



STREAM Personenvervoer

Emissiekentallen modaliteiten 2023



Committed to the Environment

STREAM Personenvervoer

Emissiekentallen modaliteiten 2023

Dit rapport is geschreven door: Roy van den Berg, Daan van Seters

Delft, CE Delft, januari 2024

Publicatienummer: 24.210506.014

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

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via 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 2022	12
	1.5 Leeswijzer	13
2	Overzicht van de uitkomsten	14
	2.1 Introductie	14
	2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie	14
3	Gebruik kentallen	23
	3.1 Emissies bepalen voor een vervoerswijze	23
4	Aannames en methode	25
	4.1 Algemeen	25
	4.2 Personenauto	26
	4.3 Motorfiets	30
	4.4 Bromfiets	32
	4.5 Fiets	33
	4.6 Personenbusje	34
	4.7 Ov-bus	37
	4.8 Touringcar	39
	4.9 Trein	42
	4.10 Tram en metro	43
	4.11 Luchtvaart	45
	4.12 Vervoer over water	51
	Literatuur	52
A	Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen	54
B	Gedetailleerde vervoersprestatie	57
	B.1 Personenauto	57
	B.2 Motorfiets	59
	B.3 Bromfiets	59
	B.4 Fiets	60
	B.5 Personenbusje	60



	B.6 Ov-bus	61
	B.7 Touringcar	62
	B.8 Trein	63
	B.9 Tram en metro	63
	B.10Luchtvaart	63
C	Uitkomsten luchtvaart per LTO	64
	C.1 Emissies per LTO	64
D	Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie	65
E	Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen	67

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 ₄	Methaan (broeikasgas).
CNG	Compressed Natural Gas.
CO ₂	Koolstofdioxide.
CO ₂ -equivalenten	Totaal broeikaseffect van CO ₂ , CH ₄ en N ₂ O uitgedrukt in eenheden van de sterkte van het broeikasgaseffect van CO ₂ .
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 ₂ O	Lachgas (broeikasgas).
Niet-CO ₂ -emissie	Deze emissies treden voornamelijk op bij luchtvaart. Het vooral waterdamp, NO _x , SO ₂ , Contrails (vliegtuigstrepen) en koolwaterstoffen. Deze zijn niet evenredig aan het brandstofverbruik en hebben vaak een relatief korte verblijfstijd in de atmosfeer.
NO _x	Verzamelnaam voor monostikstofoxiden (NO, NO ₂ en NO ₃). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
Ov	Openbaar vervoer.
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle.
PM	Fijnstof (particulate matter).
PM ₁₀	Stofdeeltjes kleiner dan tien micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. PM ₁₀ -emissies bestaan onder andere uit PM _{2,5} -emissies. Daarnaast zijn ook wat stofdeeltjes groter dan 2,5 micrometer maar kleiner dan tien micrometer onderdeel van PM ₁₀ . De relatief grotere deeltjes zijn minder schadelijk voor de gezondheid.
PM _{2,5}	Stofdeeltjes kleiner dan 2,5 micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM _v) als door slijtage (PM _{st}) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek). Is bij inademing schadelijk voor de gezondheid.

Afkorting/begrip	
PM _{st}	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door slijtage van remmen, banden, rails en het wegdek. Slijtage emissies bestaan vaak uit een combinatie van kleinere (PM _{2,5}) en grotere stofdeeltjes (PM ₁₀ niet zijnde PM _{2,5}).
PM _v	Afkorting gebruikt voor PM-emissies door verbranding. Verbrandingsemissies bestaan voor het grootste deel uit PM _{2,5} .
rkm	Reizigerskilometer.
SO ₂	Zwaveloxide-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.
NMVOS	Vluchtige organische stoffen (zie hierboven), methaan (CH ₄) uitgezonderd. Omdat methaan ook een sterk broeikas effect heeft, wordt dit bestandsdeel vaak los beschouwd van andere vluchtige organische stoffen. De totale massa-uitstoot van VOS is gelijk aan de som van de NMVOS-massa en de methaanmassa.
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 CO₂-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.

Dit rapport is een update van STREAM personenvervoer 2022. Hierin werden kentallen berekend voor het jaar 2020. De kentallen in dit rapport zijn berekend voor het jaar 2021.

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: CO₂, CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) (samen kunnen deze worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten), NO_x, PM_{2,5} en PM₁₀, EC, VOS en SO₂. 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 levenscyclus emissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen.

In dit rapport is een overzicht opgenomen van de belangrijkste emissies (CO₂-eq., NO_x 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.

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 zitplaats-kilometer 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 [CO₂emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl), de website die geharmoniseerde CO₂-cijfers voor verschillende gebruikers in Nederland aanbiedt.

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 CO₂-accounting en beleidsanalyses.

In 2021 is de laatste update van STREAM Goederenvervoer gepubliceerd. De laatste versie van STREAM Personenvervoer dateert uit 2023 - deze studie hanteerde het jaar 2020 als basisjaar. De voorliggende studie is een update van STREAM Personenvervoer 2023, met 2021 als basisjaar.

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:

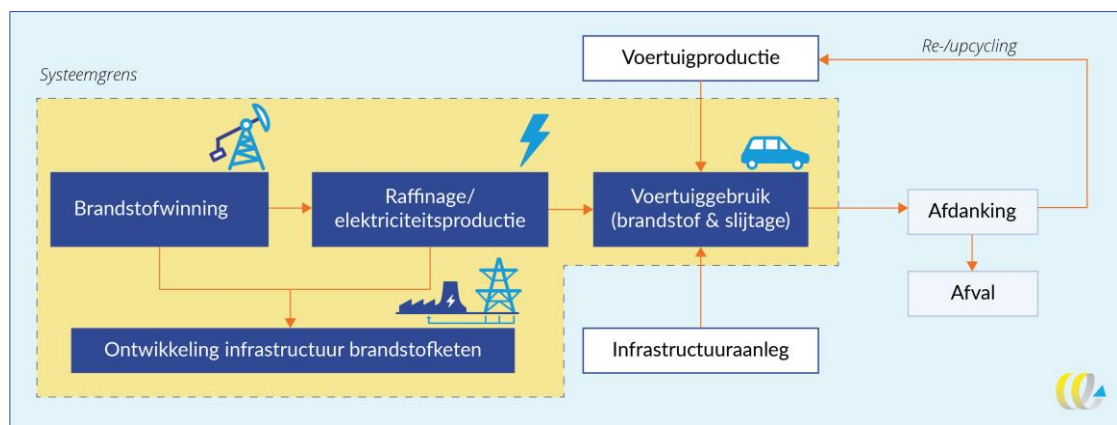
- broeikasgassen (CO₂, CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas), inclusief CO₂-equivalenten);
- stikstofoxiden (NO_x);
- fijnstof van verbrandingsprocessen (PM_{2,5}) én door slijtage (PM₁₀ en PM_{2,5});
- elementair koolstof (EC);
- vluchtige organische stoffen (VOS)¹;
- zwaveldioxide (SO₂).

¹ VOS is een verzamelnaam voor meerdere stoffen die vrijkomen bij verdamping en verbranding van brandstoffen. Een uitzonderlijke stof hierin is methaan, omdat deze ook een sterk broeikas effect heeft. Hierom wordt ook wel het onderscheid gemaakt tussen niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) en methaan. NMVOS is niet apart gerapporteerd, maar de massa hiervan kan berekend worden door de massa CH₄ af te trekken van de massa VOS.

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 levenscyclusemissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen. Wel analyseren we in Hoofdstuk 5 hoe de well-to-wheel-CO₂-emissies van transport zich verhouden tot de totale levenscyclusemissies van transport inclusief voertuigproductie, infrastructuraanleg en onderhoud.

Figuur 1 - Schematische weergave van de scope van de emissiekentallen

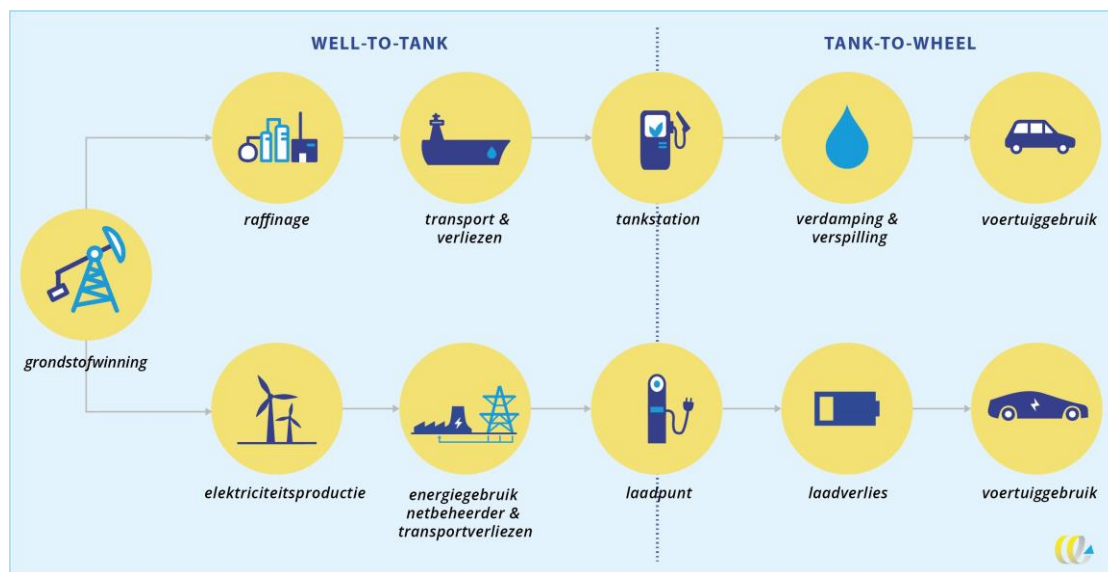


De grens tussen well-to-tank en tank-to-wheel hebben wij getrokken bij de handeling van het laden of tanken. Dit betekent dat:

- 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 2021 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)voertuigcategorie 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 CO₂-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](#)².
- 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_x-emissies schadelijker zijn in (groot)stedelijke omgeving. PM- en NO_x-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 CO₂-emissies (per kilometer) te maken met behulp van Tabel 23 t/m Tabel 25.

