



STREAM Personenvervoer

Emissiekentallen 2030



CE Delft

Committed to the Environment

STREAM Personenvervoer

Emissiekentallen 2030

Dit rapport is geschreven door:
Louis Leestemaker en Roy van den Berg

Delft, CE Delft, mei 2023

Publicatienummer: 23.210506.078

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

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

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

	Samenvatting	5
1	Inleiding	6
2	Overzicht van de uitkomsten	8
	2.1 Introductie	8
	2.2 Gemiddelde emissiefactoren per voertuigcategorie	8
3	Methodiek en aannames	16
	3.1 Algemeen	16
	3.2 Personenauto	16
	3.3 Motorfiets	18
	3.4 Bromfiets	19
	3.5 Fiets	20
	3.6 Personenbusje	20
	3.7 Ov-bus	21
	3.8 Touringcar	22
	3.9 Trein	23
	3.10 Tram en metro	24
	3.11 Luchtvaart	24
A	Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen	26
B	Emissiefactoren luchtvaart per LTO-cyclus	31
C	Uitgebreide emissiekentallen elektriciteit en waterstof	33
	Bronnen	25

Begrippenlijst

Afkorting/begrip	
Aandrijflijn	De aandrijflijn is een verzamelnaam voor alle componenten die ervoor zorgen dat de wielen worden aangedreven
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 emissieklassen 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 Gas-emissie: 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
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 zijn 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
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.
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	Zwavel dioxide-emissies. Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu. Het kan leiden tot onder andere 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 uitlaatgaskatalysator met SCR-techniek.
Vkm	Voertuigkilometer
VOS	Vluchtige organische stoffen. Deze komen vrij bij verdamping en onvolledige verbranding van brandstoffen. Blootstelling aan vluchtige organische stoffen kan gezondheidsklachten veroorzaken.
Wegtype	We onderscheiden drie type wegen: stadswegen, buitenwegen en snelwegen. Op deze wegen worden verschillende snelheden gereden en kennen verschillend rijgedrag, bijvoorbeeld de mate van starten en stoppen. Dit zorgt voor een verschillend brandstofgebruik.
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. 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 aanvulling op het recent gepubliceerde STREAM Personenvervoer 2022, waarin we een doorkijk geven naar de emissiekentallen in 2030.

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-equivalenten (bestaande uit CO₂, CH₄ (methaan) en N₂O), NO_x, PM_{2,5} en PM₁₀, VOS en SO₂. Daarnaast rapporteren we emissiefactoren voor de productie van elektriciteit en brandstoffen voor dezelfde stoffen. De emissiekentallen hebben wij uitgesplitst naar uitlaatemissies (tank-to-wheel) en de emissies die vrijkomen bij de energieproductie (well-to-tank). In lijn met de ISO 14083-norm hebben wij bij de emissies van energieopwekking ook de productie van energie-infrastructuur gekwantificeerd, omdat de verschillen in deze emissies met name bij zonne- en windenergie erg relevant zijn. De overige levenscyclusemissies vormen geen onderdeel van de emissiekentallen.

In dit rapport is een overzicht opgenomen van de belangrijkste emissies (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.

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.

1 Inleiding

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://co2emissiefactoren.nl), de website die geharmoniseerde CO₂-cijfers voor verschillende gebruikers in Nederland aanbiedt. In het voorjaar van 2023 heeft CE Delft de laatste update van [STREAM Personenvervoer](#) gepubliceerd. Onderdeel van de opdracht was een doorkijk te geven naar de emissiekentallen voor 2030.

1.2 Doel en afbakening van de studie

STREAM Personenvervoer 2030 richt zich op het beschikbaar maken van emissiekentallen voor klimateffecten 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. In deze studie geven wij de emissiekentallen in 2030. Alle emissiekentallen die als resultaat van deze studie zijn opgeleverd, zijn gepubliceerd via [de webtool](#). Op deze manier vergroten wij de toegankelijkheid en vindbaarheid. In beknopte vorm zijn de emissiekentallen ook in deze rapportage opgenomen. Daarnaast hebben we in deze rapportage aandacht besteed aan de methodiek en aannames die ten grondslag liggen aan de kentallen. De emissiekentallen voor 2030 zijn grotendeels gebaseerd op de emissiekentallen van 2022. Wij hebben in deze studie onderzocht hoe het park van voertuigen zich waarschijnlijk zal ontwikkelen tot 2030, hoe de emissies van de productie van brandstoffen en elektriciteit zich zullen ontwikkelen en hoe het gebruik van biobrandstoffen zal veranderen. Op basis van deze inschattingen (die wij zo veel mogelijk op bestaande literatuur hebben gebaseerd) hebben wij emissiefactoren voor 2030 geconstrueerd. Een uitgebreide toelichting op de methodiek en onderbouwing van de 2022-kentallen is te vinden in het [hoofdrapport](#).

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

1.2.1 Scope

Voor elk van de combinaties voertuig/aandrijflijn/energiedrager en de productie van elektriciteit en brandstoffen rapporteren wij de volgende emissies (ook wel componenten genoemd) voor 2030:

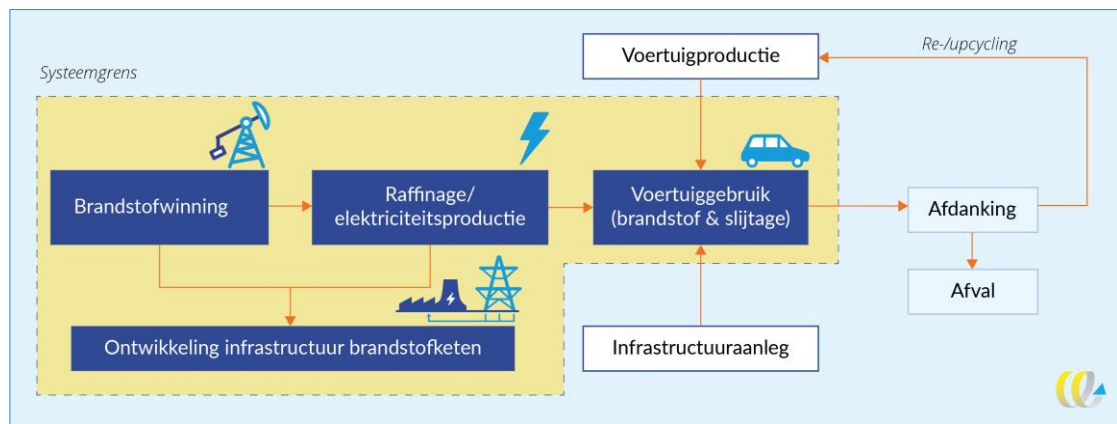
- broeikasgassen (CO₂, CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas), uitgedrukt in CO₂-equivalenten);
- stikstofoxiden (NO_x);
- fijnstof van verbrandingsprocessen (PM_{2,5}) én door slijtage (PM₁₀ en PM_{2,5});
- vluchtige organische stoffen (VOS);
- zwaveldioxide (SO₂).

In deze rapportage focussen wij op de meest gebruikte emissiefactoren - dit zijn de broeikasgassen, NO_x, PM_{2,5} en PM₁₀ - en de hoofdcategorieën van voertuigen. In [de webtool](#) hebben wij alle emissiefactoren opgenomen voor elke uitsplitsing van de voertuigen.

Figuur 1 geeft de scope van STREAM Personenvervoer 2030 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.

Figuur 1 - Schematische weergave van de scope van de emissiekentallen



Wij hebben de kentallen opgesteld op basis van beschikbare data, waarbij wij gebruik hebben gemaakt van bestaande prognoses. Bij afwezigheid daarvan hebben we gewerkt met actuele data, en in combinatie met voorspellingen en historische ontwikkelingen een inschatting gemaakt van de trendlijn. Het genereren van nieuwe data voor het vaststellen van emissiecijfers vormt geen onderdeel van deze studie.

1.3 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](#). We hebben ervoor gekozen om de duiding van de uitkomsten en een uitgebreide toelichting op het gebruik van de emissiekentallen achterwege te laten. Indien u daar interesse in heeft, verwijzen wij naar het [hoofdrapport](#) waarin dit beschreven is.

In Hoofdstuk 2 wordt het overzicht gegeven van de gemiddelde emissiekentallen. In Hoofdstuk 1 geven we een uitgebreide toelichting op de gebruikte methode om te komen tot de emissiekentallen en de aannames die we daarbij gebruikt hebben. In Bijlage A hebben we tevens de emissiefactoren voor elektriciteit en brandstoffen voor 2030 opgenomen, die als belangrijke basis dienen voor de uitkomsten. Ten slotte zijn in Bijlage B de emissiefactoren van luchtvaart per LTO-cyclus opgenomen, en in Bijlage C de uitgebreide emissiekentallen van elektriciteit en waterstof.

2 Overzicht van de uitkomsten

2.1 Introductie

In dit hoofdstuk presenteren wij een overzicht van de emissiekentallen voor het jaar 2030 voor gemiddelde wegtypen 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 op basis 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 (bijvoorbeeld: 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.

