissies er vrijkomen bij de productie van accupakketten in verschillende regio's. Voor personenauto's in Europa is voor 2021 een waarde berekend van 60 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh (ICCT, 2021). In deze waarde is er rekening mee gehouden dat de productie van accupakketten in verschillende landen plaatsvindt, dus zowel binnen als buiten Europa. Daarmee is bijvoorbeeld ook rekening gehouden met het transport van de accupakketten naar Europa toe. Voor de berekening van de emissies in 2030 is aangenomen dat de productie van accupakketten voor Europese personenauto's volledig plaatsvindt in Europa zelf. Daarmee reduceren de emissies tot 43,2 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh in 2030 (ICCT, 2021).

Transport & Environment heeft in de zomer van 2022 een actualisatie uitgevoerd van een tool waarin de emissies tussen fossiele en elektrische personenauto's berekend worden. In deze actualisatie is opnieuw gekeken welke emissies er vrijkomen bij de productie van accupakketten. Voor het jaar 2021 is berekend dat de emissies die vrijkomen 78 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh bedragen en voor 2030 55 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh (Transport & Environment, 2022). In de studie is ook gekeken naar de impact van het duurzaam winnen van materialen met bijvoorbeeld geothermie. In dat geval kunnen de emissies nog verder gereduceerd worden naar 48 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh in 2021 en 33 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh in 2030 (Transport & Environment, 2022). Deze staan in Tabel 18 tussen haakjes.

Ricardo Energy & Environment heeft in 2020 voor de Europese Commissie een uitgebreide studie uitgevoerd naar de LCA van (weg)voertuigen in Europa. Er zijn vergelijkingen gemaakt tussen voertuigen in verschillende segmenten met variërende brandstoftypen in 2020 en 2030. In 2020 is gerekend met ongeveer 78 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh voor een gemiddelde personenauto in Europa en in 2030 met 40 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh (Ricardo Energy & Environment, 2020).

In vergelijking tot Stream Goederenvervoer (basisjaar 2018) zijn de kentallen behoorlijk afgenomen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat productieprocessen de afgelopen jaren verder geoptimaliseerd zijn en dat het aandeel schone energie dat gebruikt wordt bij de productie verder is toegenomen. Verder is er mogelijk meer data beschikbaar ten opzichte van een aantal jaren geleden, al wordt dit niet expliciet benoemd in de literatuur.

Tabel 18 - CO<sub>2</sub>-eq.-emissies van Li-ion-batterijproductie in verschillende bronnen

Bron	Basisjaar emissies	Emissies batterijproductie (kg CO <sub>2</sub> -eq./kWh)	Emissies batterijproductie 2030 (kg CO <sub>2</sub> -eq./kWh)
(CE Delft, 2021c)	2018	86	60
(ICCT, 2021)	2021	60	43,2
(Transport & Environment, 2022)	2021	78 (48)	55 (33)
(Ricardo Energy & Environment, 2020)	2020	+/-78 <sup>10</sup>	+/-40 <sup>11</sup>
<b>STREAM Personenvervoer 2022</b>	<b>2020</b>	<b>78</b>	<b>55 (33)</b>

<sup>10</sup> In de studie van Ricardo Energy & Environment wordt geen expliciet emissiekental genoemd. Deze waarde is berekend op basis van figuur 5.59, waarbij is aangenomen dat de productie van een conventionele personenauto en een batterij-elektrische personenauto exclusief accupakket dezelfde emissies veroorzaakt.

<sup>11</sup> Zie Voetnoot 4.

In deze studie kiezen we ervoor om met de meest conservatieve waarde uit de literatuur te rekenen. Voor 2021 rekenen we met 78 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh en voor 2030 met 55 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh.

## LCA elektrische voertuigen

In deze paragraaf maken we een vergelijking van LCAs van diverse voertuigen. We vergelijken hierbij elektrische varianten met conventionele varianten in 2020 en 2030. De eigenschappen van de verschillende elektrische voertuigen zijn weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19 - Eigenschappen elektrische voertuigen LCA

		Personenauto	Elektrische fiets	Motorfiets	Ov-bus
Referentiemodel		Opel Corsa-e	Livorno Superior MDS	Energica EsseEsse9	VDL Citea SLF-120 E
Bronnen		(Elektrische Voertuigen Database, Stella, Elektrabikes)	(Elektrische Voertuigen Database, Stella, Elektrabikes)	(Electric motorcycles)	(VDL Bus & Coach)
<b>Eigenschappen voertuig</b>					
Bezettingsgraad	(-)	1.31	1	1.15	8.1
Totaalgewicht accupakket	(ton)	0.345	0.0026	0.01	3.5
Gewicht voertuig incl. batterij	(ton)	1.53	0.0254	0.256	12.5
Aandeel batterijen gewicht	(%)	23%	10%	4%	28%
Levensduur	(km)	225.000	60.000	100.000	500.000
Totaal rkm	(pkm)	360.000	60.000	120.000	3.600.000
<b>Eigenschappen accupakket</b>					
Capaciteit accupakket	(kWh)	45	0.4	21.5	169
Bereik accupakket	(km)	315	100	246	324

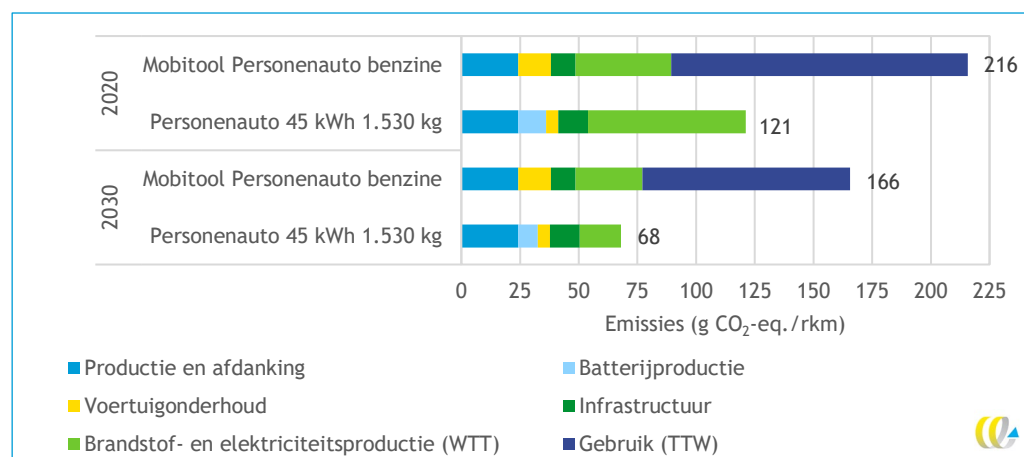
In de vorige paragraaf zijn op basis van literatuur emissiekentallen bepaald voor de productie van accupakketten in 2020 en 2030. De achterliggende literatuur is gericht op personenauto's en wegtransport. Het verschil met accupakketten bij andere modaliteiten is de grootte. Het accupakket in een bus is bijvoorbeeld groter dan in een personenauto, terwijl het accupakket in een motorfiets kleiner is dan in een personenauto. De emissies die vrijkomen bij de productie zullen naar verwachting per kWh ongeveer gelijk zijn. Dit komt doordat de opbouw van accupakketten hetzelfde is, en alleen de grootte varieert waardoor de totale emissies per accupakket verschillen. We nemen daarom voor berekeningen van andere modaliteiten dezelfde emissiekentallen aan. Mogelijk wijken de kentallen alleen iets af vanwege de locatie waar de productie van het gehele voertuig plaatsvindt (assemblage). Het transport naar die locatie zou af kunnen wijken van aannames die gemaakt zijn in de diverse studies voor personenauto's. Het grootste gedeelte van de emissies wordt echter veroorzaakt op de locatie waar de accupakketten geproduceerd worden waardoor we verwachten dat de impact van potentieel ander transport bij andere modaliteiten verwaarloosbaar zal zijn.

Het brandstofverbruik van de fossiel aangedreven personenauto en tweewielers is gebaseerd op Mobitool (mobitool, 2020). De WTT-CO<sub>2</sub>-uitstoot van benzine en elektrisch hebben we berekend op basis van de emissiefactoren in Bijlage A. Er is daarbij uitgegaan van een gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot van de elektriciteitsmix van 47,8 gram CO<sub>2</sub>/MJ gedurende de levensduur.

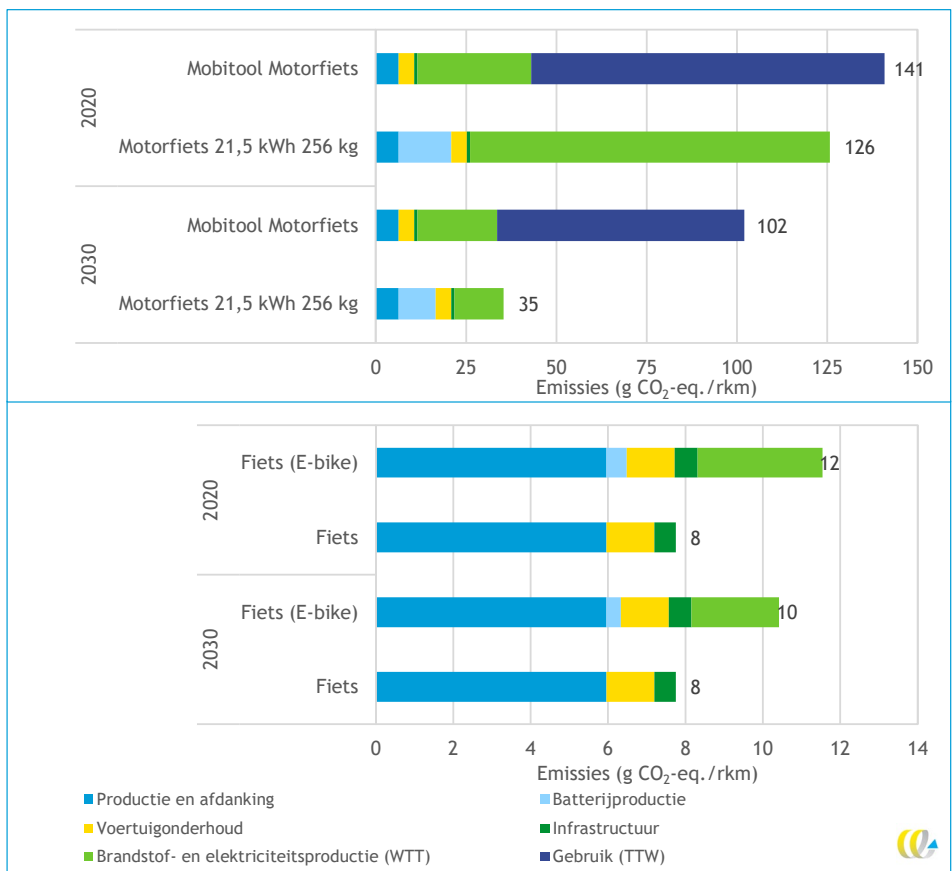
In Figuur 32, Figuur 33 en Figuur 34 zijn de resultaten weergegeven van de LCAs van de verschillende voertuigen. In alle gevallen is te zien dat naar verwachting de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm afnemen in 2030 ten opzichte van 2020. Dit geldt alleen niet voor de fiets omdat deze geen energiedrager bevat. Verder valt op dat de elektrische variant in zowel 2020 als 2030 minder emissies per rkm veroorzaakt dan hetzelfde voertuig met een fossiele energiedrager in hetzelfde jaar. De variant met de minste emissies per rkm is de elektrische variant in 2030 bij alle voertuigtypen behalve de fiets. Daar blijft de reguliere variant het schoonste.

Bij de fossiel aangedreven voertuigen domineren WTT- en TTW-emissies ten opzichte van de andere ketenstappen. Bij de elektrische varianten (behalve bij de fiets) domineren in 2020 de WTT-emissies ten opzichte van de andere ketenstappen. In 2030 is dit meer in verhouding met de andere ketenstappen. Dit geldt met name voor de personenauto en de ov-bus.

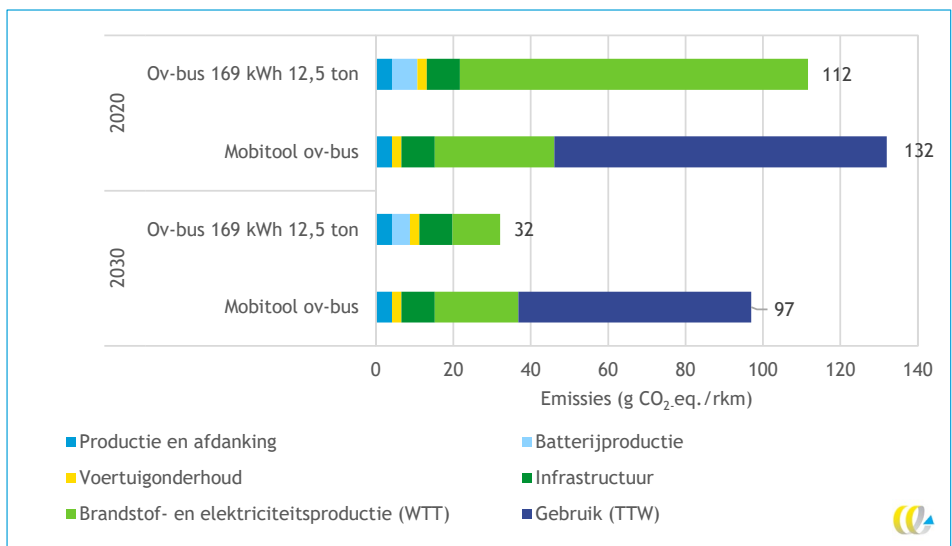
**Figuur 32 - Vergelijking emissies levensduur van een gemiddelde personenauto en een elektrische personenauto in 2020 en 2030**



**Figuur 33 - Vergelijking emissies levensduur van tweewielers in 2020 en 2030**



**Figuur 34 - Vergelijking emissies levensduur van ov-bussen in 2020 en 2030**





## Optimalisatie in 2030

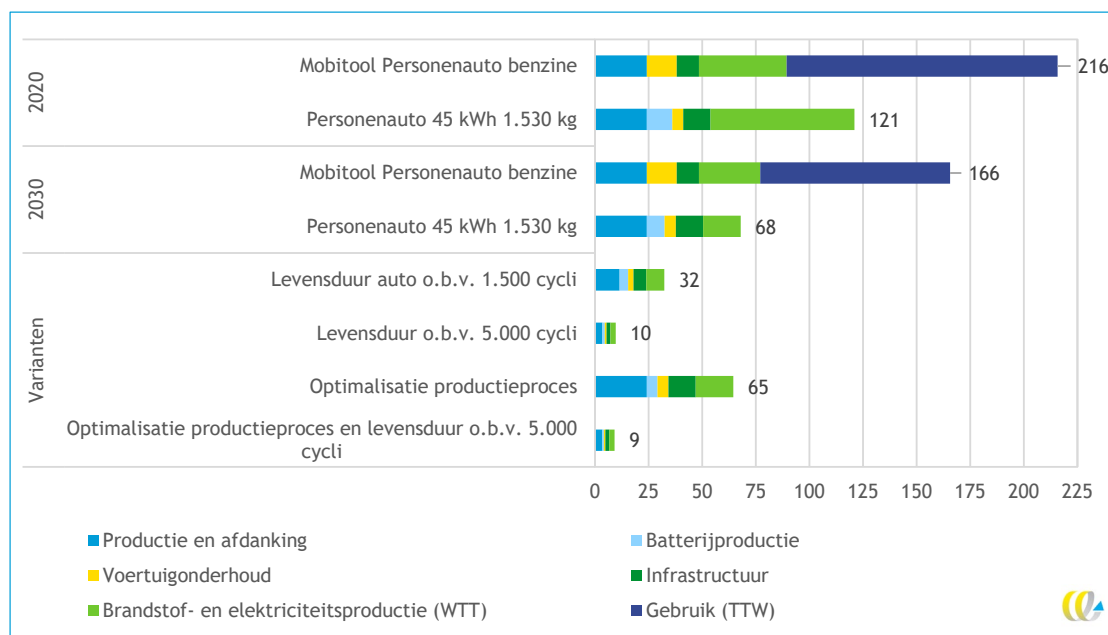
Uit de literatuur zijn twee aspecten naar voren gekomen die mogelijk kunnen leiden tot een verdere reductie van emissies van elektrische voertuigen over de levensloop. Het eerste aspect is naar voren gekomen uit (Transport & Environment, 2022). Door het optimaliseren en verduurzamen van het productieproces van accupakketten verandert het emissiekental voor 2030 naar 33 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh. Het tweede aspect is de verwachting dat accupakketten in de toekomst vaker kunnen worden opgeladen totdat het einde van de levensduur bereikt wordt. De verwachting is dat een accupakket in 2020 ongeveer 1.500 keer volledig kan worden opgeladen en opgebruikt, terwijl dat naar verwachting in 2030 5.000 keer mogelijk is.

Op basis van deze aspecten hebben we voor de elektrische personenauto vier varianten gemaakt om te laten zien wat de impact zal zijn op de emissies:

1. Levensduur auto o.b.v. 1.500 laadcycli: voor de levensduur van de auto is 225.000 km aangehouden. Als we de levensduur van de auto veranderen naar de levensduur van het accupakket, dan verandert dit naar 472.500 km.
2. Levensduur auto o.b.v. 5.000 laadcycli: eenzelfde variant als hierboven, maar dan met 5.000 laadcycli. De levensduur verandert hierbij naar 1.575.000 km.
3. Optimaliseren productieproces: het emissiekental voor de productie van accupakketten is aangepast naar 33 kg CO<sub>2</sub>-eq./kWh.
4. Optimaliseren productieproces en levensduur auto o.b.v. 5.000 laadcycli: dit is een extreme variant waarbij zowel het emissiekental voor de productie van accupakketten is aangepast, als de levensduur van de auto is gebaseerd op 5.000 laadcycli.

De resultaten van deze varianten zijn weergegeven in Figuur 35. Geconcludeerd kan worden dat optimalisatie van het productieproces en het verlengen van de levensduur grote impact kunnen hebben op de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm. Dit geldt met name voor het verlengen van de levensduur omdat dit invloed heeft op alle processtappen in de keten, terwijl het optimaliseren van het productieproces van accupakketten alleen invloed heeft op die processtap.