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

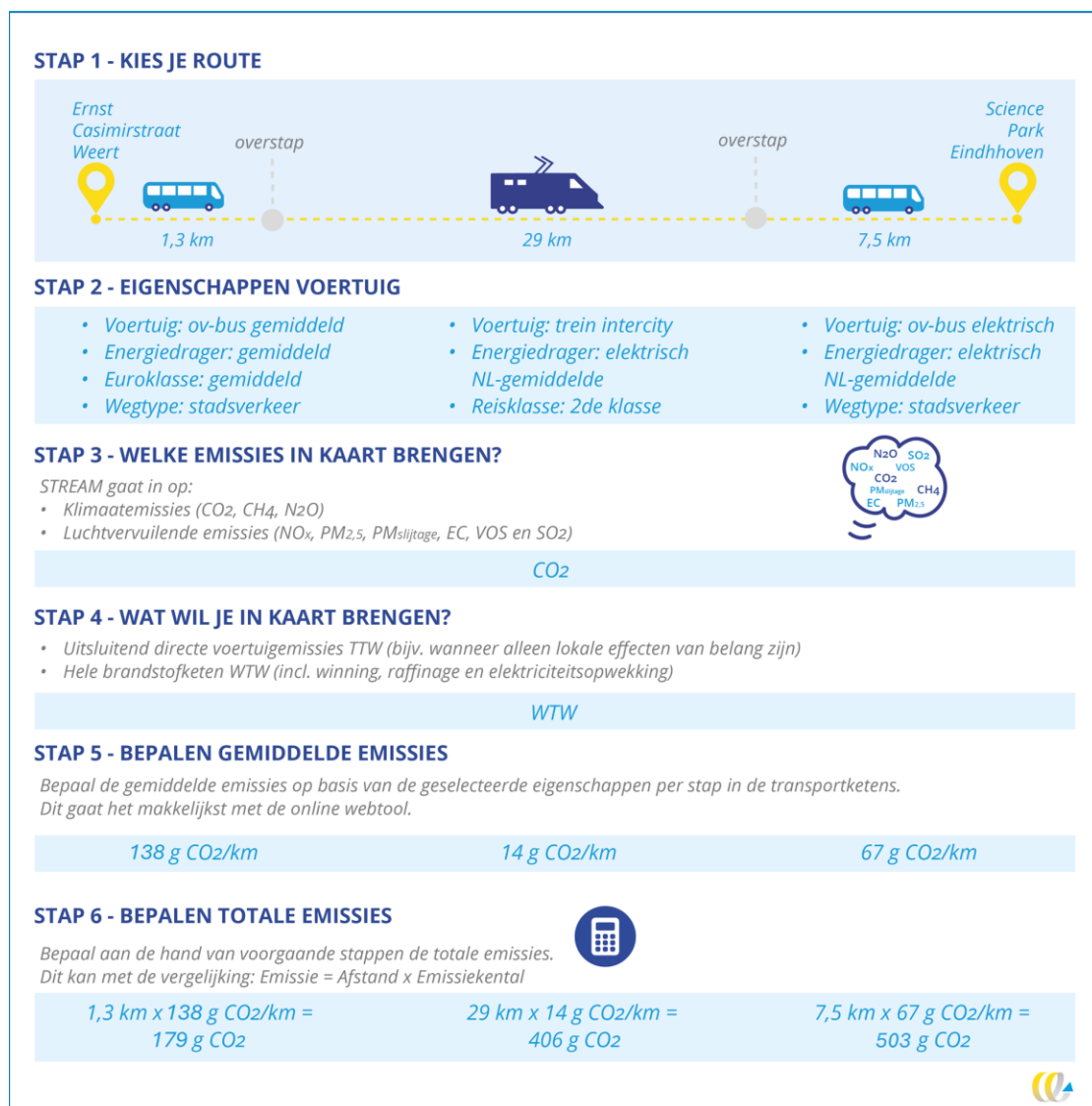
- het specifieke voertuigmodel waarin wordt gereden;
- rijgedrag van de bestuurder;
- de bandenspanning van het voertuig;
- de weersomstandigheden waarin is gereden;
- de staat van de motor.

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.

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.

² 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 - Stappen om emissies te bepalen op basis van STREAM-kentallen



1.4 Verschillen met STREAM Personenvervoer 2022

De kentallen in STREAM Personenvervoer 2023 zijn geüpdatet en op sommige punten gewijzigd ten opzichte van de kentallen in STREAM Personenvervoer 2022. De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd:

- De emissiekentallen en wagenparkverdeling van wegvervoer (inclusief autobussen en mobiele werktuigen), op basis van een vernieuwde studie over de emissies van Nederlandse mobiliteit (Geilenkirchen et al., 2023). Deze cijfers zijn gebaseerd op data over het Nederlandse wagenpark in 2021.
- De verdeling van tweewielers (maar niet de emissiekentallen), op basis van dezelfde bron.
- De WTT-emissies van elektriciteit zijn geüpdatet op basis van een actualisatie van de studie naar ketenemissies van elektriciteit (CE Delft, 2023a). Deze emissies zijn berekend voor het jaar 2021.

- Een correctie in de berekenmethode van de WTT-emissies en het energiegebruik per kilometer van PHEV-auto's is doorgevoerd.

De volgende zaken zijn niet geüpdatet:

- WTT-emissies van brandstoffen dan elektriciteit³;
- emissiekentallen van lucht- en zeevaart;
- emissiekentallen van railverkeer, behalve de WTT-emissies door elektriciteit;
- emissiekentallen voor tweewielers, behalve de WTT-emissies door elektriciteit;
- emissiekentallen voor veerboten;
- emissiekentallen met betrekking tot slijtage;
- bezettingsgraden.

De huidige emissiekentallen zijn grotendeels gebaseerd op metingen uit het jaar 2021. In de gebruikte data hebben wij geen mogelijke verstoringen door de coronapandemie gevonden. De algehele vervoersprestatie was weliswaar minder in veel categorieën, maar dit wordt niet expliciet meegenomen in de berekeningen. In de kentallen die per kilometer of brandstofgebruik gegeven worden, zijn geen significante veranderingen geconstateerd. Door de grote veranderingen in bezettingsgraden door de pandemie in 2021, zijn deze niet geactualiseerd ten opzichte van de vorige studie.

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](#). Hierin zijn zowel de cijfers uit het huidige rapport voor 2021 als de cijfers uit 2020 en 2030 beschikbaar (CE Delft, 2021b, 2023b). Een uitgebreide samenvatting van de uitkomsten hebben wij opgenomen in Hoofdstuk 2.

Een toelichting op hoe de kentallen te gebruiken is opgenomen in Hoofdstuk 4. 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.

³ De WTT-emissies per gegeven hoeveelheid brandstof zijn ongewijzigd. De WTT-emissies per voertuigkilometer kunnen desalniettemin anders zijn ten opzichte van de vorige versie, wanneer het brandstofgebruik van het voertuig is geüpdatet.

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 (CO₂-eq., NO_x en PM) van verschillende voertuigcategorieën op hoofdlijnen. De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in [de webtool](#).

2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie

In deze paragraaf geven wij een overzicht op hoofdlijnen van de belangrijkste emissies (CO₂-eq., NO_x 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 samengevat⁴. 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.

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.

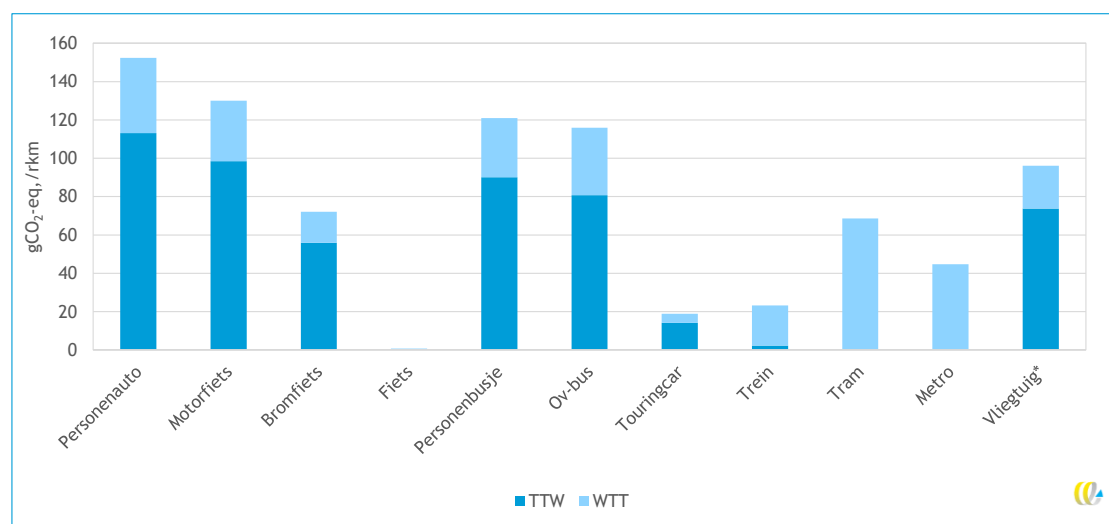
De complete dataset van gedetailleerde kentallen kan worden gevonden in de webtool.

