

STREAM personenvervoer 2014

Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten Emissiekentallen 2011



Rapport 1.1
Delft, maart 2015

Opgesteld door:
M.B.J. (Matthijs) Otten
M.J.J. (Maarten) 't Hoen
L.C. (Eelco) den Boer

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.B.J. (Matthijs) Otten, M.J.J. (Maarten) 't Hoen, L.C. (Eelco) den Boer
STREAM personenvervoer 2014, versie 1.1

Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten
Emissiekentallen 2011

Delft, CE Delft, maart 2015

Transport / Emissies / Personenvervoer / Meetgegevens / Meetmethoden

Publicatienummer: 14.4787.20a

Opdrachtgever(s):

Ministerie van Infrastructuur en Milieu; NS; SKAOI Stichting Stimular; Milieu
Centraal;

Kennisplatform Verkeer en Vervoer.

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Matthijs
Otten.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

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





Inhoud

	Corrigendum	6
	Begrippenlijst	7
	Samenvatting	8
1	Inleiding	10
1.1	Achtergrond	10
1.2	Doel en inhoud van de studie	10
1.3	Verschillen met de studie uit 2008	11
1.4	Leeswijzer en presentatiewijze	12
2	Gemiddelden per modaliteit	14
2.1	Data overzicht	14
2.2	Beschrijving en aannames data overzicht	15
2.3	Gebruik van data	15
3	Uitgebreide data per vervoers-wijze	18
3.1	Inleiding	18
3.2	Data overzicht	19
3.3	Verschillen binnen modaliteiten	23
4	Beschrijving en aannames uitgebreide data	32
4.1	Inleiding	32
4.2	Overzicht beschrijving en aannames	32
4.3	Zelf emissies bepalen en vergelijkingen maken: 6-stappenbenadering	43
5	Vergelijking vervoerswijzen	44
5.1	Introductie	44
5.2	Case 1: Woon-werk; Den Haag-Delft	45
5.1	Case 2: Woon-werk; Winsum-Groningen	47
5.2	Case 3: Woon-werk; Weert-Eindhoven	49
5.3	Case 4: Zakelijk; Alkmaar-Berlijn	51
5.4	Case 5: Toeristisch; Utrecht-Nice/Monaco	52
5.5	Conclusies	54
6	Doorkijk naar 2020	56
6.1	Inleiding	56
6.2	Data overzicht	56
6.3	Gebruik van data	57
6.4	Beschrijving en aannames data-overzicht	57
6.5	Conclusies	66



7	Verantwoording methodiek en uitgangspunten	68
7.1	Welke milieueffecten?	68
7.2	Systeemgrenzen	69
7.3	Nederlandse situatie	69
7.4	Rekenmethodiek	69
7.5	Marginale en gemiddelde emissies	70
	Literatuur	72
Bijlage A	Emissies per eenheid brandstof	80
Bijlage B	Aandelen in vervoersprestatie	82
Bijlage C	Deelnemers expert workshop STREAM	84
Bijlage D	Deelnemers gebruikers workshop STREAM	86
Bijlage E	Uitwerking Case 1	88



Corrigendum

In versie 1.0 van STREAM staan enkele onvolkomenheden, die in deze versie (1.1) zijn gecorrigeerd. Het betreft de volgende aanpassingen:

- Paragraaf 4.2.10, pagina 38 (voorheen pag. 37): “(tram: 2,14 kWh/rkm, metro 2,35 kWh/rkm)” is vervangen door “(tram: 0,16 kWh/rkm, metro 0,18 kWh/rkm)”.
- Tabel 36, pagina 41: (voorheen pag. 40): De upstream CO₂-emissies (in g/MJ) voor “diesel totaal” en “benzine totaal” zijn aangepast zodat ook ILUC-effecten in de cijfers zijn verdisconteerd. De waarden zijn daarmee consistent met de waarden in Tabel 63 die ook inclusief ILUC-effecten zijn.
- Tabel 38, pagina 43 (voorheen pag. 42): hierin waren enkele waarden niet correct opgenomen, deze zijn aangepast. Met name de waarde voor PM₁₀ is veel lager dan in de eerdere versie.
- Tabel 64, pagina 81 (voorheen pag. 80): De waarden voor Bio-CNG personen auto zijn gecorrigeerd. Bij bio-CNG voor OV-bus is naast de middenwaarde voor CO₂-emissies ook de range weergegeven.



Begrippenlijst

Well-to-tank-emissies	Emissies die vrijkomen tijdens winning, het transport en het raffinageproces van brandstoffen of bij de productie en het transport van elektriciteit. Conform IPCC-afspraken zijn de tank-to-wheel-emissies van biobrandstoffen nul. De netto keten-emissies van biobrandstoffen worden als well-to-tank-emissies meegerekend.
Tank-to-wheel-emissies	Emissies die ontstaan door verbranding van brandstof tijdens het gebruik van het voertuig. In deze studie zijn in de tabellen ook de fijnstof slijtage-emissies opgenomen onder de kop tank-to-wheel. Deze ontstaan ook tijdens het gebruik van het voertuig.
Well-to-wheel-emissies	Totaal van well-to-tank en tank-to-wheel-emissies.
Grootcirkelafstand	Kortste afstand tussen twee punten op een bol, binnen deze studie tussen twee luchthavens op de aarde.
LTO-cycle	Landing-and-take-off-cyclus, een eenheid om het aantal vliegbewegingen van een luchthaven in uit te drukken. Eén LTO-cycle is de combinatie van de landing en het vertrek van een vliegtuig. Het aantal LTO's voor een luchthaven is dus de helft van het aantal vluchten (inkomend en vertrekkend).
LTO-emissies	Emissies tijdens het opstijgen, klimmen, dalen en landen van het vliegtuig (landing-and-take-off).
NO _x	Verzamelnaam voor mono-stikstofoxiden (NO, NO ₂ en NO ₃). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
PM ₁₀	Stofdeeltjes kleiner dan 10 micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM _v) als door slijtage (PM _{sl}) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek). Is bij inademing schadelijk voor de gezondheid.
PM _v	Afkorting gebruikt voor PM ₁₀ -emissies door verbranding.
PM _{sl}	Afkorting gebruikt voor PM ₁₀ -emissies door slijtage.
VOS	Vluchtige organische stoffen. VOS-emissies dragen bij aan ozonvorming op leefniveau. Daarnaast kunnen vluchtige organische stoffen bij hoge concentraties een direct effect op de gezondheid hebben.
SO ₂	Zwavedioxide-emissies. Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu. Het kan leiden tot o.a. ademhalingsmoeilijkheden oogirritatie en longproblemen.
BTM	Bus, tram, metro.
OV	Openbaar vervoer.

Samenvatting

STREAM personenvervoer 2014 geeft een overzicht van de emissiekentallen van vervoerswijzen in het personenvervoer voor het jaar 2011. Het doel hiervan is om bedrijven en overheden te voorzien van kentallen voor footprint-berekeningen, monitoring en beleidsafwegingen.

Om inzicht te geven in hoe de emissies van de vervoerswijzen zich ontwikkelen richting 2020, zijn emissiekentallen voor 2020 ingeschat op basis van vaststaand beleid, autonome ontwikkelingen en doelstellingen en investeringsplannen bij vervoersmaatschappijen.

Voor het jaar 2011 worden per vervoerswijze gemiddelde emissiekentallen per reizigerskilometer gepresenteerd. Het betreft klimaatemissies (CO₂-eq.), en luchtverontreinigende emissies (NO_x, PM₁₀, VOS en SO₂). Naast de gemiddelde kentallen per vervoerswijze worden ook correctiefactoren gegeven om ook voor meer specifieke reissituaties en voertuigkenmerken emissiekentallen te kunnen berekenen. Voor alternatieve brandstoffen en voertuigtechnieken worden ook de belangrijkste emissiekentallen gegeven.

Per emittent zijn alle gebruiksgelateerde emissies opgenomen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen well-to-tank-emissies (emissies van brandstofproductie en elektriciteitsopwekking) en de tank-to-wheel-emissies (uitlaatgasemissies). Ook de fijnstofemissies door slijtage van voertuig en infrastructuur worden meegenomen. Emissies door aanleg van infrastructuur en fabricage van voertuigen zijn geen onderdeel van de studie.

In cases wordt getoond hoe de emissiekentallen in specifieke situaties een vergelijking tussen modaliteiten kan worden gemaakt. Over het algemeen blijkt dat de emissies van de elektrische modaliteiten lager zijn dan van de modaliteiten die gebruik maken van fossiele brandstoffen. Bezettingsgraad en specifieke technieken hebben een sterke invloed op de onderlinge prestatie van modaliteiten.

Richting 2020 nemen voor alle modaliteiten de emissies af. De klimaatemissies van elektrische modaliteiten nemen relatief het sterkst af dankzij verbetering in zowel de voertuigen als in de elektriciteitsopwekking. De luchtvervuilende emissies nemen relatief het sterkst af bij de voertuigen op fossiele brandstoffen waaraan Europese regelgeving steeds strengere normen stelt voor nieuwe voertuigen.





1 Inleiding

1.1 Achtergrond

STREAM (Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten) is al een groot aantal jaren een veel gevraagde en gebruikte studie op het gebied van emissies van transport. Onder andere beleidsmakers, bedrijven, onderzoekers en adviseurs gebruiken gegevens uit STREAM ter ondersteuning van beleidsafwegingen, bijv. op het gebied van modal shift, milieuzonering of het vernieuwen van een wagenpark). Ook wordt STREAM in toenemende mate gebruikt voor het maken van footprintberekeningen.

Omdat door overheidsbeleid en autonome ontwikkelingen de emissies van de verschillende vervoerswijzen door de tijd heen veranderen, is de oorspronkelijke studie uit 2008 (met het basisjaar 2005) voor personenvervoer geüpdatet naar het basisjaar 2011. Eerder, in 2011, is een update voor vrachtverkeer gemaakt met als basisjaar 2008.

1.2 Doel en inhoud van de studie

STREAM personenvervoer geeft een overzicht van de klimaat- en de belangrijkste luchtvervuilende emissies van de verschillende modaliteiten van personenvervoer per reizigerskilometer voor Nederland. Het uitdrukken van de emissies per reizigerskilometer maakt het mogelijk om:

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

Het doel van de studie is:

Een actueel en toegankelijk overzicht maken van de emissies van de vervoerswijzen in het personenvervoer ten behoeve van beleidsanalyse, vergelijkingen en carbon footprinting.

De klimaatemissies omvatten de belangrijkste broeikasgasemissies, te weten de emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Deze worden tezamen uitgedrukt in CO₂-equivalenten¹. De luchtvervuilende emissies die in deze studie zijn opgenomen zijn stikstofdioxide (NO_x), fijnstof (PM₁₀), vluchtige organische stoffen (VOS) en zwaveldioxide (SO₂). Voor PM₁₀ wordt onderscheid gemaakt tussen de emissies van verbranding (PM_v) en de emissies door slijtage (PM_{sl}).

Voor alle emissies wordt inzicht gegeven in zowel de uitlaatgasemissies (tank-to-wheel-emissies) als de emissies die optreden bij de winning, productie en transport van brandstoffen en bij elektriciteitsproductie (well-to-tank-emissies). De well-to-tank VOS-emissies in deze studie betreffen alleen de verbrandingsemissies. VOS-emissies door verdamping van brandstof zijn niet direct afhankelijk van het gebruik van het voertuig en zijn daarom

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



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

Tabel 1 Overzicht gerapporteerde emissies in STREAM

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

* Verbrandingsemissies van VOS zijn exclusief emissies door verdamping van brandstof.