**Figuur 35 - Vergelijking emissies LCA van een gemiddelde personenauto en een elektrische personenauto in 2020 en 2030 met vier varianten**



## 5.4 Deelauto's

Er is beperkte literatuur beschikbaar over de effecten van deelauto's op de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In (KiM, 2021) wordt op basis van onder andere uitvoerig literatuuronderzoek gesteld dat autodelen naar verwachting leidt tot een daling van broeikasgassen per autodeler. In de studie wordt genoemd dat autodelen in Nederland maximaal kan leiden tot 7-11% emissie-reductie bij een LCA van een personenauto. Uitgangspunt hierbij is dat de samenstelling van het wagenpark van deelauto's qua type auto's en energiedragers hetzelfde is als het totale wagenpark van personenauto's in Nederland. De verwachting is dat bij elektrificatie van deelauto's emissiereductie hoger uit zal vallen (KiM, 2021).

Naast de studie van het KiM is er recent een paper verschenen waarin op basis van een wiskundig model gekwantificeerd wordt wat de impact is van deelmobiliteit op de LCA van personenauto's voor compacte personenauto's. Dit is gedaan voor een specifieke regio in Portugal met een stedelijk karakter. Conclusie van het onderzoek is dat deelauto's een positief effect hebben op de LCA omdat de vloot personenauto's afneemt. Een factor die hierbij een grote rol speelt is de bezettingsgraad van de auto. Hoe hoger de bezettingsgraad, hoe kleiner de vloot private personenauto's is. In de paper wordt genoemd dat deelauto's kunnen leiden tot een reductie van 42% van de CO<sub>2</sub>-emissies indien de volledige vloot wordt vervangen door deelauto's bij een bezettingsgraad van vier personen (Vilaça et al., 2022).

Het is lastig om de effecten uit (Vilaça et al., 2022) één-op-één over te nemen voor de Nederlandse situatie omdat hiervoor een uitvoerige vergelijking moet worden gemaakt tussen de geografische eigenschappen, reisd Bewegingen en samenstelling van het wagenpark binnen Nederland en de beschouwde regio in Portugal. In (KiM, 2021) wordt wel een eerste inschatting gegeven van de mogelijke emissiereductie (7-11%) door het gebruik van deelauto's op basis van literatuuronderzoek, maar hierin zijn niet alle factoren meegenomen die mogelijk van invloed zijn op het reduceren van emissies door het gebruik van deelauto's. Deze factoren zijn:

1. Verkleining van het wagenpark personenauto's.
2. Een hogere bezettingsgraad.
3. Elektrificatie van deelauto's.

Omdat we weten welke factoren van invloed zijn op het reduceren van emissies door het gebruik van deelauto's, hebben we een grove inschatting gemaakt van de effecten op de LCA van een gemiddelde personenauto<sup>12</sup>. We hebben vijf scenario's opgesteld om inzichtelijk te maken wat de effecten zijn van bovenstaande drie factoren:

1. Baseline: dit is het scenario op basis van de gemiddelde personenauto uit Paragraaf 5.2 en CBS-data over het wagenpark van 2020 en gemiddeld aantal kilometers dat personenauto's per jaar in Nederland rijden.
2. Wagenpark neemt 1% af: in dit scenario is als variabele het aantal personenauto's in Nederland genomen. Dat is in dit scenario 5% lager genomen dan in het baselinescenario.
3. Bezettingsgraad neemt toe naar twee personen: de bezettingsgraad voor de gemiddelde personenauto in het baselinescenario is 1.31. Dit correspondeert met de tabellen in Hoofdstuk 2. In dit scenario is gerekend met een bezettingsgraad van vier personen.

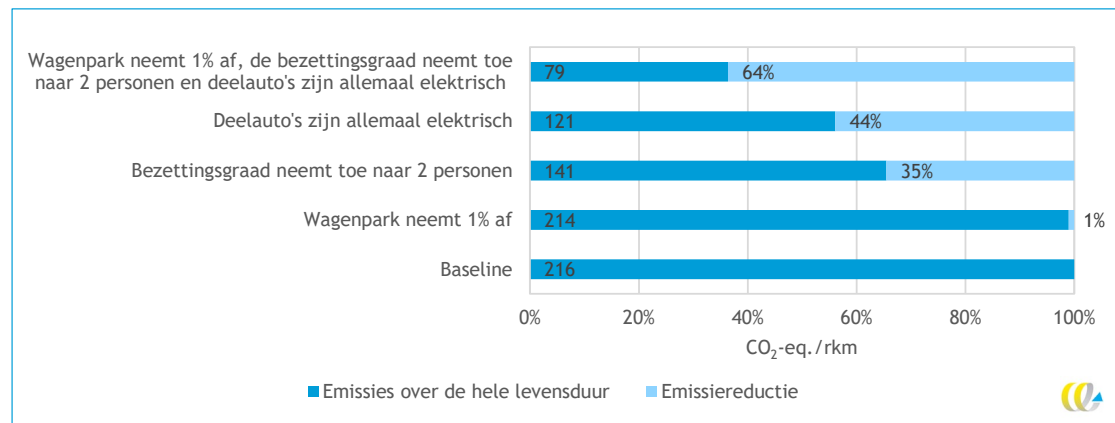
<sup>12</sup> Deze inschatting is gemaakt om een eerste inzicht te geven in de effecten van de verschillende factoren en hoe deze zich tot elkaar verhouden. Voor een nauwkeurigere berekening zal nader onderzoek gedaan moeten worden naar onder andere de verandering van de vlootsamenstelling (bijvoorbeeld: vervangen deelauto's grotere personenauto's?), reismotieven bij gebruik van deelauto's en welke ritten vervangen worden door een rit met een deelauto.



4. Deelauto's zijn allemaal elektrisch: hiervoor is als uitgangspunt de LCA van de elektrische personenauto in Figuur 31 genomen. De levensduur van de auto is niet aangepast. De invloed daarvan staat beschreven in Paragraaf 5.3.
5. Wagenpark neemt 1% af, bezettingsgraad neemt toe naar twee personen en volledige elektrificatie: dit is een combinatie van de variabelen van Scenario 2, 3 en 4. Een verdere onderbouwing staat in Bijlage C.

In Figuur 36 staan de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm over de hele levensduur voor de vijf scenario's. Hierin valt op dat met name de bezettingsgraad leidt tot emissiereductie. In het maximale scenario (wagenpark neemt af, de bezettingsgraad neemt toe en volledige elektrificatie) wordt een reductie behaald van 28%. Dit ligt hoger dan het percentage dat genoemd wordt in (KiM, 2021). De verklaring hiervoor is dat er in deze inschatting meer factoren zijn meegenomen. De uitkomsten liggen lager dan het maximale scenario in (Vilaça et al., 2022), wat vooral verklaard wordt doordat wij voor een lagere bezettingsgraad hebben gekozen (twee in plaats van vier).

**Figuur 36 - Impact kleiner wagenpark, hogere bezettingsgraad en elektrificatie**



## 5.5 Conclusies

We kunnen de volgende conclusies trekken ten aanzien van de ketenemissies van voertuigen:

- Bij fossiel aangedreven voertuigen domineren de WTT- en TTW-emissies altijd. Bij elektrisch aangedreven voertuigen domineren meestal de WTT-emissies.
- Voor luchtvaart en spoor heeft infrastructuur een relatief groot aandeel in de emissies per rkm.
- De fiets brengt over de hele keten per rkm de minste CO<sub>2</sub>-emissies met zich mee, de personenauto aangedreven door een benzinemotor de meeste.
- De factoren die invloed hebben op de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm zijn in beeld.
- Naar verwachting nemen de emissies per rkm af voor voertuigen die in 2030 worden geproduceerd. De mate waarin dit gaat gebeuren, zal afhankelijk zijn van keuzes die gemaakt worden door bedrijven en overheden en door technologische ontwikkelingen.

Voor deelauto's komen we tot de volgende conclusies:

- De factoren die kunnen leiden tot emissiereductie zijn in beeld.
- Het kwantificeren van emissiereductie is afhankelijk van lokale factoren (samenstelling wagenpark, verandering van de vlootsamenstelling (bijv.: vervangen deelauto's grotere personenauto's), reismotieven bij gebruik van deelauto's en welke ritten vervangen worden door een rit met een deelauto.



# 6 Aannames en methode

## 6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk beschrijven we de gekozen aannames en methode voor de berekening van de emissies en het energieverbruik per reizigerskilometer. De methodiek voor het bepalen van de emissiekentallen per reizigerskilometer verschilt per type voertuig en is afhankelijk van de beschikbare data:

- Bij wegverkeer en luchtvaart hebben wij de emissies per passagierskilometer berekend op basis van emissies per voertuigkilometer en de bezetting van het voertuig.
- Bij de trein, metro en tram hebben wij de emissies per reizigerskilometer berekend door de totale emissies over een jaar te delen door het totaal aantal passagierskilometers. Ook hebben wij voor deze categorieën emissies per zitplaatskilometer berekend. Met behulp van de procentuele bezetting hebben we de emissies per reizigerskilometer berekend.

In het algemeen kan een onderscheid worden gemaakt tussen drie soorten emissies:

- *Energieverbruik-afhankelijke emissies* zijn emissies die direct afhankelijk zijn van het energieverbruik en met een vaste vermenigvuldigingsfactor per type energiedrager (diesel, benzine, elektriciteit) direct uit het energieverbruik berekend kunnen worden. De emissies zijn, gegeven de energiedrager van het voertuig, dus niet (of nauwelijks) afhankelijk van de technologie. Alle well-to-tank-emissies zijn afhankelijk van energieverbruik, omdat de emissies van de energieproductie los staan van het type voertuig dat de energie gebruikt. De tank-to-wheel-emissies van CO<sub>2</sub> en SO<sub>2</sub> zijn ook volledig afhankelijk van het energieverbruik. De impliciete aanname daarbij is dat de brandstof volledig wordt verbrand en dat de emissies niet door nabehandelingstechnieken uit de uitlaatgassen worden gefilterd. In de praktijk is dit niet altijd het geval. Bijvoorbeeld bij 2-takt-brommers is sprake van onvolledige verbranding en komen er veel vluchtige organische stoffen vrij. Deze stoffen worden echter in de lucht uiteindelijk wel omgezet in CO<sub>2</sub> en dragen dan alsnog bij aan klimaatverandering. Het netto resultaat is dat alle koolstof wordt omgezet in CO<sub>2</sub>.
- *Energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies* zijn emissies die zowel afhangen van het energieverbruik als van de specifieke technologie. De tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5,v</sub>, EC en VOS zijn zowel brandstof- als voertuigafhankelijk.
- *Emissies door slijtage*. Deze emissies worden niet direct veroorzaakt door verbranding van brandstof en zijn dus meer afhankelijk van bijvoorbeeld het gewicht van het voertuig of het type banden. De emissies van slijtage die we in deze studie meenemen betreffen PM<sub>10</sub>-emissies en (als onderdeel daarvan) PM<sub>2,5</sub>-emissies die vrijkomen door slijtage van banden, wegdek, rails, bovenleiding, etc. De emissies van PM<sub>2,5</sub> (deeltjes met een doorsnede van minder dan 2,5 micrometer) zijn onderdeel van de PM<sub>10</sub>-emissies (deeltjes met een doorsnede van minder dan 10 micrometer).

STREAM Personenvervoer 2022 bevat uitgesplitste emissiekentallen voor verschillende typen voertuigen, technieken en wegtypen (wegverkeer) of afstandsklassen (spoor en luchtvaart). Anderzijds hebben we ook gemiddelden emissiekentallen voor 2020 berekend.

Voor het bepalen van gemiddelden hebben we op twee manieren geaggregeerd:

- **Aggregatie over wegtypen (voor wegverkeer).** Emissies voor een gemiddeld wegtype zijn bepaald door het gewogen gemiddelde te nemen van de emissies per wegtype ten opzichte van de verdeling van de vervoersprestatie per wegtype.
- **Aggregatie over voertuigtechnologieën.** Emissies voor ‘gemiddelde’ voertuigen zijn bepaald door het voertuigprestatiegewogen gemiddelde te nemen van de emissies van verschillende technologieën die binnen deze categorie vallen. Zo zijn bijvoorbeeld de emissies van gemiddelde benzineauto’s het gewogen gemiddelde van de onderliggende Euroklassen en zijn de emissies van een gemiddelde auto het gewogen gemiddelde van de verschillende brandstoftypen. Voor andere voertuigcategorieën is een vergelijkbare aggregatie gemaakt.

In de hiernavolgende paragrafen lichten we per modaliteit de methodiek verder toe. Per modaliteit geven we in de eerste subparagraaf (voertuigtechnieken en energiedragers) aan welke verschillende voertuigtechnieken en brandstoffen we onderscheiden voor de verschillende voertuigen. In de tweede subparagraaf (emissiefactoren per voertuigkilometer) geven we aan hoe de emissies per voertuig- of zitplaatskilometer worden berekend. In de derde subparagraaf (Bezettingsgraden) bespreken we de bezettingsgraden van de voertuigen.

Een gedetailleerde beschrijving van de aannames voor de vervoersprestatie en verdeling over wegtypen hebben wij opgenomen in Bijlage B. In deze paragraaf kan ook precies worden teruggekomen welke samenstelling we hebben verondersteld voor ‘gemiddelde’ voertuigen.

## 6.2 Personenauto

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën personenauto’s:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een ‘flex-fuel’-motor vereist.
- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en HVO100. Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Plug-in hybride-benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5 en Euro 6.
  - Bij hybride auto’s kan in principe de keuze in brandstof zowel voor het elektrische energieverbruik (groene stroom of gemiddelde stroom) als voor het benzineverbruik (fossiel, E10 of E85) variëren per gebruiker. Wij hebben deze variaties niet opgenomen om de hoeveelheid categorieën beperkt te houden.

- Plug-in hybride-diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5, Euro 6A en Euro 6D.
  - Bij hybride auto's kan in principe de brandstofkeuze zowel voor het elektrische energieverbruik (groene stroom of gemiddelde stroom) als voor het diesilverbruik (fossiel, B7, B30 of HVO100) variëren per gebruiker. Wij hebben deze variaties niet opgenomen om de hoeveelheid categorieën beperkt te houden.
- LPG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: fossiele LPG en bio-LPG.
- CNG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: fossiele CNG en bio-CNG.
- Batterij-elektrisch:
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - Wij onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa);

Ook hebben wij voor alle typen personenauto's een uitsplitsing naar segment gemaakt (waarin de segmenten A t/m I zijn onderscheiden). De methodiek van deze uitsplitsing hebben we omschreven in Bijlage C.

De emissiekentallen voor deze verschillende typen personenauto's kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van verschillende typen personenauto's in het gemiddelde staat in Bijlage B.1.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

### Energieverbruik

Het energieverbruik van personenauto's met een verbrandingsmotor per kilometer hebben wij berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit (Geilenkirchen et al., 2022) en de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren en omrekenfactoren uit Tabel 40. Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van zero-emissie-personenauto's per kilometer gerelateerd is aan het energieverbruik van Euro 6-benzineauto's, conform de correctiefactoren zoals weergegeven in Tabel 20<sup>13</sup>. De correctiefactoren voor batterij-elektrische personenauto's zijn gebaseerd op HBEFA 4.2 (HBEFA, lopend). Daarnaast nemen we op basis van (Alberts, 2021) aan dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger

<sup>13</sup> In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

is. Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen t.o.v. elektrische voertuigen.

Tabel 20 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-auto's t.o.v. benzineauto's (MJe/MJb)

Type personenauto	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	35%	36%	44%
Waterstof	53%	54%	66%

Het resulterende energieverbruik per kilometer van verschillende typen personenauto's hebben wij samengevat in Tabel 21.

Tabel 21 - Aannames energieverbruik van verschillende personenauto's (MJ/vkm)

Type personenauto	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Benzine	2,2	2,8	1,8	2,2
Diesel	2,3	3,0	2,2	2,0
LPG	2,5	3,2	2,0	2,5
CNG	2,9	3,6	2,3	3,0
Batterij-elektrisch	0,8	0,9	0,6	0,9
Brandstofcel	1,2	1,4	0,9	1,4

Bij plug-in hybride voertuigen hebben wij aangenomen dat gemiddeld over de wegtypen 30% van de kilometers elektrisch wordt gereden (NEN, 2018). In de praktijk verschilt het aandeel dat elektrisch wordt gereden eigenlijk per wegtype. Wij hebben het aandeel dat per wegtype elektrisch wordt gereden gedifferentieerd zoals weergegeven in Tabel 22<sup>14</sup>.

Tabel 22 - Aandeel elektrisch per kilometer voor plug-in hybride personenauto's

Voertuigtype	Stad	Buiten	Snelweg
PHEV - benzine	38%	32%	26%
PHEV - diesel	38%	32%	26%

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik per voertuigkilometer en de brandstofafhankelijke emissiefactoren uit Tabel 40.

<sup>14</sup> Deze differentiatie hebben wij opgesteld op basis van het de CO<sub>2</sub>-uitstoot van plug-in hybride auto's op verschillende wegtypen. Met deze informatie kunnen we een inschatting maken van het fossiele brandstofverbruik. Vervolgens hebben we een aandeel elektrisch gereden kilometers afgeleid en de resulterende factoren zo geschaald dat gemiddeld het aandeel dat elektrisch wordt gereden op 30% uitkomt.



## *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

De tank-to-wheel-emissies van brandstof- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij Euro 6-dieselveertuigen hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum<sup>15</sup> in de katalysator gekwantificeerd.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 40.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies hebben we de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 zijn de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021c).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub> emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.
- Bij verbranding van E85 hebben wij op basis van HBEFA 4.2 verondersteld dat de emissies van fijnstof 30% lager zijn ten opzichte van verbranding van fossiele benzine (HBEFA, lopend). De overige emissies zijn gelijk verondersteld.
- Bij verbranding van E10 hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen E85 en fossiele benzine) aangenomen dat de emissies van PM<sub>10</sub> 2% lager zijn in vergelijking met fossiele benzine.
- De brandstof- en voertuigafhankelijke emissies van bio-CNG gelijk zijn aan de emissies van fossiele CNG.
- We hebben verondersteld dat de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies van bio-LPG gelijk zijn aan de emissies van fossiele LPG.