⁴ Naast de kentallen uit dit overzicht zijn in deze studie ook de klimaatemissies van CO₂, N₂O en CH₄ apart berekend (samen vormen deze de CO₂-eq.-emissies). Naast de luchtvervuilende emissies uit dit overzicht hebben wij ook de tank-to-wheel-emissies van VOS, EC, PM_{2,5,sl} en SO₂ gekwantificeerd.

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 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-CO₂-effecten (zie Paragraaf 6.11 voor verdere toelichting). Deze emissies vallen echter buiten de well-to-wheel-methode. 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.

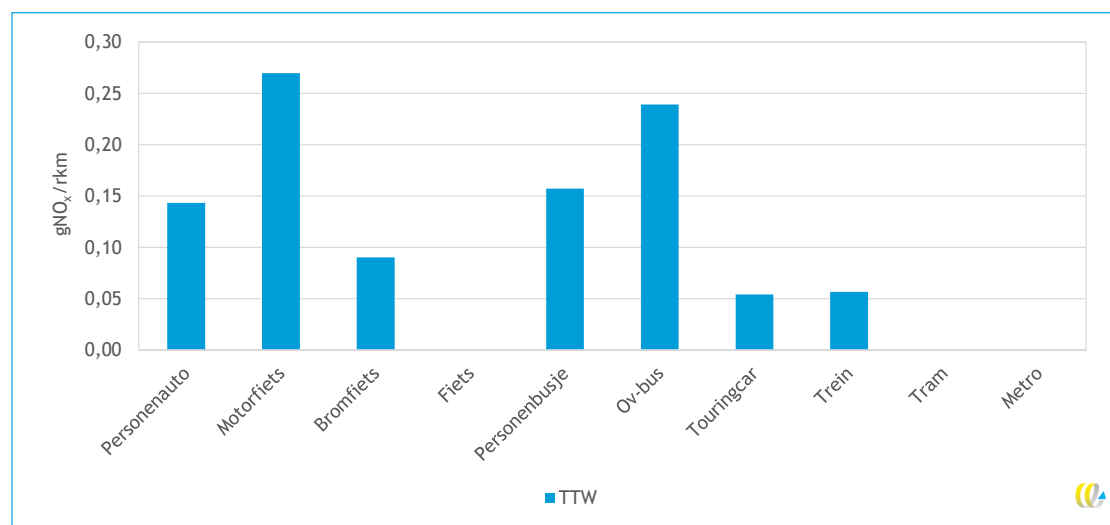
Figuur 4 - Overzicht gemiddelde well-to-wheel-klimaatemissies (CO₂-eq.) per voertuigcategorie



* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO₂'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100, gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO₂-emissies (EASA et al., 2020). Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO₂-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaateffecten uitgedrukt in GWP*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO₂-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO₂-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 veroorzaakt⁵. 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_x) per voertuigcategorie

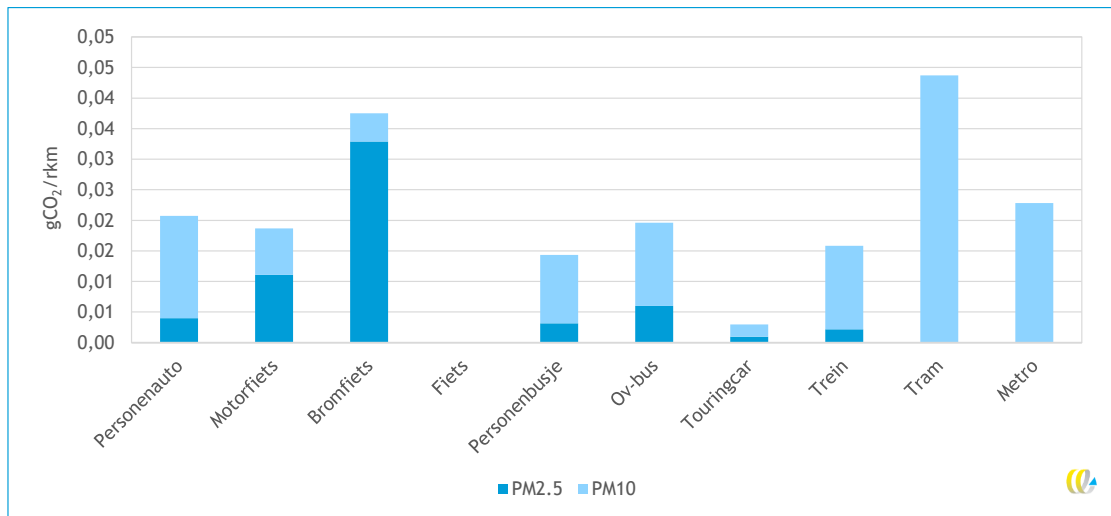


Figuur 6 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-fijnstofemissies per voertuigcategorie, waarbij de PM_{2,5}- en de PM₁₀-emissies (groter dan PM_{2,5}) gestapeld zijn weergegeven. De PM_{2,5}-emissies zijn een onderdeel van de PM₁₀-emissies: de totale PM₁₀-emissies zijn dus het totaal van de gestapelde 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.

⁵ 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_{2,5} en PM₁₀) per voertuigcategorie



Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2021 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO ₂ -eq incl. infra*	CO ₂ -eq excl. infra*	CO ₂ -eq	NO _x	PM _{2,5v}	PM _{10st}	CO ₂ -eq incl. infra	CO ₂ -eq excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenauto	Gemiddeld	1,31	152,4	149,4	113,1	0,143	0,002	0,017	39,3	36,3	0,075	0,010
	Benzine	1,31	153,4	150,4	115,8	0,097	0,001	0,017	37,6	34,6	0,078	0,010
	Diesel	1,31	165,5	162,5	123,2	0,351	0,005	0,017	42,2	39,3	0,069	0,011
	Plug-in hybride-benzine	1,31	147,5	145,0	109,3	0,005	0,001	0,013	38,2	35,7	0,063	0,007
	Plug-in hybride-diesel	1,31	153,4	150,7	108,9	0,152	0,001	0,013	44,5	41,7	0,063	0,006
	LPG	1,31	142,4	139,4	126,4	0,142	0,002	0,017	16,1	13,0	0,115	0,011
	CNG	1,31	149,3	148,2	129,0	0,023	0,002	0,017	20,3	19,2	0,027	0,001
	Batterij-elektrisch ¹	1,31	65,0	63,3	-	-	-	0,013	65,0	63,3	0,036	0,002
Brandstofcel ²	1,31	173,1	168,8	-	-	-	0,013	173,1	168,8	0,090	0,004	
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	1,15	130,0	127,5	98,4	0,270	0,010	0,008	31,6	29,1	0,065	0,009
	Batterij-elektrisch	1,15	65,8	64,1	-	-	-	0,006	65,8	64,1	0,036	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	1,10	69,8	68,5	53,6	0,087	0,031	0,005	16,2	14,9	0,032	0,004
	Benzine	1,10	72,0	70,7	55,8	0,090	0,032	0,005	16,2	14,9	0,033	0,004
	Batterij-elektrisch ¹	1,10	15,4	15,0	-	-	-	0,003	15,4	15,0	0,008	0,000
Fiets	Gemiddeld	1,00	0,8	0,7	-	-	-	-	0,8	0,7	0,0004	-
	Gewone fiets	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike ¹	1,00	3,3	3,3	-	-	-	-	3,3	3,3	0,002	-
	Speed pedelec ¹	1,00	4,1	4,0	-	-	-	-	4,1	4,0	0,002	-