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 in 2030. 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 samengevat¹. 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.

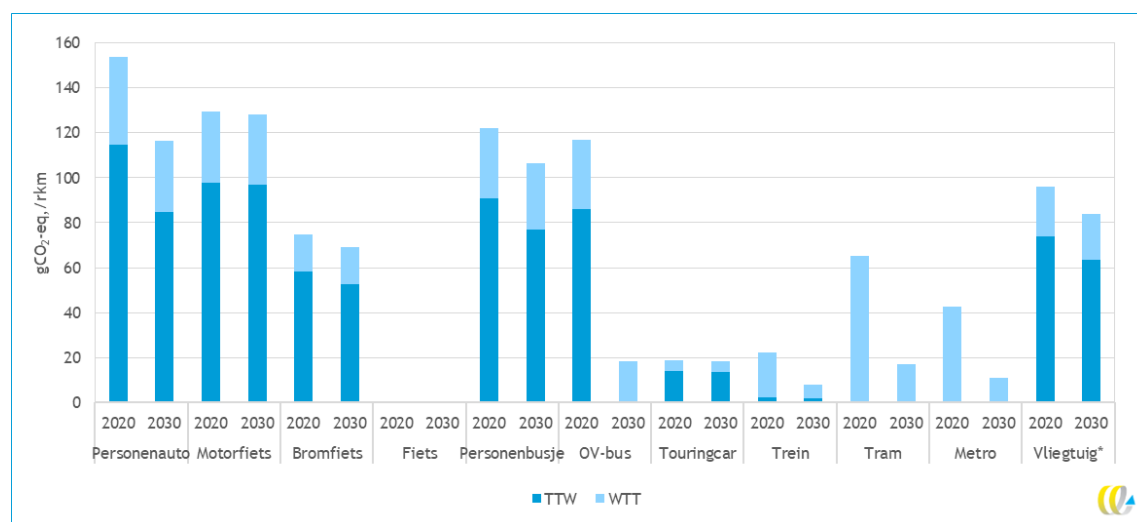
Figuur 2 geeft een overzicht van de well-to-wheel-klimaatemissies per voertuigcategorie in 2020 en in 2030, waarbij de tank-to-wheel- en de well-to-tank-emissies gestapeld zijn weergegeven. Het valt op dat de emissies per reizigerskilometer van ov-bussen, trams, treinen en metro veel lager zijn in 2030. In het geval van ov-bussen komt dit doordat het gehele wagenpark in 2030 elektrisch is én de emissies van elektriciteitsopwekking sterk zijn gedaald ten opzichte van 2020. Bij het railverkeer was al een groot aandeel elektrisch in 2030. De daling in de emissiefactor komt voor deze categorieën dus voornamelijk omdat de CO₂-uitstoot van stroomopwekking veel lager is (zie Bijlage A). Ook hebben wij een beperkte efficiëntieverbetering verondersteld. Ook bij andere voertuigcategorieën waar elektrisch

¹ 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.

vervoer een rol speelt, zie je deze daling terug, maar omdat elektrisch vervoer in de andere categorieën slechts een klein beperkt aandeel in het totaal is, is dit effect nergens zo duidelijk als bij railverkeer. Ook de emissies van personenauto's zijn significant lager. Dit komt grotendeels door de ingroei van elektrische voertuigen in het wagenpark. In mindere mate zie je dit effect ook terug bij bromfietsen, personenbusjes en touringcars. De emissies van luchtvaart per reizigerskilometer dalen ook, doordat vliegtuigen steeds efficiënter worden en er in 2030 ook een klein aandeel bio- en synthetische kerosine (SAF) wordt bijgemengd.

In de praktijk bestaat de klimaatimpact van luchtvaart voor een aanzienlijk deel uit niet-CO₂-effecten (zie Paragraaf 3.11 voor verdere toelichting). Deze emissies vallen echter buiten de well-to-wheel-methodiek. De kentallen in deze studie zijn dus een onderschatting van de werkelijke klimaatimpact van luchtvaart. Ook hebben wij niet onderzocht hoe de niet-CO₂ klimaatemissies van luchtvaart zich zullen ontwikkelen tot 2030.

Figuur 2 - Overzicht gemiddelde well-to-wheel-klimaatemissies (CO₂-eq.) per voertuigcategorie in 2030



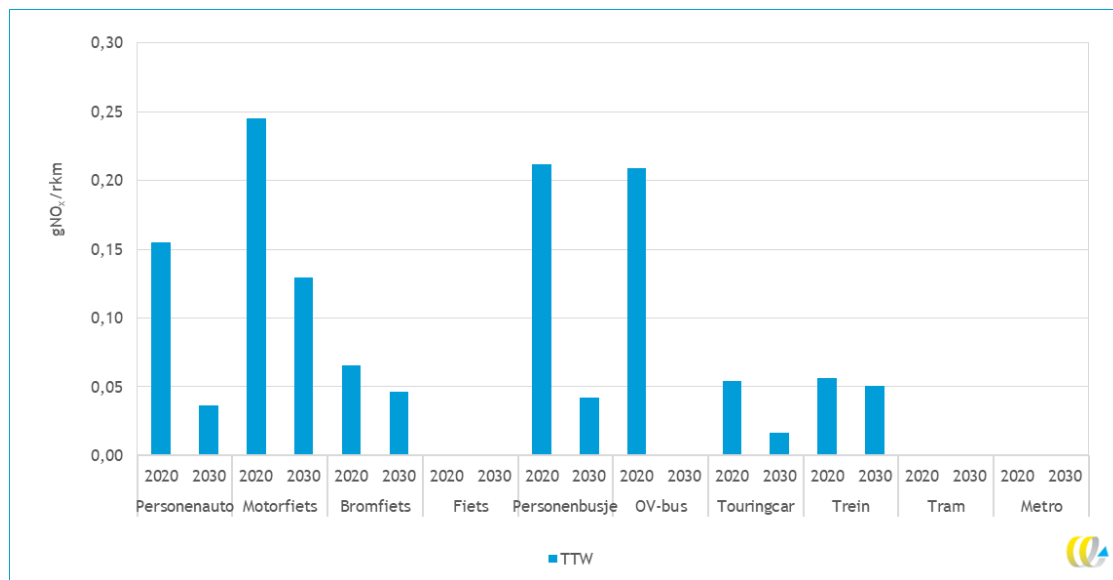
* Bij luchtvaart wordt de klimaatimpact ook bepaald door 'niet-CO₂'-effecten. Voor de globale luchtvaart zijn deze uitgedrukt in GWP100, gemiddeld genomen een factor 0,7 van de CO₂-emissies (EASA et al., 2020). In de literatuur wordt echter ook gesteld dat de 'GWP' de niet-CO₂-effecten onderschat en 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 3 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-emissies van stikstofemissies per voertuigcategorie in 2020 en 2030. Wij hebben de well-to-tank-stikstofemissies niet meegenomen in de figuur, omdat deze stikstofuitstoot op andere locaties is en gemiddeld genomen minder schade veroorzaakt. 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 doordat 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 A.

Het valt op dat de stikstofemissies van het gehele wegverkeer sterk lager zijn in 2030. Dit komt grotendeels door de verjonging van het wagenpark, waardoor voertuigen met een

lagere Euroklasse (die veel stikstofoxiden uitstoten) worden vervangen door voertuigen met een hogere Euroklasse (die weinig stikstofoxiden uitstoten). Doordat de nieuwere voertuigen veel betere katalysatoren hebben, daalt de stikstofuitstoot flink (veel sneller dan de CO₂-uitstoot). In mindere mate zie je ook elektrificatie van het wagenpark terug, omdat elektrische voertuigen tank-to-wheel geen uitstoot van stikstofoxiden veroorzaken.

Figuur 3 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-stikstofemissies (NO_x) per voertuigcategorie in 2030

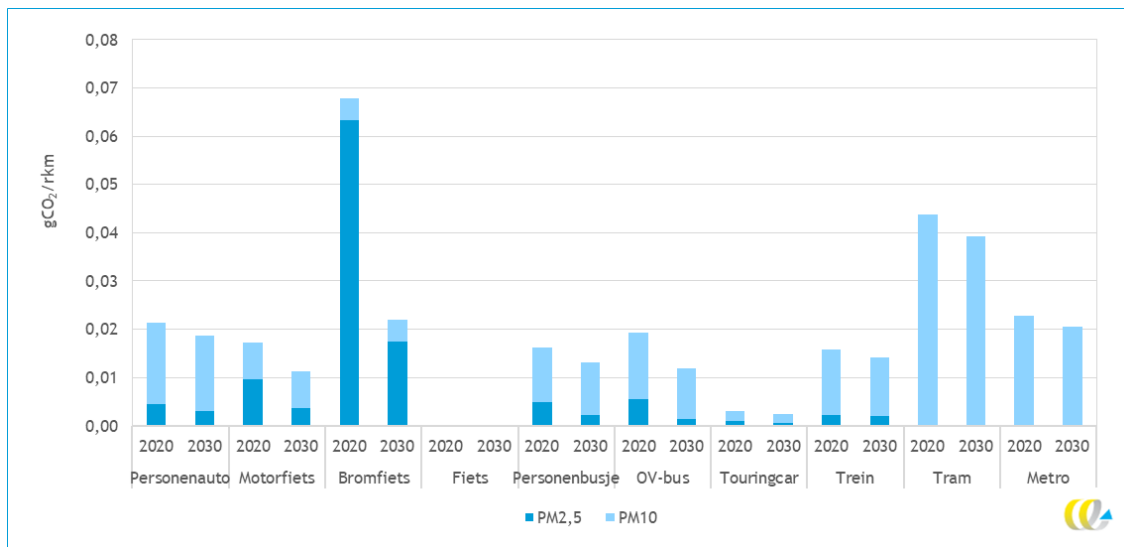


Figuur 3 geeft een overzicht van de tank-to-wheel-fijnstofemissies per voertuigcategorie, waarbij de PM_{2,5}- en de PM₁₀-emissies (groter dan PM_{2,5}) gestapeld zijn weergegeven. De PM_{2,5}-emissies zijn een onderdeel van de PM₁₀-emissies: de totale PM₁₀-emissies zijn dus het totaal van de gestapelde 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 reizigers-kilometer 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 A.