1.3 Verschillen met de studie uit 2008

In grote lijnen is dezelfde aanpak gevolgd als in 2008. Op een aantal punten zijn methodologische veranderingen doorgevoerd, of is gebruik gemaakt van een andere bron. De belangrijkste veranderingen ten opzichte van 2008 zijn:

- Waar voorheen de tank-to-wheel-klimaatemissies werden benaderd door alleen rekening te houden met de CO₂-emissies, wordt in deze studie ook rekening gehouden met de broeikasgassen methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Over het algemeen zorgen de methaan- en lachgasemissies voor niet meer dan 1% van de totale broeikasgasemissies (uitgedrukt in CO₂-equivalenten). Alleen voor bromfietsen en voor aardgas (en biogas) voertuigen is het effect groter.
- Over het algemeen zijn wegvoertuigen in 2011 (basisjaar huidige studie) niet veel zuiniger dan in 2005 (basisjaar studie 2008). Bromfietsen en motoren vormen hierop een positieve uitzondering. Omdat in het wegverkeer het aandeel biobrandstoffen is toegenomen zijn de tank-to-wheel-klimaatemissies iets sterker afgenomen dan de afname in het brandstofverbruik.
- In het wegverkeer zijn de aandelen van wegtypen in de gemiddelde cijfers gewijzigd. Dit leidt met name voor de dieselauto tot een lager gemiddeld verbruik.
- Het energiegebruik bij trein en vliegtuig is sterker gedaald dan in het wegverkeer. De daling bij vliegtuigen heeft deels te maken met een verandering in methodiek (zie hieronder).
- Voor luchtvaart is gebruik gemaakt van een nieuwe databron (KLM). In STREAM 2008 (CE Delft, 2008) is gebruik gemaakt van gemodelleerde data. De cijfers in de huidige update zijn gebaseerd op gebruikscijfers voor de volledige vlucht uit de praktijk van KLM. Hiervoor zijn representatieve vliegtuigen op korte, middellange en lange afstand gekozen. De afstandsklassen voor de basisdata verschillen met STREAM 2008. In deze update is gekozen voor de gemiddelde afstanden behorende bij de gekozen vliegtuigen.
- Het belangrijkste verschil in de emissiekentallen is dat bij de korte afstanden nu ook, net als in 2008 voor de lange afstand, een deel van de emissies aan vracht wordt toegekend.
- De tank-to-wheel luchtverontreinigende emissies zijn over het algemeen gedaald. Alleen voor de bromfiets en de motorfiets zijn de emissies hoger dan in de studie van 2008. Dit is te wijten aan nieuwe inzichten over de emissies van deze voertuigen (TNO, 2011).

- De luchtvervuilende well-to-wheel-emissies van brandstoffen zijn in deze studie gebaseerd op Ecoinvent 2.2 (Ecoinvent, 2007) op basis waarvan een compleet inzicht in de volledige ketenemissies wordt verkregen. De waarden zijn daardoor voor luchtvervuiling wat hoger geworden.
- De CO₂-emissies van elektriciteitsopwekking zijn lager geworden. Dit is enerzijds doordat het aandeel elektriciteit van hernieuwbare bronnen is toegenomen, anderzijds doordat een andere methodische keuze is gemaakt om de emissies te berekenen (gemiddelde handelsmix i.p.v. gemiddelde productiemix). De luchtvervuilende emissies zijn hiermee over het algemeen ook lager.
- In STREAM 2008 werd voor openbaar vervoer onderscheid gemaakt tussen marginale en gemiddelde emissies. Eind 2013 heeft NS hier een onderzoek naar uitgevoerd, waaruit bleek dat het rekenen met marginale emissies niet meer aansluit bij de praktijk. Daarom is dit onderscheid in dit rapport losgelaten.
- De gemiddelde bezettingsgraad van bus, tram en metro wordt op basis van nieuwe bronnen (jaarverslagen HTM, GVB en RET) lager ingeschat, wat resulteert in hogere emissies per reizigerskilometer.
- In STREAM 2008 werden emissiecijfers per reizigerskilometer gegeven inclusief voor- en natransport, en een vaste omrijfactor. Omdat de cijfers steeds meer gebruikt worden voor footprintberekeningen, en steeds minder voor het maken van vergelijkingen, is besloten de emissiecijfers voor de collectieve vervoerswijzen (vliegtuigen, trein) niet meer inclusief voor- en natransport te presenteren. Ook de omrijfactor is buiten de berekening gehouden. Hierdoor zijn de cijfers meer flexibel in te zetten in caseberekeningen. In de vergelijkende cases in Hoofdstuk 5 zijn voor- en natransport en omrijden wel meegenomen.
- Tot slot wordt in deze studie dieper ingegaan op verschillen binnen de modaliteiten die situatieafhankelijk zijn. Hierdoor heeft de gebruiker meer mogelijkheden om cijfers te gebruiken bij een verandering in de logistieke en technische parameters, in vergelijking tot de vorige studie.

1.4 Leeswijzer en presentatiewijze

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

Aansluitend bij dit doel is ervoor gekozen om in Hoofdstuk 2 eerst een handzaam overzicht te presenteren van de resultaten voor 2011. Deze data zijn gebaseerd op de uitgebreidere en meer gedetailleerde data die in Hoofdstuk 3 worden gepresenteerd. In de data in Hoofdstuk 3 maken we onder andere onderscheid naar wegtype en voertuig- en brandstoftechnologie. In beide hoofdstukken worden eerst de data gepresenteerd, en vervolgens toegelicht. Deze presentatiewijze is afgestemd in een workshop met gebruikers van de data (zie ook Bijlage D).

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de achterliggende data en de aannames die zijn gedaan. In Hoofdstuk 5 laten we zien hoe de data toegepast kunnen worden in specifieke cases. Hoofdstuk 6 geeft een doorkijk naar 2020 voor de ontwikkeling van emissiekentallen op hoofdlijnen. Tenslotte wordt in Hoofdstuk 7 een verantwoording gegeven van de methodiek en uitgangspunten.





2 Gemiddelden per modaliteit

2.1 Data overzicht

Tabel 2 Gemiddelde emissiefactoren vervoerswijzen 2011

Emissiefactoren gemiddeld, 2011		Bezetting	WTW	TTW					
Niveau 1	Niveau 2	rkm/vkm	CO ₂ -eq.	CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂
		of %	g/rkm	g/rkm	mg/rkm	mg/rkm	mg/rkm	mg/rkm	mg/rkm
Auto	Gemiddeld (1)	1,39	158	130	193	10	12	109	1,42
	Auto benzine	1,39	161	134	101	3	12	149	1,80
	Auto diesel	1,39	153	123	376	25	11	13	0,75
	Auto LPG	1,39	141	126	293	3	11	208	0
Fiets	Elektrisch	1,00	6	0	0	0	0	0	0
Bromfiets/ snorfiets	Benzine	1,10	48	40	211	45	3	2029	0,50
	Elektrisch	1,10	17	0	0	0	3	0	0
Motorfiets	Benzine	1,15	119	99	274	14	6	708	1,33
Personenbus	Diesel	2,40	124	100	336	42	7	20	0,61
Touringcar	Diesel	31,6	33	27	166	5	2	9	0,16
OV-bus	Gemiddeld (2)	9,00	140	113	613	9	9	29	0,63
	Diesel	9,00	142	114	649	9	9	17	0,70
	CNG	9,00	141	115	224	4	9	131	0
Tram	Elektrisch	14%	76	0	0	0	31	0	0
Metro	Elektrisch	14%	83	0	0	0	34	0	0
Bus, tram, metro	Gemiddeld (3)	-	91	21	112	2	28	5	0,11
Trein	Gemiddeld (4)	29%	39	5	41	3	18	7	0,03
	Stoptrein diesel	20%	120	99	829	66	29	142	0,54
	Stoptrein elektrisch	24%	52	0	0	0	26	0	0
	Intercity	32%	31	0	0	0	16	0	0
	HSL	57%	26	0	0	0	13	0	0
Openbaar vervoer	Gemiddeld (5)	-	61	25	153	5	18	11	0,14
Vliegtuig	EMBRAER 190 (korte afstand)	67	158 ^a 297 ^b	139 ^a 278 ^b	51 ^c	0,32 ^c		16,1 ^c	6,97 ^c
	Boeing 737-800 (middel afstand)	124	106 ^a 200 ^b	94 ^a 187 ^b	54 ^c	0,37 ^c		3,0 ^c	3,52 ^c
	Boeing 777-300ER (lange afstand)	327	78 ^a 147 ^b	69 ^a 137 ^b	18 ^c	0,03 ^c		0,4 ^c	0,59 ^c

- (1) 65% Benzine, 31% Diesel, 3% LPG (Task Force, 2013).
- (2) 89% Diesel bus, 2% Diesel hybride, 9% CNG (KpVV, 2011a).
- (3) 18% OV-Bus gemiddeld, 41% Tram, 41% Metro (Randstad gemiddelde, zie Bijlage B).
- (4) 5% Stoptrein diesel, 20% Stoptrein elektrisch, 75% Intercity (bron: NS).
- (5) 19% OV-bus gemiddeld, 3% tram, 3% metro, 75% trein gemiddeld (zie Bijlage B).
 - a Exclusief klimaateffect door uitstoot op grote hoogte.
 - b Inclusief klimaateffect door uitstoot op grote hoogte. De reizigerskilometers voor vliegtuigen zijn bepaald op basis van de grootcirkelafstand.
 - c LTO (Landing-take off)-emissies.



2.2 Beschrijving en aannames data overzicht

Tabel 2 geeft een compact overzicht van de belangrijkste emissiekentallen per reizigerskilometer voor verschillende modaliteiten. Voor CO₂ zijn zowel de tank-to-wheel-emissies als de well-to-wheel-emissies weergegeven; voor luchtvervuilende emissies zijn de tank-to-wheel-emissies weergegeven. De PM₁₀-emissies zijn opgesplitst in PM₁₀-emissies door verbranding (PM_v) en PM₁₀-emissies door slijtage (PM_s). Voor vliegtuigen zijn alleen de luchtvervuilende emissies tijdens de LTO-fase weergegeven, uitgedrukt in gram per reiziger.

De emissiekentallen zijn gebaseerd op de meer gedifferentieerde emissiekentallen in Hoofdstuk 3 en 4. De gemiddelde data voor auto, BTM, OV-bus, trein en OV zijn gebaseerd op een mix van voertuigen zoals onder Tabel 2 aangegeven.

Voor de personenauto, de touringcar en de OV-bus is uitgegaan van de gemiddelde aandelen in wegtypen zoals weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Gemiddelde aandelen in wegtypen vervoerswijzen wegverkeer

	Stad	Buitenweg	Snelweg
Personenauto gemiddeld	20%	35%	45%
Personenauto Benzine	23%	38%	39%
Personenauto Diesel	15%	31%	55%
Personenauto LPG	15%	39%	46%
Touringcar	25%	25%	50%
OV-Bus	75%	25%	0%

Bron: O.b.v. Task Force, 2013.

De data zijn gebaseerd op de gemiddelde bezetting van de verschillende voertuigcategorieën (zie Hoofdstuk 3 en 4), zoals weergegeven in de blauw gearceerde kolom van Tabel 2.

2.3 Gebruik van data

De data in Tabel 2 representeren de gemiddelden van de vervoerswijzen. Ze zijn daarmee met name bruikbaar:

- voor het uitvoeren van footprintberekeningen voor (grote groepen van) reizigers met een gemiddeld reisprofiel;
- als defaultwaarden voor de emissies van een modaliteit wanneer geen specifieke kenmerken bekend zijn;
- voor het vergelijken van de vervoeremissies van modaliteiten en vervoerscategorieën in algemene zin.

Omdat de data gebaseerd zijn op gemiddelde bezettingsgraden zijn de data niet direct bruikbaar om vergelijkingen tussen modaliteiten voor specifieke cases te maken. Voor bijvoorbeeld een vergelijking tussen verschillende modaliteiten in het woon-werkverkeer of voor vakantieritten zijn de data minder geschikt. De specifieke bezetting en de aandelen van wegtypen maken dat de gemiddelde data in het woon-werkverkeer een andere waarde kunnen hebben dan de waarden in Tabel 2. Bij vakantieritten wijken de gemiddelde bezettingsgraden sterk af van de gemiddelden in Tabel 2. In Hoofdstuk 3 en 5 wordt ingegaan op de berekening van emissies voor specifieke cases.