<sup>15</sup> Ureum is een bestandsdeel van 'AdBlue'. Dit product wordt in Euro 6D-dieselveertuigen gebruikt om de NO<sub>x</sub>-uitstoot te verlagen. Echter leidt dit tot een beperkt hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot.



## Slijtage

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van fossiele personenauto's hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische-, waterstof- en plug-in hybride personenauto's hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergieterugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

## Bezettingsgraden

De gemiddelde bezetting van personenauto's is 1,31, gebaseerd op de mobiliteitscijfers per persoon (CBS Statline, 2020).

In de [webtool](#) kan naar wens de bezetting worden ingesteld. De gebruiker is volledig vrij om de bezetting zelf in te stellen. Wanneer het de wens is om gemiddelde bezettingsgraden voor specifieke reismotieven te gebruiken, kan gebruik worden gemaakt van de bezettingsgraden zoals weergegeven in Tabel 23.

Tabel 23 - Bezettingsgraden personenauto's per reismotief

Reismotief	Bezetting per personenauto
Woon-werk	1,07
Zakelijk	1,07
Diensten, persoonlijke verzorging	1,38
Winkelen, boodschappen doen	1,27
Onderwijs, cursus, kinderopvang	3,00
Visite	1,55
Uitgaan, sport, hobby	1,75
Toeren, wandelen	1,57
Overige reismotieven	1,20

## 6.3 Motorfiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën motorfietsen:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een 'flexi-fuel'-motor vereist.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen motorfietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen motorfietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.2.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

Het energieverbruik per voertuigkilometer voor benzinemotorfietsen hebben we berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022) en de omrekenfactoren uit Tabel 40.

Voor elektrische motorfietsen is het energieverbruik per kilometer afgeleid met behulp van omrekenfactoren op basis van HBEFA 4.2 (zie Tabel 24)<sup>16</sup>.

Tabel 24 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor elektrische motorfietsen t.o.v. benzine-motorfietsen (MJe/MJb)

Type motorfiets	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	29%	39%	55%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer voor verschillende typen motorfietsen is samengevat in Tabel 25.

Tabel 25 - Aannames energieverbruik van verschillende motorfietsen (MJ/vkm)

Type motorfiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Benzine	1,6	1,8	1,4	1,8
Batterij-elektrisch	0,7	0,5	0,5	1,0

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik en de emissiefactoren uit Tabel 40.

De energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Voor motorfietsen bevat deze studie echter geen kentallen voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van motorfietsen hebben wij daarom gebaseerd op de parkemissiefactoren van het CBS, (2022c). Deze bron maakt geen onderscheid naar Euroklassen. Om deze reden hebben we verondersteld dat de CO<sub>2</sub>-emissies van de verschillende Euroklassen van motorfietsen gelijk is.

De emissies van PM<sub>10</sub> door slijtage van benzinemotorfietsen hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Bij elektrische bromfietsen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### Bezettingsgraden

Wij zijn uitgegaan van een gemiddelde bezettingsgraad voor motorfietsen van 1,15. Dit is dezelfde aanname als in de vorige versie van STREAM Personenvervoer.

<sup>16</sup> In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

## 6.4 Bromfiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

De categorie ‘bromfiets’ in STREAM bestaat uit zowel de ‘bromfiets’ (tot 45 km/h) als de ‘snorfiets’ (tot 35 km/h). Op basis van beschikbare data is er moeilijk onderscheid te maken tussen deze twee categorieën. Deze beide categorieën hebben we daarom samengenomen.

We onderscheiden voor de bromfiets de volgende energiedragers en voertuigtechnieken:

- Benzine:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 2 (2-takt), Euro 2 (4-takt), Euro 3, Euro 4, Euro 5.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: benzine (fossiel), benzine (E10), benzine (E85). Om op E85 te kunnen rijden is een ‘flexi-fuel’-motor vereist.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen bromfietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen bromfietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.3.

Er bestaan ook Euro 1-bromfietsen. Deze categorie is echter niet opgenomen in het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). We hebben deze categorie vanwege gebrek aan data ook niet opgenomen in de online-dataset van STREAM.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

Het energieverbruik per voertuigkilometer voor benzinebromfietsen hebben wij berekend op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022) en de omrekenfactoren uit Tabel 40. Voor elektrische bromfietsen hebben wij het energieverbruik bepaald met behulp van de omrekenfactoren voor motorfietsen op basis van HBEFA 4.2.

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer voor verschillende typen bromfietsen hebben wij samengevat in Tabel 26.

Tabel 26 - Aannames energieverbruik van verschillende bromfietsen (MJ/vkm)

Type bromfiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg
Benzine	0,8	0,8	0,9
Batterij-elektrisch	0,2	0,2	0,2

De brandstofafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 40. De energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Voor bromfietsen bevat deze studie echter

geen kentallen voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van bromfietsen hebben wij daarom gebaseerd op (van Zyl et al., 2014).

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van benzinebromfietsen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische bromfietsen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

## Bezettingsgraden

Wij zijn uitgegaan van een gemiddelde bezettingsgraad voor bromfietsen van 1,1. Dit is dezelfde aanname als in de vorige versie van STREAM Personenvervoer.

## 6.5 Fiets

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën fietsen:

- Gewone fiets:
  - Deze categorie betreft gewone fietsen die volledig met spierkracht worden aangedreven.
- Elektrische fiets:
  - Deze categorie betreft elektrische fietsen met een maximumsnelheid van 25 km/h;
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).
- Speed pedelec:
  - Deze categorie betreft elektrische fietsen met een hogere maximumsnelheid van 45km/h.
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen fietsen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen fietsen in het gemiddelde staat in Bijlage B.4.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

Wij hebben de volgende aannames gemaakt voor het energieverbruik van elektrische fietsen:

- voor gewone elektrische fietsen zijn wij uitgegaan van een energieverbruik van 7,5 wattuur/km (Fietserbond, 2017);
- voor speed pedelecs zijn wij uitgegaan van een energieverbruik van 11 wattuur/km (Speedpedelec.org);
- in beide gevallen hebben wij rekening gehouden met een laadverlies van 20%.

Het resulterende energieverbruik per kilometer hebben wij samengevat in Tabel 27.

Tabel 27 - Aannames energieverbruik van elektrische fietsen (MJ/vkm)

Type fiets	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg
Gewone elektrische fiets	0,03	0,03	0,03
Speed pedelec	0,04	0,04	0,04

Voor elektrische fietsen hebben wij well-to-tank-emissies berekend op basis van het energieverbruik en de emissiefactoren voor elektriciteit uit Tabel 40.

Dit zijn vrij grove aannames die mogelijk kunnen afwijken van het werkelijke gemiddelde energieverbruik binnen deze categorieën.

Wij hebben geen emissies van slijtage van fietsen gekwantificeerd, omdat deze relatief zeer laag zijn ten opzichte van andere voertuigen. Ook zijn hiervan zijn geen gegevens beschikbaar.

## Bezettingsgraden

Wij zijn voor alle soorten fietsen uitgegaan van een bezettingsgraad van 1 persoon per fiets.

## 6.6 Personenbusje

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Voor de personenbus zijn wij uitgegaan van een dieselbus met een vervoerscapaciteit van acht personen (exclusief chauffeur).

Wij onderscheiden de volgende categorieën personenbusjes:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6A en Euro 6D.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Batterij-elektrisch:
  - Wij onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa);

De emissiekentallen voor deze verschillende typen personenbusjes kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen personenbusjes in het gemiddelde staat in Bijlage B.5.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

### Energieverbruik

De personenbus komt niet voor in de lijst met voertuigen van de Emissieregistratie. Daarom hebben wij, in lijn met de vorige editie van STREAM Personenvervoer, aangenomen dat het energieverbruik van personenbusjes vergelijkbaar is met dat van een gemiddelde bestelauto (CE Delft, 2014). Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van personenbusjes gelijk is aan het energieverbruik van bestelauto's met een leeggewicht van 1,5-2 ton volgens (CE Delft, 2021c). Vervolgens hebben wij de CO<sub>2</sub>-emissies bepaald met behulp van de omrekenfactor uit Tabel 40.

Wij hebben aangenomen dat de verhouding in het energieverbruik tussen elektrische personenbusjes en Euro 6D-dieselpersonenbusjes gelijk is aan de verhouding bij ov-bussen (zie Tabel 29).

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen personenbusjes hebben wij samengevat in Tabel 28.

Tabel 28 - Aannames energieverbruik van verschillende personenbusjes (MJ/vkm)

Type personenbusje	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	3,2	3,6	2,7	3,2
Batterij-elektrisch	1,4	1,5	1,2	1,6

### Energieverbruiksafhankelijke emissies

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 40.

### Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies

In de EU-regelgeving viel de personenbus oorspronkelijk onder de Euronormering van bestelwagens (light duty). Sinds de Euro 5-norm valt de personenbus qua norm onder de personenauto. Daarom hebben wij de luchtvervuilende emissies voor personenbusjes met Euroklasse 1 t/m 4 berekend op basis van de emissiefactoren voor de bestelauto. De luchtvervuilende emissies van Euro 5- en Euro 6-personenbusjes hebben wij gelijk verondersteld aan de emissies van dieselpersonenauto's met eenzelfde Euroklasse.

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij personenbusjes van diesel Euroklasse Euro 6 hebben we naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben we vervolgens afgeleid uit Tabel 40.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer.
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van personenbusjes hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Bij elektrische personenbusjes hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergie-terugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### **Bezettingsgraden**

De bezettingsgraad van personenbusjes is sterk afhankelijk van het soort personenbus. We hebben in deze studie geen nieuwe informatie kunnen achterhalen ten opzichte van STREAM Personenvervoer 2014 (CE Delft, 2014). Om deze reden hebben wij dezelfde aannames gehanteerd:

- Gemiddeld gaan wij uit van een bezettingsgraad van 2,4. Dit is representatief voor een taxi/belbus.
- Een alternatieve bezettingsgraad die in [de webtool](#) kan worden gekozen voor besloten vervoer is 5,0.



## 6.7 Ov-bus

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Wij onderscheiden de volgende categorieën ov-bussen:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- CNG:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: Euro 5 en Euro 6.
  - We onderscheiden de brandstoftypen: fossiele CNG en bio-CNG.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - We onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen ov-bussen kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen ov-bussen in het gemiddelde staat in Bijlage B.6.

### Emissiefactoren per voertuigkilometer

#### *Energieverbruik*

Het energieverbruik per voertuigkilometer hebben wij bepaald op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform (Geilenkirchen et al., 2022) en Tabel 40.

Wij hebben het energieverbruik van elektrische ov-bussen per kilometer gebaseerd op het relatieve energieverbruik t.o.v. Euro 6-dieselbussen uit HBEFA 4.2 (zie Tabel 29). Daarnaast hebben wij verondersteld dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is (Alberts, 2021). Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen ten opzichte van elektrische voertuigen. Wij hebben de gehanteerde correctiefactoren samengevat in Tabel 29.

Tabel 29 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-ov-bussen t.o.v. diesel-ov-bussen (MJe/MJd)

Type ov-bus	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	40%	43%	49%
Waterstof	60%	65%	73%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen ov-bussen hebben wij samengevat in Tabel 28.

Tabel 30 - Aannames energieverbruik van verschillende ov-bussen (MJ/vkm)

Type ov-bus	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	11,5	13,7	8,7	7,1
Batterij-elektrisch	4,6	5,5	3,5	3,1
Waterstof	6,9	8,2	5,3	4,6

### *Energieverbruiksafhankelijke emissies*

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 40.

### *Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies*

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij ov-bussen van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 40.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021c).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).

- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van fijnstof door slijtage van dieselbussen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Bij elektrische- en waterstofbussen hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergieterugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn.

### **Bezettingsgraden**

De gemiddelde bezetting voor ov-bussen in 2019 was 8,11 personen (CROW-KpVV, 2020).

## **6.8 Touringcar**

### **Voertuigtechnieken en energiedragers**

Wij onderscheiden de volgende categorieën touringcars:

- Diesel:
  - Binnen deze categorie maken wij onderscheid tussen de volgende Euroklassen: pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 (EGR) en Euro 6.
  - Wij onderscheiden de brandstoftypen: diesel (fossiel), diesel (B7), diesel (B30) en diesel (HVO100). Bij diesel B7 en B30 nemen we aan dat 7% van het volume uit FAME bestaat. Bij B30 hebben wij aangenomen dat 23% van het volume uit HVO bestaat.
- Batterij-elektrisch:
  - We onderscheiden het gebruik van de gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).
- Brandstofcel-elektrisch:
  - Wij onderscheiden waterstof geproduceerd door *steam reforming* en waterstof geproduceerd door middel van elektrolyse met gemiddelde Nederlandse stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en ‘overig fossiel’) of 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

De emissiekentallen voor deze verschillende typen touringcars kunnen worden teruggevonden in [de webtool](#). In het rapport hebben wij slechts de gemiddelden opgenomen. De weging van de verschillende typen touringcars in het gemiddelde staat in Bijlage B.7.

## Emissiefactoren per voertuigkilometer

### Energieverbruik

Het energieverbruik per voertuigkilometer hebben wij bepaald op basis van de tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022) en Tabel 40.

Wij hebben het energieverbruik van elektrische touringcars per kilometer gebaseerd op het relatieve energieverbruik t.o.v. Euro 6-touringcarbussen uit HBEFA 4.2<sup>17</sup>. Daarnaast hebben wij verondersteld dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is (CE Delft, 2021c). Deze factor is een samengesteld effect van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen ten opzichte van elektrische voertuigen. De gehanteerde aannames staan samengevat in Tabel 31.

Tabel 31 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor zero-emissie-touringcars t.o.v. dieseltouringcars (MJe/MJd)

Aandrijflijn	Stadswegen	Buitenwegen	Snelwegen
Batterij-elektrisch	40%	43%	49%
Waterstof	60%	65%	73%

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen touringcars hebben wij samengevat in Tabel 32.

Tabel 32 - Aannames energieverbruik van verschillende touringcars (MJ/vkm)

Type touringcar	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	9,6	12,2	8,5	8,9
Batterij-elektrisch	4,2	4,7	3,6	4,2
Waterstof	6,3	7,1	5,4	6,3

### Energieverbruiksafhankelijke emissies

De energieverbruiksafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 40.

### Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de data HBEFA 4.2<sup>18</sup>. Bij touringcars van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verbranding ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van ureum in de katalysator gekwantificeerd.

Wij hebben aangenomen dat het energieverbruik van zero-emissie-touringcars per kilometer is gebaseerd op het relatieve energieverbruik (t.o.v. Euro 6-dieselbussen) zoals in HBEFA 4.2 is gegeven en is te vinden in (HBEFA, lopend).

<sup>17</sup> Hiervoor is type 'coach' van grootte klasse 'Standard tot 18 t' (een brutogewicht tot maximaal 18 ton) gekozen.

<sup>18</sup> Hiervoor is type 'coach' van grootte klasse 'Standard tot 18t' (een brutogewicht tot maximaal 18 ton) gekozen.

De brandstofafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van het energieverbruik met behulp van de brandstofafhankelijke emissiefactor uit Tabel 40.

Bij gebruik van (blends van) biobrandstoffen zijn de emissies anders ten opzichte van fossiel brandstoffengebruik. Wij hebben verondersteld dat het energieverbruik per afgelegde kilometer bij alternatieve brandstoffen gelijk is aan het energieverbruik per kilometer bij fossiel brandstofgebruik. De brandstofafhankelijke emissies per kilometer hebben wij vervolgens afgeleid uit Tabel 40.

Voor de brandstof- en voertuigafhankelijke emissies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Bij verbranding van HVO100, B7 of B30 hebben wij de tank-to-wheel-emissies van CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, VOS en EC per MJ brandstof gelijk verondersteld aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Dit is in lijn met de aannames van STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021c).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 10% lager, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 20% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B30 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO<sub>x</sub>-emissies 7% hoger, terwijl de PM<sub>2,5</sub>-emissies 13% lager zijn in vergelijking met verbranding van fossiele diesel (Verbeek et al., 2017).
- Bij verbranding van B7 (FAME) in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO<sub>x</sub> en PM<sub>2,5</sub> per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager hebben wij (op basis van lineaire interpolatie tussen B30 en fossiele diesel) aangenomen dat de emissies van NO<sub>x</sub> per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM<sub>10</sub> 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

### *Slijtage*

Ook de emissies van PM<sub>10</sub> door slijtage van dieseltouringcars hebben wij gebaseerd op de HBEFA 4.2-database. De emissies van PM<sub>2,5</sub> door slijtage hebben wij bepaald als fractie van de uitstoot van PM<sub>10</sub> op basis van het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Bij elektrische- en waterstoftouringcars hebben wij aangenomen dat, als gevolg van de remenergieterugwinning, de fijnstofemissies door slijtage 25% lager zijn (TNO, 2015).

### **Bezettingsgraden**

Wij hebben op basis van (Panteia, 2022) aangenomen dat de gemiddelde bezetting van touringcars 48 is.

## 6.9 Trein

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Binnen de categorie treinen onderscheiden wij de volgende treinen:

- internationale trein (elektrisch);
- intercity (elektrisch);
- stoptrein (elektrisch);
- stoptrein (diesel)<sup>19</sup>.

De emissiekentallen voor deze verschillende typen treinen kunnen worden teruggevonden in het rapport en [de webtool](#). De weging van de verschillende typen treinen in het gemiddelde staat in Bijlage B.8.

Voor alle elektrische treinen hebben wij zowel emissiekentallen berekend die uitgaan van de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen die uitgaan van 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

Voor alle typen treinen geldt dat dit aggregaties zijn van verschillende onderliggende treintypen die uiteenlopen qua lengte en type motor. Zo kan voor dieseltreinen een onderscheid worden gemaakt tussen Stage 1- t/m Stage 5-motoren. In de praktijk maakt dit onderscheid veel uit voor de uitstoot van luchtvervuilende stoffen. We hebben ons in deze studie echter beperkt tot de emissies van de gemiddelde categorieën zoals hierboven beschreven.

### Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Het energieverbruik per zitplaatskilometer voor intercity's en NS-stoptreinen was geleverd door de NS (NS-treinen) en Duinn (regionale treinen). Deze informatie is gebaseerd op het totale jaarlijkse energieverbruik en de vervoersprestatie van treinen. Voor internationale treinen beschikken deze partijen niet over representatieve schattingen van het energieverbruik. Om deze reden hebben wij het energieverbruik van internationale treinen ingeschat op basis van het energieverbruik van Duitse internationale treinen volgens (Fraunhofer ISI, 2020). Deze informatie hebben wij samengevat in Tabel 33.

Tabel 33 - Energieverbruik treinen in 2019

Categorie	Energieverbruik (MJ/zpkm)
Intercity	0,05
Internationale trein	0,08
Stoptrein (diesel)	0,24
Stoptrein (elektrisch)	0,10

De well-to-tank-emissies door energieopwekking van elektrische treinen hebben wij berekend met behulp van het energieverbruik per kilometer en de emissiefactoren uit Tabel 40. Elektrische treinen hebben geen tank-to-wheel-emissies.

<sup>19</sup> Alle regionale treinen hebben wij als stoptreinen geclassificeerd. In de praktijk is er ook in een enkel geval sprake van een regionale trein die geen stoptrein is (in ieder geval de sneltrein tussen Leeuwarden en Groningen van Arriva).

De energieverbruiksafhankelijke emissies van dieseltreinen hebben wij ook berekend met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 40. De emissies van NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5,v</sub> en VOS hebben wij bepaald op basis van (CE Delft, 2020b).

De emissies van fijnstof door slijtage hebben wij gebaseerd op (IKA, 2007). Dit is een verouderde bron voor Zwitserse treinen die ook bij de voorgaande versie van STREAM het uitgangspunt vormde. Een literatuurstudie heeft echter uitgewezen dat er geen recentere informatie beschikbaar is. De aangenomen emissies van slijtage zijn weergegeven in Tabel 34.

Tabel 34 - Emissies van slijtage van treinen

Categorie	PM <sub>10</sub> slijtage (g/MJ)
Trein elektrisch	0,023
Trein diesel	0,065

## Bezettingsgraden

De procentuele bezettingsgraden ten opzichte van volledige bezetting van intercity's en stoptreinen hebben we berekend door het totaal aantal reizigerskilometers te delen door de zitplaatskilometers. De gemiddelde bezetting van internationale treinen is apart aangeleverd door de NS. Deze bezetting van 47% is een gewogen gemiddelde voor Thalys, ICE, IC Brussel en IC Berlijn. Eurostar, nachttreinen en regionaal grensoverschrijdend vervoer zijn niet meegenomen in dit kental. De gemiddelde bezettingsgraden hebben we samengevat in Tabel 35.

Tabel 35 - Bezettingsgraden van treinen

Categorie	Gemiddelde bezetting (% van zitplaatsen)
Intercity	32%
Internationale trein	47%
Stoptrein (diesel)	26%
Stoptrein (elektrisch)	24%

## 6.10 Tram en metro

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Binnen de categorie tram hebben wij geen verdere categorisering aangebracht. Wel hebben wij de emissiekentallen zowel berekend voor de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen voor 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

Ook binnen de categorie metro hebben we geen verdere categorisering aangebracht. Wel hebben we de emissiekentallen zowel berekend voor de Nederlandse gemiddelde stroommix, grijze stroom (gemiddelde NL mix van aardgas, kolen en 'overig fossiel') als emissiekentallen voor 100% groene stroom (gemiddelde NL mix, excl. biomassa).

## Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Het gemiddelde energieverbruik van trams en metro's in 2019 is op verzoek aangeleverd door Duinn. Deze informatie hebben wij samengevat in Tabel 37.

Tabel 36 - Vervoersprestatie trams en metro's in 2019

Categorie	Energieverbruik (MJ/zpkm)
Tram	0,24
Metro	0,37

De well-to-tank-emissies door energieopwekking van trams en metro's hebben wij berekend met behulp van het energieverbruik per kilometer en de emissiefactoren uit Tabel 40. Elektrische trams en metro's hebben geen tank-to-wheel-emissies.

De emissies van slijtage van trams en metro's per MJ hebben wij ingeschat als 80% ten opzichte van de emissies van elektrische treinen. Dit is consistent met de aannames uit de vorige editie van STREAM Personenvervoer (CE Delft, 2014). Omdat het energieverbruik van trams en metro's hoger is in vergelijking met treinen, resulteert dit wel in hogere emissies per reizigerskilometer.

## Bezettingsgraden

De gemiddelde bezettingsgraden van trams en metro's is weergegeven in Tabel 37.

Het moet worden opgemerkt dat met name bij metro's de gemiddelde bezetting erg hoog lijkt, omdat het aantal zitplaatsen van met name de metro in Amsterdam erg laag is ten opzichte van het aantal staanplaatsen: voor lijn M5 van de GVB zijn er bijvoorbeeld 174 zitplaatsen en 786 stapplaatsen (18% van het aantal plaatsen is zitplaats). In Rotterdam is het aantal zitplaatsen per metrostel bijvoorbeeld een stuk hoger: metro SG3 van de RET heeft 104 zitplaatsen en 166 stapplaatsen (38% van het aantal plaatsen is zitplaats). Omdat de metro's in verschillende steden zo verschillend zijn is het (nog meer dan bij andere voertuigen) altijd aan te raden om specifieke kentallen voor de metro waar men over rekest te hanteren. De gemiddelde kentallen die hier gepresenteerd worden kunnen worden ingezet als er geen specifieke informatie beschikbaar is, of als berekeningen worden gemaakt voor een nog niet bestaande metrolijn waar nog geen technische specificaties voor zijn uitgedacht. Voor trams geldt ook in mindere mate dat het aantal zit- en stapplaatsen varieert per type tram (het aandeel zitplaatsen ligt over het algemeen in de range van 30-40%).

Tabel 37 - Gemiddelde bezetting trams en metro's in 2019

Categorie	Gemiddelde bezetting van de zitplaatsen
Tram	36%
Metro	84%



## 6.11 Luchtvaart

### Voertuigtechnieken en energiedragers

In de luchtvaart zit er weinig verschil tussen de ingezette technieken en energiedragers. Alle vliegtuigen vliegen op kerosine waarvoor geen realistische alternatieven zijn op dit moment. Biokerosine is weinig beschikbaar en significant duurder waardoor het slechts in zeer beperkte mate wordt bijgemengd. Ook vliegtuigen zelf zijn vergelijkbaar in de emissieprestatie.

Voor vliegtuigen zijn er door ICAO (International Civil Aviation Organization) internationale emissie-eisen (CAEP-standaarden) opgesteld waaraan nieuwe vliegtuigmotoren moeten voldoen. Voor NO<sub>x</sub> zijn de emissie-eisen gedefinieerd voor de LTO-cyclus. De NO<sub>x</sub>-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<sub>v</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissie-eisen (EASA, 2019, Peeters, P. & Melkert, 2018). De huidige vliegtuigen voldoen voor het grootste gedeelte aan de CAEP8-standaard waardoor wij geen onderscheid maken naar de emissiestandaard.

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, P. & Melkert, 2018) en de brandstofafhankelijke emissies zijn op HVO gebaseerd (zie Tabel 40). Voor brandstofverbruik en de PM<sub>v</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies is aangenomen dat deze vergelijkbaar zijn met kerosine.

De omvang van vliegtuigen is wel van belang: een groter vliegtuig heeft namelijk hogere emissies. Grotere vliegtuigen worden vooral ingezet op langere afstanden. Daarnaast is de vluchtafstand ook van direct belang op de emissies. Tijdens het landen en opstijgen en bij het stijgen en dalen vinden namelijk meer emissies plaats dan tijdens de zogeheten kruisfase. Op langer afstanden, waarbij langer op kruisfase wordt gevlogen, vinden daardoor relatief minder emissies plaats. Dit geldt echter niet voor de klimaatimpact van niet-CO<sub>2</sub>-emissies. De schade door deze emissies vindt juist op hoogte plaats. Een verdere uitleg van niet-CO<sub>2</sub>-emissies is gegeven in Tekstbox 1.

#### Tekstbox 1 - Klimaat-effect van niet-CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikas-effect groter dan alleen die van de CO<sub>2</sub>, methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Voornamelijk condensstrepen, NO<sub>x</sub>-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-CO<sub>2</sub>-emissies is echter lokaler en heeft een kortetermijnkarakter. Het effect is echter wel significant en voor 2005 werd ingeschat dat de klimaatimpact (radiative forcing) van luchtvaart voor 40% wordt bepaald door de CO<sub>2</sub> in de lucht afkomstig van luchtvaart en voor 60% door niet-CO<sub>2</sub>-emissies (EASA, 2019). Deze verhouding heeft betrekking op de effecten van de CO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht en is daarom niet direct te vertalen naar hoe het effect van de niet-CO<sub>2</sub>-emissies zich verhoudt tot de CO<sub>2</sub>-emissies. Hierover is veel discussie en de effecten, van met name wolkvorming zijn moeilijk in te schatten. In sommige methodieken wordt, op basis van GWP100, een factor 1.7 toegepast op de CO<sub>2</sub>-emissies van de vlucht of van de (EASA et al., 2020). Er zijn echter andere bronnen die veronderstellen dat de klimaat-effecten van niet-CO<sub>2</sub>-emissies worden onderschat door de GWP-methode. Om deze reden is er een GWP\*100-methode ontwikkeld, die deze effecten beter mee zou moeten nemen. Met deze methode komen de niet-CO<sub>2</sub>-klimaat-effecten uit op een factor 2,0 ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-klimaat-effecten (dus kunnen de totale GWP\*100-effecten worden bepaald door een vermenigvuldiging van de CO<sub>2</sub>-effecten met een factor van 3,0 ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissies). Vanwege de onzekerheid in de

kwantificatie van het effect en om de scope van de CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissies) duidelijk te houden voor de verschillende modaliteiten hebben we er in STREAM voor gekozen het effect niet in de rapportage op te nemen, maar in dit tekstkader wel te benoemen.

Zoals besproken boven de tekstbox is er een correlatie tussen de gevlogen afstand en de gemiddelde emissies. Om deze reden onderscheiden we drie afstandsklassen: korte vluchten (<1.500 km), middellange 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 37).

## Emissiefactoren per zitplaatskilometer

Van de 2018 vluchten is ook het IATA-toesteltype, de beladingsgraad (zowel reizigers als vracht<sup>20</sup>) en de afstand tussen twee luchthavens geleverd. Hiermee zijn het brandstofverbruik, de CO<sub>2</sub>-emissies en vervolgens de luchtvervuilende emissies berekend worden.

De emissies per reizigerskilometer ( $EF_{rkm}$ ) zijn bepaald op basis van het energieverbruik per reizigerskilometer ( $E_{rkm}$ ) en emissiefactoren per MJ brandstof ( $EF_{MJ}$ ) volgens Formule 1.

$$EF_{rkm} = E_{rkm} \times EF_{MJ} \quad (1)$$

Het energieverbruik per reizigerskilometer ( $E_{rkm}$ ) is daarbij bepaald door per vliegtuig-categorie het totale energieverbruik per jaar ( $E_{jaar}$ ) te delen door de totale reizigerskilometers over een jaar  $rkm_{jaar}$ , volgens Formule 2. Het energieverbruik per jaar is daarbij afgeleid van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

$$E_{rkm} = \frac{E_{jaar}}{tkm_{jaar}} \quad (2)$$

In STREAM zijn de klimaateffecten van niet-CO<sub>2</sub>-emissies<sup>21</sup> niet meegenomen in de cijfers. In Tekstbox 1 is hierover meer uitleg gegeven.

## Energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies

Het energieverbruik per rkm is afgeleid uit de CO<sub>2</sub>-emissies per rkm met een factor van 71,5 g CO<sub>2</sub>/MJ (zie Tabel 40). Op basis van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissies per categorie vliegtuigen ( $CO_{2-v}$ ) en de reizigerskilometer ( $rkm$ ) van de vliegtuigen ( $v$ ) uit een bepaalde categorie ( $cat$ ) is het gemiddelde energieverbruik per categorie ( $E_{rkm(cat)}$ ) als volgt bepaald:

<sup>20</sup> Alleen de in Schiphol geladen en geloste vracht is bekend. Vracht die al aanwezig was in het vliegtuig is onbekend.

<sup>21</sup> CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O worden wel meegenomen.

$$E_{rkm(cat)} = \frac{\sum_{v-cat}(CO_2-v \times \frac{1}{EF_{CO_2}})}{\sum_{v-cat}(rkm_v)} \quad (4)$$

Om het totaal aan energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is gebruikgemaakt 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 ter herleiden waarin per vlucht de afstand- (vogelvluchtafstand) en tonnage-gegevens zijn opgenomen.

### *CO<sub>2</sub>-emissies en energieverbruik via Small Emitters Tool*

We gebruiken de Small Emitters Tool (SET) van EUROCONTROL om de CO<sub>2</sub>-emissies te berekenen. De SET is gebouwd op het daadwerkelijke brandstofverbruik van verschillende typen toestellen onder verschillende omstandigheden (EUROCONTROL, lopend). De recente (2019) versie van de SET is gebruikt in de berekeningen. We corrigeren 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 CO<sub>2</sub>-emissies per toesteltype en afstandscombinatie.

### *Toewijzing naar reizigers en vracht*

De output uit de SET is vervolgens omgerekend naar gemiddelde energieverbruik en CO<sub>2</sub> per passagierskilometer via Formule 4. Voor full-passenger-toestellen is dat eenvoudig te doen omdat 100% van het brandstofverbruik toegewezen kan worden aan de vervoerde reizigers. Bij gecombineerde toestellen worden echter zowel reizigers als vracht vervoerd en dienen energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies te worden verdeeld onder reizigers en vracht. In Nederland vervoerde zo'n 60% van de vluchten passagiers en vracht in 2018.

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 reizigers en vracht en de prijzen die betaald zijn. Een tweede optie is om de emissies te verdelen op basis van ruimtegebruik. Het gaat dan om de hoeveelheid ruimte van het vliegtuig gereserveerd voor vracht en passagiers. In de praktijk is dit echter lastig omdat dit per maatschappij en vliegtuig kan verschillen waardoor er niet publieke informatie nodig is. De derde, meest gangbare optie, is een toedeling op basis van gewicht van vracht en passagiers.

Omdat het gewicht van passagiers vaak niet bekend is wordt uitgegaan van standaard gewichten. Hiervoor zijn twee varianten die gangbaar zijn. De Europese Standaard EN16258 (CEN, 2012) neemt aan dat gemiddelde reizigers (incl. bagage) 100 kg wegen om vervolgens het energieverbruik of de CO<sub>2</sub>-emissies te verdelen op basis van de gesommeerde gewichten van vracht en passagiers. Een tweede variant gaat ervan uit 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).

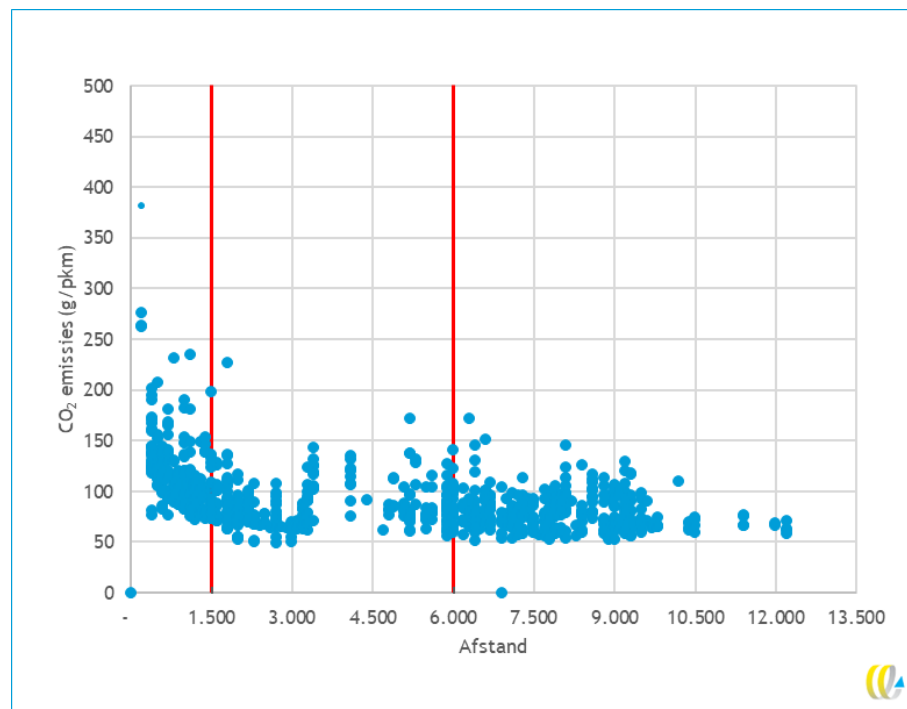
Beide varianten worden naast elkaar gebruikt, wat mede komt doordat ze eigen voor- en nadelen hebben. De belangrijkste verschillen zijn:

- De variant waar naast 100 kg uit wordt gegaan van 50 kg per stoel vraagt om kennis over het aantal stoelen per vliegtuig. De indeling verschilt per vliegtuig en ook per maatschappij waardoor het lastig is om een accurate berekening te maken. Dit probleem treedt niet op als wordt uitgegaan van 100 kg per passagier.
- Het gebruik van de Europese Standaard EN16258 is in bepaalde Europese wetgeving opgenomen. Hierdoor blijft er vraag naar emissiefactoren die via deze methode zijn bepaald.
- Er is een discussie gaande of de huidige varianten op basis van gewicht wel tot representatieve uitkomsten leiden. Davydenko et al., (2020) en (Peeters, Paul; Reinecke, Tamina, 2021) beredeneren dat het allocatie op basis van 100 kg per passagier plus 50 kg per stoel te prefereren is boven allocatie op basis van 100 kg per passagier.