Het valt op dat de uitstoot van PM_{2,5} van het wegverkeer sterk daalt. Dit komt grotendeels door de verjonging van het wagenpark, waardoor voertuigen met een lagere Euroklasse (die veel PM_{2,5} uitstoten) worden vervangen door voertuigen met een hogere Euroklasse (die weinig PM_{2,5} uitstoten). In mindere mate zie je ook elektrificatie van het wagenpark terug, omdat elektrische voertuigen tank-to-wheel geen uitstoot van PM_{2,5} veroorzaken. De PM₁₀-uitstoot, die voornamelijk wordt veroorzaakt door slijtage, is echter hoegenaamd ongewijzigd in 2030. Dit komt doordat ook elektrische voertuigen fijnstof uitstoten door slijtage van banden en remmen.

Figuur 4 - Overzicht gemiddelde tank-to-wheel-fijnstofemissies (PM_{2,5} en PM₁₀) per voertuigcategorie in 2030



Tabel 1 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2030 (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 _{10sl}	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenauto	Gemiddeld	1,31	116,3	113,3	84,9	0,037	0,001	0,016	31,4	28,4	0,062	0,008
	Benzine	1,31	147,9	145,0	111,8	0,039	0,001	0,017	36,1	33,2	0,074	0,010
	Diesel	1,31	163,2	160,3	121,7	0,269	0,002	0,017	41,4	38,6	0,067	0,011
	Plug-in hybride- benzine	1,31	146,8	142,0	108,8	0,010	0,002	0,013	38,0	33,2	0,069	0,007
	Plug-in hybride-diesel	1,31	158,3	155,3	123,7	0,110	0,001	0,013	34,6	31,6	0,055	0,005
	LPG	1,31	125,0	122,4	111,0	0,084	0,003	0,017	14,0	11,4	0,100	0,009
	CNG	1,31	154,6	153,5	133,7	0,049	0,003	0,017	20,9	19,8	0,028	0,001
	Batterij-elektrisch ¹	1,31	18,2	15,0	-	-	-	0,013	18,2	15,0	0,028	0,001
	Brandstofcel ²	1,31	54,9	46,9	-	-	-	0,013	54,9	46,9	0,070	0,002
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	1,15	128,2	125,6	96,7	0,130	0,003	0,008	31,5	28,9	0,065	0,009
	Batterij-elektrisch	1,15	18,1	15,0	-	-	-	0,006	18,1	15,0	0,028	0,001
Bromfiets	Gemiddeld	1,10	56,4	55,2	42,5	0,037	0,014	0,004	13,9	12,7	0,028	0,004
	Benzine	1,10	69,0	67,6	52,7	0,046	0,017	0,005	16,2	14,9	0,033	0,004
	Batterij-elektrisch ¹	1,10	4,3	3,5	-	-	-	0,003	4,3	3,5	0,007	0,0002
Fiets	Gemiddeld	1,00	0,5	0,4	-	-	-	-	0,5	0,4	0,0007	-
	Gewone fiets	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	e-Bike ¹	1,00	0,9	0,8	-	-	-	-	0,9	0,8	0,001	-
	Speed pedelec ¹	1,00	1,1	0,9	-	-	-	-	1,1	0,9	0,002	-
Personenbusje	Gemiddeld	2,40	106,6	104,4	77,0	0,042	0,0004	0,011	29,6	27,4	0,048	0,010
	Diesel	2,40	126,9	124,6	94,6	0,047	0,0005	0,011	32,3	30,1	0,052	0,009
	Batterij-elektrisch ¹	2,40	17,4	14,4	-	-	-	0,008	17,4	14,4	0,027	0,001
Ov-bus	Gemiddeld	8,11	18,4	15,3	-	-	-	0,011	18,4	15,3	0,027	0,001
	Batterij-elektrisch ¹	8,11	16,4	13,6	-	-	-	0,011	16,4	13,6	0,025	0,001
	Brandstofcel ¹	8,11	49,6	42,4	-	-	-	0,011	49,6	42,4	0,064	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 _{10sl}	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Touringcar	Gemiddeld	48,00	18,4	18,1	13,8	0,017	0,0003	0,002	4,6	4,3	0,008	0,001
	HVO100	48,00	16,8	16,5	12,3	0,016	0,0003	0,002	4,5	4,2	0,007	0,002
	Batterij-elektrisch ¹	48,00	2,5	2,1	-	-	-	0,001	2,5	2,1	0,004	0,0001
Trein	Gemiddeld	29%	7,8	6,9	2,1	0,051	0,002	0,012	5,7	4,8	0,009	0,0004
	Stoptrein elektrisch ¹	24%	10,6	8,8	-	-	-	0,024	10,6	8,8	0,016	0,001
	Stoptrein diesel	26%	100,4	98,6	75,3	-	-	0,024	25,1	23,4	0,041	0,004
	Intercity ¹	32%	3,6	3,0	-	-	-	0,008	3,6	3,0	0,006	0,0002
	Internationale trein ¹	47%	4,6	3,8	-	-	-	0,010	4,6	3,8	0,007	0,0002
Tram	Gemiddeld ¹	36%	17,1	14,2	-	-	-	0,039	17,1	14,2	0,026	0,001
Metro	Gemiddeld ¹	84%	11,2	9,2	-	-	-	0,020	11,2	9,2	0,017	0,001
Vliegtuig**	Gemiddeld	88%	83,9	82,5	63,4	-	-	0,0004	20,5	19,0	0,033	0,003
	Korte afstand	86%	124,5	122,4	94,1	-	-	0,002	30,4	28,3	0,049	0,005
	Middellange afstand	85%	83,9	82,5	63,4	-	-	0,0003	20,5	19,0	0,033	0,003
	Lange afstand	89%	75,2	73,9	56,9	-	-	0,0001	18,3	17,1	0,030	0,003
Ov gemiddeld		N.v.t.	10,0	8,6	1,5	0,038	0,001	0,013	8,5	7,1	0,013	0,0005
B/T/M gemiddeld		N.v.t.	16,9	14,0	-	-	-	0,016	16,9	14,0	0,025	0,001

* 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 C.

² De kentallen voor elektrische voertuigen in deze tabel zijn berekend met elektrolyse op basis van de gemiddelde stroommix als uitgangspunt. Vergelijkbare kentallen bij 100% groene stroom of steam reforming hebben wij opgenomen in Bijlage C.

Tabel 2 - Overzicht gemiddelde emissies per voertuigkilometer voor het wegverkeer in 2030 (g/vkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	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	152,7	148,8	111,5	0,05	0,001	0,021	41,2	37,3	0,08	0,010
	Benzine	194,2	190,4	146,8	0,05	0,002	0,022	47,4	43,5	0,10	0,013
	Diesel	214,3	210,5	159,9	0,35	0,003	0,022	54,4	50,7	0,09	0,015
	Plug-in hybride-benzine	192,8	186,5	142,8	0,01	0,002	0,017	49,9	43,7	0,09	0,009
	Plug-in hybride-diesel	207,9	204,0	162,4	0,15	0,001	0,017	45,5	41,5	0,07	0,007
	LPG	164,2	160,7	145,8	0,11	0,004	0,022	18,5	14,9	0,13	0,012
	CNG	203,0	201,5	175,6	0,06	0,004	0,022	27,5	26,0	0,04	0,001
	Batterij-elektrisch ¹	23,9	19,7	-	-	-	0,017	23,9	19,7	0,04	0,001
	Brandstofcel ²	72,0	61,6	-	-	-	0,017	72,0	61,6	0,09	0,003
Motorfiets	Benzine (gemiddeld)	147,4	144,5	111,2	0,15	0,003	0,009	36,2	33,3	0,07	0,010
	Batterij-elektrisch ¹	20,9	17,2	-	-	-	0,007	20,9	17,2	0,03	0,001
Bromfiets	Gemiddeld	62,0	60,7	46,7	0,04	0,015	0,005	15,3	14,0	0,03	0,004
	Benzine	75,8	74,4	58,0	0,05	0,018	0,005	17,8	16,4	0,04	0,005
	Batterij-elektrisch ¹	4,7	3,9	-	-	-	0,004	4,7	3,9	0,01	0,000
Fiets	Gemiddeld	0,5	0,4	-	-	-	-	0,5	0,4	0,00	-
	Gewone fiets	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-Bike ¹	0,9	0,8	-	-	-	-	0,9	0,8	0,00	-
	Speed pedelec ¹	1,1	0,9	-	-	-	-	1,1	0,9	0,00	-
Personenbusje	Gemiddeld	255,9	250,5	184,8	0,10	0,001	0,026	71,2	65,8	0,12	0,024
	Diesel	304,5	299,1	227,0	0,11	0,001	0,027	77,5	72,1	0,13	0,021
	Batterij-elektrisch	41,8	34,5	-	-	-	0,020	41,8	34,5	0,06	0,002
Ov-bus	Gemiddeld	149,0	123,9	-	-	-	0,086	149,0	123,9	0,22	0,007
	Batterij-elektrisch ¹	133,1	110,1	-	-	-	0,086	133,1	110,1	0,20	0,007
	Brandstofcel ²	401,9	343,8	-	-	-	0,086	401,9	343,8	0,52	0,017