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW				WTT			
			CO ₂ -eq incl. infra*	CO ₂ -eq excl. infra*	CO ₂ -eq	NO _x	PM _{2,5v}	PM _{10st}	CO ₂ -eq incl. infra	CO ₂ -eq excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenbusje	Diesel (gemiddeld)	2,40	121,0	118,8	90,0	0,157	0,001	0,011	30,9	28,8	0,050	0,008
	Batterij-elektrisch ¹	2,40	61,0	59,4	-	-	-	0,008	61,0	59,4	0,033	0,001
Ov-bus	Gemiddeld	8,11	115,9	113,9	80,7	0,239	0,004	0,014	35,2	33,2	0,047	0,007
	Diesel	8,11	131,5	129,2	98,1	0,265	0,005	0,014	33,5	31,1	0,054	0,009
	HVO100	8,11	15,1	14,7	1,8	0,257	0,005	0,014	13,3	12,9	0,016	0,008
	CNG	8,11	129,3	128,3	110,9	0,426	0,008	0,014	18,4	17,4	0,025	0,001
	Bio-CNG	8,11	51,1	50,3	5,4	0,426	0,008	0,014	45,8	44,9	0,008	0,001
	Batterij-elektrisch ¹	8,11	59,2	57,7	-	-	-	0,011	59,2	57,7	0,032	0,001
	Brandstofcel ¹	8,11	157,6	153,7	-	-	-	0,011	157,6	153,7	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 ¹	48,00	9,0	8,8	-	-	-	0,001	9,0	8,8	0,005	0,000
Trein	Gemiddeld	29%	23,3	22,7	2,3	0,057	0,002	0,014	21,0	20,4	0,012	0,001
	Stoptrein elektrisch ¹	24%	43,8	42,6	-	-	-	0,028	43,8	42,6	0,024	0,001
	Stoptrein diesel	26%	90,2	88,6	67,6	-	-	0,022	22,6	21,0	0,036	0,004
	Intercity ¹	32%	14,5	14,1	-	-	-	0,009	14,5	14,1	0,008	0,000
	Internationale trein ¹	47%	18,3	17,8	-	-	-	0,012	18,3	17,8	0,010	0,000
Tram	Gemiddeld ¹	36%	68,6	66,9	-	-	-	0,044	68,6	66,9	0,038	0,002
Metro	Gemiddeld ¹	84%	44,8	43,6	-	-	-	0,023	44,8	43,6	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.	38,2	37,4	12,6	0,1	0,002	0,013	25,6	24,7	0,018	0,002
Bus/tram/ metro gemiddeld	Gemiddeld	n.v.t.	93,1	91,3	50,7	0,2	0,003	0,020	42,4	40,6	0,040	0,005

- * 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-CO₂'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100 gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO₂-emissies (EASA et al., 2020). Er wordt echter ook gesteld in de literatuur dat de 'GWP' de niet-CO₂-effecten onderschat en dat de werkelijke klimaateffecten uitgedrukt in GWP*100 ongeveer een factor 2,0 van de CO₂-emissies zijn (EASA et al., 2020). De precieze niet-CO₂-impact is echter sterk afhankelijk van de vlucht. Wij hebben deze emissies niet gekwantificeerd omdat dit buiten de scope van de studie valt.
- ¹ 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 E.
- ² 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 E.

Tabel 2 - Overzicht gemiddelde emissies per voertuigkilometer voor het wegverkeer in 2021 (g/vkm)¹

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	WTW		TTW				WTT			
		CO ₂ -eq incl. infra*	CO ₂ -eq excl. infra*	CO ₂ -eq.	NO _x	PM _{2,5v}	PM _{10sl}	CO ₂ -eq Incl. infra	CO ₂ -eq excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenauto	Gemiddeld	200,1	196,2	148,5	0,19	0,003	0,022	51,6	47,7	0,10	0,013
	Benzine	201,5	197,5	152,1	0,13	0,002	0,022	49,4	45,4	0,10	0,013
	Diesel	217,3	213,4	161,8	0,46	0,007	0,022	55,5	51,6	0,09	0,015
	Plug-in hybride-benzine	193,8	190,5	143,6	0,01	0,002	0,017	50,2	46,9	0,08	0,009
	Plug-in hybride-diesel	201,5	197,9	143,1	0,20	0,001	0,017	58,4	54,8	0,08	0,008
	LPG	187,0	183,0	165,9	0,19	0,003	0,022	21,1	17,1	0,15	0,014
	CNG	196,0	194,6	169,4	0,03	0,003	0,022	26,7	25,2	0,04	0,001
	Batterij-elektrisch ²	85,4	83,2	-	-	-	0,017	85,4	83,2	0,05	0,002
Brandstofcel ³	227,3	221,7	-	-	-	0,017	227,3	221,7	0,12	0,005	
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	149,5	146,6	113,2	0,31	0,012	0,009	36,4	33,4	0,08	0,010
	Batterij-elektrisch ²	75,7	73,7	-	-	-	0,007	75,7	73,7	0,04	0,002
Bromfiets	Gemiddeld	76,7	75,3	59,0	0,10	0,034	0,005	17,8	16,4	0,04	0,005
	Benzine	79,2	77,8	61,4	0,10	0,036	0,005	17,8	16,4	0,04	0,005
	Batterij-elektrisch ²	16,9	16,5	-	-	-	0,004	16,9	16,5	0,01	0,000
Fiets	Gemiddeld	0,8	0,7	-	-	-	-	0,8	0,7	0,00	-
	Gewone fiets	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike ²	3,3	3,3	-	-	-	-	3,3	3,3	0,00	-
	Speed pedelec ²	4,1	4,0	-	-	-	-	4,1	4,0	0,00	-
Personenbusje	Diesel (gemiddeld)	290,3	285,2	216,1	0,38	0,003	0,027	74,2	69,1	0,12	0,020
	Batterij-elektrisch	146,4	142,6	-	-	-	0,020	146,4	142,6	0,08	0,003
Ov-bus	Gemiddeld	939,9	923,7	654,4	1,94	0,034	0,111	285,6	269,3	0,38	0,056
	Diesel	1.066,1	1.047,3	794,9	2,15	0,038	0,115	271,3	252,5	0,44	0,072
	HVO100	122,5	119,0	14,3	2,08	0,037	0,115	108,2	104,7	0,13	0,068
	CNG	1.048,1	1.040,1	899,1	3,45	0,065	0,115	149,1	141,0	0,20	0,005
	Bio-CNG	414,6	407,7	43,7	3,45	0,065	0,115	370,9	364,0	0,06	0,008
	Batterij-elektrisch ²	480,1	467,6	-	-	-	0,086	480,1	467,6	0,26	0,011
	Brandstofcel ³	1.277,9	1.246,3	-	-	-	0,086	1.277,9	1.246,3	0,66	0,028

Voertuig-categorie	Voertuig-techniek	WTW		TTW				WTT			
		CO ₂ -eq incl. infra*	CO ₂ -eq excl. infra*	CO ₂ -eq.	NO _x	PM _{2,5v}	PM _{10sl}	CO ₂ -eq Incl. infra	CO ₂ -eq excl. infra	NO _x	PM ₁₀
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 ²	433,6	422,4	-	-	-	0,071	433,6	422,4	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.

¹ De gemiddelde emissies zoals weergegeven in bovenstaande tabel zijn gewogen gemiddeldes over het gehele Nederlandse wagenpark. Hoewel een benzineauto meer emissies per vkm heeft dan een equivalente auto met dieselaandrijving, is de gemiddelde Nederlandse dieselauto groter en zwaarder. Hierdoor komen de gemiddelde emissiekentallen voor diesel hoger uit dan voor benzine. Kentallen per segment maken een meer accurate vergelijking van equivalente autotypes mogelijk. Deze zijn beschikbaar in [de webtool](#).

² 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 F.

³ 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 F.

3 Gebruik kentallen

3.1 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 (CO₂, CH₄, N₂O) en luchtvervuilende emissies (NO_x, PM_{2,5}, PM_{slijtage}, EC, VOS en SO₂).
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 (_{vw}) 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 Aannames en methode

4.1 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 CO₂ en SO₂ 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 CO₂ en dragen dan alsnog bij aan klimaatverandering. Het netto resultaat is dat alle koolstof wordt omgezet in CO₂.
- *Energieverbruik- en voertuigafhankelijke emissies* zijn emissies die zowel afhangen van het energieverbruik als van de specifieke technologie. De tank-to-wheel-emissies van CH₄, N₂O, NO_x, PM_{2,5,v}, 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 PM₁₀-emissies en (als onderdeel daarvan) PM_{2,5}-emissies die vrijkomen door slijtage van banden, wegdek, rails, bovenleiding, etc. De emissies van PM_{2,5} (deeltjes met een doorsnede van minder dan 2,5 micrometer) zijn onderdeel van de PM₁₀-emissies (deeltjes met een doorsnede van minder dan 10 micrometer).

STREAM Personenvervoer 2023 bevat uitgesplitste emissiekentallen voor verschillende typen voertuigen, technieken en wegtypen (wegverkeer) of afstandsklassen (spoor en luchtvaart). Anderzijds hebben we ook gemiddelden emissiekentallen voor 2021 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.

4.2 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 van STREAM Personenvervoer 2022.

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-CO₂-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit (Geilenkirchen et al., 2022, Geilenkirchen et al., 2023) en de CO₂-emissiefactoren en omrekenfactoren uit Tabel 23. 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 3⁶. De correctiefactoren voor batterijelektrische personenauto's zijn gebaseerd op HBEFA 4.2 (HBEFA, lopend). Daarnaast nemen we op basis van (Alberts, 2021) dezelfde bron aan dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is. Deze factor is een samengesteld effect

⁶ In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

van extra energieverlies door elektrolyse in de brandstofcel en het ontbreken van laadverliezen t.o.v. elektrische voertuigen.

Tabel 3 - 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 4.