Tabel 2 geeft voor de luchtvervuilende stoffen de tank-to-wheel (uitlaat) en slijtage-emissies. Daarnaast zijn er echter ook luchtvervuilende emissies door brandstofproductie en elektriciteitsopwekking (well-to-tank). Deze laatste emissies vinden voor een groot deel buiten de bebouwing plaats, onder andere op industrieterreinen en op zee. De invloed van deze emissies op de lokale luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving is daardoor, met name voor PM₁₀, geringer, maar de emissies dragen wel bij aan de achtergrondconcentratie van deze stoffen.

Voor vliegtuigen zijn in Tabel 2 alleen de LTO-emissies (landing-take-off) gegeven voor luchtvervuilende stoffen, emissies die op lage hoogte (< 1 kilometer) worden uitgestoten. Ook op grote hoogte (in de cruise fase) worden luchtvervuilende emissies uitgestoten, maar het effect hiervan op de luchtkwaliteit op leefniveau is veel indirecter en kleiner dan van de LTO-emissies, ook al is het effect niet afwezig (Met.No, 2004).

De gegeven luchtvervuilende emissiekentallen zijn daarom met name geschikt voor een analyse van de invloed van de verschillende modaliteiten op lokale luchtkwaliteit. Voor een compleet beeld van de well-to-wheel-emissies worden in het uitgebreide overzicht in Hoofdstuk 3 ook de well-to-tank-emissies en voor vliegtuigen de cruise-emissies gegeven.

De in Tabel 2 gegeven waarden zijn uitgedrukt per reizigerskilometer. Deze waarden kunnen dus worden toegepast in berekeningen waarvoor de reizigerskilometers bekend zijn. In het geval van vliegtuigen dienen de reizigerskilometers berekend te worden op basis van de grootcirkelafstand tussen twee luchthavens (zie bijv. GCM, 2013). De emissies per reizigerskilometer zijn namelijk bepaald op basis van de totale vluchtemissies (voor klimaat) of LTO-emissies (Luchtvervuiling) ten opzichte van de grootcirkelafstand.

Als het brandstofverbruik bekend is, is het nauwkeuriger om CO₂-en SO₂-emissies te berekenen met behulp van de tabel in 0, waar de emissies per eenheid brandstof worden gegeven. Dit is echter een stuk minder nauwkeurig voor luchtvervuilende emissies van wegverkeer, omdat deze emissies verschillen per wegtype. Daarom heeft een berekening met reizigerskilometers voor luchtvervuilende emissies altijd de voorkeur.



3 Uitgebreide data per vervoerswijze

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft meer detail dan de data in Paragraaf 2.1. Met de data in Paragraaf 3.2 is het mogelijk onderscheid te maken naar verschillende wegtypen en wordt inzicht gegeven in alle well-to-tank-emissies. De emissies worden steeds gegeven in gram per reizigerskilometer (g/rkm). De bezetting (Bez), het gemiddeld aantal reizigers per voertuig of de bezettingsgraad (bezetting als percentage van de capaciteit), zijn ook steeds vermeld. De data zijn alleen rechtstreeks bruikbaar voor gemiddelde omstandigheden. In Paragraaf 3.3 wordt ingegaan hoe de data kunnen worden toegepast voor specifieke cases. Dat wil zeggen dat wanneer meer informatie beschikbaar is over het type voertuig (groot, klein, oud, nieuw) of de bezetting ervan, de emissiekentallen kunnen worden verfijnd. Ook de gecorrigeerde kentallen zijn echter gemiddelde kentallen die voor een specifieke reis geen rekening houden met het effect van weersomstandigheden, rijstijl, specifieke snelheid, enzovoort.

In Paragraaf 3.2.2 en Paragraaf 3.2.9 worden emissiekentallen van alternatieve brandstoffen en technieken voor respectievelijk personenauto's en bussen gegeven. Het gaat om gemiddelde kentallen voor CO₂, NO_x, PM₁₀ (PM_v en PM_{st}).

3.2 Data overzicht

3.2.1 Personenauto

Tabel 4 Emissiekentallen personenauto 2011

Voertuigtype	bez (rzk)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Personenauto												
Benzine												
Gemiddeld	1,39	134	0,10	0,003	0,012	0,15	0,0018	28	0,09	0,010	0,18	0,244
Stad	1,39	180	0,17	0,006	0,019	0,35	0,0024	37	0,11	0,013	0,24	0,326
Buiten	1,39	113	0,08	0,002	0,009	0,16	0,0015	23	0,07	0,008	0,15	0,205
Snelweg	1,39	126	0,08	0,002	0,010	0,02	0,0017	26	0,08	0,010	0,17	0,232
Diesel												
Gemiddeld	1,39	123	0,38	0,025	0,011	0,01	0,0007	29	0,05	0,006	0,12	0,162
Stad	1,39	161	0,53	0,040	0,019	0,04	0,0010	38	0,07	0,008	0,16	0,210
Buiten	1,39	108	0,33	0,019	0,009	0,01	0,0007	26	0,05	0,005	0,11	0,142
Snelweg	1,39	121	0,36	0,025	0,010	0,00	0,0007	29	0,05	0,006	0,12	0,160
LPG												
Gemiddeld	1,39	126	0,29	0,003	0,011	0,21	0	15	0,08	0,006	0,37	0,073
Stad	1,39	178	0,37	0,006	0,019	0,46	0	21	0,12	0,008	0,52	0,103
Buiten	1,39	111	0,26	0,003	0,009	0,23	0	13	0,07	0,005	0,33	0,065
Snelweg	1,39	122	0,29	0,002	0,010	0,11	0	15	0,08	0,006	0,36	0,071
Gemiddelde brandstoffen												
Gemiddeld	1,39	130	0,19	0,010	0,012	0,11	0,0014	28	0,08	0,009	0,17	0,213
Stad	1,39	176	0,26	0,014	0,019	0,28	0,0020	37	0,11	0,012	0,23	0,294
Buiten	1,39	111	0,15	0,007	0,009	0,12	0,0012	24	0,07	0,007	0,14	0,183
Snelweg	1,39	124	0,19	0,011	0,010	0,02	0,0013	27	0,07	0,008	0,16	0,199

Bron: Zie Paragraaf 4.2.1.

3.2.2 Personenauto, alternatieve brandstoffen en technieken

Tabel 5 Emissiekentallen voor alternatieve brandstoffen en technieken personenauto

Voertuigtype	bez (rzk)	TTW-emissies (g/rkm)				WTT-emissies (g/rkm)		
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀
Personenauto								
Benzine Euro 5	1,39	127	0,015	0,0017	0,012	26	0,082	0,010
Benzine Euro 6	1,39	127	0,015	0,0017	0,011	26	0,082	0,010
Benzine hybride	1,39	102	0,015	0,0017	0,012	21	0,065	0,008
Benzine plug-in hybride	1,39	63	0,009	0,0011	0,012	42	0,078	0,006
Bioethanol (E85)	1,39	30	0,017	0,0020	0,012	18-145 (58*)	0,241	0,043
Diesel Euro 5	1,39	113	0,415	0,0032	0,012	27	0,050	0,005
Diesel Euro 6	1,39	113	0,273	0,0032	0,011	27	0,050	0,005
Diesel hybride	1,39	91	0,415	0,0032	0,012	22	0,040	0,004
Biodiesel Euro 5 (B100)	1,39	1	0,519	0,0019	0,012	13-179 (148*)	0,078	0,013
Elektrisch	1,39	0	0	0	0,012	77	0,099	0,004
CNG	1,39	111	0,035	0,0017	0,012	25	0,061	0,004
Bio-CNG	1,39	4	0,035	0,0017	0,012	-132-77 (50*)	0,031	0,002
Waterstof	1,39	0	0	0	0,012	6-413 (91*)	0,116	0,016

Voor gemiddeld wegtype.

Bron: Zie Paragraaf 4.2.2.

* Voor CO₂-eq. bestaat een grote bandbreedte. Dit is een schatting van de middenwaarde.



3.2.3 Elektrische fiets

Tabel 6 Emissiekentallen Elektrische fiets 2011

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ - eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Fiets												
Elektrisch	1,0	0	0	0	0,00	0	0	6,0	0,008	0,0003	0,014	0,0035

Bron: Zie Paragraaf 4.2.3.

3.2.4 Bromfiets

Tabel 7 Emissiekentallen Bromfiets 2011

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ - eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Bromfiets												
Benzine												
Gemiddeld	1,10	40	0,21	0,045	0,003	2,03	0,0005	7,7	0,024	0,003	0,05	0,068
Stad	1,10	41	0,21	0,045	0,003	2,05	0,0005	7,7	0,024	0,003	0,05	0,068
Buiten	1,10	40	0,21	0,044	0,002	1,98	0,0005	7,5	0,023	0,003	0,05	0,066
Elektrisch												
Gemiddeld	1,10	0	0	0	0,003	0	0	17,4	0,022	0,001	0,04	0,010
Stad	1,10	0	0	0	0,003	0	0	17,5	0,023	0,001	0,04	0,010
Buiten	1,10	0	0	0	0,002	0	0	17,1	0,022	0,001	0,04	0,010

Bron: Zie Paragraaf 4.2.4.

3.2.5 Motorfiets

Tabel 8 Emissiekentallen Motorfiets 2011

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ - eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ - eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Motorfiets												
Benzine												
Gemiddeld	1,15	99	0,27	0,014	0,006	0,71	0,0013	20	0,06	0,007	0,13	0,179
Stad	1,15	103	0,13	0,015	0,009	1,20	0,0014	21	0,07	0,008	0,13	0,184
Buiten	1,15	85	0,20	0,014	0,005	0,63	0,0011	17	0,05	0,006	0,11	0,153
Snelweg	1,15	113	0,40	0,014	0,005	0,61	0,0015	23	0,07	0,008	0,15	0,205

Bron: Zie Paragraaf 4.2.5.

3.2.6 Personenbus

Tabel 9 Emissiekentallen personenbus (capaciteit 8 passagiers) 2011

Voertuigtype	bez (rztg)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Personenbus												
Diesel besloten vervoer												
Gemiddeld	5,0	48	0,16	0,020	0,003	0,01	0,000	12	0,02	0,002	0,05	0,064
Stad	5,0	60	0,22	0,029	0,006	0,02	0,000	14	0,03	0,003	0,06	0,079
Buiten	5,0	40	0,14	0,013	0,003	0,01	0,000	10	0,02	0,002	0,04	0,052
Snelweg	5,0	50	0,16	0,021	0,003	0,01	0,000	12	0,02	0,002	0,05	0,066
Diesel taxi/belbus												
Gemiddeld	2,4	100	0,34	0,042	0,007	0,02	0,001	24	0,04	0,005	0,10	0,132
Stad	2,4	124	0,45	0,060	0,012	0,04	0,001	30	0,06	0,006	0,13	0,164
Buiten	2,4	83	0,29	0,028	0,006	0,02	0,001	20	0,04	0,004	0,08	0,109
Snelweg	2,4	103	0,32	0,044	0,006	0,01	0,001	25	0,05	0,005	0,10	0,136

Bron: Zie Paragraaf 4.2.6.

3.2.7 Touringcar

Tabel 10 Emissiekentallen touringcar 2011

Voertuigtype	bez (rztg)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Touringcar												
Diesel												
Gemiddeld	31,6	27	0,17	0,005	0,0020	0,0087	0,0002	6	0,012	0,0013	0,027	0,035
Stad	31,6	34	0,27	0,008	0,0029	0,0162	0,0002	8	0,015	0,0016	0,034	0,045
Buiten	31,6	29	0,16	0,005	0,0016	0,0074	0,0002	7	0,013	0,0014	0,029	0,038
Snelweg	31,6	22	0,12	0,003	0,0018	0,0056	0,0001	5	0,010	0,0010	0,022	0,029

Bron: Zie Paragraaf 4.2.7.