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	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)	883,7	868,4	662,0	0,80	0,013	0,095	221,8	206,4	0,36	0,059
	HVO100	806,2	790,6	591,0	0,77	0,013	0,094	215,2	199,6	0,35	0,072
	Batterij-elektrisch ¹	120,8	99,9	-	-	-	0,071	120,8	99,9	0,19	0,006

* 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 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 C.

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 C.

3 Methodiek en aannames

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk beschrijven wij de methodiek en aannames die zijn gehanteerd om tot de emissiekentallen voor voertuigen in 2030 te komen. Wij verwijzen in dit hoofdstuk regelmatig naar de ‘hoofdstudie’. Hier bedoelen wij STREAM Personenvervoer 2022 mee (CE Delft, 2023). In deze paragraaf staat een korte beschrijving van de algemene methodiek. Vervolgens hebben wij per paragraaf een gedetailleerdere beschrijving per voertuigcategorie opgenomen.

Ten eerste hebben wij een inschatting gemaakt van de emissies van de productie van brandstoffen en elektriciteit in 2030. De resulterende emissiekentallen en bijbehorende aannames staan opgenomen in Bijlage A. Met name de emissies van elektriciteitsproductie (en daardoor ook van waterstofproductie uit elektrolyse) zijn flink lager in 2030. Dit heeft een grote invloed op de emissies van elektrisch vervoer. Daarnaast hebben wij waar nodig andere aannames gemaakt voor de bijmenging van biobrandstoffen in 2030.

Voor het wegverkeer hebben wij aannames gemaakt voor de samenstelling van het wagenpark in 2030. Op basis van deze samenstelling en specifieke emissiekentallen per type voertuig, hebben wij vervolgens gemiddelde emissiekentallen berekend.

Voor de overige modaliteiten (spoor en luchtvaart) hebben wij de emissiekentallen in 2030 berekend door aannames te maken over efficiëntieverbeteringen tussen nu en 2030. Ook werken de bijgestelde emissiekentallen van brandstoffen en elektriciteit door in de emissiekentallen voor deze voertuigen.

3.2 Personenauto

De vervoersprestatie van verschillende Euroklassen personenauto's in 2030 hebben wij gebaseerd op de modellering van het wagenpark voor de KEV2022² (PBL, 2022). Uit deze data volgt ook een verdeling over de wegtypen. Wij hebben voor alle typen personenauto's dezelfde gemiddelde verdeling over wegtypen aangenomen (zie Tabel 3). 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. Wij hebben verondersteld dat de gemiddelde bezetting van personenauto's gelijk is als in de hoofdstudie.

Tabel 3 - Verdeling over wegtypen (aandeel in voertuigkilometers) van personenauto's in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	21%
Buitenwegen	36%
Snelwegen	42%

² Deze data heeft het PBL op verzoek aangeleverd.

De gemiddelde personenauto is een gewogen gemiddelde van verschillende typen personenauto's op basis van het aandeel in de vervoersprestatie. Tabel 4 geeft een overzicht van de gehanteerde weging in 2020 en 2030. De vergelijking met de samenstelling van het wagenpark in 2020 laat zien dat met name het aandeel elektrische voertuigen sterk toeneemt richting 2030, terwijl het aandeel dieselveertuigen snel terugloopt.

Tabel 4 - Weging van aandrijfliijnen (aandeel in vkm's) in de gemiddelde personenauto in 2020 en 2030

Type personenauto	2020	2030
Benzine	71,6%	64,6%
Diesel	23,3%	3,8%
LPG	1,4%	0,6%
CNG	0,2%	0,1%
Batterij-elektrisch	2,3%	23,9%
Brandstofcel	0,0%	0,0%
Plug-in hybride	1,1%	6,9%

De individuele typen personenauto's zijn op zichzelf weer een samenstelling van verschillende Euroklassen. De aandelen van de verschillende Euroklassen in de vervoersprestatie in 2020 en 2030 zijn weergegeven in Tabel 5 tot Tabel 7. Ten opzichte van de resultaten voor 2020 valt op dat het aandeel Euro 6 sterk is toegenomen in 2030, omdat oudere voertuigen tegen die tijd uit het wagenpark zijn verdwenen.

Tot slot geldt dat de gemiddelde emissies van stikstof en fijnstof van een bepaald type Euroklasse personenauto's in 2030 niet gelijk is aan de emissies in het jaar 2020. Dit komt doordat de katalysatoren over tijd minder goed gaan werken, waardoor de NO_x-uitstoot van eenzelfde auto toeneemt over tijd. Ook voor roetfilters geldt dat die minder goed kunnen werken over tijd. Daarnaast worden deze soms in de praktijk verwijderd bij oudere voertuigen. Wij hebben de aannames hiervoor overgenomen uit de modellering van de KEV2022.

Tabel 5 - Inschatting van het aandeel van benzine-, LPG- en CNG-personenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Euroklasse	2020			2030		
	Benzine	LPG	CNG	Benzine	LPG	CNG
Pre-Euro (<1992)	1%	4%	0%	0%	0%	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Euro 2 (1996-1999)	5%	7%	0%	0%	3%	0%
Euro 3 (2000-2005)	8%	15%	0%	1%	3%	0%
Euro 4 (2005-2010)	29%	42%	6%	5%	12%	1%
Euro 5 (2009-2013)	24%	23%	22%	15%	17%	9%
Euro 6 (>2014)	33%	8%	72%	78%	65%	90%

Tabel 6 - Inschatting van het aandeel van dieselpersonenauto's per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Euroklasse	2020	2030
Pre-Euro (< 1992)	0%	0%
Euro 1 (1992-1996)	0%	0%
Euro 2 (1996-1999)	1%	1%
Euro 3 (2000-2005)	5%	2%
Euro 4 (2005-2010)	14%	2%
Euro 5 (2009-2013)	39%	27%
Euro 6A (2014-2019)	37%	41%
Euro 6D (> 2020)	5%	27%

Tabel 7 - Inschatting van het aandeel van zero-emissie-personeauto's in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Type personenauto	2020	2030
Plug-in hybride - benzine		
Euro 5 (2009-2013)	30%	1%
Euro 6A (2014-2019)	70%	99%
Plug-in hybride - diesel		
Euro 5 (2009-2013)	58%	30%
Euro 6A (2014-2019)	37%	27%
Euro 6D (> 2020)	5%	43%
Zero-emissie		
Batterij-elektrisch	100%	100%
Waterstof	0%	0%

3.3 Motorfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van motorfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 8) hebben we gelijk verondersteld aan de aannames voor 2020 (zie hoofdrapport voor methodiek). Wij hebben ook verondersteld dat de gemiddelde bezettingsgraad gelijk is aan de hoofdstudie.

Tabel 8 - Verdeling over wegtypen (aandeel in vkm's) van motorfietsen in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	15%
Buitenwegen	43%
Snelwegen	42%

Wij hebben aangenomen dat de leeftijdsverdeling van motorfietsen in 2030 gelijk is aan de huidige leeftijdsverdeling die was aangenomen in de hoofdstudie. Wij hebben de aangenomen leeftijdsverdeling samengevat in Tabel 9. Dit vertaalt zich in 2030 naar de verdeling over de Euroklassen zoals weergegeven in Tabel 10. Er is weinig bekend over de verwachte elektrificatie van motorfietsen. Onze inschatting is dat in 2030 nog het overgrote gedeelte van de motorfietsen op benzine rijdt³. Vandaar dat wij elektrische motorfietsen niet hebben meegewogen in het gemiddelde.

³ Deze inschatting hebben wij getoetst bij BOVAG, die ook verwachten dat het aandeel elektrische motorfietsen zonder extra beleid zeer marginaal (maximaal 1%) zal blijven tot 2030.