Tabel 4 - Aannames energieverbruik van verschillende personenauto's (MJ/vkm)

Type personenauto	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Benzine	2,2	2,8	1,8	2,2
Diesel	2,4	3,1	2,3	2,1
LPG	2,5	3,2	2,0	2,5
CNG	2,9	3,6	2,3	2,9
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 (CE Delft, 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 5⁷.

Tabel 5 - 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 23.

⁷ Deze differentiatie hebben wij opgesteld op basis van het de CO₂-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., 2023). Bij Euro 6-dieselvoertuigen hebben wij naast de CO₂-uitstoot van verbranding ook de CO₂-uitstoot als gevolg van ureum⁸ 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 23.

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 CH₄, N₂O, 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, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 10% lager, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 7% hoger, terwijl de PM_{2,5} 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_x en PM_{2,5} 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_x per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM₁₀ 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 PM₁₀ 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.

⁸ Ureum is een bestandsdeel van 'AdBlue'. Dit product wordt in Euro 6D-dieselvoertuigen gebruikt om de NO_x-uitstoot te verlagen. Echter leidt dit tot een beperkt hogere CO₂-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., 2023). 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, 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 6.

Tabel 6 - 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

4.3 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-CO₂-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methode-rapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023) en de omrekenfactoren uit Tabel 23.

Voor elektrische motorfietsen is het energieverbruik per kilometer afgeleid met behulp van omrekenfactoren op basis van HBEFA 4.2 (zie Tabel 7)⁹.

Tabel 7 - Correctiefactoren energieverbruik per vkm voor elektrische motorfietsen t.o.v. benzinemotorfietsen (MJ/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 8 - 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 23.

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 CO₂-uitstoot. De CO₂-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 CO₂-emissies van de verschillende Euroklassen van motorfietsen gelijk is.

De emissies van PM₁₀ 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.

⁹ In deze correctiefactoren is laadverlies meegenomen.

4.4 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-CO₂-uitstoot van fossiel brandstofverbruik uit het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023) en de omrekenfactoren uit Tabel 23. 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 9.

Tabel 9 - 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 23. 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 CO₂-uitstoot. De CO₂-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.

4.5 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 (Fietzersbond, 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 10.

Tabel 10 - 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 23.

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.

4.6 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, 2021a). Vervolgens hebben wij de CO₂-emissies bepaald met behulp van de omrekenfactor uit Tabel 23.

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 12).

Het resulterende energieverbruik per voertuigkilometer van verschillende typen personenbusjes hebben wij samengevat in Tabel 11.

Tabel 11 - 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 23.

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., 2023). Bij personenbusjes van diesel Euroklasse Euro 6 hebben we naast de CO₂-uitstoot van verbranding ook de CO₂-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 23.

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 CH₄, N₂O, 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_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 10% lager, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 7% hoger, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} 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_x per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM₁₀ 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.

4.7 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-CO₂-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform (Geilenkirchen et al., 2023) en Tabel 23.

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 12). 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 12.

Tabel 12 - 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 11.

Tabel 13 - Aannames energieverbruik van verschillende ov-bussen (MJ/vkm)

Type ov-bus	Gemiddeld	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Diesel	11,5	13,7	8,7	7,0
Batterij-elektrisch	4,6	5,5	3,5	3,1
Waterstof	7,0	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 23.

Energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies

De energieverbruiks- en voertuigafhankelijke emissies hebben wij gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023). Bij ov-bussen van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO₂-uitstoot van verbranding ook de CO₂-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 23.

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 CH₄, N₂O, 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, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 10% lager, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 7% hoger, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} 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_x per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM₁₀ 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 7,19 personen (CROW-KpVV, 2020).

4.8 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-CO₂-uitstoot bij verbranding van fossiele diesel conform het methoderapport van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023) en Tabel 23.

Wij hebben het energieverbruik van elektrische touringcars per kilometer gebaseerd op het relatieve energieverbruik t.o.v. Euro 6-touringcarbussen uit HBEFA 4.2¹⁰. Daarnaast hebben wij verondersteld dat het energieverbruik van waterstofauto's 50% hoger is (CE Delft, 2021a). 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 14.

Tabel 14 - 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 15.

Tabel 15 - 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 4.2¹¹. Bij touringcars van Euroklasse Euro 5 en Euro 6 hebben wij naast de CO₂-uitstoot van verbranding ook de CO₂-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-diesalbussen) zoals in HBEFA 4.2 is gegeven en is te vinden in (HBEFA, lopend).

¹⁰ Hiervoor is type 'coach' van grootte klasse 'Standard tot 18 t' (een brutogewicht tot maximaal 18 ton) gekozen.

¹¹ 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 23.

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 23.

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 CH₄, N₂O, 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, 2021a).
- Bij verbranding van HVO100 in motoren met Euroklasse 6 zijn de tank-to-wheel-emissies van NO_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 10% lager, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} per MJ brandstof gelijk aan de emissies bij verbranding van fossiele diesel. Bij Euroklasse 5 of lager zijn de NO_x-emissies 7% hoger, terwijl de PM_{2,5}-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_x en PM_{2,5} 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_x per MJ 2% hoger zijn en de emissies van PM₁₀ 3% lager in vergelijking met fossiele diesel.

Slijtage

Ook de emissies van PM₁₀ door slijtage van dieseltouringcars hebben wij gebaseerd op de HBEFA 4.2-database. De emissies van PM_{2,5} door slijtage hebben wij bepaald als fractie van de uitstoot van PM₁₀ 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.

4.9 Trein

Voertuigtechnieken en energiedragers

Binnen de categorie treinen onderscheiden wij de volgende treinen:

- internationale trein (elektrisch);
- intercity (elektrisch);
- stoptrein (elektrisch);
- stoptrein (diesel)¹².

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 et al., 2020). Deze informatie hebben wij samengevat in Tabel 16.

Tabel 16 - 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 23. Elektrische treinen hebben geen tank-to-wheel-emissies.

¹² 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 23. De emissies van NO_x, PM_{2,5,v} en VOS hebben wij bepaald op basis van (CE Delft, 2020).

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 17.

Tabel 17 - Emissies van slijtage van treinen

Categorie	PM ₁₀ 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 18.

Tabel 18 - Bezettingsgraden van treinen

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

4.10 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 20.

Tabel 19 - 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 23. 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 20.

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 20 - Gemiddelde bezetting trams en metro's in 2019

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

4.11 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_x zijn de emissie-eisen gedefinieerd voor de LTO-cyclus. De NO_x-eisen zijn aangescherpt sinds de eerste standaard in 1986 (CAEP1) tot de emissiestandaard CAEP8 in 2011. Vanaf 2020 zijn nieuwe emissie-eisen van kracht met de introductie van PM_v- en CO₂-emissie-eisen (EASA, 2019, Peeters, 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 23). Voor brandstofverbruik en de PM_v- en NO_x-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-CO₂-emissies. De schade door deze emissies vindt juist op hoogte plaats. Een verdere uitleg van niet-CO₂-emissies is gegeven in Tekstbox 1.

Tekstbox 1 - Klimaat-effect van niet-CO₂-emissies van de luchtvaart

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikas-effect groter dan alleen die van de CO₂, methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Voornamelijk condensstrepen, NO_x-emissies en effecten op wolkvorming leveren een grote bijdrage aan de opwarming van de aarde. Deze bijdragen treden met name op boven de 9.000 meter. Het effect van deze niet-CO₂-emissies is echter lokaler en heeft een 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 CO₂ in de lucht afkomstig van luchtvaart en voor 60% door niet-CO₂-emissies (EASA, 2019). Deze verhouding heeft betrekking op de effecten van de CO₂-concentraties in de lucht en is daarom niet direct te vertalen naar hoe het effect van de niet-CO₂-emissies zich verhoudt tot de CO₂-emissies. Hierover is veel discussie en de effecten, van met name wolkvorming zijn moeilijk in te schatten. In sommige methodieken wordt, op basis van GWP100, een factor 1.7 toegepast op de CO₂-emissies van de vlucht of van de (EASA et al., 2020). Er zijn echter andere bronnen die veronderstellen dat de klimaat-effecten van niet-CO₂-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-CO₂-klimaat-effecten uit op een factor 2,0 ten opzichte van de CO₂-klimaat-effecten (dus kunnen de totale GWP*100-effecten worden bepaald door een vermenigvuldiging van de CO₂-effecten met een factor van 3,0 ten opzichte van de CO₂-emissies). Vanwege de onzekerheid in de

kwantificatie van het effect en om de scope van de CO₂-equivalenten (CO₂-, CH₄- en N₂O-emissies) duidelijk te houden voor de verschillende modaliteiten hebben we 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 vracht¹³) en de afstand tussen twee luchthavens geleverd. Hiermee zijn het brandstofverbruik, de CO₂-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 CO₂-uitstoot.

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

In STREAM zijn de klimaateffecten van niet-CO₂-emissies¹⁴ niet meegenomen in de cijfers. In Tekstbox 1 is hierover meer uitleg gegeven.

Energieverbruik en CO₂-emissies

Het energieverbruik per rkm is afgeleid uit de CO₂-emissies per rkm met een factor van 71,5 g CO₂/MJ (zie Tabel 23). Op basis van de jaarlijkse CO₂-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:

¹³ Alleen de in Schiphol geladen en geloste vracht is bekend. Vrucht die al aanwezig was in het vliegtuig is onbekend.