3.2.8 OV-bus

Tabel 11 Emissiekentallen OV-bus 2011

Voertuigtype	bez (rztg)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
OV-bus												
Gemiddelde OV-bus												
Gemiddeld	9,0	113	0,61	0,009	0,009	0,029	0,0006	27	0,05	0,005	0,148	0,142
Stad	9,0	118	0,69	0,010	0,010	0,032	0,0007	28	0,05	0,005	0,153	0,148
Buiten	9,0	100	0,38	0,006	0,006	0,021	0,0006	24	0,05	0,005	0,130	0,125
Stadsbus	9,0	118	0,69	0,010	0,010	0,032	0,0007	28	0,05	0,005	0,153	0,148
Streekbus	9,0	109	0,54	0,008	0,008	0,026	0,0006	26	0,05	0,005	0,142	0,137
Diesel												
Gemiddeld	9,0	114	0,65	0,009	0,009	0,017	0,0007	27	0,05	0,005	0,115	0,151
Stad	9,0	119	0,73	0,010	0,010	0,019	0,0007	29	0,05	0,006	0,120	0,157
Buiten	9,0	101	0,40	0,006	0,006	0,010	0,0006	24	0,04	0,005	0,102	0,133



Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
CNG												
Gemiddeld	9,0	115	0,22	0,004	0,009	0,13	0,0000	26	0,06	0,004	0,486	0,073
Stad	9,0	120	0,24	0,004	0,010	0,14	0,0000	27	0,07	0,004	0,505	0,076
Buiten	9,0	102	0,16	0,002	0,006	0,12	0,0000	22	0,06	0,003	0,428	0,064

Bron: Zie Paragraaf 4.2.8.

* Alleen CH₄-emissies, andere VOS-emissies niet bekend.

3.2.9 OV-bus, alternatieve brandstoffen en technieken

Tabel 12 Emissiekentallen voor alternatieve brandstoffen en technieken bus

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)				WTT-emissies (g/rkm)		
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀
OV-bus								
Euro 3	9,0	114	1,07	0,019	0,009	27	0,05	0,005
Euro 5	9,0	114	0,45	0,009	0,009	27	0,05	0,005
EEV diesel	9,0	114	0,44	0,003	0,009	27	0,05	0,005
EEV aardgas stoichiometrisch	9,0	115	0,22	0,004	0,009	26	0,06	0,004
Bio-CNG	9,0	5	0,22	0,004	0,009	-137-80 (51*)	0,03	0,002
Dieselhybride	9,0	97	0,44	0,003	0,009	23	0,04	0,005
Elektrisch	9,0	0	0,00	0,000	0,010	116	0,15	0,006

Bron: Zie Paragraaf 4.2.9.

* Voor CO₂-eq bestaat een grote bandbreedte. Dit is een schatting van de middenwaarde.

3.2.10 Tram & Metro

Tabel 13 Emissiekentallen tram en metro 2011

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Tram												
Elektrisch	14%	0	0	0	0,031	0	0	76	0,10	0,004	0,180	0,044
Metro												
Elektrisch	14%	0	0	0	0,034	0	0	83	0,11	0,004	0,198	0,049

Bron: Zie Paragraaf 4.2.10.

3.2.11 Trein

Tabel 14 Emissiekentallen trein 2011

Voertuigtype	bez (rzig)	TTW-emissies (g/rkm)						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	PM _{sl}	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Trein												
Gemiddeld	29%	5	0,041	0,003	0,018	0,007	0,000	34	0,05	0,002	0,084	0,025
Stoptrein	23%	19	0,163	0,013	0,027	0,028	0,000	46	0,06	0,003	0,116	0,047
Diesel	20%	99	0,83	0,066	0,029	0,14	0,001	21	0,04	0,004	0,089	0,117
Elektrisch	24%	0	0	0	0,026	0	0	52	0,07	0,003	0,123	0,030
Intercity	32%	0	0	0	0,016	0	0	31	0,04	0,002	0,073	0,018
HSL	57%	0	0	0	0,013	0	0	26	0,03	0,001	0,062	0,015

Bron: Zie Paragraaf 4.2.11.

3.2.12 Luchtvaart

Tabel 15 Emissiekentallen Luchtvaart 2011

Voertuigtype	bez (rztg)	TTW-emissies						WTT-emissies (g/rkm)				
		CO ₂ -eq. (cor) ^a	CO ₂ -eq.	NO _x	PM _v	VOS	SO ₂	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	VOS	SO ₂
Vliegtuig LTO		g/rztg LTO						g/rztg LTO				
EMBRAER 190 (korte afstand)	67	33.984	16.992	36,9	0,23	11,8	5,1	2.266	9	1,2	18	23,02
Boeing 737-800 (middellange afstand)	124	24.705	12.352	56,1	0,39	3,1	3,7	1.647	7	0,9	13	16,74
Boeing 777-300ER (lange afstand)	327	27.626	13.813	124,9	0,23	3,0	4,1	1.842	8	1,0	15	18,71
Vliegtuig cruise en totaal		g/rkm						g/rkm				
EMBRAER 190 (korte afstand)												
Cruise	67	232	116	0,39	0,001	0,02	0,035	15	0,06	0,008	0,123	0,157
Gemiddeld	67	278	139	0,44	0,002	0,04	0,042	19	0,08	0,010	0,148	0,188
Boeing 737-800 (middellange afstand)												
Cruise	124	164	82	0,35	0,001	0,02	0,024	11	0,05	0,006	0,087	0,111
Gemiddeld	124	187	94	0,40	0,001	0,02	0,027	12	0,05	0,007	0,099	0,127
Boeing 777-300ER (lange afstand)												
Cruise	327	133	67	0,44	0,001	0,00	0,020	9	0,04	0,005	0,071	0,090
Gemiddeld	327	137	69	0,46	0,001	0,00	0,020	9	0,04	0,005	0,073	0,093

Bron: Zie Paragraaf 4.2.12.

^a Klimaatemissies gecorrigeerd voor uitstoot op grote hoogte.

3.3 Verschillen binnen modaliteiten

3.3.1 Personenauto's

Bezetting/motief

Tabel 4 gaat uit van de gemiddelde bezetting van 1,39 reizigers per auto. Indien een andere bezetting geldig is, kunnen de data in de tabel worden gecorrigeerd naar de gewenste bezetting x door te vermenigvuldigen met 1,39/x. In Tabel 16 is voor verschillende reismotieven aangegeven wat de gemiddelde bezetting in een auto is. Daarbij is ook aangegeven welke vermenigvuldigingsfactor op de waarden in Tabel 4 moet worden toegepast.

Tabel 16 Correctiefactoren voor bezetting

Reismotief	Bezetting	Vermenigvuldigingsfactor
Alle motieven	1,39	1
Van en naar het werk	1,08	1,29
Zakelijk bezoek in werksfeer	1,06	1,31
Diensten/persoonlijke verzorging	1,46	0,95
Winkelen, boodschappen doen	1,49	0,93
Onderwijs/cursus volgen	1,77	0,79
Visite/logeren	1,82	0,76
Sport en ontspanning	1,85	0,75
Toeren/wandelen	1,82	0,76

Bron: CBS Statline.

Het corrigeren van de waarden met behulp van de vermenigvuldigingsfactoren in Tabel 16 houdt in principe alleen rekening met het logistieke voordeel en houdt geen rekening met het extra verbruik door de extra massa van de passagier. Het effect hiervan is echter relatief klein (zie tekstbox).

Effect extra passagier op verbruik

Gemiddeld genomen wordt aangenomen dat 10% extra gewicht leidt tot 6% meer brandstofverbruik (MNP, 2006). In de stad zal dit effect groter zijn (door het vele optrekken) dan op de snelweg. Een extra persoon van 70 kg levert op een gemiddelde auto (1.150 kg) een gewichtstoename van 6%. De brandstofemissies nemen daarmee gemiddeld met 3,4% (factor 1,034) toe. Door de toename van het aantal reizigers dalen de emissies per reizigerskilometer (een factor 0,5 bij een bezettingstoename van 1 naar 2 reizigers). Het gecombineerde effect is in dit geval een factor 0,52. Het logistieke voordeel van de extra passagier op het verbruik per reizigerskilometer is dus dominant en het gewichtseffect is minimaal. In de correctiefactoren is het gewichtseffect van een extra passagier daarom niet meegenomen.

Euroklasse

Tabel 4 gaat uit van het gemiddelde voertuigenpark in Nederland. Door Europese regelgeving moeten personenauto's echter aan steeds strengere normen voor luchtverontreinigende emissies voldoen. Deze normen worden als Euro 1-6 gedefinieerd en hebben invloed op de tank-to-wheel-emissies van NO_x, PM₁₀ en VOS. In Tabel 17 is aangegeven vanaf wanneer de verschillende Euroklassen zijn ingegaan.

Tabel 17 Ingangsdata Euroklassen

Euroklasse	Ingangsdatum norm Nieuwe typen	Ingangsdatum norm Bestaande typen
Euro 1	1-7-1992	1-1-1993
Euro 2	1-10-1996	1-1-1997
Euro 3	1-1-2000	1-1-2001
Euro 4	1-1-2005	1-1-2006
Euro 5	1-9-2009	1-1-2011
Euro 6	1-9-2014	1-1-2015

Bron: Task Force, 2013.

Hoe nieuwer de auto hoe hoger de Euroklasse en hoe schoner de auto in principe is. In de praktijk blijken de auto's echter niet altijd zo schoon als de Euronorm voorschrijft en kan het zijn dat een nieuwere auto in de praktijk toch hogere emissies heeft dan een oudere.

Tabel 18 geeft een overzicht van correctiefactoren voor de Euroklassen ten opzichte van de gemiddelde benzine, diesel- of LPG-auto. Deze factoren zijn gebaseerd op praktijkemissiefactoren. Indien de Euroklasse van een auto bekend is kunnen de waarden uit Tabel 4 gespecificeerd worden door vermenigvuldiging met de factoren uit Tabel 18.



Tabel 18 Correctiefactoren Euroklassen ten opzichte van gemiddelde waarden personenauto per brandstofsoort

	NO _x				PM _v (PM ₁₀ -verbranding)				VOS			
	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg
Benzine												
Pré-Euro	10,75	5,10	10,26	19,62	4,39	2,86	5,32	5,67	5,25	4,24	3,31	18,81
Euro 1	2,42	2,10	3,17	1,66	1,85	1,19	2,29	2,37	1,21	0,93	1,27	1,45
Euro 2	1,44	1,43	1,34	1,21	1,11	1,19	0,78	0,81	1,04	0,89	0,95	1,10
Euro 3	0,48	0,50	0,54	0,30	0,82	0,75	0,78	0,81	0,99	0,89	0,96	0,37
Euro 4	0,21	0,31	0,22	0,13	0,74	0,80	0,78	0,81	0,76	0,83	0,90	0,21
Euro 5	0,15	0,25	0,18	0,10	0,57	0,64	0,62	0,65	0,47	0,66	0,72	0,17
Euro 6	0,15	0,25	0,18	0,10	0,57	0,64	0,62	0,65	0,47	0,66	0,72	0,17
Diesel												
Pré-Euro	1,63	1,16	1,48	2,04	7,81	7,88	9,79	6,02	13,00	7,46	10,54	24,84
Euro 1	1,06	1,00	0,98	1,12	3,63	4,29	3,91	2,74	5,32	2,96	5,24	8,06
Euro 2	1,20	1,39	1,18	0,99	2,36	2,05	1,75	2,99	3,27	2,64	2,50	2,79
Euro 3*	1,16	1,21	1,18	1,09	1,22	1,03	0,95	1,59	0,97	0,91	0,77	0,60
Euro 4*	0,77	0,69	0,81	0,79	0,64	0,37	0,46	0,82	0,34	0,34	0,30	0,49
Euro 5	1,10	0,86	0,74	1,21	0,12	0,06	0,08	0,14	0,18	0,08	0,17	0,48
Euro 6	0,73	0,32	0,43	0,85	0,13	0,06	0,08	0,14	0,30	0,34	0,30	0,49
LPG												
Pré-Euro	4,87	3,23	4,22	6,41	3,41	2,43	3,54	3,91	5,43	3,35	4,35	10,25
Euro 1	1,84	2,44	1,98	1,40	1,25	1,05	1,15	1,50	1,41	1,71	1,35	0,63
Euro 2	1,00	0,93	0,91	1,13	1,25	1,05	1,15	1,50	0,72	0,97	0,69	0,15
Euro 3	0,52	0,76	0,53	0,38	0,49	0,64	0,37	0,48	0,50	0,64	0,52	0,09
Euro 4	0,25	0,33	0,23	0,23	0,55	0,79	0,52	0,48	0,35	0,46	0,46	0,14
Euro 5	0,19	0,27	0,19	0,18	0,35	0,63	0,41	0,38	0,13	0,37	0,37	0,11
Euro 6	0,19	0,27	0,19	0,18	0,35	0,63	0,41	0,38	0,13	0,37	0,37	0,11

Aanname 12% diesel Euro 3-auto's met roetfilter, 46% Euro 4-auto's met roetfilter.