Recentelijk lijkt er meer consensus te zijn gekomen in de luchtvaartindustrie over de toedeling op basis van massa. IATA ging lange tijd uit van 100 + 50 kg (IATA, 2014) maar is recentelijk overgestapt naar 100 kg (IATA, 2022) . Ook de aankomende ISO-standaard zal uitgaan van 100 kg per passagier voor de verdeling tussen personen en vracht. Wij verwachten dat er op de korte termijn vraag is naar kentallen die van beide methodes uitgaan. Daarom passen we beide methodes toe.

De resultaten per afstandsklasse (met een aggregatie van vluchten per 100 km) op basis van de 100 + 50 kg-methode zijn weergegeven in Figuur 37. Daarbij is aangegeven waar de grenzen liggen voor de korte, middellange en lange afstand waarvoor de gemiddelde emissiekentallen zijn gerapporteerd.

Figuur 37 - CO<sub>2</sub> per pkm naar afstand voor passagiersvluchten (allocatie met 100 kg + 50 kg per stoel)



## Luchtvervuilende emissies

De CO<sub>2</sub>-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 gebruikgemaakt van de Aviation Emissions Calculator van de European Environment Agency (EEA, 2019). Verder is ook hier gebruikgemaakt van de twee verdeelsleutels tussen vracht- en reizigersemissies, zoals eerder toegelicht.

### Aviation Emissions Calculator

De Aviation Emissions Calculator van de EEA geeft per toestel en per gevlogen afstand onder andere de uitstoot NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, HC, nvPM<sup>22</sup>, vPM<sup>23</sup> en totale PM. Omdat het motortype erg kan verschillen, zelfs binnen hetzelfde toesteltype, heeft de EEA de uitstoot 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, zoals de A380 en de toestellen uit de A320neo-familie, niet in de Calculator staan.

Daarom konden wij voor een aantal vluchten (17%) geen luchtvervuilende emissies berekenen. Dat aantal is echter relatief beperkt en heeft daarom weinig gevolgen voor de gepresenteerde emissies per tonkilometer.

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. Met name het onderscheid van LTO-emissies is van belang, omdat de schadelijkheid van luchtvervuilende stoffen in de LTO-fase groter is. Deze emissies hebben een directere en grotere impact op de leefomgeving dan de CCD emissies .

Enkele uitgangspunten die we in het EEA-model hebben toegepast zijn:

- In deze studie hebben we de LTO-cyclus genomen voor een typische, drukke Europese luchthaven, omdat men Schiphol daar onder kan scharen.

---

<sup>22</sup> Non-volatile PM.

<sup>23</sup> Volatile PM.

- Voor vliegtuigen die grotere afstanden vliegen dan volgens het model mogelijk is, passen we de marginale uitstoot van luchtvervuilende stoffen per CCD kilometer toe voor de additionele kilometers.
- Om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen per reizigerskilometer te kunnen berekenen moeten we weten hoeveel reizigerskilometer onder de 3.000 voet plaatsvinden. Op basis van een gemiddelde stijgingshoek van 15° (Boeing, 2009) en een gemiddelde dalingshoek van 3,2° (Henderson et al., 2016) is de (horizontaal) gevlogen afstand per LTO circa 25 kilometer.

### Onderscheid naar reisklassen

Reizigers hebben vaak de keuze om verschillende reisklassen te kopen voor het vliegtuig. De precieze naamgeving en indeling verschilt per vliegtuig en maatschappij. Over het algemeen zijn er op korte vluchten twee niveaus beschikbaar en op langere vluchten vier. We sluiten aan bij de naamgeving van ISO:

- Economy;
- Premium economy;
- Business;
- First class.

Over het algemeen is het ruimtegebruik van de duurdere plaatsen groter en de bezettingsgraad lager. Het is dus voor de hand liggend om een hogere uitstoot toe te wijzen aan de duurdere reisklassen. De toewijzing baseren wij op de emissiefactoren in (Peeters, Paul; Reinecke, Tamina, 2021). Hierin worden correctiefactoren toegepast die zijn opgesteld op basis van de ruimte per stoel, per klasse, per vliegtuig en luchtvaartmaatschappij. Wij passen de uitkomsten toe op de gemiddelde emissiefactoren (per rkm) die wij berekenen. De correctiefactoren houden rekening met verschillen in bezettingsgraad en ruimtegebruik per reisklasse. De correctiefactoren staan in Tabel 38. Hierin is te zien dat een economy class-passagier 10% minder uitstoot veroorzaakt dan het gemiddelde. Eén first class-passagier veroorzaakt echter 431% meer uitstoot dan een gemiddelde passagier doordat de bezettingsgraad lager is en, met name, het ruimtegebruik groter.

Tabel 38 - Correctiefactoren ten opzichte van gemiddelde emissies luchtvaart (g/rkm) per reisklasse

Reisklasse	Correctiefactor ten opzichte van gemiddelde
Gemiddeld	100%
Economy class	90%
Economy premium	98%
Business class	180%
First class	431%

### Bezettingsgraden

De door Schiphol aangeleverde data bevat informatie over het daadwerkelijke aantal passagiers per vlucht. De uitkomsten zijn zichtbaar in Tabel 39. Over het aantal stoelen is geen informatie beschikbaar waardoor we geen uitspraken over de bezettingsgraad in percentage kunnen geven.

Tabel 39 - Bezetting van vliegtuigen per afstandsklasse

	Gemiddeld aantal passagiers per vlucht
Korte afstand (<1.500 meter)	116
Middellange afstand (1.500-6.000 meter)	183
Lange afstand (>6.000 meter)	375

## 6.12 Vervoer over water

### Voertuigtechnieken en energiedragers

Op dit moment hebben we in deze studie alleen de twee veerboten van de Westerschelde Ferry (WSF) in kaart gebracht. Deze veerboten varen beide op fossiele diesel.

### Vervoersprestatie

De vervoersprestaties hebben wij gebaseerd op het jaarrapport van de Westerschelde Ferry B.V. van 2020. Het jaar 2019 werd gehanteerd voor deze data, omdat de effecten van de coronacrisis op veerdiensten niet representatief zijn voor de komende jaren. Het gaat hier om het aantal afvaarten per jaar en het aantal vervoerde personen per jaar. Voor de afgelegde afstand per afvaart hebben wij (Afstandmeten.nl, lopend) gebruikt.

### Emissiefactor per zitplaatskilometer

Het brandstofverbruik van de WSF hebben wij gebaseerd op het jaarrapport van de Westerschelde Ferry B.V. van 2020. Hieruit hebben wij het energieverbruik kunnen berekenen met behulp van de stookwaarden uit Tabel 40. De energieverbruiksafhankelijke emissies van veerboten hebben wij berekend met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 40. De motorafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van de Emissieregistratie (Emissieregistratie, 2022), (Emissieregistratie, 2003) en het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

### Bezettingsgraden

Uit de vervoersprestatie data van Westerschelde Ferry in combinatie met de capaciteit volgens hun eigen website (Westerschelde Ferry, 2022) van 186 personen hebben we een gemiddelde bezettingsgraad van 24% berekend.

## 6.13 Updates in 2023 en 2024

In de het najaar van 2023 en 2024 worden updates uitgevoerd van de studie, zodat jaarlijks up-to-date-kentallen beschikbaar zijn. In deze paragraaf beschrijven wij kort de beoogde methodiek voor deze updates.

De categorisering van de voertuigen wordt in deze updates in principe niet aangepast. Ook blijft de methodiek van de berekeningen in principe ongewijzigd. Als de categorisering of methodiek van berekening op bepaalde punten wel wordt aangepast zal dit duidelijk worden aangegeven in de update.

Wel worden in ieder geval de volgende aannames jaarlijks geüpdatet:

- samenstelling van het wagenpark;
- emissiefactoren biobrandstoffen;
- emissiefactoren elektriciteit.

Verder zullen wij de berekeningen voor specifieke voertuigcategorieën aanpassen indien er nieuwe bronnen beschikbaar komen die het mogelijk maken om de berekeningen significant te verbeteren.





# Literatuur

- AD, 2022. *Iedereen elektrisch rijden? Prima, maar wat doen we met de batterijenberg?*, AD, 22 maart 2022 <https://www.ad.nl/auto/iedereen-elektrisch-rijden-prima-maar-wat-doen-we-met-de-batterijenberg-a54a1a0f/>.
- Afstandmeten.nl, lopend Afstandmeten.nl [Online] <https://www.afstandmeten.nl/> Oktober/20/2022.
- Auteur, Jaar. Titel. In: CE Delft (ed.) Editie ed. Plaats van uitgave: Uitgever.
- Andersson, Ö. & Börjesson, P., 2021. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. *Applied Energy*, 289, 116621.
- Boeing, 2009. *AERO QTR 02 09*, Seattle: Boeing.
- Buberger, J., Kersten, A., Kuder, M., Eckerle, R., Weyh, T. & Thiringer, T., 2022. Total CO<sub>2</sub>-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112158.
- CBS, 2014. *Verkeersprestaties en jaarkilometrages bromfietsen en motorfietsen*.
- CBS, 2022a. *Auto- en buskilometers naar emissieklasse, 2020*.
- CBS, 2022b *CBS Statline: Auto- en buskilometers naar emissieklasse* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/47/auto-en-buskilometers-naar-emissieklasse-2020>.
- CBS, 2022c. *Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer, 27-10-2022* <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?dl=A0B9>.
- CBS, 2022d. *Statline: Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager*, CBS, June 17, 2022, <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80030NED&D1=1&D2=a&D3=0,2-6,11&D4=14&HDR=T,G1&STB=G3,G2&VW=T> July 27, 2022.
- CBS, 2022e. *StatLine: Personenauto's actief; voertuigkenmerken, regio's, 1 januari*, CBS, 6 juli 2022 <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/85237NED/table?ts=1669210735440>.
- Auteur, Jaar. Titel. Editie ed. Plaats van uitgave: Uitgever.
- CE Delft, 2014. *STREAM Personenvervoer 2014 versie 1.1. : Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten: emissiekentallen 2011*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019. *Handbook on the external costs of transport*, Delft: CE Delft,.
- CE Delft, 2020a. *LCA drie typen personenauto's - Een vergelijking van een benzineauto, batterij-elektrische auto en waterstofauto*, Delft: CE Delft,.
- CE Delft, 2020b. *Review of Dutch rail diesel emissions calculation methodology*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2021a. *Externe kosten van ketenemissies in transport. Een verkennende analyse*, Delft: CE Delft,.

- CE Delft, 2021b. *Externe kosten van ketenemissies van transport. Een verkennende analyse*: CE Delft,.
- CE Delft, 2021c. *STREAM Goederenvervoer 2020 (versie 2)*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2022. *Ketenemissies elektriciteit : Actualisatie elektriciteitsmix 2019*, Delft: CE Delft.
- CEN, 2012. *Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers) 16258:2012 en*, Brussels: European Committee for Standardisation.
- CROW-KpVV, 2020. *Staat van het regionale openbaar vervoer 2019*, Ede: CROW.
- CROW, 2021. *Aantal elektrische deelauto's ruim verdubbeld in 2021*, CROW, 1 november 2021 <https://www.crow.nl/over-crow/nieuws/2021/november/aantal-elektrische-deelauto-s-ruim-verdubbeld#:~:text=Nederland%20beschikt%20in%20het%20voorjaar,blijft%20doorzetten%20en%20versnelt%20zelfs>.
- Davydenko, I. Y., Hopman, W. M. M. & Smokers, R. T. M., 2020. *Carbon Footprinting of Combined Passenger Freight Operations in Aviation Networks*, Den Haag: TNO.
- de Haas, M. H., B., 2022. *Aanschaf en gebruik van de elektrische fiets: Achtergrondrapportage*.
- EASA, 2019. *Milieurapport over de Europese Luchtvaart*: EASA.
- EASA, David S. Lee, Manchester Metropolitan University & CE Delft, 2020. *Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4), Final report*, Cologne: European Union Aviation Safety Agency (EASA).
- Ecoinvent, 2007. *Transport services data v2.0*, Villigen; Uster: Ecoinvent.
- Ecoinvent, 2021 *Ecoinvent database version 3.8* [Online] <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712069-fcebe4bb-f802>.
- EEA, 2019. *1.A.3.a Aviation 1 Master emissions calculator 2019*, European Environment Agency (EEA), <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> juni/2020.
- Electric motorcycles, *Energica EsseEsse9* <https://electricmotorcycles.nl/producten>.
- Elektrabikes, *60.000 km met elektrische fiets*, <https://www.elektrabikes.nl/60000-km-met-elektrische-fiets/#:~:text=Da's%20mooi%20dachten%20we%2C%20gewoon,fiets%20zo%20duur%20nog%20niet>.
- Elektrische Voertuigen Database, *Opel Corsa-e*, <https://ev-database.nl/auto/1585/Opel-Corsa-e>.
- Emissieregistratie, 2003. *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart : verbrandingsmotoren*, Rotterdam: dienst Verkeer en Vervoer.
- Emissieregistratie, 2022. *Emissieregistratie*, <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/export/bron.aspx> 12/10/2020.

- EUROCONTROL, lopend. *Small emitters tool*, EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation), <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool> 2022.
- Fietserbond, 2017. *Lengte fietspaden voor 30 gemeenten*, Fietsersbond, november 29.
- Fraunhofer ISI, C. D., Ramboll, 2020. *Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes*. Auteur, Jaar. Titel. Editie ed. Plaats van uitgave: Uitgever.
- Geilenkirchen, G., Hulskotte, J., Dellaert, S., Ligterink, N. & Sijstermans, M., 2022. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Groothellevoet, 2022 *Aantal motorfietsen in Nederland nadert 800.000* [Online] <https://www.groothellevoet.nl/nieuws/algemeen/169766/aantal-motorfietsen-in-nederland-nadert-800-000#:~:text=De%20registraties%20van%20elektrisch%20aangedreven,als%20op%201%20januari%202020>.
- HBEFA, lopend. *Handbook emission factors for road transport (HBEFA)*, <http://www.hbefa.net/e/index.html> 2022.
- Henderson, J., Boorman, E., Gregson, S. & Cliff, K., 2016. *3.2 degrees Slightly Steeper Approach Trial Report*, London: Trax International.
- IATA, 2014. *Recommended practice 1678 - CO2 measurement methodology*, IATA, March 9 <https://www.iata.org/contentassets/34f5341668f14157ac55896f364e3451/rp-carbon-calculation.pdf>.
- IATA, 2022. *Recommended practice -RP 1726 Passenger CO2 Calculation Methodology*.
- ICAO, 2017. *Carbon Emissions Calculator Methodology*, Montreal: ICAO.
- ICCT, 2019. *CO2 emissions from commercial aviation 2018*, Berlin: International Council on Clean Transportation (ICCT).
- ICCT, 2021. *A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS*: ICCT.
- IKA, 2007. *Roads2hy Deliverable 2.1 and 2.1a: European Hydrogen Infrastructure Atlas" and "Industrial Excess Hydrogen Analysis" PART III: Industrial distribution infrastructure*, Institut für Kraftfahrzeuge (IKA), July 3 [https://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/images/c/c8/Roads2HyCom\\_R2H2007PU\\_-\\_Part\\_III\\_-\\_Industrial\\_H2\\_Distribution.pdf](https://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/images/c/c8/Roads2HyCom_R2H2007PU_-_Part_III_-_Industrial_H2_Distribution.pdf) 2017.
- ISO, 2023. *14083 - Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations*, Geneva: International Organization for Standardization (ISO).
- KiM, 2021. *Deelauto- en deelfietsmobiliteit in Nederland : Ontwikkelingen, effecten en potentie*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM).
- Auteur, Jaar. Titel. Editie ed. Plaats van uitgave: Uitgever.
- NEa, 2021. *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2020 : Naleving verplichtingen wet- en regelgeving Energie voor Vervoer*, <https://www.emissieautoriteit.nl/binaries/nederlandse-emissieautoriteit/documenten/publicatie/2021/07/02/totaalrapportage-energie-voor-vervoer-2020/Rapportage+Energie+voor+vervoer+2020.pdf>.



- NEN, 2018. *Commissieplan 2018 - Normcommissie 364057 - NEC 57 'Bediening op afstand van energievoorzieningsvoorzieningsystemen'*, Delft: NEN Elektro & ICT.
- Panteia, 2022. *TCO-ZET-Vracht*, Zoetermeer: Panteia.
- PBL, 2022. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*, 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.
- Peeters, P. R., Tamina, 2021. *Berekening CO2-emissiefactoren voor Nederlandse luchtvaartpassagiers*, Breda: Breda University of applied sciences.
- Prussi, M., Yugo, M. & al., e., 2020. *JEC Well-To-Wheels report v5 - Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*, Luxembourg: European Union.
- Radar, 2019. *Zijn elektrische auto's wel zo milieuvriendelijk?*, AVROTROS, 12 juli 2019 <https://radar.avrotros.nl/hulp-tips/hulpartikelen/item/zijn-elektrische-autos-wel-zo-milieuvriendelijk/>.
- Ricardo Energy & Environment, 2020. *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA*, Brussels: European Commission (EC).
- Speedpedelec.org, *Speedpedelec : accu*, <https://speedpedelec.org/fietsaccessoires/speed-pedelec-accu/>.
- Stella, *Livorno Superior MDS*, <https://www.stella.nl/p/livorno-superior-mds-polar-blue>.
- SWOV, 2022. *Elektrische fietsen en speed-pedelegs. SWOV-factsheet*.
- TNO, 2015. *Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen*.
- Transport & Environment, 2022. *UPDATE - T&E's analysis of electric car lifecycle CO2 emissions*: Transport & Environment,.
- van Zyl, P. S., van Mensch, P. I., Ligterink, N. E., Dröge, R. & Kadijk, G., 2014. *Update emission model for two-wheeled mopeds*.
- VDL Bus & Coach, *CITEA SLF/SLFA ELECTRIC*, <https://www.vdlbuscoach.com/nl/producten/citea/citea-slf-slfa-electric>.
- Verbeek, M., Smokers, R. & Verbeek, R., 2017. *Onderscheidende kenmerken van brandstoftypen als alternatief voor diesel*, Den Haag: TNO.
- Vilaça, M., Santos, G., Oliveira, M. S. A., Coelho, M. C. & Correia, G. H. A., 2022. Life cycle assessment of shared and private use of automated and electric vehicles on interurban mobility. *Applied Energy*, 310, 118589.
- Westerschelde Ferry, 2022. *Onze boten*, <https://westerschedeferry.nl/portfolio/onze-boten/> Oktober/20/2022.