Tabel 9 - Leeftijdsverdeling van motorfietsen in 2030

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

Tabel 10 - Inschatting van het aandeel van motorfietsen (aandeel in vkm's) per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Euroklasse	Bouwjaar	2020	2030
Pre-Euro	Voor 1999	23%	0%
Euro 1	1999-2002	16%	0%
Euro 2	2003-2005	12%	18%
Euro 3	2006-2015	38%	34%
Euro 4	2016-2019	11%	15%
Euro 5	2020-2030	0%	34%
Elektrisch	Alle bouwjaren	0%	0%

3.4 Bromfiets

Het aandeel van de vervoersprestatie van bromfietsen op verschillende wegtypen (zie Tabel 11) hebben we gelijk verondersteld aan de hoofdstudie. Wij hebben ook verondersteld dat de gemiddelde bezettingsgraad gelijk is aan de hoofdstudie.

Tabel 11 - Verdeling over wegtypen van bromfietsen in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	69%
Buitenwegen	31%
Snelwegen	-

Wij hebben aangenomen dat de leeftijdsverdeling van bromfietsen in 2030 identiek is aan de situatie in 2020. Dit vertaalt zich naar de verdeling over de Euroklassen zoals weergegeven in Tabel 12. Wij hebben aangenomen dat alle bromfietsen met een bouwjaar tussen 2020-2030 Euro 5-benzine of elektrisch is. Het aandeel elektrische bromfietsen schatten wij in op 39⁴, wat betekent dat de rest Euro 5-benzine is. Verder hebben wij aangenomen dat de helft van de Euro 2-scooters tweetakt is.

⁴ Het aandeel elektrische bromfietsen hebben wij ingeschat op basis van de modellering uit de KEV2022: hieruit volgt dat er 0,36 PJ elektriciteit wordt gebruikt door tweewielers in 2030 en 5,6 PJ fossiele brandstoffen. Ongeveer de helft van dit energieverbruik is door motorfietsen (geheel benzine volgens onze aannames) en de andere helft door bromfietsen (deels benzine en deels elektrisch). Volgens de hoofdstudie gebruikt een benzine-bromfiets gemiddeld 0,79 MJ brandstof per kilometer en een elektrische motorfiets 0,16 MJ per kilometer. Uit deze gegevens kan worden afgeleid dat 39% van de kilometers in 2030 met elektrische motorfietsen wordt afgelegd.

Tabel 12 - Inschatting van het aandeel van bromfietsen (aandeel in vkm's) per Euroklasse in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Euroklasse	Bouwjaar	2020	2030
Pre-Euro	Voor 1999	18%	0%
Euro 2 (2-takt)	2002-2014	22%	7%
Euro 2 (4-takt)	2002-2014	22%	7%
Euro 3	2015-2016	19%	11%
Euro 4	2017-2019	18%	9%
Euro 5	2020-heden	0%	27%
Elektrisch	Alle	1%	39%

3.5 Fiets

De vervoersprestatie van gewone en elektrische fietsen hebben wij ingeschat op basis van het aantal kilometers dat in 2020 en 2024 wordt gefietst met deze typen fietsen, volgens de Haas, M. H., B., (2022). Wij hebben door middel van een lineaire extrapolatie op basis van deze gegevens het gebruik van gewone fietsen en e-bikes in 2030 ingeschat (zie Tabel 13).

Tabel 13 - Vervoersprestatie van gewone en elektrische fietsen in 2020, 2024 en 2030 (extrapolatie)

Type fiets	Vervoersprestatie in 2020 (mld vkm)	Vervoersprestatie in 2024 (mld vkm)	Vervoersprestatie in 2030 (mld vkm)
Elektrische fiets	4,1	6,9	11,1
Gewone fiets	13,9	12,6	10,7
Speed pedelec	Niet berekend	Niet berekend	0,6

Momenteel is het aandeel speed pedelecs verwaarloosbaar klein. Er is minder bekend over het verwachte aantal speed pedelecs in de toekomst. Om deze reden hebben wij aan BOVAG gevraagd of zij een expert guess konden maken van het aantal speed pedelecs in 2030. Hierop gaven zij aan dat het aantal speed pedelecs de afgelopen jaren gegroeid is met gemiddeld 3.000 per jaar (tot 33.000 in 2023). Als deze groei lineair wordt doorgezet tot 2030 dan kan worden verwacht dat er in 2030 ongeveer 55.000 speed pedelecs zijn. Met een gemiddeld jaarkilometrage van 6.000 kilometer zou dit betekenen dat er 600 miljoen kilometer per jaar wordt afgelegd met speed pedelecs.

Tabel 14 - Weging van verschillende typen fietsen in een gemiddelde fiets in 2020 en 2030

Type fiets	2020	2030
Gewone fiets	77%	48,2%
Elektrische fiets	23%	50,3%
Speed pedelec	-	1,5%

3.6 Personenbusje

Personenbusjes zijn een diverse categorie van voertuigen, zoals taxibusjes en (verschillende vormen van) doelgroepenvervoer. Het kan worden verwacht dat verschillende subgroepen binnen de categorie personenbus in aanzienlijk verschillende snelheden zullen verduurzamen. Zo garandeert het BestuursAkkoord Zero-Emissie Doelgroepenvervoer (BAZED) dat al het doelgroepenvervoer in 2025 zero-emissie is. Voor bijvoorbeeld taxibusjes gelden der-

gelijke regels nog niet. Wij hebben voor gemiddelde personenbusjes verondersteld dat het tempo van verduurzaming gelijk gaat met dat van bestelauto's. Voor specifieke soorten doelgroepenvervoer raden wij aan om goed te checken of deze aannames toepasbaar zijn.

Wij hebben aangenomen dat de verdeling over de wegtypen van personenbusjes in 2030 gelijk is aan de verdeling in 2020 (zie hoofdstudie). Ook hebben wij verondersteld dat de gemiddelde bezettingsgraden gelijk zijn aan de aannames uit de hoofdstudie.

Tabel 15 - Aangenomen verdeling naar wegtype van personenbusjes in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	40%
Buitenwegen	30%
Snelwegen	30%

Wij hebben, net als in de hoofdstudie, verondersteld dat de samenstelling van het wagenpark gelijk is aan die van bestelauto's. De samenstelling in 2030 hebben wij ingeschat door aan te nemen dat de verdeling in leeftijden in 2030 gelijk is aan de huidige verdeling. Hierdoor kunnen wij inschatten welk aandeel de verschillende euroklassen hebben in het totaal. Voor de nieuwste bestelauto's hebben wij, op basis van een inschatting van het aandeel elektrische bestelauto's volgens de Klimaat- en Energieverkenning 2022, aangenomen dat 11% elektrisch is en de rest Euro 6-diesel (PBL, 2022). De resulterende aannames staan samengevat in Tabel 16.

Tabel 16 - Aandelen van Euroklassen-personebusjes in de vervoersprestatie in 2020 en 2030

Euroklasse	2020	2030
Pre-Euro (< 1992)	0%	0%
Euro 1 (1992-1999)	0%	0%
Euro 2 (1997-2001)	0%	0%
Euro 3 (2000-2006)	4%	0%
Euro 4 (2005-2010)	15%	0%
Euro 5 (2009-2016)	34%	4%
Euro 6A (2014-2019)	39%	15%
Euro 6D	0%	70%
Elektrisch	0%	11%

3.7 Ov-bus

De verdeling over de wegtypen in 2030 hebben wij gelijk verondersteld aan de verdeling uit 2020 (zie Tabel 17). Wij hebben ook verondersteld dat de gemiddelde bezettingsgraad ongewijzigd is.

Tabel 17 - Verdeling over wegtypen van ov-bussen in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	58%
Buitenwegen	32%
Snelwegen	11%

Vanwege het Bestuursakkoord zero-emissie vervoer per bus (BAZEB) moeten alle ov-bussen in 2030 zero-emissie zijn (IPO et al., 2016). Dit betekent dat alle bussen in 2030 elektrische of waterstofaandrijving moeten hebben. Wij hebben op basis van de modellering voor de KEV 2022 verondersteld dat 6% van deze bussen waterstofaandrijving hebben en de overige 94% elektrische aandrijving. Er is relatief veel onzekerheid in de inschatting van het aandeel waterstofbussen.

Tabel 18 - Zero-emissiebussen in 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Elektrisch	94%
Waterstof	6%

3.8 Touringcar

Wij hebben de verdeling van touringcars over de wegtypen in 2030 gelijk verondersteld aan de aannames voor 2020 uit de hoofdstudie (zie Tabel 19). Wij hebben ook verondersteld dat de gemiddelde bezettingsgraad ongewijzigd is.