Bron: Task Force, 2013.

Bouwjaar

Afgelopen jaren zijn auto's gemiddeld genomen iets zuiniger geworden. Dit komt onder andere door Europese regelgeving die eist dat nieuwe auto's gemiddeld niet meer dan 130 gram CO₂ per km mogen uitstoten in 2015 en 95 gram in 2021. In Tabel 19 zijn de correctiefactoren voor de verschillende bouwjaar opgenomen. De correctiefactoren zijn van toepassing op de CO₂-, SO₂- en alle well-to-tank-emissies. Ze zijn niet van toepassing op de tank-to-wheel NO_x-, PM₁₀- en VOS-emissies die via de Euronormen zijn gereguleerd.



Tabel 19 Correctiefactoren brandstofverbruik ten opzichte van de gemiddelde waarden

Bouwjaar	Benzine	Diesel	LPG
2011	0,98	0,86	0,87
2010	0,96	0,90	0,94
2009	0,97	0,96	1,06
2008	1,01	1,00	1,06
2007	1,04	1,03	1,06
2006	1,04	1,00	1,03
2005	1,06	0,99	1,05
2004	1,05	0,99	1,04
2003	1,06	0,99	1,06
2002	1,02	0,96	1,07

Bron: CBS, 2013d.

Gewichtsklasse

De CO₂-uitstoot varieert voor verschillende gewichtsklassen. Een lichtere auto heeft een lager brandstofverbruik ten opzichte van een zwaardere auto. In Tabel 20 onderscheiden we drie gewichtsklassen, op basis van CBS Statline (Motorvoertuigen; personenauto's per periode naar technische kenmerken). Het gemiddelde gewicht van een personenauto was in 2011 1.150 kg. Een vuistregel is dat het energiegebruik per 10 procent gewichtstoename met 6 procent stijgt (MNP, 2006). Tabel 20 geeft de resulterende correctiefactoren voor de verschillende gewichtsklassen. Deze correctiefactoren zijn alleen van toepassing op de CO₂, SO₂ en alle well-to-tank-emissies. Overige emissies zijn onafhankelijk van het gewicht.

Tabel 20 Correctiefactoren gewichtsklassen personenauto

Gewichtsklasse	Klassegrenzen (kg)	Gemiddelde massa (kg)	Correctiefactor
Licht	< 950	750	0,79
Middel	950-1.350	1.150	1
Zwaar	> 1.350	1.400	1,13
Totaal		1.150	

Spits

In de spits zijn de emissies van een personenauto hoger door het vele optrekken en afremmen. Het rijden in congestie kan gemiddeld tot wel 50% hogere emissies lijden dan zonder congestie (TNO, 2013c).² Tijdens een rit in de spits rijdt men echter maar gedeeltelijk in (zware) congestie. We nemen aan dat een gemiddelde rit in de spits voor ca. 10% met (zware) congestie wordt gereden (2 km op gemiddelde woon-werkafstand van 23 km (CBS, 2013b)). Voor een gemiddelde rit in de spits gaan we in deze studie uit van een correctiefactor van 1,05 voor alle emissies.³

² De toename is afhankelijk van de emittent; 50% geeft een goede gemiddelde indicatie. De werkelijke toename is ook afhankelijk de mate van congestie.

³ $90\% * 1 + 10\% * 1,5 = 1,05$.



3.3.2 OV, touringcar, personenbus

Bezetting

In STREAM 2008 (CE Delft, 2008) werd voor OV-modaliteiten onderscheid gemaakt naar spits- en dal-emissies op basis van een marginale emissie-benadering. In een recente studie van de VU (Hörcher, 2013) naar marginale emissies van treinen wordt geconcludeerd dat deze benadering waarschijnlijk niet meer geldig is. Op basis van deze studie adviseren we geen onderscheid te maken naar spits- en dal-emissies, maar altijd uit te gaan van de dag-gemiddelde emissies. In Paragraaf 7.5 wordt hier verder op ingegaan.

Indien een andere daggemiddelde bezetting van toepassing is dan de gemiddelde daggemiddelde bezetting (y), kunnen de data in de Tabel 13 en Tabel 14 worden gecorrigeerd naar de gewenste bezetting x door te vermenigvuldigen met y/x . Voor een aantal alternatieve bezettingsgraden zijn de correctiefactoren uitgewerkt in Tabel 21 en Tabel 22. Bij het bepalen van een alternatieve bezetting moet rekening worden gehouden met eventuele lege kilometers (zonder passagiers) van de aanrijroute van de chauffeur. In het geval van de touringcar is aangenomen dat dit 24% is. Voor een reis met 40 personen betekent dit dan dat de bezetting inclusief leegrijden dan op $(100\% - 24\%) \times 40 = 30$ uitkomt.

Net als voor personenauto's geldt dat via deze benadering geen rekening wordt gehouden met het effect van een verandering in energiegebruik van het voertuig door extra gewicht van passagiers. Dit effect is echter te verwaarlozen.

Tabel 21 Correctiefactoren alternatieve bezetting tram, metro en trein

Alternatieve bezetting	Tram/ Metro (gem. 14%)	Trein gemiddeld (gem 29%)	Stoptrein elektrisch (gem.24%)	Stoptrein diesel (gem. 20%)	Intercity (gem. 32%)	HSL (gem. 57%)
10%	1,40	2,90	2,40	2,00	3,20	5,70
20%	0,70	1,45	1,20	1,00	1,60	2,85
30%	0,47	0,97	0,80	0,67	1,07	1,90
40%	0,35	0,73	0,60	0,50	0,80	1,43
50%	0,28	0,58	0,48	0,40	0,64	1,14
60%	0,23	0,48	0,40	0,33	0,53	0,95
70%	0,20	0,41	0,34	0,29	0,46	0,81
80%	0,18	0,36	0,30	0,25	0,40	0,71
90%	0,16	0,32	0,27	0,22	0,36	0,63
100%	0,14	0,29	0,24	0,20	0,32	0,57



Tabel 22 Correctiefactoren alternatieve bezetting Bus, Touringcar en Personenbus

Bezetting	Stadsbus/ streekbus (gem. bez. 9)	Touringcar (gem. bez. 31,6)	Personenbus, besloten (gem. bez. 5,0)	Personenbus, besloten (gem. bez. 2,4)
2	4,50	-	2,49	1,20
4	2,25	-	1,25	0,60
6	1,50	-	0,83	0,40
8	1,13	-	0,62	0,30
10	0,90	3,16	-	-
15	0,60	2,11	-	-
20	0,45	1,58	-	-
25	0,36	1,26	-	-
30	0,30	1,05	-	-
40	-	0,79	-	-
50	-	0,63	-	-

Euroklasse bussen

Tabel 10 en Tabel 11 gaan uit van het gemiddelde voertuigenpark in Nederland. Door Europese regelgeving moeten bussen en andere zware voertuigen echter aan steeds strengere normen voor luchtverontreinigende emissies voldoen. Deze normen worden als EURO 0-6 gedefinieerd en hebben invloed op de tank-to-wheel-emissies van NO_x, PM₁₀ en VOS. In Tabel 23 is aangegeven vanaf wanneer de verschillende Euroklassen zijn ingegaan.

Tabel 23 Euroklasse ingangsdata

	Ingangsdatum Euroklasse Nieuwe typen	Ingangsdatum Euroklasse Bestaande typen
Euro 0	1-7-1988	1-10-1990
Euro 1	1-7-1992	1-10-1993
Euro 2	1-10-1995	1-10-1996
Euro 3	1-10-2000	1-10-2001
Euro 4	1-10-2005	1-10-2006
Euro 5	1-10-2008	1-10-2009
Euro 6	1-1-2013	1-1-2014

Hoe nieuwer de bus hoe hoger de Euroklasse en hoe schoner de bus in principe is. In de praktijk blijken de bussen echter niet altijd zo schoon als de regelgeving Euronormering voorschrijft en kan het zijn dat een nieuwere bus in de praktijk toch gelijke of zelfs hogere emissies heeft dan een oudere.

Tabel 24 en Tabel 25 geven een overzicht van correctiefactoren voor de Euroklassen van dieselmotoren ten opzichte van de gemiddelde touringcar en OV-bus (stad of streek). Deze factoren zijn gebaseerd op praktijk emissiefactoren. Indien de Euroklasse van een bus bekend is kunnen de waarden uit Tabel 10 en Tabel 11 gespecificeerd worden door vermenigvuldiging met de factoren uit Tabel 23 en Tabel 25.

Tabel 24 Correctiefactoren Euroklassen diesel ten opzichte van gemiddelde waarden touringcar

	NO _x				PM				VOS			
	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg	Gemiddeld	Stad	Buiten	Snelweg
Pré-Euro	3,1	2,1	3,2	4,1	12,2	14,4	10,8	10,1	13,1	15,0	13,3	10,2
Euro 0	2,4	2,0	2,4	3,0	4,7	4,3	4,5	5,3	7,9	9,0	6,2	7,5
Euro 1	1,7	1,6	1,8	1,7	2,1	1,9	2,0	2,5	1,9	1,7	2,0	2,2
Euro 2	1,6	1,5	1,6	1,8	1,4	1,2	1,8	1,2	1,3	1,1	1,3	1,4
Euro 3	1,2	1,3	1,2	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2	1,2	1,0	1,2	1,3
Euro 4	0,87	0,98	0,83	0,76	0,29	0,37	0,29	0,18	0,06	0,05	0,06	0,06
Euro 5	0,49	0,55	0,48	0,42	0,27	0,35	0,23	0,19	0,06	0,05	0,06	0,06
Euro 6	0,09	0,11	0,09	0,08	0,13	0,17	0,10	0,09	0,06	0,05	0,06	0,06

Bron: O.b.v. Task Force, 2013.

Tabel 25 Correctiefactoren Euroklassen diesel ten opzichte van gemiddelde waarden OV-bus

	NO _x		PM _v		VOS	
	Stad	Buiten	Stad	Buiten	Stad	Buiten
Pré-Euro	2,79	4,74	44,02	28,99	26,99	16,49
Euro 0	2,72	3,58	13,13	12,22	16,17	7,68
Euro 1	2,17	2,60	5,70	5,40	3,06	2,49
Euro 2	1,97	2,34	3,72	4,84	2,05	1,66
Euro 3	1,74	1,83	2,16	2,47	1,87	1,51
Euro 4	1,34	1,22	1,13	0,79	0,09	0,07
Euro 5	0,74	0,70	1,07	0,63	0,10	0,07
Euro 6	0,14	0,13	0,52	0,28	0,10	0,07

Bron: O.b.v. Task Force, 2013.

3.3.3 Luchtvaart

Voor luchtvaart zijn drie typen vliegtuigen gegeven met een gemiddelde afstand waarvoor de gemiddelde emissies per passagierskilometer gelden. De gemiddelde emissiekentallen voor de gehele vlucht inclusief LTO zijn ook bruikbaar voor andere afstanden mits de afstand niet teveel afwijkt van het gemiddelde. In Tabel 26 is aangegeven binnen welke bandbreedte de gemiddelde emissiekentallen niet meer dan 5% afwijken van een berekening op basis van LTO- en cruise-emissies zoals hieronder weergegeven.