# A Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

Tabel 40 geeft een overzicht van de emissiefactoren voor verschillende brandstoffen en elektriciteit. Dit zijn grotendeels de emissies die volledig brandstofafhankelijk zijn. Dit wil zeggen dat de emissies niet afhankelijk zijn van de specifieke motor waarin de brandstof wordt verbrand. Dit betreft alle well-to-tank-emissies. Ook de well-to-wheel-CO<sub>2</sub>- en SO<sub>2</sub>-emissies zijn, bij volledige verbranding van de brandstof, onafhankelijk van het motortype. Naast de emissiekentallen hebben wij ook de dichtheid en stookwaarde van de brandstoffen in de tabel opgenomen.

De enige emissies in Tabel 40 die afhangen van het specifieke voertuig waar de brandstof in wordt verbrand zijn de tank-to-wheel overige broeikasgassen (deze komen terug in de CO<sub>2</sub>-eq.-emissies). Omdat de emissies van deze stoffen afhangen van het type voertuig, betreffen de getallen in de tabel dus *representatieve* getallen (die gelden voor gemiddelde personenauto's die reiden op deze brandstoffen).

Tabel 41 en Tabel 42 bevatten kentallen per kilogram en per liter brandstof.

De volgende wijzigingen zijn gemaakt ten opzichte van de versie zoals opgenomen in STREAM Goederenvervoer 2020:

- In de huidige versie zijn brandstofkentallen opgenomen die overeenkomen met brandstoffen zoals je ze kan tanken (dus bijvoorbeeld E10, B7, HVO100). Dit is een aanpassing ten opzichte van de vorige versie van STREAM, waarin gemiddelde brandstofkentallen waren opgenomen.
- De categorie biokerosine is toegevoegd. Omdat nog niet veel biokerosine wordt bijgemengd hebben wij geen emissiekentallen per reizigerskilometer voor luchtvaart met een biokerosineblend berekend. Wel hebben wij emissiekentallen voor de brandstof opgenomen in deze tabel. Het uitgangspunt hierbij is dat de biokerosine bestaat uit HVO.
- We hebben voor alle energiedragers de CO<sub>2</sub>-eq.-emissies van de energie-infrastructuur meegenomen. Dit is in lijn met de adviezen van de toekomstige richtlijn ISO 14083 (ISO, 2023). We hebben ook CO<sub>2</sub>-eq.-emissiekentallen zonder de emissies van energie-infrastructuur opgenomen.
- Wij hebben de emissies van broeikasgassen van elektriciteit (en waterstof die is opgewekt uit elektriciteit<sup>24</sup>) opnieuw bepaald met de huidige stroommix. Hiervoor zijn we uitgegaan van de stroommix uit 2020 volgens (CBS, 2022d), de directe emissies van stroomopwekking uit de KEV 2022 en de ketenemissies van elektriciteitsproductie uit (CE Delft, 2022). De precieze wijze waarop wij de emissiekentallen van elektriciteit hebben bepaald hebben wij in Bijlage F opgenomen.
- De nieuwste kentallen uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer zijn opgenomen (Geilenkirchen et al., 2022). Dit heeft geleid tot volgende aanpassingen:
  - de stookwaarde is aangepast voor fossiele benzine, bio-ethanol en LPG;
  - de SO<sub>2</sub>-emissies van fossiele benzine zijn aangepast.

<sup>24</sup> Voor de CO<sub>2</sub>-emissies van waterstof opgewekt uit elektriciteit rekenen wij ten eerste de emissies van de stroom die moet worden opgewekt om de waterstof te produceren. Daarnaast rekenen wij 9,5 gCO<sub>2</sub>-eq. per MJ waterstof voor compressie en transport van de brandstof (Prussi et al., 2020).

Wij hebben de emissies van biobrandstoffen aangepast op basis van de samenstelling van biobrandstoffen in 2020 (NEa, 2021). Wij hebben de well-to-tank-emissies van luchtvervuilende stoffen en CO<sub>2</sub>-eq. opnieuw bepaald op basis van de nieuwste versie van de Ecoinvent-database (Ecoinvent, 2021).

Tabel 40 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO<sub>2</sub>/MJ)

Type brandstof	Dichtheid (kg/liter)	Stookwaarde (MJ/kg)	Well-to-wheel (g/MJ)		Tank-to-wheel (g/MJ)			Well-to-tank (g/MJ)					
			CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	0,75	43,3	94,6	96,3	73,0	74,3	0,0005	20,3	21,9	0,04	0,005	0,042	0,10
Bio-ethanol (benzinevervangers)	0,75	27,9	26,3	30,7	0,0	1,3	0,0001	25,0	29,3	0,11	0,026	0,126	0,07
Benzine E10	0,75	41,8	90,1	91,9	68,1	69,5	0,0001	20,6	22,4	0,05	0,006	0,048	0,10
Benzine E85	0,75	30,2	41,1	44,8	15,7	17,1	0,0001	24,0	27,7	0,09	0,022	0,108	0,07
LPG	0,54	45,2	74,4	76,0	66,7	67,5	0,0002	6,9	8,5	0,06	0,006	0,039	0,10
CNG	0,17	38,0	68,6	69,2	56,4	59,3	0,0002	9,3	9,8	0,01	0,000	0,091	0,01
Bio-CNG	0,17	38,0	26,9	27,4	0,0	2,9	0,0002	24,0	24,5	0,00	0,001	0,048	0,02
Diesel fossiel	0,84	43,2	96,0	97,7	72,5	73,4	0,0004	22,6	24,3	0,04	0,004	0,031	0,09
Diesel FAME	0,88	37,5	13,2	14,0	0,0	0,9	0,0004	12,3	13,1	0,02	0,039	0,082	0,02
Diesel B7	0,84	42,8	90,7	92,3	67,8	68,8	0,0004	21,9	23,6	0,04	0,006	0,035	0,08
Diesel B30	0,84	42,0	72,1	73,5	51,7	52,7	0,0004	19,4	20,8	0,03	0,012	0,043	0,07
Diesel HVO100	0,79	44,0	10,0	10,3	0,0	0,9	0,0002	9,1	9,4	0,01	0,006	0,030	0,01
Diesel GTL	0,78	44,0	95,2	97,4	70,9	71,8	0,0002	23,4	25,6	0,03	0,009	0,148	0,05
Elektriciteit - NL gemiddelde mix <sup>2</sup>	-	-	93,6	95,6	-	-	-	93,6	95,6	0,06	0,002	0,025	0,13
Elektriciteit - 100% groen excl. bio <sup>2</sup>	-	-	-	8,6	-	-	-	-	8,6	-	-	-	-
Elektriciteit - 100% grijs <sup>2</sup>	-	-	126,6	126,9	-	-	-	126,6	126,9	0,06	0,002	0,031	0,17
H <sub>2</sub> Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	-	120,0	171,7	175,1	-	-	-	171,7	175,1	0,10	0,004	0,044	0,22
H <sub>2</sub> Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	-	120,0	9,5	24,4	-	-	-	9,5	24,4	-	-	-	-
H <sub>2</sub> Fuel cell - steam reforming	-	120,0	104,3	105,6	-	-	-	104,3	105,6	0,05	0,002	0,151	0,03
Kerosine (luchtvaart)	0,80	43,5	92,0	93,6	71,50	72,05	0,0227	20,0	21,6	0,04	0,004	0,029	0,08
Biokerosine (rapeseed)	0,77	44,0	48,0	48,3	0,00	0,55	0,0011	47,5	47,8	0,01	0,006	0,030	0,01

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door 'indirect land use change' (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 8,9 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ. Bij E10 betreft dit 0,6 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ en bij E85 7,0 gCO<sub>2</sub>-eq./MJ.

<sup>2</sup> Dit zijn gemiddelde kentallen die gelden voor gebruik van stroom. In de praktijk maakt het ook uit hoe de stroom getransformeerd moet worden van het stroomnet: voor wegverkeer is dit over het algemeen laagspanning, terwijl stroom voor railverkeer over het algemeen stroom op midden spanningsniveau is. We hebben hier correcties voor toegepast bij de berekening van emissies van elektrische voertuigen.



Tabel 41 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO<sub>2</sub>/kg)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/kg)		Tank-to-wheel (g/kg)			Well-to-tank (g/kg)					
	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	4.098	4.169	3.161	3.219	0,020	879	950	1,8	0,2	1,8	4,5
Bio-ethanol (benzinevervangers)	735	856	-	37	0,003	698	818	3,0	0,7	3,5	1,8
Benzine E10	3.763	3.839	2.846	2.902	0,005	861	937	1,9	0,3	2,0	4,2
Benzine E85	1.241	1.354	475	516	0,004	725	838	2,8	0,7	3,3	2,2
LPG	3.362	3.435	3.015	3.050	0,009	312	385	2,8	0,3	1,8	4,7
CNG	2.608	2.628	2.143	2.255	0,008	353	374	0,5	0,0	3,5	0,5
Bio-CNG	1.024	1.041	-	112	0,008	912	929	0,2	0,0	1,8	0,7
Diesel fossiel	4.149	4.222	3.132	3.172	0,019	976	1.049	1,7	0,2	1,4	3,8
Diesel FAME	496	526	-	35	0,014	461	491	0,9	1,5	3,1	0,7
Diesel B7	3.880	3.950	2.902	2.942	0,019	939	1.008	1,6	0,3	1,5	3,6
Diesel B30	3.029	3.088	2.173	2.212	0,017	817	876	1,4	0,5	1,8	2,8
Diesel HVO100	441	455	-	41	0,010	400	414	0,5	0,3	1,3	0,3
Diesel GTL	4.190	4.285	3.120	3.161	0,009	1.030	1.124	1,2	0,4	6,5	2,1
H <sub>2</sub> Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	20.609	21.017	-	-	-	20.609	21.017	11,4	0,5	5,2	26,5
H <sub>2</sub> Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	1.140	2.930	-	-	-	1.140	2.930	-	-	-	-
H <sub>2</sub> Fuel cell - steam reforming	12.516	12.674	-	-	-	12.516	12.674	5,5	0,2	18,1	3,7
Kerosine (luchtvaart)	4.004	4.073	3.110	3.134	0,989	870	939	1,6	0,2	1,3	3,4
Biokerosine (rapeseed)	2.114	2.127	0	24	0,050	2.090	2.103	0,5	0,3	1,3	0,3

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door 'indirect land use change' (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 385 gCO<sub>2</sub>-eq./kg. Bij E10 betreft dit 26 gCO<sub>2</sub>-eq./kg en bij E85 303 gCO<sub>2</sub>-eq./kg.

Tabel 42 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO<sub>2</sub>/L)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/L)		Tank-to-wheel (g/L)			Well-to-tank (g/L)					
	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq.	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -eq. ex. infra	CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
Benzine fossiel	3.073	3.127	2.371	2.414	0,015	659	713	1,4	0,2	1,4	3,4
Bio-ethanol (benzinevervangers)	550	640	-	28	0,002	522	612	2,3	0,5	2,6	1,4
Benzine E10	2.821	2.878	2.133	2.176	0,004	645	703	1,4	0,2	1,5	3,2
Benzine E85	928	1.013	356	386	0,003	542	627	2,1	0,5	2,4	1,7
LPG	1.802	1.841	1.616	1.635	0,005	167	207	1,5	0,1	0,9	2,5
CNG	435	438	357	376	0,001	59	62	0,1	0,0	0,6	0,1
Bio-CNG	171	173	-	19	0,001	152	155	0,0	0,0	0,3	0,1
Diesel fossiel	3.468	3.529	2.618	2.652	0,016	816	877	1,4	0,1	1,1	3,2
Diesel FAME	437	463	-	31	0,012	406	433	0,8	1,3	2,7	0,6
Diesel B7	3.256	3.315	2.435	2.468	0,016	787	846	1,4	0,2	1,2	3,0
Diesel B30	2.552	2.602	1.831	1.864	0,015	688	738	1,2	0,4	1,5	2,4
Diesel HVO100	347	357	-	32	0,008	314	325	0,4	0,2	1,0	0,3
Diesel GTL	3.268	3.342	2.433	2.465	0,007	803	877	1,0	0,3	5,1	1,6
Kerosine (luchtvaart)	3.203	3.258	2.488	2.507	0,791	696	751	1,3	0,1	1,0	2,7
Biokerosine (rapeseed)	1.628	1.638	-	18	0,039	1609	1620	0,4	0,2	1,0	0,3

<sup>1</sup> In deze kentallen zijn emissies door 'indirect land use change' (ILUC) niet meegenomen. De kentallen zijn dus representatief voor benzinevervangers die op een duurzame manier zijn opgewekt. Indien dit niet het geval is, en er sprake is van ILUC, zouden de well-to-tank-CO<sub>2</sub>-eq.emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 288 gCO<sub>2</sub>-eq./L. Bij E10 betreft dit 19 gCO<sub>2</sub>-eq./L en bij E85 227 gCO<sub>2</sub>-eq./L.



# B Gedetailleerde vervoersprestatie

## B.1 Personenauto

De vervoersprestatie van verschillende Euroklassen personenauto's hebben wij gebaseerd op aangeleverde data door het CBS (CBS, 2022a). De verdeling naar verschillende wegtypen hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022). Wij hebben voor alle typen personenauto's dezelfde gemiddelde verdeling over wegtypen aangenomen (zie Tabel 43). In de praktijk is er een verschil tussen het aandeel van de wegtypen voor verschillende soorten personenauto's. We hebben deze verschillen niet meegenomen, zodat een betere vergelijking tussen het type auto's kan worden gemaakt.

Tabel 43 - Verdeling over wegtypen van personenauto's in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	21%
Buitenwegen	36%
Snelwegen	42%

De gemiddelde personenauto is een gewogen gemiddelde van verschillende typen personenauto's op basis van het aandeel in de vervoersprestatie. Tabel 44 geeft een overzicht van de weging van de gehanteerde weging.

Tabel 44 - Weging van verschillende typen personenauto's in de gemiddelde personenauto

Type personenauto	Aandeel in vervoersprestatie
Benzine	71,6%
Diesel	23,3%
LPG	1,4%
CNG	0,2%
Batterij-elektrisch	2,3%
Brandstofcel	0,0%
Plug-in hybride	1,1%

De individuele typen personenauto's zijn op zichzelf weer een samenstelling van verschillende Euroklassen. De aandelen van de verschillende Euroklassen in de vervoersprestatie zijn weergegeven in Tabel 45 tot Tabel 47.

Tabel 45 - Inschatting van het aandeel van benzine-, LPG- en CNG-personeauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020

Euroklasse	Benzine	LPG	CNG
Pre-Euro (<1992)	1%	4%	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%	1%	0%
Euro 2 (1996-1999)	5%	7%	0%
Euro 3 (2000-2005)	8%	15%	0%
Euro 4 (2005-2010)	29%	42%	6%
Euro 5 (2009-2013)	24%	23%	22%
Euro 6 (>2014)	33%	8%	72%

Tabel 46 - Inschatting van het aandeel van dieselpersoneauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020

Euroklasse	Diesel
Pre-Euro (<1992)	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%
Euro 2 (1996-1999)	1%
Euro 3 (2000-2005)	5%
Euro 4 (2005-2010)	14%
Euro 5 (2009-2013)	39%
Euro 6A (2014-2019)	37%
Euro 6D (>2020)	5%

Tabel 47 - Inschatting van het aandeel van zero-emissie-personeauto's in de vervoersprestatie in 2020

Type personeauto	Aandeel in vervoersprestatie
Plug-in hybride - benzine	
Euro 5 (2009-2013)	30%
Euro 6A (2014-2019)	70%
Plug-in hybride - diesel	
Euro 5 (2009-2013)	58%
Euro 6A (2014-2019)	37%
Euro 6D (>2020)	5%
Zero-emissie	
Batterij-elektrisch	100%
Waterstof	0%

## B.2 Motorfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van motorfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 48) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Tabel 48 - Verdeling over wegtypen van motorfietsen in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	15%
Buitenwegen	43%
Snelwegen	42%

In januari 2020 reden er slechts 700 elektrische motorfietsen rond, wat een zeer beperkt aandeel is in het totaal van ongeveer 800.000 motorfietsen (Groothellevoet, 2022). Om deze reden hebben wij elektrische motorfietsen niet meegewogen in het totaal: de gemiddelde motorfiets is dus gelijk aan de gemiddelde benzinemotorfiets.

De meest recente bron die een verdeling van de Euroklassen van motorfietsen geeft is uit 2014 (CBS, 2014). De aandelen per Euroklasse van 2014 zijn sterk verouderd en niet meer bruikbaar. We hebben daarom, bij gebrek aan recentere data, aangenomen dat de leeftijdsverdeling in 2020 identiek is aan de situatie in 2014. De leeftijdsverdeling van motorfietsen volgens deze bron is samengevat in Tabel 49. Dit vertaalt zich naar de verdeling over de Euroklassen zoals weergegeven in Tabel 50. Het moet worden benadrukt dat deze aannames dus een inschatting zijn die niet gebaseerd is op een analyse van het motorfietsenpark in 2020.

Tabel 49 - Leeftijdsverdeling van motorfietsen in 2014

Leeftijd motorfiets	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
0-4 jaar	11%
5-9 jaar	18%
10-14 jaar	20%
15-19 jaar	16%
20 jaar en ouder	35%

Tabel 50 - Inschatting van het aandeel van motorfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	23%
Euro 1	1999-2002	16%
Euro 2	2003-2005	12%
Euro 3	2006-2015	38%
Euro 4	2016-2019	11%
Euro 5	2020	0%

### B.3 Bromfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van bromfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 51) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2022).

Tabel 51 - Verdeling over wegtypen van bromfietsen in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	69%
Buitenwegen	31%
Snelwegen	0%

De meest recente bron die een verdeling van de Euroklassen van bromfietsen geeft is uit 2014 (CBS, 2014). De leeftijdsverdeling van bromfietsen volgens deze bron is samengevat in Tabel 52. Deze informatie is echter zo verouderd dat het geen betrouwbare inschatting van de emissies voor 2020 geeft: alle nieuwe voertuigen die sinds 2014 zijn aangeschaft zouden wij hier niet in meenemen.