Tabel 19 - Verdeling over wegtypen van touringcars in 2020 en 2030

Wegtype	Aandeel in vervoersprestatie
Stadswegen	25%
Buitenwegen	25%
Snelwegen	50%

De verdeling over Euroklassen van touringcars in 2030 hebben wij ingeschat door eenzelfde leeftijdsverdeling van touringcars aan te nemen als in 2020. Voor touringcars die tussen nu en 2030 geproduceerd worden, moeten wij vervolgens inschatten welk aandeel diesel, elektrisch of waterstof is. Er zijn geen goede prognoses voor elektrificatie van het touringcarpark bekend. Daarom hebben wij KNV gevraagd of zij een *expert guess* konden maken van het aandeel elektrische touringcars in 2030. KNV gaf aan dat er pas rond 2026 elektrische touringcars op de markt komen en dat die veelal nog een korte actieradius hebben. Waterstof wordt potentieel ook interessant, maar de ingroei van waterstof-aangedreven touringcars zal ook pas in rond die tijd opstarten. Op basis hiervan schat KNV in dat er in 2030 slechts een paar honderd zero-emissietouringcars in het wagenpark zijn, wat neerkomt op 2,5 tot 5% van het totaal. Wij hebben daarom aangenomen dat 2% van de touringcars elektrisch is en 2% waterstof. Dit resulteert in het jaar 2030 in de verdeling over touringcars zoals weergegeven in Tabel 20.

Het komt 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 momenteel nog zeer beperkt. In 2030 is het goed mogelijk dat er wel significante hoeveelheden HVO worden bijgemengd. Het was echter niet mogelijk om een goede schatting van het HVO-gebruik in 2030 te maken. Om deze reden hebben wij gebruik van HVO niet meegewogen in de gemiddelde touringcar.

Tabel 20 - Aandeel in de vervoersprestatie van touringcars per Euroklasse in 2020 en 2030

Aandrijflijn	Euroklasse	Bouwjaar	2020	2030
Diesel	Pre-Euro	tot 1993	4%	0%
	Euro 1	1990-1997	4%	0%
	Euro 2	1994-2001	4%	0%
	Euro 3	2000-2006	6%	0%
	Euro 4	2005-2009	5%	2%
	Euro 5	2009-2013	26%	5%
	Euro 6	2012-heden	53%	89%
Zero-emissie	Elektrisch	Alle	0%	2%
	Waterstof	Alle	0%	2%

3.9 Trein

Wij hanteren dezelfde categorieën treinen (stoptrein elektrisch, stoptrein diesel, intercity elektrisch, internationale trein) als in de hoofdstudie. Voor elektrische treinen hebben wij een efficiëntieverbetering in energieverbruik per passagierskilometer aangenomen van 1% per jaar⁵ voor de periode 2019-2030.

Voor dieseltreinen wordt emissiereductie voornamelijk behaald wanneer motoren worden vervangen, aangezien nieuwe treinmotoren aan strengere emissie-eisen moeten voldoen. Wij hebben echter geen inzicht in de geplande of verwachte vernieuwing van motoren tot 2030. Daarom hebben wij geen emissiereductie bij dieseltreinen verondersteld.

Ook de vervoersprestatie van verschillende typen treinen is lastig in te schatten, omdat er op dit detailniveau geen prognoses beschikbaar zijn. Er staat wel vast dat de Maaslijn gaat elektrificeren (dit is ook als uitgangspunt genomen in de KEV2022). Op de Maaslijn werd in 2019 127,3 miljoen reizigerskilometers afgelegd (CROW-KpVV, 2020). Dit is ongeveer 20% van het totale aantal reizigerskilometers dat met dieseltreinen werd afgelegd (zie hoofd-rapport). Naast de elektrificatie van de Maaslijn hebben wij aangenomen dat het aandeel van verschillende typen treinen in de gemiddelde trein niet verandert ten opzichte van 2019. De resulterende aandelen van verschillende typen treinen zijn weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21 - Aandeel van verschillende typen treinen in de gemiddelde trein in 2019 en 2030

Categorie	2019	2030
Stoptrein NS	7,5%	7,5%
Intercity	85,7%	85,7%
Stoptrein (diesel)	3,9%	3,1%
Stoptrein (elektrisch)	2,9%	3,7%

⁵ Deze aanname hebben wij getoetst bij de NS.

3.10 Tram en metro

Wij hebben de emissies van trams en metro's in 2030 met een grove methode ingeschat, omdat wij geen specifieke informatie hebben over de verwachte veranderingen van het gebruik van metro's. Om deze reden hebben wij aangenomen dat het gebruik van metro's in 2030 gelijk is aan 2020. Wel hebben wij rekening gehouden met een gemiddelde efficiëntieverbetering van 1% per jaar⁶.

3.11 Luchtvaart

Voor de luchtvaart hebben wij dezelfde indeling naar afstandsklassen aangehouden als in de hoofdstudie. Wij hebben een jaarlijkse efficiëntieverbetering verondersteld van 1,5%⁷. Omdat de tank-to-wheel CO₂-uitstoot direct is gekoppeld aan het energieverbruik, is dit ook de jaarlijkse reductie van de CO₂-uitstoot per reizigerskilometer. Vanwege de ReFuelEU Aviation-wetgeving hebben wij verder verondersteld dat er een beperkt aandeel duurzame luchtvaartbrandstof (SAF) wordt bijgemengd in 2030 (zie Bijlage A voor verdere details).

De trend in emissies van NO_x en PM is lastiger in te schatten, omdat dit sterk afhangt van de vlootvernieuwing die plaatsvindt en de afstellingen en het gebruik van de straalmotoren. Ook kan de winst verschillen tussen vluchtfasen; emissiereducties bij het opstijgen zijn bijvoorbeeld niet direct door te vertalen naar de gehele vlucht. Om deze hebben wij besloten om de emissies per LTO te baseren op de modellering voor de KEV 2022 (PBL, 2023). De gebruikte modeloutput staat samengevat in Tabel 22. De resulterende efficiëntieverbeteringen voor de periode 2019-2030 hebben wij samengevat in Tabel 23.

Tabel 22 - Modeloutput KEV 2022 voor LTO-fase van luchtvaart

Variabele	Eenheid	2018	2019	2020	2030
Aantal LTO's	Duizenden	282	283	129	260
NO _x -emissies LTO	Kiloton	3,80	3,81	2,10	3,72
PM ₁₀ -emissies LTO	Kiloton	0,02	0,02	0,01	0,02
PM _{2,5} -emissies LTO	Kiloton	0,02	0,02	0,01	0,02

Tabel 23 - Efficiëntieverbetering (emissies/LTO) in procenten

Variabele	% efficiëntieverbetering 2019-2030
NO _x	12%
PM ₁₀	30%
PM _{2,5}	30%

⁶ Dit is dezelfde aanname die wij voor treinen hebben toegepast.

⁷ Wij hebben deze aanname getoetst bij de KLM. Zij gaven aan zelf van een efficiëntieverbetering van 1,9% efficiëntieverbetering. Omdat niet alle luchtvaart door KLM wordt uitgevoerd zijn wij toch van het gemiddelde van 1,5% uit gegaan in deze studie. Mocht er toch een hogere efficiëntieverbetering worden behaald, dan hebben wij die dus licht onderschat in deze studie.



Bronnen

- CE Delft, 2023. *STREAM Personenvervoer. Emissiekentallen modaliteiten 2022*, Delft: CE Delft.
- CROW-KpVV, 2020. *Staat van het regionale openbaar vervoer 2019*, Ede: CROW.
- de Haas, M. H., B., 2022. *Aanschaf en gebruik van de elektrische fiets: Achtergrondrapportage*.
- 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).
- IPO, Ministerie van I&M, MRDH & VRA, 2016. *Bestuursakkoord Zero Emissie Openbaar Vervoer per Bus*.
- PBL, 2022. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2023. *Geraamde ontwikkelingen in nationale emissies van luchtverontreinigende stoffen 2023*.



A Emissiefactoren elektriciteit en brandstoffen

De aangenomen emissiefactoren voor de productie van elektriciteit en brandstoffen in 2030 hebben wij samengevat in Tabel 24 t/m Tabel 26. Voor de meeste brandstoffen hebben wij dezelfde emissiefactoren gehanteerd als in de hoofdstudie. De volgende emissiefactoren hebben wij aangepast:

- De elektriciteitsmix wordt snel ‘groener’. Wij hebben de emissiekentallen van groene, grijze en gemiddelde stroom opnieuw berekend op basis van de energiemix in 2030 volgens de KEV 2022 (PBL, 2022).
- Als gevolg van de aangepaste emissiekentallen van elektriciteit hebben wij ook de emissiekentallen voor waterstof geproduceerd uit elektrolyse bijgesteld. De emissiekentallen voor waterstof uit steam reforming hebben wij niet gewijzigd.
- In 2030 zal er waarschijnlijk biokerosine significant worden bijgemengd als gevolg van ReFuel EU Aviation. Het verplichte bijmengpercentage voor vertrekkende vluchten in 2030 is volgens dit wetsvoorstel 6% (op volumebasis). Dit is ook het percentage dat wij hebben gehanteerd voor STREAM⁸.