Tabel 26 Aangeraden afstandsrange voor gemiddelde kentallen

Vliegtuig type	Aangeraden afstandsrange gemiddelde kentallen (LTO + cruise)
EMBRAER 190 (730 km)	650-1.350
Boeing 737-800 (1.050 km)	900 - 1.700
Boeing 777-300ER (7.000 km)	> 3.000

Wanneer de afstanden buiten de range vallen kan een nauwkeuriger vluchtgemiddeld kental (EF_{vlucht}) worden berekend met behulp van de emissiekentallen voor LTO (EF_{LTO}) en cruise (EF_{cruise}) volgens:

$$EF_{vlucht} = (EF_{LTO} + EF_{cruise} \cdot \text{afstand}) / \text{afstand}.$$

De benadering volgens bovenstaande berekening veronderstelt dat de emissiefactoren per LTO en per kilometercruise constant zijn voor verschillende afstanden. In werkelijkheid zullen deze ook variëren. Zo zullen op een langere afstand de LTO-emissies toenemen door het grotere gewicht aan brandstof dat een vliegtuig meeneemt. Op de totale vlucht is dit effect echter beperkt.

Bezetting

Tabel 4 gaat uit van de gemiddelde bezetting en belading zoals aangegeven in Tabel 27. De belading gaat uit van een gecombineerde bezetting van passagiers (waarbij voor gemiddelde passagiers, inclusief bagage met 100 kg wordt gerekend) en belading van vracht.

Tabel 27 Gemiddelde aantal passagiers en vrachtgewicht per type vliegtuig

	Gemiddeld aantal passagiers/capaciteit	Gemiddelde hoeveelheid vracht (excl. bagage passagiers) (kg)	Belading (kg) (totaal passagiers en vracht)
Embraer (korte afstand)	67/100	1.152	7.852
Boeing 737 (midden afstand)	124/180	1.133	13.533
Boeing 777 (lange afstand)	328/425	13.063	45.863

Bron: KLM, 2013.

Indien een andere bezetting bekend is, kunnen in principe de data in de tabel worden gecorrigeerd van de gemiddelde belading (personen + vracht) y naar de gewenste belading x door te vermenigvuldigen met y/x . In de praktijk is het echter moeilijk te bepalen wat de gecombineerde belading van vracht en personen is.

Met name op vluchten over lange afstanden wordt een vliegtuig vaak optimaal beladen en kan een lagere passagiersbezetting gepaard gaan met een hogere vrachtbelading en vice versa. In dit geval blijven de emissies per passagiers-kilometer ongeveer gelijk. Op kortere afstand is het waarschijnlijker dat een hogere bezetting ook daadwerkelijk een hogere totale belading van passagiers en goederen tot gevolg heeft.





4 Beschrijving en aannames uitgebreide data

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we de beschrijving en aannames voor de berekening van de emissies per reizigerskilometer van de verschillende vervoerswijzen in het personenvervoer. De data zijn gebaseerd op de emissies per voertuigkilometer en de bezetting. In Paragraaf 4.3 wordt toegelicht hoe met deze gegevens zelf cases kunnen worden samengesteld.

4.2 Overzicht beschrijving en aannames

4.2.1 Personenauto

Data per reizigerskilometer

Voor de data van de personenauto in Tabel 4 wordt onderscheid gemaakt tussen benzine, diesel en LPG. Andere aandrijvingen en/of brandstoffen spelen in 2011 nog nauwelijks een rol in het gemiddelde wagenpark. De tank-to-wheel-data voor de personenauto in Tabel 4 zijn gebaseerd op praktijkemissiefactoren per voertuigkilometer (zie hieronder) en de gemiddelde bezetting van 1,4 voor de personenauto (CBS, 2013b). De well-to-tank-emissiecijfers voor de personenauto zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer en de well-to-tank-emissiefactoren van de brandstoffen (zie Paragraaf 4.2.14). Voor de verschillende brandstoffen zijn de wegtypegemiddelde cijfers berekend met behulp van de aandelen van de verschillende wegtypes zoals gegeven in Tabel 3 (Hoofdstuk 2). De cijfers voor de gemiddelde personenauto zijn berekend met behulp van de aandelen per brandstof zoals gegeven in Tabel 28.

Tabel 28 Aandelen brandstoftypen personenauto per wegtype

Wegtype	Benzine	Diesel	LPG
Stad	75%	22%	3%
Buitenweg	69%	27%	4%
Snelweg	58%	38%	4%
Totaal	65%	31%	3%

Bron: O.b.v. Task Force, 2013.

Emissiefactoren (per voertuigkilometer)

De emissiefactoren voor CO₂ (in CO₂-eq.) voor de personenauto zijn gebaseerd op data van CBS Statline (CBS Statline, 2013a). In Statline zijn de data beschikbaar voor CO₂-, CH₄- en N₂O-uitstoot per brandstof en wegtype.

De emissiefactoren voor luchtvervuilende emissies zijn beschikbaar vanuit de rapportage van de Taakgroep Verkeer en vervoer (Task Force, 2013).



Voor het berekenen van de gemiddelde emissiefactoren is een wagenparkmodel gemaakt op basis van Taakgroep (Task Force, 2013). Het wagenpark geeft een onderverdeling van de voertuigkilometers naar Euroklasse en wegtype. De aandelen van de Euroklassen in het gemiddelde autopark per brandstof is weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29 Aandeel Euroklassen in gemiddelde per brandstof

Euroklasse	Benzine	Diesel	LPG
Pré-Euro	3%	2%	10%
Euro 1	6%	1%	3%
Euro 2	21%	9%	24%
Euro 3	19%	27%	25%
Euro 4	36%	41%	33%
Euro 5	15%	20%	5%
Euro 6	0%	0%	0%
Totaal	100%	100%	100%

Voor Euro 3 en Euro 4 is voor de PM₁₀-emissies door verbranding rekening gehouden met de aanwezigheid van gesubsidieerde roetfilters voor Euro 3- en Euro 4-dieselauto's, die de PM₁₀-emissies verder reduceren dan de Euro 3- en Euro 4-norm voorschrijven. Voor het aandeel roetfilters zijn de volgende bronnen gebruikt:

- aandeel roetfilters Euro 3-diesel: Taakgroep (Task Force, 2013);
- aandeel roetfilters Euro 4-diesel: Rapport Duurzaamheidsmonitor Mobiliteit (RAI, BOVAG, 2013).

4.2.2 Personenauto, alternatieve brandstoffen en technieken

In Tabel 5 worden de emissiekentallen voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor alternatieve brandstoffen en technieken van personenauto's gegeven, voor een gemiddeld wegtype. Het gaat in veel gevallen om nieuwe technieken. Als referentie van de conventionele technieken zijn daarom ook de nieuwe diesel- en benzine-personenauto (Euro 5 en Euro 6) opgenomen.

De tank-to-wheel-emissiekentallen zijn op basis van de relatieve indexwaarden uit de studie Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer (CE Delft/TNO, 2014) vastgesteld. De relatieve kentallen zijn toegepast op de Euro 5-benzineauto (Task Force, 2013). De relatieve kentallen voor het energiegebruik ten opzichte van de benzineauto (met bouwjaar 2011) zijn weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30 Energiegebruik alternatieve technieken personenauto

Brandstof/techniek aandrijving	Index energiegebruik voertuig
Benzine Euro 5/6	100
Benzine-hybride	80
Benzine-plug-in hybride*	62
E85	100
Diesel Euro 5/6	86
Diesel hybride	69
Elektrisch	34
CNG	105
Bio-CNG	105
Waterstof	48

* Aanname 38% kilometers elektrisch.



Biobrandstoffen

Voor de biobrandstoffen zijn de tank-to-wheel-klimaatemissies nagenoeg gelijk aan nul vanwege het kort-cyclische karakter van de koolstof in deze brandstoffen en de manier waarop hier volgens IPCC-conventie meegerekend wordt. Alleen de methaan en lachgasemissies leveren een kleine klimaatemissie op. De well-to-tank-emissies leveren verreweg de grootste bijdrage aan de totale well-to-wheel-klimaatemissies.

De CO₂-well-to-tank-emissies zijn sterk afhankelijk van de gebruikte grondstoffen voor de biobrandstof. Daarnaast leidt de teelt van gewassen voor biobrandstoffen tot een verandering van landgebruik (bijv. omzetting van bos naar landbouwgrond), met extra broeikasgasemissies tot gevolg (JRC, 2013; CE Delft/TNO, 2014). Vanwege de grote bandbreedte in CO₂-emissies is voor de biobrandstoffen een range gegeven met daarbij een inschatting van het gemiddelde voor Nederland. Bio-CNG kan netto zelfs leiden tot koolstofvastlegging waardoor de CO₂-emissie in de bandbreedte aan de onderkant een negatieve waarde heeft. De well-to-tank-emissies zijn verder uitgewerkt in Paragraaf 4.2.14.

Plug-in hybride

De emissies van de plug-in hybride zijn sterk afhankelijk van het laadgedrag van de gebruiker. Het laadgedrag bepaalt mede hoeveel kilometers elektrisch gereden kunnen worden met een tank-to-wheel-uitstoot van nul. In de data van Tabel 5 is aangenomen dat 38% van de kilometers elektrisch worden gereden. Dit is gebaseerd op de Factsheets brandstoffen voor het wegverkeer (CE Delft/TNO, 2014). Uit een recente studie van TNO (TNO, 2013d) blijkt dat het aandeel elektrisch rijden van de plug-in hybride in de zakelijke markt tegenvalt. De toegepaste 38% is dus gebaseerd op het verwachte aandeel elektrisch bij een beter gebruik van de plug-in hybride.

Elektrisch

De elektrische auto stoot geen emissies uit. Er zijn alleen slijtage- en well-to-tank-emissies. De well-to-tank-emissies van de elektrische auto zijn in deze studie gebaseerd op de emissies van de gemiddelde elektriciteitsmix (zie Paragraaf 4.2.15) net als voor de tram, trein, metro en elektrische fiets. Het energiegebruik van de elektrische auto is ongeveer 34% van de huidige benzineauto op basis van de Factsheets brandstoffen voor het wegverkeer (CE Delft/TNO, 2014).

Waterstof

De waterstofauto stoot geen andere emissies uit dan waterdamp. Er zijn dus alleen slijtage- en well-to-tank-emissies. De well-to-tank-emissies van waterstof zijn sterk afhankelijk van de productiemethode. Het kan onder andere worden geproduceerd uit kolen, aardgas en met behulp van elektriciteit. Voor waterstof is daarom ook een bandbreedte opgenomen voor de CO₂-emissies met een inschatting van het gemiddelde. Voor de luchtvervuilende emissies is alleen een gemiddelde opgenomen. De well-to-tank-emissies zijn verder uitgewerkt in Paragraaf 4.14.

4.2.3 Elektrische fiets

Vanwege de elektrische aandrijving zijn de tank-to-wheel-emissiefactoren voor de elektrische fiets nul. Ook is aangenomen dat de slijtage-emissies verwaarloosbaar zijn. De well-to-tank-emissiecijfers voor de elektrische fiets zijn gebaseerd op een elektriciteitsverbruik van 0,013 kWh per kilometer (TNO, 2008b) en de emissiekentallen voor elektriciteitsopwekking (zie Paragraaf 4.2.15). In de verbruikswaarde is rekening gehouden met



laadverliezen. Aangenomen is dat de gemiddelde bezetting van een elektrische fiets één persoon bedraagt.

4.2.4 Bromfiets

Voor de bromfiets wordt onderscheid gemaakt tussen de benzine en de elektrische bromfiets. De elektrische bromfiets had in 2011 een aandeel van 1,2% in het totaal van bromfietsen (CBS Statline, Bromfietsen; soort, brandstof en bouwjaar).

De CO₂-emissies, het energiegebruik en de luchtvervuilende emissies per voertuigkilometer voor de benzinebromfiets in Tabel 7 zijn gebaseerd op CBS Statline (Luchtverontreiniging, feitelijke emissies door wegverkeer). De well-to-tank-data zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer en de well-to-tank-emissiefactoren voor benzine (zie Paragraaf 4.14). Vanwege de elektrische aandrijving zijn de tank-to-wheel-factoren voor de elektrische bromfiets nul. De well-to-tank-emissiecijfers voor de elektrische bromfiets zijn gebaseerd op een elektriciteitsverbruik van 0,042 kWh per kilometer (TNO, 2009) en emissiekentallen voor elektriciteitsopwekking (zie Paragraaf 4.2.15). In deze waarde is rekening gehouden met laadverliezen. Voor de gemiddelde bezetting is uitgegaan van 1,10 reizigerskilometer per voertuigkilometer conform STREAM (2008).