Tabel 52 - Leeftijdsverdeling van bromfietsen in 2014

Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
t/m 2005	36%
2006	3%
2007	4%
2008	8%
2009	10%
2010	10%
2011	9%
2012	8%
2013	8%
2014	4%

Om deze reden hebben wij de keuze gemaakt om zelf een inschatting te maken van de leeftijdsverdeling van bromfietsen in 2020. Hierbij is aangenomen dat de leeftijdsverdeling in 2020 identiek is aan de situatie in 2014. Dit vertaalt zich naar de verdeling over de Euroklassen zoals weergegeven in Tabel 53. De volgende aannames zijn gemaakt:

1. De helft van de bromfietsen met bouwjaar t/m 2005 is pre-Euro en de helft is Euro 2.
2. De helft van de Euro 2-bromfietsen is 2-takt en de helft is 4-takt. Dit is een grove inschatting op basis van de verkoop van 2-takt- en 4-takt-bromfietsen in verschillende jaren op basis van (CBS, 2014).
3. Van de bromfietsen die tussen 2017-2019 zijn aangeschaft is een deel elektrisch (i.p.v. Euro 4). Op 1 januari 2020 waren er 35.000 elektrische snor- en bromfietsen in het wagenpark.

Wij benadrukken dat deze aannames een inschatting zijn die niet gebaseerd is op een betrouwbare analyse van het bromfietsenpark in 2020.

Tabel 53 - Inschatting van het aandeel van bromfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	18%
Euro 2 (2-takt)	2002-2014	22%
Euro 2 (4-takt)	2002-2014	22%
Euro 3	2015-2016	19%
Euro 4	2017-2019	18%
Euro 5	2020-heden	0%
Elektrisch	-	1%

## B.4 Fiets

De vervoersprestatie van gewone en elektrische fietsen is gebaseerd op basis van (de Haas, 2022). Op basis van (SWOV, 2022) concluderen we dat er in oktober 2021 slechts 26.000 speed pedelecs waren in Nederland ten opzichte van ruim 3 miljoen elektrische fietsen. Het aandeel speel pedelecs is dus tot nog toe verwaarloosbaar. De procentuele aandelen van de verschillende typen fietsen in het gemiddelde zijn samengevat in Tabel 54.

Tabel 54 - Weging van verschillende typen fietsen in een gemiddelde fiets in 2020 (SWOV, 2022)

Type fiets	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Gewone fiets	77%
Elektrische fiets	23%
Buitenwegen	0%

## B.5 Personenbusje

Aangezien we geen specifieke informatie hebben over de vervoersprestatie van personenbusjes, is aangenomen dat zowel de verdeling naar wegtype (zie Tabel 55) als de verdeling naar Euroklassen (zie Tabel 56) gelijk is aan die van bestelauto's volgens (Geilenkirchen et al., 2022). Waarschijnlijk is ook een beperkt aandeel van de personenbussen elektrisch. Wij hebben dit echter niet meegenomen in de gemiddelde personenbus, omdat het aandeel elektrische personenbussen ons niet bekend is.

Tabel 55 - Aangenomen verdeling naar wegtype van personenbusjes

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	40%
Buitenwegen	30%
Snelwegen	30%

Tabel 56 - Aangenomen verdeling van Euroklassen personenbusjes

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro (<1992)	0%
Euro 1 (1992-1999)	0%
Euro 2 (1997-2001)	0%
Euro 3 (2000-2006)	4%
Euro 4 (2005-2010)	15%
Euro 5 (2009-2016)	34%
Euro 6A (2014-2019)	39%

## B.6 Ov-bus

De verdeling over de wegtypen is gebaseerd op (Geilenkirchen et al., 2022) en samengevat in Tabel 57.

Tabel 57 - Verdeling over wegtypen van ov-bussen in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	58%
Buitenwegen	32%
Snelwegen	11%

De weging van verschillende typen ov-bussen in het gemiddelde is gebaseerd op aangeleverde data van het CBS. De weging op basis van het aandeel in de vervoersprestatie hebben wij samengevat in Tabel 58.

Tabel 58 - Weging van verschillende typen ov-bussen in een gemiddelde ov-bus in 2020

Type ov-bus	Aandeel in vervoersprestatie
Diesel	56%
HVO	3%
CNG	29%
Batterij-elektrisch	12%
Waterstof	0%

De verschillende typen ov-bussen zijn weer samengesteld als een gewogen gemiddelde van verschillende Euroklassen. Deze weging hebben wij gebaseerd op aangeleverde data door het CBS (CBS, 2022b). De aandelen van de verschillende Euroklassen in de vervoersprestatie hebben wij opgenomen in Tabel 59 en Tabel 60.

Tabel 59 - Vervoersprestatie diesel-ov-bussen in 2020

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	0%
Euro 1	0%
Euro 2	0%
Euro 3	1%
Euro 4	0%
Euro 5 EGR	5%
Euro 5 EGR	38%
Euro 6	56%

Tabel 60 - Vervoersprestatie CNG ov-bussen in 2020

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Euro 5	33%
Euro 6	67%

## B.7 Touringcar

De vervoersprestatie van verschillende typen touringcars op Nederlandse wegen (zie Tabel 61) is gebaseerd op speciaal aangeleverde data van het CBS (CBS, 2022b). De vervoersprestaties omvatten alle gereden kilometers door Nederlandse én buitenlandse touringcars op Nederlandse wegen. Een uitsplitsing naar gereden kilometers van alleen Nederlandse touringcars is niet beschikbaar. Door verschillen in de leeftijd en Euroklasse touringcar in de buitenlandse touringcarvloot kan het voorkomen dat de daadwerkelijke gemiddelde uitstoot per reizigerskilometer met een Nederlandse touringcar een (geringe) afwijking heeft.

De verdeling van vervoersprestaties naar wegtypen (zie Tabel 62) is gebaseerd op een expertinschatting in overleg met KNV.

Verder gaan wij ervan uit dat een gemiddelde touringcar gelijk is aan een gemiddelde dieseltouringcar. Er zijn namelijk momenteel verwaarloosbaar weinig touringcars met een andere aandrijflijn. Wel komt het voor dat er HVO wordt gebruikt op verzoek van de partij waar de rit voor wordt uitgevoerd. Er zijn echter geen goede statistieken bekend voor het aandeel HVO dat wordt bijgemengd door touringcars en dit aandeel is waarschijnlijk nog zeer beperkt. Om deze reden hebben wij gebruik van HVO niet meegewogen in de gemiddelde touringcar.

Tabel 61 - Vervoersprestatie van touringcars per Euroklasse

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	tot 1993	4%
Euro 1	1990-1997	4%
Euro 2	1994-2001	4%
Euro 3	2000-2006	6%
Euro 4	2005-2009	5%
Euro 5	2009-2013	26%
Euro 6	2012-heden	53%

Tabel 62 - Verdeling over wegtypen van touringcars in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	25%
Buitenwegen	25%
Snelwegen	50%

## B.8 Trein

Voor de vervoersprestatie van NS-treinen gaan wij uit van data die op verzoek is aangeleverd door NS. Informatie over de vervoersprestatie van regionale stoptreinen is op verzoek geleverd door het CROW<sup>25</sup>. Het jaar 2019 werd gehanteerd voor deze data, omdat de effecten van de coronacrisis op het ov niet representatief zijn voor de komende jaren. De geleverde informatie hebben wij samengevat in Tabel 33.

<sup>25</sup> Dit is data die onderliggend is voor de studie 'De Staat van het Regionale OV 2019' (CROW-KpVV, 2020).

Wij hebben internationale treinen niet apart meegewogen in het kental voor de gemiddelde trein. De kentallen voor gemiddelde treinen zijn dus representatief voor gemiddelde treinen van NS en van regionale vervoerders.

In de praktijk zijn er dieseltreinen die op HVO rijden. Wij hebben hier aparte kentallen voor berekend. In de gemiddelde trein hebben wij dieseltreinen echter meegewogen als treinen die op fossiele diesel rijden, omdat wij niet op de hoogte zijn van het aandeel treinen dat op HVO rijdt.

Tabel 63 - Vervoersprestatie treinen in 2019

Categorie	Reizigerskilometers (mld)	Zitplaatskilometers (mld)
Stoptrein NS	1,4	5,3
Intercity	13	40
HSL	3,6	15
Stoptrein regionaal (diesel)	0,6	2,5
Stoptrein regionaal (elektrisch)	0,5	2,1

## B.9 Tram en metro

### Vervoersprestatie

De vervoersprestatie van trams en metro's in 2019 werd op verzoek aangeleverd door Duinn. Het jaar 2019 werd gekozen omdat de vervoersprestatie door de coronacrisis vanaf 2020 zeer afwijkend is van andere jaren. De vervoersprestatie van trams en metro's is weergegeven in Tabel 64.

Tabel 64 - Vervoersprestatie trams en metro's in 2019

Categorie	Reizigerskilometers (mld)	Zitplaatskilometers (mld)
Tram	0,8	2,3
Metro	1,2	1,4

## B.10 Luchtvaart

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. De vluchtpatronen zijn vergelijkbaar met 2019 waardoor het beeld representatief is voor de luchtvaart voor de coronatijd.



## C Methodiek uitsplitsing personenauto's naar segment

Het energieverbruik en de emissies van personenauto's verschillen per segment. Dit komt voornamelijk omdat het gewicht en type motor per segment verschillend is. Om deze reden hebben wij, naast de uitsplitsing naar Euroklasse, ook een uitsplitsing naar segment gemaakt. In deze bijlage lichten wij de gehanteerde methodiek toe.

Wij hebben de volgende segmenten onderscheiden zoals weergegeven in Tabel 65.

Tabel 65 - Classificering van segmenten

Segment	Representatieve modellen personenauto
A - Submini's	Citroën C1, Toyota Aygo, Volkswagen Up
B - Kleine auto's	Ford Fiesta, Volkswagen Polo, Opel Corsa
C - Kleine middenklasse	Ford Focus, Volkswagen Golf, Audi A3
D - Middenklasse	Audi A4, Peugeot 508, Opel Insignia
E - Hogere middenklasse	Volvo S90, BMW 5 Serie, Mercedes-Benz E-Klasse
F - Grote auto's	Audi A8, Mercedes-Benz S-klasse, Jaguar XJ
G - Sportieve modellen	Mazda MX-5, Audi TT, Mercedes-Benz SLC
H - Sportauto	Porsche 911, McLaren 570S
I - Groot en luxueus	Rolls Royce Ghost, Bentley Mulsanne, Aston Martin Rapide

Wij hebben ons gebaseerd op door BOVAG aangeleverde data over:

- de gemiddelde WLTP-emissies van personenauto's per segment (zie Tabel 66);
- het aantal voertuigen in Nederland per segment (zie Tabel 67).

Wij hebben in onze analyse slechts gerekend met segmenten binnen een type brandstof waar meer dan 2.000 voertuigen van staan ingeschreven op Nederlandse wegen. De reden hiervoor is dat bij de kleinere categorieën er een relatief grote kans is dat één specifiek voertuigtype dominant is (en tot vertekende resultaten kan leiden).

Tabel 66 - WLTP-emissies per voertuigkilometer per segment

Segment	Benzine	Diesel
A	116	146
B	132	174
C	149	199
D	171	156
E	216	194
F	223	225
G	177	N.b.
H	257	N.b.
I	293	N.b.

N.b.: Niet beschikbaar.

Tabel 67 - Aantal voertuigen in Nederland per segment (duizenden)

Segment	Benzine	Diesel
A	1.579	285
B	2.361	508
C	2.095	549
D	608	187
E	182	120
F	30	45
G	89	<2
H	57	<2
I	7	<2

### Stap 1: Check methodeverschil WLTP en stream

De WLTP-emissies wijken af van de praktijkemissies die wij hanteren in STREAM. Om deze reden hebben wij ten eerste een check uitgevoerd of de gewogen gemiddelde tank-to-wheel-CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's volgens STREAM (147,3 g/vkm) sterk afwijken van de gewogen gemiddelde emissies volgens de WLTP-waarden (148,1 g/vkm). De afwijking van 1% hebben wij als acceptabel beoordeeld.

### Stap 2: Energieverbruik per voertuigkilometer

Ten tweede hebben wij met behulp van Tabel 40 de gecombineerde WLTP-emissies van benzine- en dieselauto's omgerekend naar een correctiefactor van energieverbruik per kilometer ten opzichte van het gemiddelde.

Tabel 68 - Correctiefactor energieverbruik t.o.v. het gemiddelde

Segment	Correctiefactor t.o.v. gemiddelde
A - Submini's	82%
B - Kleine auto's	95%
C - Kleine middenklasse	108%
D - Middenklasse	114%
E - Hogere middenklasse	141%
F - Grote auto's	152%
G - Sportieve modellen	120%
H - Sportauto	174%
I - Groot en luxueus	199%

Een alternatieve aanpak zou zijn om aparte correctiefactoren te bepalen per brandstofsoort. Wij hebben echter verkozen om één set correctiefactoren toe te passen op alle segmenten omdat voornamelijk het verschil in gewicht en omvang relevant is voor de verschillen in emissies. Ook vergroot deze methode de vergelijkbaarheid tussen verschillende brandstofsoorten en de toepasbaarheid van de correctiefactoren voor modellen auto's die in 2020 nog niet op de weg reden.

### Stap 3: Welke emissies zijn afhankelijk van het segment?

Wij hebben de emissies in twee categorieën verdeeld:

1. **Emissies die afhankelijk zijn van het segment.** Voor deze emissies hebben wij aangenomen dat de correctiefactor ten opzichte van het gemiddelde (zie Stap 2) wordt toegepast. Het betreft het energieverbruik en de emissies van CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> en SO<sub>2</sub>.
2. **Emissies die onafhankelijk van het segment.** Dit betreft emissies die in de Euroklasse worden gereguleerd, namelijk PM, NO<sub>x</sub> en NMVOS. Wij hebben ook aangenomen dat de emissies van EC en fijnstof van slijtage onafhankelijk zijn van het segment. Het is aannemelijk dat fijnstof van slijtage wel hoger is bij zwaardere personenauto's. Bij gebrek aan data hebben wij dit echter niet kunnen kwantificeren.

Dit is een grove classificatie die in sommige situaties zal afwijken van de werkelijkheid.

# D Uitkomsten luchtvaart alternatief

## D.1 Emissies per LTO

Tabel 69 - Gram uitstoot per LTO per reiziger

Afstandsklasse	Reisklasse	WTW	TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10-sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq ex. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Gemiddeld	Gemiddeld	27.816	21.736	65	0,37	1,16	6.080	435	14	1,9
Gemiddeld	Economy class	25.078	19.596	58	0,33	1,05	5.481	392	12	1,7
Gemiddeld	Economy premium	26.719	20.879	62	0,36	1,12	5.840	418	13	1,8
Gemiddeld	Business class	50.394	39.379	117	0,67	2,10	11.015	788	25	3,4
Gemiddeld	First class	132.352	103.422	308	1,76	5,53	28.929	2.068	65	9,0
Korte afstand	Gemiddeld	32.824	25.649	24	0,15	1,53	7.175	513	16	2,2
Korte afstand	Economy class	29.593	23.124	22	0,13	1,38	6.468	462	15	2,0
Korte afstand	Economy premium	31.530	24.638	24	0,14	1,47	6.892	493	16	2,2
Korte afstand	Business class	59.467	46.469	44	0,27	2,78	12.998	929	29	4,1
Korte afstand	First class	156.180	122.042	116	0,71	7,29	34.138	2.441	77	10,7
Middellange afstand	Gemiddeld	23.598	18.440	66	0,36	0,97	5.158	369	12	1,6
Middellange afstand	Economy class	21.275	16.624	60	0,32	0,88	4.650	332	10	1,5
Middellange afstand	Economy premium	22.667	17.713	64	0,34	0,93	4.955	354	11	1,5
Middellange afstand	Business class	42.752	33.407	120	0,64	1,76	9.345	668	21	2,9
Middellange afstand	First class	112.281	87.739	315	1,69	4,62	24.542	1.755	55	7,7
Lange afstand	Gemiddeld	20.540	16.051	162	0,94	0,47	4.490	321	10	1,4
Lange afstand	Economy class	18.518	14.471	146	0,84	0,43	4.048	289	9	1,3
Lange afstand	Economy premium	19.730	15.418	156	0,90	0,46	4.313	308	10	1,3
Lange afstand	Business class	37.213	29.079	294	1,70	0,86	8.134	582	18	2,5
Lange afstand	First class	97.734	76.371	772	4,46	2,26	21.363	1.527	48	6,7

\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

## D.2 Emissies met 100 + 50 kg allocatie

### D.2.1 Per reizigerskilometer

Tabel 70 - Gram uitstoot per reizigerskilometer vliegtuig

Afstandsklasse	Reisklasse	WTW	TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10-sl</sub>	CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq ex. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Gemiddeld	Gemiddeld	102	80	0,38	0,0036	0,0004	22	22	0,050	0,007
Gemiddeld	Economy class	92	72	0,35	0,0033	0,0004	20	20	0,045	0,006
Gemiddeld	Economy premium	98	77	0,37	0,0035	0,0004	21	21	0,048	0,007
Gemiddeld	Business class	185	145	0,69	0,0066	0,0007	40	40	0,090	0,013
Gemiddeld	First class	485	380	1,82	0,0173	0,0019	105	105	0,237	0,033
Korte afstand	Gemiddeld	141	110	0,48	0,0042	0,0021	31	31	0,069	0,010
Korte afstand	Economy class	127	100	0,43	0,0038	0,0019	28	28	0,062	0,009
Korte afstand	Economy premium	135	106	0,46	0,0041	0,0021	29	29	0,066	0,009
Korte afstand	Business class	255	200	0,86	0,0076	0,0039	56	56	0,125	0,017
Korte afstand	First class	671	525	2,27	0,0201	0,0102	146	146	0,328	0,046
Middellange afstand	Gemiddeld	100	78	0,36	0,0031	0,0003	22	22	0,049	0,007
Middellange afstand	Economy class	90	70	0,32	0,0028	0,0003	20	20	0,044	0,006
Middellange afstand	Economy premium	96	75	0,34	0,0030	0,0003	21	21	0,047	0,007
Middellange afstand	Business class	181	141	0,65	0,0057	0,0006	39	39	0,088	0,012
Middellange afstand	First class	474	371	1,70	0,0150	0,0016	103	103	0,232	0,032
Lange afstand	Gemiddeld	95	74	0,38	0,0037	0,0001	21	21	0,046	0,006
Lange afstand	Economy class	85	67	0,34	0,0034	0,0001	19	19	0,042	0,006
Lange afstand	Economy premium	91	71	0,36	0,0036	0,0001	20	20	0,044	0,006
Lange afstand	Business class	171	134	0,68	0,0068	0,0001	37	37	0,084	0,012
Lange afstand	First class	450	352	1,79	0,0178	0,0003	98	98	0,220	0,031