¹⁴ CH₄ en N₂O 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 CO₂-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.

CO₂-emissies en energieverbruik via Small Emitters Tool

We gebruiken de Small Emitters Tool (SET) van EUROCONTROL om de CO₂-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 CO₂-emissies per toesteltype en afstandscombinatie.

Toewijzing naar reizigers en vracht

De output uit de SET is vervolgens omgerekend naar gemiddelde energieverbruik en CO₂ 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 CO₂-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 CO₂-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).

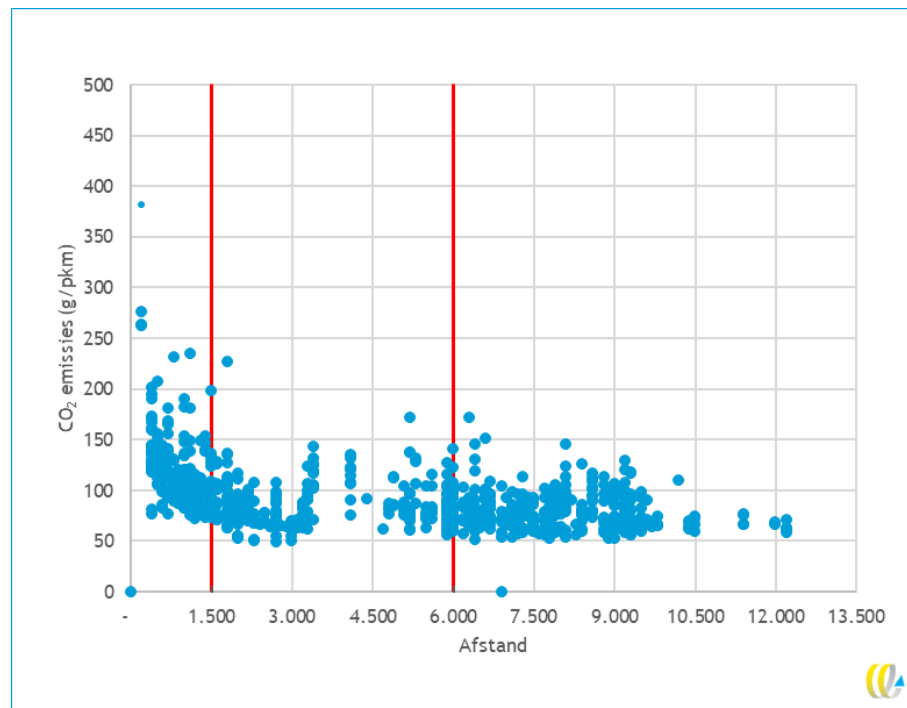
Beide varianten worden naast elkaar gebruikt, wat mede komt doordat ze eigen voor- en nadelen hebben. De belangrijkste verschillen zijn:

- 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 - CO₂ per pkm naar afstand voor passagiersvluchten (allocatie met 100 kg + 50 kg per stoel)



Luchtvervuilende emissies

De CO₂-emissies zijn berekend zoals aangegeven in de vorige paragraaf. De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart zijn niet direct gelinkt aan het brandstofverbruik van het toestel, maar zijn afhankelijk van het motortype en de stuwkracht (in het Engels 'thrust'). Bij hogere thrust-settings, zoals gebruikelijk bij het opstijgen, komen veel meer luchtvervuilende emissies vrij dan bij lagere thrust-settings, zoals cruise of tijdens het dalen. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen vliegtuigmotortypen te vinden. Aangezien vliegtuigbouwers hun klanten graag de keuze geven qua motor is het niet het geval dat alle toestellen van hetzelfde toesteltype ook dezelfde motor hebben. Om de luchtvervuilende emissies van de zes verschillende categorieën te kunnen berekenen is 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_x, SO₂, H₂O, CO, HC, nvPM¹⁵, vPM¹⁶ 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.

¹⁵ Non-volatile PM.

¹⁶ 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 21. 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 21 - 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 22. Over het aantal stoelen is geen informatie beschikbaar waardoor we geen uitspraken over de bezettingsgraad in percentage kunnen geven.

Tabel 22 - 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

4.12 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 23. De energieverbruiksafhankelijke emissies van veerboten hebben wij berekend met behulp van de emissiefactoren uit Tabel 23. De motorafhankelijke emissies hebben wij berekend op basis van de Emissieregistratie (Emissieregistratie, lopend) 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.

Literatuur

- 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.
- Boeing, 2009. *AERO QTR 02 09*, Seattle: Boeing.
- CBS, 2014. *Verkeersprestaties en jaarkilometrages bromfietsen en motorfietsen*.
- CBS, 2020. *Statline: Mobiliteitstrend; per rit, vervoerwijzen, reismotief, leeftijd en geslacht*, CBS, June 2020 <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84755NED?q=index%202016>.
- 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, 2023. *Statline: Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager, 30-10-2023*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030ned/table?dl=6C091>
- CE Delft, 2014. *STREAM Personenvervoer 2014 versie 1.1. : Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten: emissiekentallen 2011*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018. *Gereden kilometers van volledig elektrische plug-in hybride en hybride personenauto's*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019. *Handbook on the external costs of transport*, Delft: CE Delft,.
- CE Delft, 2020. *Review of Dutch rail diesel emissions calculation methodology*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2021a. *STREAM Goederenvervoer 2020 (versie 2)*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2021b. *STREAM Goederenvervoer 2020: Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2023a. *Ketenemissies elektriciteit: Actualisatie elektriciteitsmix 2021*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2023b. *STREAM Personenvervoer. Emissiekentallen 2030*, 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.
- 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*, Keulen: 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).
- 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.
- Emissieregistratie, lopend. *Emissieregistratie: dataexport*, Emissieregistratie, <https://www.emissieregistratie.nl/data/data-export>.



- Eurocontrol, lopend. *Small emitters tool*, EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation), <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool> 2022.
- Fietsersbond, 2017. *Lengte fietspaden voor 30 gemeenten*, Fietsersbond, november 29.
- Fraunhofer ISI, CE Delft & Ramboll, 2020. *Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes*, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Geilenkirchen, G., Hulskotte, J., Dellaert, S., Ligtering, N. & Sysijtermans, M., 2023. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, Den Haag: PBL.
- 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.
- 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).
- 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 2017.
- 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.
- Speedpedelec.org, 2022. *Speedpedelec: accu*, <https://speedpedelec.org/fietsaccessoires/speed-pedelec-accu/>.
- SWOV, 2022. *Elektrische fietsen en speed-pedelegs. SWOV-factsheet*.
- TNO, 2015. *Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen*.
- Van Zyl, P. S., Van Mensch, P., Ligterink, N. E., Dröge, R. & Kadijk, G., 2014. *Update emission model for two-wheeled mopeds*, Utrecht: TNO.
- Verbeek, M., Smokers, R. & Verbeek, R., 2017. *Onderscheidende kenmerken van brandstoftypen als alternatief voor diesel*, Den Haag: TNO.
- Westerschelde Ferry, 2022. *Onze boten*, <https://westerscheldeferry.nl/portfolio/onze-boten/> Oktober/20/2022.



A Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

Tabel 23 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-CO₂- en SO₂-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 23 die afhangen van het specifieke voertuig waar de brandstof in wordt verbrand zijn de tank-to-wheel overige broeikasgassen (deze komen terug in de CO₂-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 24 en Tabel 25 bevatten kentallen per kilogram en per liter brandstof.

Tabel 23 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO₂/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 ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq	SO ₂	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	0,75	43,3	94,2	95,8	73,0	73,9	0,0005	20,3	21,9	0,04	0,00	0,04	0,10
Bio-ethanol (benzinevervangers)	0,75	27,9	25,9	30,2	0,0	0,9	0,0001	25,0	29,3	0,11	0,03	0,13	0,07
Benzine E10	0,75	41,8	89,6	91,5	68,1	69,0	0,0001	20,6	22,4	0,05	0,01	0,05	0,10
Benzine E85	0,75	30,2	40,6	44,3	15,7	16,6	0,0001	24,0	27,7	0,09	0,02	0,11	0,07
LPG	0,54	45,2	74,0	75,6	66,7	67,1	0,0002	6,9	8,5	0,06	0,01	0,04	0,10
CNG	0,17	38,0	68,6	69,1	56,4	59,3	0,0002	9,3	9,8	0,01	0,00	0,09	0,01
Bio-CNG	0,17	38,0	26,9	27,3	0,0	2,9	0,0002	24,0	24,5	0,00	0,00	0,05	0,02
Diesel fossiel	0,84	43,2	96,0	97,7	72,5	73,4	0,0004	22,6	24,3	0,04	0,00	0,03	0,09
Diesel FAME	0,88	37,5	13,2	14,0	0,0	0,9	0,0004	12,3	13,1	0,02	0,04	0,08	0,02
Diesel B7	0,84	42,8	90,7	92,3	67,8	68,7	0,0004	21,9	23,6	0,04	0,01	0,03	0,08
Diesel B30	0,84	42,0	72,1	73,5	51,7	52,6	0,0004	19,4	20,8	0,03	0,01	0,04	0,07
Diesel HVO100	0,79	44,0	10,0	10,3	0,0	0,9	0,0002	9,1	9,4	0,01	0,01	0,03	0,01
Diesel GTL	0,78	44,0	95,2	97,4	70,9	71,8	0,0002	23,4	25,6	0,03	0,01	0,15	0,05
Elektriciteit - NL gemiddelde mix	-	-	97,8	100,4	-	-	-	97,8	100,4	0,06	0,00	0,03	0,13
Elektriciteit - 100% groen excl. bio	-	-	-	9,3	-	-	-	-	9,3	-	-	-	-
Elektriciteit - 100% grijs	-	-	147,6	148,0	-	-	-	147,6	148,0	0,06	0,00	0,03	0,17