Voor de bromfiets is aangenomen dat 71% van de kilometers in de stad wordt gereden en 29% op de buitenweg (Task Force, 2013).

4.2.5 Motorfiets

De CO₂-emissies, het energiegebruik en de luchtvervuilende emissies voor de motorfiets in Tabel 8 zijn gebaseerd op emissiefactoren uit CBS Statline (CBS Statline, 2013a) en een gemiddelde bezetting van 1,15 conform STREAM 2008 (CE Delft, 2008). De well-to-tank-data zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer en de well-to-tank-emissiefactoren voor benzine (zie Paragraaf 4.2.15).

Voor de motorfiets is aangenomen dat 15% van de kilometers in de stad wordt gereden, 44% op de buitenweg en 41% op de snelweg (Task Force, 2013).

4.2.6 Personenbus

Voor de personenbus is uitgegaan van een dieselbus met een vervoerscapaciteit van acht personen (exclusief chauffeur). De emissiekentallen zijn berekend uit de praktijkemissiefactoren per kilometer en een bezetting van vijf voor besloten vervoer en 2,4 voor een taxibus/belbus.

Voor de bezetting van besloten vervoer is uitgegaan van dezelfde bezettingsgraad als voor de touringcar (zie hieronder). Voor de bezetting van de taxi/belbus is uitgegaan van een bezettingsgraad van een OV-bus, waarbij voor een OV-bus met een capaciteit van 30 personen is gerekend (zie hieronder).

De CO₂- en SO₂-praktijkemissiefactoren zijn verondersteld gelijk te zijn aan de gemiddelde emissiefactoren van de bestelauto (CBS, 2013a). Deze aanname is gemaakt op basis van een vergelijking tussen het normverbruik van nieuwe bestelbussen (EEA, 2013) en een drietal personenbussen (Mercedes Sprinter Combi, Renault Traffic Passenger, Ford Transit combi, bron: Personenbus, 2013). Omdat het verschil in verbruik kleiner bleek dan 5% is aangenomen dat het verbruik van de gemiddelde bestelbus en personenbus vergelijkbaar is.

Voor luchtvervuilende emissies is een combinatie gemaakt van de emissiefactoren per kilometer voor personenauto en bestelauto (Task Force, 2013).



In de EU-regelgeving viel de personenbus oorspronkelijk onder de Euro-normering van bestelwagens (light duty). Sinds de Euro 5-norm valt de personenbus qua norm onder de personenauto. Daarom zijn de luchtvervuilende emissies voor de personenbus berekend op basis van de emissiefactoren voor de bestelauto, waarbij het aandeel van Euro 5 is aangepast op de emissiefactoren voor de personenauto diesel Euro 5. De aandelen van de Euroklassen zijn daarbij gelijk verondersteld aan de verkeersprestaties van bestelbussen (Task Force, 2013).

Een inschatting van de emissiekentallen voor elektrische, CNG- en groen gasvoertuigen kan gemaakt worden op basis van de relatieve uitstoot van deze technieken bij de personenauto ten opzichte van de diesel personenauto.

4.2.7 Touringcar

De emissiekentallen van de touringcar zijn gebaseerd op emissiefactoren per kilometer van de gemiddelde dieselbus en een bezetting van 31,6 personen. Voor de CO₂-emissiefactoren van de touringcar is aangenomen dat deze gelijk zijn aan die van de gemiddelde bus volgens CBS Statline (CBS Statline, 2013a). Voor het bepalen van de luchtvervuilende emissies is een Euroklasse-parkmodel opgesteld. De aandelen per Euroklasse zijn gebaseerd op het aantal bussen, het gemiddelde jaarkilometrages per leeftijdsklasse (CBS, 2011) en aandelen van Euroklassen in de verkeersprestaties per bouwjaar (Task Force, 2013). De resulterende aandelen per Euroklasse zijn weergegeven in Tabel 31.

Tabel 31 Aandelen Euroklassen in gemiddelde touringcar 2011

Euroklasse	Aandeel
Pré-Euro	4%
Euro 1	5%
Euro 2	12%
Euro 3	25%
Euro 4	11%
Euro 5	43%
Euro 6	0%

Uit statistieken blijkt dat een touringcar gemiddeld plaats biedt voor 50,7 personen en dat er gemiddeld 41,6 passagiers aan boord zijn (Panteia, 2013). De gemiddelde bezetting is berekend met de aanname dat 76% van de kilometers productief zijn en de andere 24% van de kilometers gereden wordt met een lege bus om op locatie te komen (zie CE Delft, 2008). De gemiddelde bezetting inclusief de lege kilometers komt dan uit op 31,6 reizigers.

De well-to-tank-data zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer en de well-to-tank-emissiefactoren voor diesel (zie Paragraaf 4.2.15).

Voor de berekening van het gemiddelde emissiecijfer is aangenomen dat 50% van de kilometers op de snelweg wordt gereden, 25% op de buitenweg en 25% in de stad (CE Delft, 2008).

4.2.8 OV-bus

Data per reizigerskilometer

Voor de OV-bus wordt onderscheid gemaakt tussen de brandstoffen diesel en CNG. De tank-to-wheel-data voor de OV-Bus in Tabel 4 zijn gebaseerd op praktijkemissiefactoren per voertuigkilometer (zie hieronder) en een gemiddelde bezetting van negen. De bezetting van de gemiddelde OV-bus, stadsbus en streekbus is gebaseerd op Provincie Utrecht (2012) en KpVV (2011a).

Voor aardgasbussen zijn de kentallen gebaseerd op fossiele CNG. Voor bussen waarvoor specifiek groen gas wordt geproduceerd (additioneel) kunnen de kentallen voor groen gas uit Tabel 12 worden gebruikt.

De well-to-tank-emissiecijfers voor de OV-bus zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer en de well-to-tank-emissiefactoren van de brandstoffen (zie Paragraaf 4.2.15).

Voor de gemiddelde OV-bus is behalve met bussen op CNG en diesel ook rekening gehouden met een klein aandeel dieselhybride en LPG-bussen, volgens de verdeling in Tabel 32.

Tabel 32 Aandeel brandstoffen in reizigerskilometers OV-bus

Techniek	Aandeel brandstof/techniek in reizigerskilometers
Diesel	89%
Dieselhybride	2%
CNG	9%
LPG	1%

De kentallen voor de OV-bus gemiddeld, stadsbus en streekbus zijn opgebouwd uit de kentallen per wegtype van de gemiddelde bus, waarbij een verdeling over de wegtypen is aangenomen zoals gegeven in Tabel 33.

Tabel 33 Aandeel wegtypen voor OV-bus

Type bus	Stad	Buitenweg	Snelweg
OV-bus gemiddeld	75%	25%	0%
Stadsbus	100%	0%	0%
Streekbus	50%	50%	0%

Bron: CE Delft, 2008.

Emissiefactoren (per kilometer)

Voor het berekenen van gemiddelde emissies per voertuigkilometer is een Euroklassewagenpark voor de OV-bus opgesteld op basis van de bussenposter van KpVV (2011). Hierbij is aangenomen dat de OV-bussen met verschillende technieken ongeveer een gelijk jaarkilometrage hebben. De aangenomen verdeling is weergegeven in Tabel 34.

Tabel 34 Aandelen verschillende typen bus in gemiddelde OV-bus

Type bus	Aandeel
Euro 0-2	4%
Euro 3	22%
Euro 4	5%
Euro 5	10%
Euro 6	0%
EEV diesel	48%
EEV aardgas stoichiometrisch	9%
Dieselhybride	2%
LPG	1%

4.2.9 OV-bus, alternatieve brandstoffen en technieken

Voor alternatieve brandstoffen is gebruik gemaakt van de Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer (CE Delft/TNO, 2014) en de Bussenknop 2013 (InfoMil, 2013). Ook zijn voor de aardgas- en EEV-bussen TNO (2008) en TNO (2013a) geraadpleegd. Voor de alternatieven voor de bus is dezelfde aanpak gehanteerd als voor de personenauto (zie Paragraaf 4.2.2). De relatieve kentallen voor het energiegebruik zijn weergegeven in Tabel 35.

Tabel 35 Energiegebruik alternatieve technieken OV-bus

Brandstof/techniekaandrijving	Index energiegebruik voertuig
Diesel Euro 5	100
Diesel-hybride	85
CNG stoichiometrisch	125
Bio-CNG	125
Elektrisch	56
Waterstof	104

Bron: CE Delft, 2014.

4.2.10 Tram en metro

Voor zowel trams als metro's geldt dat ze elektrisch worden aangedreven en dus geen directe emissies hebben. Emissies komen op een andere plaats en tijd vrij, namelijk tijdens de productie van elektriciteit. De emissiecijfers voor de tram en metro zijn gebaseerd op het gemiddelde elektriciteitsverbruik per reizigerskilometer (tram: 0,16 kWh/rkm, metro 0,18 kWh/rkm) en de emissiefactoren per kilowattuur voor elektriciteitsopwekking. De emissiefactoren van elektriciteitsproductie worden besproken in Paragraaf 4.2.15. Het energiegebruik, de reizigerskilometers en de bezettingsgraden zijn afgeleid uit de jaarverslagen van RET (2013); HTM (2011) en GVB (2013) (zie ook Bijlage B). Hierbij is het energiegebruik van HTM afgeleid uit het totaal energiegebruik 2011 volgens Taakgroep (Task Force, 2013) voor BTM en de cijfers van RET en GVB. De slijtage-emissies zijn gebaseerd op de verhouding tussen tram/metro en trein volgens Taakgroep (Task Force, 2013) en de slijtage-emissies per MJ bij de trein (zie ook Paragraaf 4.2.13).

4.2.11 Trein

Bij de trein wordt onderscheid gemaakt tussen stoptrein, intercity en hogesnelheidstrein (HSL), omdat er tussen deze treinen een verschil is in energiegebruik, veroorzaakt door verschillen in de stopfrequentie en snelheid. Bij de stoptrein wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen een elektrische en een dieseltrein. De overige treinen zijn allen elektrisch.

De emissiecijfers in Tabel 14 voor de elektrische trein zijn gebaseerd op het gemiddelde elektriciteitsverbruik per reizigerskilometer en de emissiefactoren per kilowattuur voor elektriciteitsopwekking (zie Paragraaf 4.2.15). Vanwege de elektrische aandrijving zijn de tank-to-wheel-emissiefactoren voor de elektrische trein gelijk aan nul.

Bij dieseltreinen spelen tank-to-wheel-emissiefactoren wel een rol. De data voor de dieseltrein zijn gebaseerd op het brandstofverbruik per reizigerskilometer (bron NS), de gemiddelde tank-to-wheel- en well-to-tank- (Paragraaf 4.2.14) emissiefactoren voor diesel. De tank-to-wheel-emissies voor diesel zijn gebaseerd op data van de Taakgroep Verkeer (Task Force, 2013), waarbij voor de PM₁₀- en NO_x-emissies is aangenomen dat 33% van de treinen relatief nieuw is en voldoet aan de Europese emissie-eisen stage IIIa (EU, 2004) en 67% ouder is en voldoet aan de emissiekentallen volgens de Taakgroep Verkeer.

De verbruiksdata zijn afkomstig van NS en voor de elektrische stoptrein ook van Connexxion (Connexxion, 2013). Beide hebben data aangeleverd over het totaal aantal passagier- en zitplaatskilometers en het totale energiegebruik van de treinen in 2011. De data van NS over het jaarlijks energiegebruik (Agentschap NL, 2012a) en reizigerskilometers (NS, 2012) zijn door NS onderverdeeld naar de Intercity, Sprinter (diesel en elektrisch) Thalys, Fyra, IC Berlijn en IC Brussel.