\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

## D.2.2 Per LTO

Tabel 71 - Gram uitstoot per LTO per reiziger

Afstandsklasse	Reisklasse	WTW	TTW				WTT			
		CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2,5v</sub>	PM <sub>10-st</sub>	CO <sub>2</sub> -eq incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq ex. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Gemiddeld	Gemiddeld	28.087	21.948	68	0,39	1,16	6.139	439	14	1,9
Gemiddeld	Economy class	25.322	19.787	62	0,35	1,05	5.535	396	12	1,7
Gemiddeld	Economy premium	26.980	21.083	66	0,37	1,12	5.897	422	13	1,8
Gemiddeld	Business class	50.886	39.763	124	0,71	2,10	11.123	795	25	3,5
Gemiddeld	First class	133.644	104.432	325	1,85	5,53	29.212	2.089	66	9,1
Korte afstand	Gemiddeld	32.828	25.652	24	0,15	1,53	7.175	513	16	2,2
Korte afstand	Economy class	29.596	23.127	22	0,13	1,38	6.469	463	15	2,0
Korte afstand	Economy premium	31.533	24.641	24	0,14	1,47	6.892	493	16	2,2
Korte afstand	Business class	59.474	46.474	44	0,27	2,78	13.000	929	29	4,1
Korte afstand	First class	156.198	122.056	116	0,71	7,29	34.142	2.441	77	10,7
Middellange afstand	Gemiddeld	23.806	18.603	68	0,36	0,97	5.204	372	12	1,6
Middellange afstand	Economy class	21.463	16.771	61	0,33	0,88	4.691	335	11	1,5
Middellange afstand	Economy premium	22.867	17.869	65	0,35	0,93	4.998	357	11	1,6
Middellange afstand	Business class	43.130	33.702	123	0,66	1,76	9.427	674	21	2,9
Middellange afstand	First class	113.273	88.514	324	1,73	4,62	24.759	1.770	56	7,7
Lange afstand	Gemiddeld	20.600	16.097	162	0,94	0,47	4.503	322	10	1,4
Lange afstand	Economy class	18.572	14.512	146	0,84	0,43	4.059	290	9	1,3
Lange afstand	Economy premium	19.788	15.462	156	0,90	0,46	4.325	309	10	1,4
Lange afstand	Business class	37.321	29.163	294	1,69	0,86	8.158	583	18	2,6
Lange afstand	First class	98.017	76.592	773	4,45	2,26	21.424	1.532	48	6,7

\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

# E Achtergrondinformatie LCAs

## E.1 Overzicht gebruikte bronnen

### **STREAM Goederenvervoer (CE Delft, 2021c)**

STREAM Goederenvervoer 2020 is een handboek met emissiekentallen per tonkilometer voor weg, spoor, binnenvaart, zeevaart en luchtvaarttransport. In STREAM Goederenvervoer is tevens gekeken naar de LCA van verschillende voertuigtypen in het goederenvervoer. Daarbij is onder andere gekeken naar de impact van elektrificatie.

### **LCA drie typen personenauto's - Een vergelijking van een benzineauto, batterijelektrische auto en waterstofauto (CE Delft, 2020a)**

In deze studie zijn LCAs uitgevoerd 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 ketenemissies. Infrastructuur is niet meegenomen in de LCAs maar ook dit zal naar verwachting weinig effect hebben op de totale ketenemissies. De focus in de studie was gericht op het onderzoeken van de verschillen in ketenemissies door de, voor de aandrijving, specifieke onderdelen.

### **Externe kosten van ketenemissies van transport. Een verkennende analyse (CE Delft, 2021a)**

In deze studie is een vergelijking gemaakt tussen de externe kosten van vier internationale retourreizen vanaf Amersfoort met verschillende voertuigen, namelijk de personenauto, touringcar, trein en het vliegtuig. De externe kosten zijn gebaseerd op de ketenemissies van zowel de voertuigen als de infrastructuur.

De CO<sub>2</sub>-emissies per rkm over de hele keten vallen over het algemeen lager uit bij langere reizen, met name bij luchtvaart. Bij de reizen met de personenauto domineren de emissies die vrijkomen door de productie en het onderhoud van het voertuig ten opzichte van de infrastructuur. Bij de andere modaliteiten is dit precies andersom. Verder valt op dat tunnels en bruggen een relatief grote impact hebben op de emissies voor infrastructuur.

### **The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications (Andersson & Börjesson, 2021)**

De onderzoekers van dit artikel hebben een vergelijking gemaakt tussen de impact van drie personenauto's (conventioneel, PHEV en BEV). Er is hierbij gekeken naar de hele keten en de impact van de brandstofsoort (benzine, E85, HVO en elektriciteit) voor de jaren 2020 en 2050. De studie concludeert dat elektrificatie van personenauto's in de EU niet leidt tot het gestelde doel van 90% reductie van GHG-emissies. Dit komt met name door de impact op emissies door de productie van elektriciteit en accupakketten.

Opvallend is dat er voor de productie van het accupakket in 2050 en 2020 dezelfde waarde is aangehouden, terwijl uit andere bronnen duidelijk naar voren komt dat de productie van accupakketten in de toekomst minder impact zal hebben op de hele levenscyclus (CE Delft, 2021c). Er wordt een kleine bandbreedte aangehouden voor het effect van een verandering in elektriciteitsmix in 2050 ten behoeve van de productie van accupakketten, maar er wordt

bijvoorbeeld niet gekeken naar een mogelijke toename van het aantal laadcycli per accupakket. Een toename van het aantal laadcycli heeft een significant effect op de emissies over de hele levensduur van een voertuig (CE Delft, 2021c).

### **Total CO<sub>2</sub>-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars (Buberger et al., 2022)**

In deze paper is een vergelijking gemaakt tussen LCAs van 790 varianten van personenauto's. De LCAs zijn simpel opgezet, waarbij de totale impact berekend is als de som van de emissies die vrijkomen bij de productie van het voertuig, in de gebruiksfase en de einde levensduur (recycling). Als variabelen zijn de aandrijving, het gewicht en het vermogen van de motor van de auto's genomen. De conclusie is dat de productie van elektrische personenauto's meer emissies veroorzaakt dan de productie van conventionele personenauto's, maar dat dit niet opweegt tegen de beperktere emissies die vrijkomen tijdens het gebruik van de auto's. Er is in de studie niet gekeken naar de productie en het onderhoud van specifieke onderdelen van de auto's en ook niet naar een eventueel tweede leven van het accupakket.

## **E.2 Deelauto's**

Voor de analyse over deelauto's in Nederland hebben we gekeken naar het totale wagenpark en het aantal deelauto's in 2020 en 2021. De resultaten daarvan staan in Tabel 72.

Tabel 72 - Aandeel deelauto's in Nederland in 2020 en 2021 ten opzichte van het wagenpark

	2020	2021
Aantal personenauto's in Nederland (CBS, 2022e)	8.584.391	8.686.419
Aantal deelauto's in Nederland	64.000 (KiM, 2021)	87.000 (CROW, 2021)
Aandeel deelauto's	0,75%	1,00%

De belangrijkste factoren die van invloed zijn op een afname van CO<sub>2</sub>-emissies over de hele levensduur door deelauto's zijn:

1. Een afname van het wagenpark.
2. Een toename van de bezettingsgraad.

Dit zijn de factoren die we mee hebben genomen in het opstellen van de scenario's die in Paragraaf 5.4 staan beschreven. Op basis van Tabel 72 hebben we gekozen voor een afname van 1% van het wagenpark in de scenario's waar het wagenpark kleiner wordt. Feitelijk blijkt uit Tabel 72 dat er geen afname is van het wagenpark maar juist een toename. Het aandeel deelauto's neemt wel toe.

Uit de literatuur is naar voren gekomen dat een verkleining van het wagenpark wel een mogelijk gevolg is van de toepassing van deelauto's. Om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten, rekenen we daarom met 1% afname van het wagenpark. In Tabel 73 staat een overzicht van alle variabelen die zijn meegenomen in de vijf scenario's.



Tabel 73 - Variabelen die zijn toegepast in de vijf scenario's

Scenario	Grootte wagenpark t.o.v. baseline	Bezettingsgraad	Energiedrager
Baseline	100%	1.31	Benzine
Wagenpark neemt 1% af	99%	1.31	Benzine
Bezettingsgraad neemt toe naar 2 personen	100%	2.0	Benzine
Deelauto's zijn allemaal elektrisch	100%	1.31	Elektriciteit
Wagenpark neemt 1% af, de bezettingsgraad neemt toe naar 2 personen en deelauto's zijn allemaal elektrisch	99%	2.0	Elektriciteit

# F Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie

Wij hebben de emissies van broeikasgassen van elektriciteitsproductie berekend conform de methodiek van de studie Ketenemissies elektriciteit 2019 (CE Delft, 2022). De aangenomen ketenemissies per soort stroomopwekking hebben wij samengevat in Tabel 74.

Tabel 74 - Ketenemissies 2019 per energiebron (gCO<sub>2</sub>-eq./kWh)

Stroombron	Ketenemissies excl. centrale en productiemiddelen	Ketenemissies incl. centrale en productiemiddelen
Aardgas	58	1
Wkk	64	2
Niet-wkk	51	1
Kolen	145	1
Overig fossiel	0	2
Nucleair	5	2
Wind	0	14
Zon	0	61
Waterkracht	0	4
Biomassa	44	1
Overig	46	5

Wij hebben echter twee wijzigingen doorgevoerd:

- Voor de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde stroommix gaan wij nu uit van 290 gCO<sub>2</sub>/kWh, op basis van de integrale methode voor het jaar 2020 uit de KEV 2022 (PBL, 2022).
- Wij gaan uit van de stroommix uit 2020 conform de KEV 2022 (PBL, 2022). De aangenomen stroommix hebben wij samengevat in Tabel 75.

Tabel 75 - Aangenomen stroommix in 2020

Stroombron	Productie (PJ)	% van totaal	% van grijze mix	% groene mix
Aardgas	261	59%	80%	
Wkk	127,7	29%	39%	
Niet-wkk	133,3	30%	41%	
Kolen	27	6%	8%	
Overig fossiel	14	3%	4%	
Nucleair	15	3%	5%	
Wind	55	12%		63%
Zon	32	7%		37%
Waterkracht	0	0%		0%
Biomassa	32	7%		
Overig	9	2%	3%	
<b>Totaal Productie</b>	<b>445,0</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Uit deze cijfers volgt dat 73,3% van de opgewekte stroom in 2020 grijs was. Conform de methodiek van Ketenemissies elektriciteit 2019 (CE Delft, 2022) kunnen wij hieruit afleiden dat de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde grijze stroommix gelijk zijn aan 396 gCO<sub>2</sub>/kWh. Door Tabel 74 en Tabel 75 hebben wij vervolgens alle emissiekentallen voor productie van gemiddelde, groene en grijze stroom<sup>26</sup> opgesteld (zie Tabel 76).

Tabel 76 - Resulterende emissiekentallen stroomopwekking (gCO<sub>2</sub>-eq./kWh)

	Ketenemissie excl. productiemiddelen	Ketenemissie incl. productiemiddelen	Directe emissies	Totaal excl. productiemiddelen	Totaal incl. productiemiddelen
Gemiddelde stroommix	47	54	290	337	344
Grijze stroommix	60	61	396	456	457
Groene stroommix	0	31	0	0	31

<sup>26</sup> Wij hebben groene stroom berekend als het gewogen gemiddelde van zon, wind en waterkracht. Wij hebben grijze stroom berekend als het gewogen gemiddelde van aardgas, kolen, overig fossiel, nucleair en overig.

# G Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen

Tabel 77 geeft een overzicht van de emissies van elektrische voertuigen bij verschillende typen stroomopwekking en waterstofvoertuigen bij verschillende typen stroomopwekking en steam reforming. Voor elektrische voertuigen hebben wij naast de gemiddelde stroommix ook 100% duurzame stroom (de Nederlandse mix van wind, zon en waterkracht in 2020) gekwantificeerd en 100% grijze stroom (de Nederlandse mix van kolen, aardgas, en 'overig fossiel'). Voor waterstof hebben wij de grijze stroom niet gekwantificeerd: het ligt namelijk niet voor de hand om op basis van grijze stroom waterstof te produceren.

Tabel 77 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2020 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM <sub>10sl</sub>	WTT			
				CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Personenauto	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,3	62,1	60,8	0,013	62,1	60,8	0,036	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,3	5,6	0,0	0,013	5,6	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,3	82,4	82,2	0,013	82,4	82,2	0,042	0,001
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	1,3	99,9	98,7	0,013	99,9	98,7	0,043	0,002
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	1,3	165,7	162,4	0,013	165,7	162,4	0,090	0,004
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	1,3	23,1	9,0	0,013	23,1	9,0	0,000	0,000
Motorfiets	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,2	62,0	60,7	0,006	62,0	60,7	0,036	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,2	5,6	0,0	0,006	5,6	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,2	82,3	82,1	0,006	82,3	82,1	0,042	0,001
Bromfiets	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,1	14,6	14,3	0,003	14,6	14,3	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,1	1,3	0,0	0,003	1,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,1	19,4	19,4	0,003	19,4	19,4	0,010	0,000
Fiets	E-Bike	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	3,2	3,1	0,000	3,2	3,1	0,002	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,3	0,0	0,000	0,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	4,2	4,2	0,000	4,2	4,2	0,002	0,000
	Speed pedelec	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	3,9	3,8	0,000	3,9	3,8	0,002	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,4	0,0	0,000	0,4	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	5,2	5,2	0,000	5,2	5,2	0,003	0,000
Personenbus	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	2,4	58,4	57,2	0,008	58,4	57,2	0,034	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	2,4	5,3	0,0	0,008	5,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	2,4	77,6	77,4	0,008	77,6	77,4	0,039	0,001

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM <sub>10sl</sub>	WTT			
				CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Ov-bus	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	116,8	115,1	0,014	30,8	29,1	0,042	0,006
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	110,8	108,6	0,014	24,8	22,6	0,038	0,005
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	119,0	117,4	0,014	33,0	31,4	0,042	0,006
	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	56,1	55,0	0,011	56,1	55,0	0,032	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	5,1	0,0	0,011	5,1	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	74,5	74,3	0,011	74,5	74,3	0,038	0,001
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	8,1	90,3	89,2	0,011	90,3	89,2	0,039	0,001
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	8,1	149,8	146,9	0,011	149,8	146,9	0,082	0,003
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	8,1	20,9	8,1	0,011	20,9	8,1	0,000	0,000
Touringcar	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	48,0	8,6	8,4	0,001	8,6	8,4	0,005	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	48,0	0,8	0,0	0,001	0,8	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	48,0	11,4	11,4	0,001	11,4	11,4	0,006	0,000
Trein	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	29%	22,3	21,9	0,014	20,0	19,6	0,012	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	29%	4,8	3,0	0,014	2,5	0,7	0,001	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	29%	28,6	28,5	0,014	26,3	26,2	0,014	0,001
	Stoptrein elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	24%	41,7	40,8	0,028	41,7	40,8	0,024	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	24%	3,8	0,0	0,028	3,8	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	24%	55,3	55,2	0,028	55,3	55,2	0,028	0,001
	Intercity	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	32%	13,8	13,5	0,009	13,8	13,5	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	32%	1,2	0,0	0,009	1,2	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	32%	18,3	18,3	0,009	18,3	18,3	0,009	0,000
	Internationale trein	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	47%	17,4	17,1	0,012	17,4	17,1	0,010	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	47%	1,6	0,0	0,012	1,6	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	47%	23,1	23,1	0,012	23,1	23,1	0,012	0,000
Tram	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	36%	65,4	64,0	0,044	65,4	64,0	0,038	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	36%	5,9	0,0	0,044	5,9	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	36%	86,8	86,6	0,044	86,8	86,6	0,044	0,001

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM <sub>10sl</sub>	WTT			
				CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra*	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra*		CO <sub>2</sub> -eq. incl. infra	CO <sub>2</sub> -eq. excl. infra	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Metro	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	84%	42,6	41,8	0,023	42,6	41,8	0,025	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	84%	3,8	0,0	0,023	3,8	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	84%	56,6	56,5	0,023	56,6	56,5	0,029	0,001
Ov	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	n.v.t.	40,4	39,7	0,015	24,3	23,5	0,019	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	n.v.t.	22,5	20,4	0,015	6,4	4,3	0,007	0,001
		Elektriciteit - 100% grijs	n.v.t.	46,8	46,4	0,015	30,7	30,3	0,020	0,001
Bus/tram/metro	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	n.v.t.	96,4	94,9	0,019	37,4	35,9	0,038	0,004
		Elektriciteit - 100% duurzaam	n.v.t.	77,5	74,6	0,019	18,5	15,5	0,026	0,004
		Elektriciteit - 100% grijs	n.v.t.	103,2	102,1	0,019	44,2	43,1	0,040	0,004

\* Dit betreft de energie-infrastructuur zoals windmolens, raffinaderijen en kabels. De infrastructuur van het vervoerssysteem, zoals wegen en bruggen, vallen buiten de scope van deze kentallen.

\*\* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO<sub>2</sub>', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO<sub>2</sub>-emissies (EASA et al., 2020).

\*\*\* Dit zijn samengestelde categorieën waar het gemiddelde zowel uit elektrische als niet-elektrische voertuigen bestaat. Voor het niet-elektrische gedeelte van deze samengestelde kentallen gelden de emissiekentallen uit Tabel 1. De emissies van het elektrische gedeelte van de samengestelde kentallen verschillen echter per type elektriciteitsopwekking.