Type brandstof	Dichtheid (kg/liter)	Stookwaarde (MJ/kg)	Well-to-wheel (g/MJ)		Tank-to-wheel (g/MJ)			Well-to-tank (g/MJ)					
			CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq	SO ₂	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
H ₂ Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	-	120,0	178,9	183,5	-	-	-	178,9	183,5	0,10	0,00	0,04	0,22
H ₂ Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	-	120,0	9,5	25,7	-	-	-	9,5	25,7	-	-	-	-
H ₂ Fuel cell - steam reforming	-	120,0	104,3	105,6	-	-	-	104,3	105,6	0,05	0,00	0,15	0,03
Kerosine (luchtvaart)	0,80	43,5	92,0	93,6	71,5	72,0	0,0227	20,0	21,6	0,04	0,00	0,03	0,08
Biokerosine (rapeseed)	0,77	44,0	48,0	48,3	0,0	0,5	0,0011	47,5	47,8	0,01	0,01	0,03	0,01

¹ 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-CO₂-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 8,9 gCO₂-eq./MJ. Bij E10 betreft dit 0,6 gCO₂-eq./MJ en bij E85 7,0 gCO₂-eq./MJ.

Tabel 24 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO₂/kg)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/kg)		Tank-to-wheel (g/kg)			Well-to-tank (g/kg)					
	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq.	SO ₂	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	4.078	4.149	3.161	3.199	0,020	879	950	1,8	0,2	1,8	4,5
Bio-ethanol (benzinevervangers)	722	843	-	25	0,003	698	818	3,0	0,7	3,5	1,8
Benzine E10	3.743	3.820	2.846	2.882	0,005	861	937	1,9	0,3	2,0	4,2
Benzine E85	1.227	1.340	475	502	0,004	725	838	2,8	0,7	3,3	2,2
LPG	3.343	3.417	3.015	3.032	0,009	312	385	2,8	0,3	1,8	4,7
CNG	2.606	2.627	2.143	2.253	0,008	353	374	0,5	0,0	3,5	0,5
Bio-CNG	1.022	1.039	-	110	0,008	912	929	0,2	0,0	1,8	0,7
Diesel fossiel	4.148	4.221	3.132	3.172	0,019	976	1.049	1,7	0,2	1,4	3,8
Diesel FAME	496	526	-	34	0,014	461	491	0,9	1,5	3,1	0,7
Diesel B7	3.880	3.950	2.902	2.941	0,019	939	1.008	1,6	0,3	1,5	3,6
Diesel B30	3.028	3.087	2.173	2.212	0,017	817	876	1,4	0,5	1,8	2,8
Diesel HVO100	441	454	0	40	0,010	400	414	0,5	0,3	1,3	0,3
Diesel GTL	4.190	4.284	3.120	3.160	0,009	1.030	1.124	1,2	0,4	6,5	2,1
H ₂ Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	21.471	22.014	-	-	-	21.471	22.014	11,4	0,5	5,2	26,5
H ₂ Fuel cell - elektrolyse 100% groen excl. bio	1.140	3.082	-	-	-	1.140	3.082	-	-	-	-
H ₂ 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

¹ 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-CO₂-eq.-emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 385 gCO₂-eq./kg. Bij E10 betreft dit 26 gCO₂-eq./kg en bij E85 303 gCO₂-eq./kg.

Tabel 25 - Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen (gCO₂/L)

Type brandstof	Well-to-wheel (g/L)		Tank-to-wheel (g/L)			Well-to-tank (g/L)					
	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq.	SO ₂	CO ₂ -eq. ex. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	3.058	3.112	2.371	2.399	0,015	659	713	1,4	0,2	1,4	3,4
Bio-ethanol (benzinevervangers)	540	630	-	18	0,002	522	612	2,3	0,5	2,6	1,4
Benzine E10	2.807	2.864	2.133	2.161	0,004	645	703	1,4	0,2	1,5	3,2
Benzine E85	918	1.003	356	375	0,003	542	627	2,1	0,5	2,4	1,7
LPG	1.792	1.831	1.616	1.625	0,005	167	207	1,5	0,1	0,9	2,5
CNG	434	438	357	375	0,001	59	62	0,1	0,0	0,6	0,1
Bio-CNG	170	173	-	18	0,001	152	155	0,0	0,0	0,3	0,1
Diesel fossiel	3.468	3.529	2.618	2.651	0,016	816	877	1,4	0,1	1,1	3,2
Diesel FAME	436	463	-	30	0,012	406	433	0,8	1,3	2,7	0,6
Diesel B7	3.255	3.314	2.435	2.468	0,016	787	846	1,4	0,2	1,2	3,0
Diesel B30	2.552	2.601	1.831	1.863	0,015	688	738	1,2	0,4	1,5	2,4
Diesel HVO100	346	356	-	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

¹ 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-CO₂-eq.emissies hoger zijn: bij pure ethanol betreft dit een verhoging met 288 gCO₂-eq./L. Bij E10 betreft dit 19 gCO₂-eq./L en bij E85 227 gCO₂-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 26). 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 26 - Verdeling over wegtypen van personenauto's

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 27 geeft een overzicht van de weging van de gehanteerde weging.

Tabel 27 - Weging van verschillende typen personenauto's in de gemiddelde personenauto in 2021

Type personenauto	Aandeel in vervoersprestatie
Benzine	73,8%
Diesel	19,8%
LPG	1,3%
CNG	0,2%
Batterij-elektrisch	3,7%
Brandstofcel	0,0%
Plug-in hybride	1,3%

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 28 tot Tabel 30.

Tabel 28 - Inschatting van het aandeel van benzine-, LPG- en CNG-personenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2021

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 29 - Inschatting van het aandeel van dieselpersonenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2021

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 30 - Inschatting van het aandeel van zero-emissie-personenauto's in de vervoersprestatie in 2020

Type personenauto	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 31) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023).

Tabel 31 - Verdeling over wegtypen van motorfietsen in 2020

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	15%
Buitenwegen	41%
Snelwegen	44%

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.

Omdat in de recente rapportage van Taakgroep Verkeer en Vervoer de Euroklassen van tweewielers in kaart is gebracht, hebben wij deze data gebruikt voor de leeftijdsverdeling (Geilenkirchen et al., 2023). Dit in tegenstelling tot STREAM Personenvervoer 2022, waar bij gebrek aan recentere data gegevens van het CBS uit 2014 werden gebruikt (CBS, 2014).

Tabel 32 - Inschatting van het aandeel van motorfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2021

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	18%
Euro 1	1999-2002	28%
Euro 2	2003-2005	15%
Euro 3	2006-2015	10%
Euro 4	2016-2019	26%
Euro 5	Na 2020	3%

B.3 Bromfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van bromfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 33) hebben we gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023).

Tabel 33 - Verdeling over wegtypen van bromfietsen in 2020

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

De verdeling naar Euroklassen is in deze versie gebaseerd op de rapportage van de Taakgroep Verkeer en Vervoer (Geilenkirchen et al., 2023). Eerder was dit gebaseerd op de verouderde leeftijdsverdeling volgens CBS (CBS, 2014).

Tabel 34 - Inschatting van het aandeel van bromfietsen per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020

Euroklasse	Bouwjaar	Aandeel in vervoersprestatie
Pre-Euro	Voor 1999	7%
Euro 2 (2-takt)	2002-2014	11%
Euro 2 (4-takt)	2002-2014	48%
Euro 3	2015-2016	0%
Euro 4	2017-2019	21%
Euro 5	2020-heden	5%
Elektrisch	-	8%

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 35.

Tabel 35 - 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%

B.5 Personenbusje

Aangezien we geen specifieke informatie hebben over de vervoersprestatie van personenbusjes, is aangenomen dat zowel de verdeling naar wegtype (zie Tabel 36) als de verdeling naar Euroklassen (zie

Tabel 37) 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 36 - Aangenomen verdeling naar wegtype van personenbusjes

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

Tabel 37 - 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%

Euroklasse	Aandeel in vervoersprestatie
Euro 4 (2005-2010)	15%
Euro 5 (2009-2016)	34%
Euro 6A (2014-2019)	39%
Euro-6D(>2020)	8%
Elektrisch	0%

B.6 Ov-bus

De verdeling over de wegtypen is gebaseerd op (Geilenkirchen et al., 2023) (Geilenkirchen et al., 2022)en samengevat in Tabel 38.

Tabel 38 - Verdeling over wegtypen van ov-bussen in 2021

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie (vkm's)
Stadswegen	59%
Buitenwegen	32%
Snelwegen	10%

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 39.

Tabel 39 - Weging van verschillende typen ov-bussen in een gemiddelde ov-bus in 2021

Type ov-bus	Aandeel in vervoersprestatie
Diesel	71%
HVO	4%
CNG	10%
Batterij-elektrisch	15%
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 40 en Tabel 41.