Het is aannemelijk dat er nog meer wijzigingen in de brandstofketens zullen zijn tussen nu en 2030, bijvoorbeeld wijzigingen in de productiemethoden van aardgas, benzine en diesel. Ook is het mogelijk dat er richting 2030 over wordt gestapt van een standaard E10-benzine naar E15, of van B7 naar B10. Aangezien dit nog onzekere ontwikkelingen zijn, hebben wij deze niet meegenomen in de emissiefactoren.

⁸ De bijmenging van biokerosine op vluchten náar Nederland is onzekerder. Vluchten binnen de EU zullen ook de verplichte 6% biobrandstof moeten bijmengen. Voor vluchten vanuit andere werelddelen hangt het af van de wetgeving ter plaatse. Wij gaan ervan uit dat de belangrijkste bestemmingen (zoals de VS en het UK) ook vergelijkbare stimulering van biokerosine zullen regelen in wetgeving, waardoor een aanname van 6% bijmenging op zowel de heen- als terugvlucht het meest voor de hand ligt om aan te nemen.

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

Type brandstof	Dicht- heid (kg/ liter)	Stook- waarde (MJ/kg)	Well-to-wheel (g/MJ)			Tank-to-wheel (g/MJ)		Well-to-tank (g/MJ)					
			CO ₂ -eq. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq.	SO ₂	CO ₂ -eq. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	0,75	43,3	94,7	96,3	73,0	74,4	0,0005	20,3	21,9	0,042	0,005	0,042	0,104
Bio-ethanol (benzinevervangers)	0,75	27,9	26,4	30,7	0,0	1,4	0,0001	25,0	29,3	0,108	0,026	0,126	0,065
Benzine E10	0,75	41,8	90,1	91,9	68,1	69,5	0,0001	20,6	22,4	0,046	0,006	0,048	0,101
Benzine E85	0,75	30,2	41,1	44,8	15,7	17,1	0,0001	24,0	27,7	0,094	0,022	0,108	0,073
LPG	0,54	45,2	74,3	75,9	66,7	67,4	0,0002	6,9	8,5	0,061	0,006	0,039	0,105
CNG	0,17	38,0	68,6	69,2	56,4	59,3	0,0002	9,3	9,8	0,013	0,000	0,091	0,013
Bio-CNG	0,17	38,0	26,9	27,4	0,0	2,9	0,0002	24,0	24,5	0,004	0,001	0,048	0,019
Diesel fossiel	0,84	43,2	96,4	98,1	72,5	73,8	0,0004	22,6	24,3	0,039	0,004	0,031	0,088
Diesel FAME	0,88	37,5	13,6	14,4	0,0	1,3	0,0004	12,3	13,1	0,025	0,039	0,082	0,019
Diesel B7	0,84	42,8	91,1	92,7	67,8	69,1	0,0004	21,9	23,6	0,038	0,006	0,035	0,083
Diesel B30	0,84	42,0	72,5	73,9	51,7	53,0	0,0004	19,4	20,8	0,034	0,012	0,043	0,067
Diesel HVO100	0,79	44,0	10,4	10,7	0,0	1,3	0,0002	9,1	9,4	0,012	0,006	0,030	0,007
Diesel GTL	0,78	44,0	95,6	97,7	70,9	72,2	0,0002	23,4	25,6	0,028	0,009	0,148	0,048
Elektriciteit - NL gemiddelde mix	-	-	23,1	28,0	-	-	-	23,1	28,0	0,043	0,001	0,017	0,095
Elektriciteit - 100% groen, excl. bio	-	-	-	6,5	-	-	-	-	6,5	-	-	-	-
Elektriciteit - 100% grijs	-	-	90,6	91,0	-	-	-	90,6	91,0	0,139	0,002	0,058	0,375
H2 Fuel cell - elektrolyse NL gemiddelde mix	-	120,0	49,6	58,0	-	-	-	49,6	58,0	0,074	0,002	0,029	0,165
H2 Fuel cell - elektrolyse, 100% groen, excl. bio	-	120,0	9,5	20,8	-	-	-	9,5	20,8	-	-	-	-
H2 Fuel cell - steam reforming	-	120,0	104,3	105,6	-	-	-	104,3	105,6	0,046	0,002	0,151	0,031
Kerosene (luchtvaart)	0,80	43,5	92,0	93,6	71,5	72,0	0,0227	20,0	21,6	0,037	0,004	0,029	0,078
Bio-kerosene (rapeseed)	0,77	44,0	48,0	48,3	0,0	0,5	0,0011	47,5	47,8	0,012	0,006	0,030	0,007
Kerosene mix NL 2030	0,80	43,5	90,7	92,3	69,4	69,9	0,0221	20,8	22,4	0,036	0,004	0,029	0,076

- 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 g CO₂-eq./MJ. Bij E10 betreft dit 0,6 g CO₂-eq./MJ en bij E85 7,0 g CO₂-eq./MJ.
- ² Dit zijn gemiddelde kentallen die gelden voor gebruik van stroom. In de praktijk maakt het ook uit hoe de stroom getransformeerd moet worden van het stroomnet: voor wegverkeer is dit over het algemeen laagspanning, terwijl stroom voor railverkeer over het algemeen stroom op midden spanningsniveau is. We hebben hier correcties voor toegepast bij de berekening van emissies van elektrische voertuigen.

Tabel 25 - 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. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq.	SO ₂	CO ₂ -eq. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	4.099	4.171	3.161	3.220	0,020	879	950	1,8	0,2	1,8	4,5
Bio-ethanol (benzinevervangers)	736	857	-	38	0,003	698	818	3,0	0,7	3,5	1,8
Benzine E10	3.764	3.840	2.846	2.903	0,005	861	937	1,9	0,3	2,0	4,2
Benzine E85	1.242	1.355	475	517	0,004	725	838	2,8	0,7	3,3	2,2
LPG	3.356	3.430	3.015	3.044	0,009	312	385	2,8	0,3	1,8	4,7
CNG	2.608	2.628	2.143	2.255	0,008	353	374	0,5	0,0	3,5	0,5
Bio-CNG	1.023	1.041	-	111	0,008	912	929	0,2	0,0	1,8	0,7
Diesel fossiel	4.164	4.237	3.132	3.188	0,019	976	1.049	1,7	0,2	1,4	3,8
Diesel FAME	510	540	-	48	0,014	461	491	0,9	1,5	3,1	0,7
Diesel B7	3.896	3.966	2.902	2.957	0,019	939	1.008	1,6	0,3	1,5	3,6
Diesel B30	3.044	3.103	2.173	2.227	0,017	817	876	1,4	0,5	1,8	2,8
Diesel HVO100	457	471	0	57	0,010	400	414	0,5	0,3	1,3	0,3
Diesel GTL	4.206	4.301	3.120	3.176	0,009	1.030	1.124	1,2	0,4	6,5	2,1
H2 Fuel cell - elektrolyse NL, gemiddelde mix	5.951	6.957	-	-	-	5.951	6.957	8,9	0,3	3,5	19,8
H2 Fuel cell - elektrolyse, 100% groen, excl. bio	1.140	2.499	-	-	-	1.140	2.499	-	-	-	-
H2 Fuel cell - steam reforming	12.516	12.674	-	-	-	12.516	12.674	5,5	0,2	18,1	3,7
Kerosene (luchtvaart)	4.004	4.073	3.110	3.134	0,989	870	939	1,6	0,2	1,3	3,4
Bio-kerosine (rapeseed)	2.114	2.127	0	24	0,050	2.090	2.103	0,5	0,3	1,3	0,3
Kerosene mix NL 2030	3.948	4.015	3.018	3.042	0,961	906	974	1,6	0,2	1,3	3,3

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 g CO₂-eq./kg. Bij E10 betreft dit 26 g CO₂-eq./kg en bij E85 303 g CO₂-eq./kg.

Tabel 26 - 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. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂	CO ₂ -eq.	SO ₂	CO ₂ -eq. excl. infra	CO ₂ -eq. incl. infra	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	VOS
Benzine fossiel	3.074	3.128	2.371	2.415	0,015	659	713	1,4	0,2	1,4	3,4
Bio-ethanol (benzinevervangers)	550	641	-	29	0,002	522	612	2,3	0,5	2,6	1,4
Benzine E10	2.822	2.879	2.133	2.177	0,004	645	703	1,4	0,2	1,5	3,2
Benzine E85	929	1.014	356	387	0,003	542	627	2,1	0,5	2,4	1,7
LPG	1.799	1.838	1.616	1.632	0,005	167	207	1,5	0,1	0,9	2,5
CNG	435	438	357	376	0,001	59	62	0,1	0,0	0,6	0,1
Bio-CNG	171	173	-	19	0,001	152	155	0,0	0,0	0,3	0,1
Diesel fossiel	3.481	3.542	2.618	2.665	0,016	816	877	1,4	0,1	1,1	3,2
Diesel FAME	449	475	-	43	0,012	406	433	0,8	1,3	2,7	0,6
Diesel B7	3.269	3.327	2.435	2.481	0,016	787	846	1,4	0,2	1,2	3,0
Diesel B30	2.565	2.614	1.831	1.877	0,015	688	738	1,2	0,4	1,5	2,4
Diesel HVO100	359	369	-	45	0,008	314	325	0,4	0,2	1,0	0,3
Diesel GTL	3.281	3.355	2.433	2.478	0,007	803	877	1,0	0,3	5,1	1,6
Kerosene (luchtvaart)	3.203	3.258	2.488	2.507	0,791	696	751	1,3	0,1	1,0	2,7
Bio-kerosine (rapeseed)	1.628	1.638	-	18	0,039	1609	1620	0,4	0,2	1,0	0,3
Kerosene mix NL 2030	3.155	3.209	-	2.431	0,768	724	778	1,3	0,1	1,0	2,6

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 g CO₂-eq./L. Bij E10 betreft dit 19 g CO₂-eq./L en bij E85 227 g CO₂-eq./L.