Tabel 40 - 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 41 - 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 42) 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 43) 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 42 - 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 43 - 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 CROW¹⁷. 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 16.

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 44 - Vervoersprestatie treinen in 2019

Categorie	Reizigerskilometers (mld)	Zitplaatskilometers (mld)
Stoptrein NS	3,6	15
Intercity (inclusief HSL)	14,4	45,3
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 45.

Tabel 45 - 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.

¹⁷ Dit is data die onderliggend is voor de studie 'De Staat van het Regionale OV 2019' (CROW-KpVV, 2020).

C Uitkomsten luchtvaart per LTO

C.1 Emissies per LTO

Tabel 46 - Gram uitstoot per LTO per reiziger

Afstandsklasse	Reisklasse	WTW	TTW				WTT			
		CO ₂ -eq incl. infra	CO ₂ -eq	NO _x	PM _{2,5v}	PM _{10-sl}	CO ₂ -eq incl. infra	CO ₂ -eq ex. infra	NO _x	PM ₁₀
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-CO₂', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO₂-emissies (EASA et al., 2020).

D Berekening broeikasgasemissies elektriciteitsproductie

Wij hebben de emissies van broeikasgassen van elektriciteitsproductie berekend conform de methodiek van de studie Ketenemissies elektriciteit (actualisatie 2023) (CE Delft, 2023a). Deze kentallen zijn berekend voor het jaar 2021. De aangenomen ketenemissies per soort stroomopwekking hebben wij samengevat in Tabel 47.

Tabel 47 - Ketenemissies 2020 per energiebron (gCO₂-eq./kWh)

Energiebron	Ketenemissies exclusief centrale en productiemiddelen (g/kWh)	Ketenemissies van centrale en productiemiddelen (g/kWh)
Aardgas*	79	1
- wkk	82	2
- niet-wkk	77	1
Kolen	147	1
Overig fossiel	0	2
Nucleair	5	2
Wind	0	16
Zon	0	62
Waterkracht	0	4
Biomassa	68	2
Overig	62	9

Wij hebben echter twee wijzigingen doorgevoerd:

1. Voor de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde stroommix gaan wij nu uit van 290 gCO₂/kWh, op basis van de integrale methode voor het jaar 2020 uit de KEV 2022 (PBL, 2022)¹⁸.
2. Wij gaan uit van de stroommix uit 2021 zoals gerapporteerd door CBS (CBS, 2023). De aangenomen stroommix hebben wij samengevat in Tabel 48.

Tabel 48 - Aangenomen stroommix in 2021

Stroombron	Productie (PJ)	% van totaal	% van grijze mix	% groene mix
Aardgas	204	46%	72%	
wkk	100	23%	35%	
niet-wkk	104	24%	37%	
Kolen	53	12%	18%	
Overig fossiel	15	3%	5%	
Nucleair	14	3%	5%	
Wind	65	15%		61%
Zon	41	9%		38%
Waterkracht	0	0%		0%

¹⁸ De KEV 2022 ging voor 2021 uit van 290 gCO₂/kWh, maar hierin is geen rekening gehouden met de oorlog in Oekraïne. Daarom hebben wij hier de waarde van 2020 behouden.

Stroombron	Productie (PJ)	% van totaal	% van grijze mix	% groene mix
Biomassa	39	9%		
Overig	9	2%	3%	
Totaal Productie	439	100%	100%	100%

Uit deze cijfers volgt dat 64,9% van de opgewekte stroom in 2021 grijs was. Conform de methodiek van Ketenemissies elektriciteit 2023 (CE Delft, 2023a) kunnen wij hier uit afleiden dat de directe emissies van stroomproductie voor de gemiddelde grijze stroommix gelijk zijn aan 447 gCO₂/kWh. Door Tabel 47 en Tabel 48 hebben wij vervolgens alle emissiekentallen voor productie van gemiddelde, groene en grijze stroom¹⁹ opgesteld (zie Tabel 49).

Tabel 49 - Resulterende emissiekentallen stroomopwekking (gCO₂-eq./kWh)

	ketenemissie excl. productie-middelen	ketenemissie incl. productie-middelen	Directe emissies	Totaal excl. productie-middelen	Totaal incl. productie-middelen
Gemiddelde stroommix	62	71	290	352	361
Grijze stroommix	84	86	447	531	533
Groene stroommix	0	34	0	0	34

Tot slot rekenen wij een opslagfactor van 1,2% voor transformatie naar middenspanning en een opslag van 3% voor transformatie naar laagspanning.

¹⁹ 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.

E Uitgebreide kentallen elektrische- en waterstofvoertuigen

Tabel 50 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 2021) 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 50 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2021 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM _{10sl}	WTT			
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*		CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenauto	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,3	65,0	63,3	0,013	65,0	63,3	0,036	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,3	6,1	0,0	0,013	6,1	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,3	95,8	95,6	0,013	95,8	95,6	0,042	0,001
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	1,3	99,6	98,4	0,013	99,6	98,4	0,043	0,002
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	1,3	173,1	168,8	0,013	173,1	168,8	0,090	0,004
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	1,3	24,2	9,0	0,013	24,2	9,0	0,000	0,000
Motorfiets	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,2	65,8	64,1	0,006	65,8	64,1	0,036	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,2	6,1	0,0	0,006	6,1	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,2	97,0	96,8	0,006	97,0	96,8	0,042	0,001
Bromfiets	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,1	15,4	15,0	0,003	15,4	15,0	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,1	1,4	0,0	0,003	1,4	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,1	22,7	22,6	0,003	22,7	22,6	0,010	0,000
Fiets	E-Bike	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	3,3	3,3	0,000	3,3	3,3	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	4,9	4,9	0,000	4,9	4,9	0,002	0,000
	Speed pedelec	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	4,1	4,0	0,000	4,1	4,0	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	6,0	6,0	0,000	6,0	6,0	0,003	0,000
Personenbus	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	2,4	61,0	59,4	0,008	61,0	59,4	0,033	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	2,4	5,7	0,0	0,008	5,7	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	2,4	89,9	89,7	0,008	89,9	89,7	0,039	0,001

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM _{10sl}	WTT			
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*		CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Ov-bus	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	116,0	114,0	0,014	35,1	33,1	0,047	0,007
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	107,8	105,2	0,014	27,0	24,4	0,042	0,007
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	120,3	118,5	0,014	39,4	37,6	0,048	0,007
	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	59,2	57,7	0,011	59,2	57,7	0,032	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	5,5	0,0	0,011	5,5	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	87,3	87,0	0,011	87,3	87,0	0,038	0,001
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	8,1	90,7	89,6	0,011	90,7	89,6	0,039	0,001
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	8,1	157,6	153,7	0,011	157,6	153,7	0,082	0,003
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	8,1	22,1	8,2	0,011	22,1	8,2	0,000	0,000
Touringcar	Batterij-elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	48,0	9,0	8,8	0,001	9,0	8,8	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	13,3	13,3	0,001	13,3	13,3	0,006	0,000
Trein	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	29%	23,3	22,7	0,014	21,0	20,4	0,012	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	29%	4,9	3,0	0,014	2,6	0,7	0,001	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	29%	32,9	32,7	0,014	30,6	30,4	0,014	0,001
	Stoptrein elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	24%	43,8	42,6	0,028	43,8	42,6	0,024	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	24%	4,1	0,0	0,028	4,1	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	24%	64,5	64,3	0,028	64,5	64,3	0,028	0,001
	Intercity	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	32%	14,5	14,1	0,009	14,5	14,1	0,008	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	32%	1,3	0,0	0,009	1,3	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	32%	21,4	21,3	0,009	21,4	21,3	0,009	0,000
	Internationale trein	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	47%	18,3	17,8	0,012	18,3	17,8	0,010	0,000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	47%	1,7	0,0	0,012	1,7	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	47%	27,0	26,9	0,012	27,0	26,9	0,012	0,000
Tram	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	36%	68,6	66,9	0,044	68,6	66,9	0,038	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	36%	6,4	0,0	0,044	6,4	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	36%	101,2	100,9	0,044	101,2	100,9	0,044	0,001

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW PM _{10sl}	WTT			
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*		CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Metro	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	84%	44,8	43,6	0,023	44,8	43,6	0,025	0,001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	84%	4,2	0,0	0,023	4,2	0,0	0,000	0,000
		Elektriciteit - 100% grijs	84%	66,0	65,8	0,023	66,0	65,8	0,029	0,001
Ov	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	n.v.t.	38,2	37,4	0,015	25,5	24,7	0,018	0,002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	n.v.t.	18,8	16,5	0,015	6,1	3,8	0,007	0,001
		Elektriciteit - 100% grijs	n.v.t.	48,4	48,0	0,015	35,7	35,3	0,020	0,001
Bus/tram/metro	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	n.v.t.	93,1	91,3	0,020	42,3	40,5	0,040	0,005
		Elektriciteit - 100% duurzaam	n.v.t.	69,6	66,1	0,020	18,8	15,3	0,026	0,004
		Elektriciteit - 100% grijs	n.v.t.	105,4	104,2	0,020	54,6	53,4	0,043	0,005

* 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-CO₂', voor de globale luchtvaart zijn deze een factor 0,7 van de CO₂-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.