B Emissiefactoren luchtvaart per LTO-cyclus

Voor de luchtvaart is naast de emissie van stoffen per reizigerskilometer ook, met name voor luchtvervuilende stoffen, de emissie per Landing & Take-off cyclus (LTO) relevant. Dit zijn de emissies die onder een hoogte van 3.000 voet worden uitgestoten (circa 1 km). Deze emissies slaan grotendeels neer in de omgeving van de luchthaven, waardoor ze een direct effect hebben op de gezondheid van omwonenden. Wij hebben de emissies per LTO samengevat in Tabel 27.

Tabel 27 - 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. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Gemiddeld	Gemiddeld	24.298	18.687	57	0,26	0,81	5.611	389	10	1,0
Gemiddeld	Economy class	21.906	16.847	51	0,23	0,73	5.059	351	9	0,9
Gemiddeld	Economy premium	23.340	17.950	55	0,25	0,78	5.390	374	9	0,9
Gemiddeld	Business class	44.021	33.855	103	0,47	1,47	10.166	705	18	1,8
Gemiddeld	First class	115.614	88.915	271	1,23	3,87	26.698	1.852	47	4,7
Korte afstand	Gemiddeld	29.165	22.051	22	0,10	1,07	7.113	459	12	1,2
Korte afstand	Economy class	26.294	19.881	19	0,09	0,97	6.413	414	10	1,0
Korte afstand	Economy premium	28.015	21.182	21	0,10	1,03	6.833	441	11	1,1
Korte afstand	Business class	52.838	39.951	39	0,19	1,94	12.888	832	21	2,1
Korte afstand	First class	138.771	104.924	102	0,50	5,10	33.847	2.185	55	5,5
Middellange afstand	Gemiddeld	20.967	15.853	58	0,25	0,68	5.114	330	8	0,8
Middellange afstand	Economy class	18.903	14.293	53	0,22	0,61	4.611	298	7	0,8
Middellange afstand	Economy premium	20.140	15.228	56	0,24	0,65	4.912	317	8	0,8
Middellange afstand	Business class	37.986	28.721	106	0,45	1,23	9.265	598	15	1,5
Middellange afstand	First class	99.765	75.432	278	1,19	3,23	24.333	1.571	39	4,0
Lange afstand	Gemiddeld	18.251	13.799	143	0,66	0,33	4.451	287	7	0,7
Lange afstand	Economy class	16.454	12.441	129	0,59	0,30	4.013	259	7	0,7
Lange afstand	Economy premium	17.531	13.255	137	0,63	0,32	4.276	276	7	0,7
Lange afstand	Business class	33.065	25.000	259	1,19	0,60	8.065	521	13	1,3
Lange afstand	First class	86.839	65.659	680	3,12	1,58	21.181		34	3,4

* 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.

C Uitgebreide emissiekentallen elektriciteit en waterstof

Tabel 28 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 2030) 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 28 - Overzicht gemiddelde emissies per reizigerskilometer in 2020 (g/rkm)

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW		WTT		
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*	PM _{10st}	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Personenauto	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,3	18,2	15,0	0,013	18,2	15,0	0,028	0,0009
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,3	4,2	0,0	0,013	4,2	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,3	59,1	58,9	0,013	59,1	58,9	0,091	0,0012
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	1,3	99,9	98,7	0,013	99,9	98,7	0,043	0,0016
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	1,3	54,9	46,9	0,013	54,9	46,9	0,070	0,0023
		Waterstof - elektrolyse, 100% groene stroom	1,3	19,7	9,0	0,013	19,7	9,0	0,000	0,0000
Motorfiets	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,2	18,1	15,0	0,006	18,1	15,0	0,028	0,0009
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,2	4,2	0,0	0,006	4,2	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,2	59,0	58,8	0,006	59,0	58,8	0,090	0,0012
Bromfiets	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,1	4,3	3,5	0,003	4,3	3,5	0,007	0,0002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,1	1,0	0,0	0,003	1,0	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,1	13,9	13,9	0,003	13,9	13,9	0,021	0,0003

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW		WTT		
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*	PM _{10st}	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
Fiets	E-Bike	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	0,9	0,8	0,000	0,9	0,8	0,001	0,0000
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,2	0,0	0,000	0,2	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	3,0	3,0	0,000	3,0	3,0	0,005	0,0001
	Speed pedelec	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	1,0	1,1	0,9	0,000	1,1	0,9	0,002	0,0001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	1,0	0,3	0,0	0,000	0,3	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	1,0	3,7	3,7	0,000	3,7	3,7	0,006	0,0001
Personenbus	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	2,4	17,4	14,4	0,008	17,4	14,4	0,027	0,0009
		Elektriciteit - 100% duurzaam	2,4	4,1	0,0	0,008	4,1	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	2,4	56,6	56,4	0,008	56,6	56,4	0,087	0,0012
Ov-bus	Gemiddeld*	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	18,4	15,3	0,011	18,4	15,3	0,027	0,0009
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	6,5	2,5	0,011	6,5	2,5	0,004	0,0001
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	53,2	52,6	0,011	53,2	52,6	0,081	0,0012
	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	8,1	16,4	13,6	0,011	16,4	13,6	0,025	0,0008
		Elektriciteit - 100% duurzaam	8,1	3,8	0,0	0,011	3,8	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	8,1	53,4	53,2	0,011	53,4	53,2	0,082	0,0011
	Brandstofcel	Waterstof - steam reforming	8,1	90,3	89,2	0,011	90,3	89,2	0,039	0,0015
		Waterstof - elektrolyse NL gemiddelde stroom	8,1	49,6	42,4	0,011	49,6	42,4	0,064	0,0020
		Waterstof - elektrolyse 100% groene stroom	8,1	17,8	8,1	0,011	17,8	8,1	0,000	0,0000
Touringcar	Batterij- elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	48,0	2,5	2,1	0,001	2,5	2,1	0,004	0,0001
		Elektriciteit - 100% duurzaam	48,0	0,6	0,0	0,001	0,6	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	48,0	8,2	8,2	0,001	8,2	8,2	0,013	0,0002
Trein	Gemiddeld***	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	29%	7,8	6,9	0,012	5,7	4,8	0,009	0,0004
		Elektriciteit - 100% duurzaam	29%	3,9	2,7	0,012	1,9	0,6	0,001	0,0001
		Elektriciteit - 100% grijs	29%	19,2	19,0	0,012	17,1	17,0	0,026	0,0005
	Stoptrein elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	24%	10,6	8,8	0,024	10,6	8,8	0,016	0,0005
		Elektriciteit - 100% duurzaam	24%	2,5	0,0	0,024	2,5	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	24%	34,5	34,4	0,024	34,5	34,4	0,053	0,0007
	Intercity	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	32%	3,6	3,0	0,008	3,6	3,0	0,006	0,0002

Voertuigcategorie	Voertuigtechniek	Energiebron	Bezetting (rkm/vkm of %)	WTW		TTW		WTT		
				CO ₂ -eq. incl. infra*	CO ₂ -eq. excl. infra*	PM _{10st}	CO ₂ -eq. incl. infra	CO ₂ -eq. excl. infra	NO _x	PM ₁₀
	Internationale trein	Elektriciteit - 100% duurzaam	32%	0,8	0,0	0,008	0,8	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	32%	11,8	11,7	0,008	11,8	11,7	0,018	0,0002
		Elektriciteit - gemiddelde NL mix	47%	4,6	3,8	0,010	4,6	3,8	0,007	0,0002
		Elektriciteit - 100% duurzaam	47%	1,1	0,0	0,010	1,1	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	47%	14,8	14,8	0,010	14,8	14,8	0,023	0,0003
Tram	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	36%	17,1	14,2	0,039	17,1	14,2	0,026	0,0008
		Elektriciteit - 100% duurzaam	36%	4,0	0,0	0,039	4,0	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	36%	55,7	55,5	0,039	55,7	55,5	0,085	0,0012
Metro	Elektrisch	Elektriciteit - gemiddelde NL mix	84%	11,2	9,2	0,020	11,2	9,2	0,017	0,0006
		Elektriciteit - 100% duurzaam	84%	2,6	0,0	0,020	2,6	0,0	0,000	0,0000
		Elektriciteit - 100% grijs	84%	36,3	36,2	0,020	36,3	36,2	0,056	0,0008

* 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.