Om tot gemiddelde verbruikscijfers te komen is voor stoptreinen rekening gehouden met zowel NS-stoptreinen (sprinters) als stoptreinen van regionale vervoerders. Aangenomen wordt dat regionale treinen gemiddeld genomen wat lichter zijn en daarmee een wat lager energiegebruik per zitplaatskilometer hebben. De bezetting is iets lager bij de regionale treinen (KpVV, 2011b). Omdat niet voor alle regionale vervoerders de data beschikbaar zijn, is aangenomen dat de data over het energiegebruik per reizigerskilometer van Connexxion representatief zijn voor de andere regionale vervoerders. Voor dieseltreinen is daarbij aangenomen dat de verhouding tussen het verbruik per reizigerskilometer van een NS-elektrische stoptrein en een Connexxion-trein ook van toepassing is op de dieseltreinen.

Om tot een gemiddelde te komen van NS en het regionale spoorvervoer zijn de cijfers per reizigerskilometer van NS en Connexxion gewogen met de passagierskilometers van NS en het regionale spoorvervoer. De reizigerskilometers van regionale treinen (niet-NS) zijn gebaseerd op data van KpVV (KpVV, 2011b), waarbij de data voor 2006-2009 zijn geëxtrapoleerd naar 2011. Omdat het verbruik van de HSL in Nederland niet representatief is voor de gemiddelde HSL is hiervoor uitgegaan van IFEU (2010).

Voor de gemiddelde stoptrein is op basis van de aangeleverde data aangenomen dat 80% van de reizigerskilometers wordt gereden in een elektrische trein en 20% in een dieseltrein. Voor de gemiddelde trein is uitgegaan van een verdeling van 75% intercity en 25% stoptrein.

4.2.12 Vliegtuig

In STREAM zijn verschillende vliegtuigen opgenomen die representatief zijn op korte, middellange en lange afstand. De opgenomen vliegtuigen zijn de EMBRAER 190 (korte afstand), Boeing 737-800 (middellange afstand) en de Boeing 777-300ER (lange afstand).

In de data wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds de emissies tijdens het landen en opstijgen (LTO, landing-take-off) en anderzijds de cruise fase. Met name de LTO-emissies zijn van belang voor de lokale luchtkwaliteit rondom de luchthavens.



De tank-to-wheel- en well-to-tank-emissies in Tabel 15 zijn gebaseerd op praktijkcijfers (KLM, 2013) van het brandstofverbruik, de reizigerskilometers en de vrachtkilometers van de betreffende vliegtuigen. Het brandstofverbruik is toegeedeeld aan passagiers en vracht op basis van het gewicht, waarbij voor een passagier met 100 kilo wordt gerekend.

De reizigers- en vrachtkilometers zijn gedefinieerd op basis van het aantal passagiers en de hoeveelheid vracht getransporteerd over de grootcirkel-afstand (rechtstreekse afstand) tussen luchthavens. In de emissiekentallen per reizigerskilometer zit dus feitelijk een omwegfactor opgenomen, waarbij rekening wordt gehouden dat een vliegtuig niet over de kortste weg van A naar B vliegt, maar extra kilometers aflegt, onder andere om te kunnen landen en opstijgen, maar bijvoorbeeld ook om rekening te houden met weersomstandigheden.

De NO_x-emissies voor LTO en cruise zijn door KLM geleverd op basis van de modellen Boeing (Fuel Flow) Method #2 (Boeing 737 en 777) en de ICAO-database⁴ (Embraer). De SO₂-emissies zijn afgeleid uit het gemiddelde zwavelgehalte in de brandstof. PM₁₀ en VOS zijn bepaald op basis van emissiefactoren per liter brandstof voor LTO (Task Force, 2013) en cruise (IFEU, 2010; IFEU, 2011).

De cijfers zijn in principe specifiek geldig voor de opgegeven gemiddelde afstanden van 730, 1.050 en 7.000 km voor de betreffende vliegtuigen.

Voor luchtvaart is de bijdrage aan het broeikas effect veel groter dan alleen die van de CO₂-emissie. Voornamelijk condensstrepen, NO_x-emissies en effecten op wolkvorming leveren een grote bijdrage aan het broeikas effect. Deze bijdragen treden met name op boven de 9.000 meter (IFEU, 2011). Volgens Lee et al. (2009) is het totale broeikas effect van de luchtvaart gemiddeld twee keer zo groot als alleen het effect van de CO₂-uitstoot. In Tabel 15 is daarom ook aangegeven wat het klimaat effect is rekening houdend met de effecten op grote hoogte, uitgaande van deze gemiddelde correctiefactor. In werkelijkheid zal het effect op korte afstand kleiner zijn dan op grote afstand. Daarmee is in Tabel 15 geen rekening gehouden.

De gemiddelde bezettingsgraden voor de verschillende vliegtuigtypen en gevlogen afstanden zijn gebaseerd op praktijkcijfers (KLM).

4.2.13 Slijtage-emissies

Van het wegverkeer is bekend dat slijtage van remvoeringen, banden en wegdek voor fijnstofemissies zorgen. Omdat de gezondheidseffecten van fijnstofemissies door slijtage anders lijken te zijn dan fijnstofemissies door verbranding (groter fractie, andere samenstelling) zijn deze apart meegenomen.

Voor de slijtage-emissies van het wegverkeer is een berekening gemaakt op basis van Taakgroep (Task Force, 2013). Hierbij zijn de slijtage-emissies afhankelijk van voertuigtype en wegtype, maar niet van brandstof.

De slijtage-emissies voor de trein zijn gebaseerd op een Zwitserse studie (Infras, 2007; TNO, 2008c), waarin de jaarlijkse PM₁₀-slijtage-emissies van treinverkeer voor personen en goederen worden gegeven. De totale PM₁₀-slijtage-emissies zijn met behulp van het totale jaarlijkse energiegebruik voor personentreinen in Zwitserland (SBB, 2014) vertaald naar een kental per

⁴ Zie: <http://www.easa.europa.eu/environment/edb/aircraft-engine-emissions.php>.



megajoule. Aangenomen is dat de PM_{10} -emissies per megajoule ook representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

De onzekerheid in het kental is relatief groot, enerzijds omdat de studie uitgaat van de Zwitserse situatie, anderzijds omdat de studie al weer wat verouderd is en geen rekening houdt met ontwikkelingen in de remsystemen van treinen (meer trommelremmen en terug leveren van remenergie).

Er zijn op dit moment echter geen recentere data beschikbaar.

De slijtage-emissies bij treinen worden veroorzaakt door slijtage aan de bovenleiding, de stroomafnemers, de rail en de remmen. De slijtage van de remmen hebben het grootste aandeel in het geheel (ca. 65%).

Voor tram en metro is aangenomen dat de PM_{10} -emissies door slijtage per megajoule 80% zijn van de emissies bij treinen. Deze aanname is gemaakt op basis van de verhouding van de PM_{10} -emissies door slijtage van stroomafnemers en bovenleidingen voor treinen en tram/metro volgens de taakgroep (Task Force, 2013).

4.2.14 Well-to-tank-emissies van brandstofproductie

Well-to-tank-emissies zijn bepaald door emissiefactoren per MJ te vermenigvuldigen met het energiegebruik per reizigerskilometer.

Het energiegebruik per reizigerskilometer is afgeleid uit de CO_2 -emissiekentallen met behulp van data standaard CO_2 -waarden per megajoule brandstof. De CO_2 -emissiefactoren per megajoule zijn weergegeven in Tabel 36. Voor biobrandstoffen en waterstof is hierbij een range weergegeven omdat de CO_2 -emissies sterk afhankelijk zijn van de grondstoffen (JRC, 2013). De meeste waarden zijn gebaseerd op een studie van JRC (JRC, 2013) waarbij voor de biodiesel, bio-ethanol en waterstof een inschatting van een gemiddelde waarde is gemaakt op basis van CE Delft/TNO (2014). Op basis van dezelfde studie is voor de bovenwaarde van de range ook rekening gehouden met klimaateffecten door indirecte landgebruiksveranderingen.

Het gemiddelde voor biogas is gebaseerd op aandelen van grondstoffen volgens Agentschap NL (2011) en data over de verschillende grondstofroutes uit Ecoinvent (2007).

Emissiefactoren voor de luchtvervuilende emissies zijn weergegeven in Tabel 37 en zijn volledig gebaseerd op Ecoinvent (2007).

Tabel 36 CO_2 -well-to-tank-emissiefactoren van brandstoffen

Brandstof	CO_2 (g/MJ _{fuel})	Bron
Benzine totaal* (3,3% biobenzine)	15	JRC, 2013
Benzine-fossiel	14	JRC, 2013
Diesel totaal* (2,6% biodiesel)	17	JRC, 2013
Dieselolie-fossiel	15	JRC, 2013
Biodiesel**	Range: 8,1-116 Gemiddeld: 96	JRC, 2013 CE Delft/TNO, 2012
LPG	8	JRC, 2013
CNG	13	JRC, 2013
Bio-CNG	Range: -69,9-40,8 Gemiddeld: 26	Ecoinvent, 2007 JRC, 2013 Agentschap NL, 2011
E85**	Range: 9,2-90 Gemiddeld: 32	JRC, 2013 CE Delft/TNO, 2012
Waterstof	Range 7-477 Gemiddeld 105	JRC, 2013 CE Delft/TNO, 2012
Kerosine	10	Ecoinvent, 2007

* Het bijmengpercentage is op basis van energie-inhoud (MJ). Naast de Upstream emissies uit JRC 2013 is ook rekening gehouden met ILUC-effecten (zie hieronder)..

** O.b.v. CE Delft/TNO, 2012 is een opslag voor ILUC-effecten gemaakt.

Tabel 37 Luchtvervuilende well-to-tank-emissiefactoren van brandstoffen

	NO _x	PM	VOS	SO ₂
	g/MJ	g/MJ	g/MJ	g/MJ
Benzine totaal	0,045	0,005	0,093	0,128
Benzine-fossiel	0,041	0,004	0,090	0,126
Diesel totaal	0,032	0,003	0,073	0,096
Dieselolie-fossiel	0,032	0,003	0,074	0,098
Biodiesel	0,050	0,008	0,063	0,026
LPG	0,045	0,003	0,199	0,039
CNG	0,032	0,002	0,247	0,037
Bio-CNG	0,016	0,001	0,416	0,006
E85	0,134	0,024	0,145	0,187
Waterstof	0,134	0,019	1,232	0,133
Kerosine	0,041	0,005	0,078	0,099

Bron: Ecoinvent, 2007.

4.2.15 Emissies van elektriciteitsopwekking

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

Voor de emissies van elektriciteitsproductie in 2011 wordt in deze studie uitgegaan van de gemiddelde elektriciteitsmix in Nederland, inclusief hernieuwbare elektriciteit. Uitgangspunt voor deze methode is dat de hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit in 2011 wordt ingegeven door overheidssubsidie en niet door de afnemers van groene stroom⁵, die hiervoor niet extra betalen. Hernieuwbare elektriciteit wordt dus gezien als onderdeel van de gemiddelde Nederlandse mix en wordt daarom niet apart meegenomen. Wanneer (in de toekomst) de afname van hernieuwbare elektriciteit voor voertuigen leidt tot extra productie zou de situatie anders zijn en zou met een kental voor hernieuwbare elektriciteit moeten worden gecorrigeerd bij vervoerders met een groter/kleiner aandeel hernieuwbare elektriciteit dan gemiddeld (zie ook 2020 data in Hoofdstuk 6).

De CO₂-emissies van elektriciteit zijn gebaseerd op de stroometikettering 2011 (CE Delft, 2012). De emissies van de grijze Nederlandse handelsmix uit deze studie (433 gram/kWh) zijn gecorrigeerd voor de productie van 10% elektriciteit uit hernieuwbare bronnen in 2011 in Nederland en komen daarmee uit op 397 gram/kWh (CE Delft, 2012). Dit kental is exclusief de emissies in de voorketen van de elektriciteitsproductie (transport en winning van brandstoffen).

De luchtvervuilende emissies en de CO₂-emissies in de voorketen van elektriciteitsproductie zijn gebaseerd op Ecoinvent 2.2 (Ecoinvent 2007), waarbij de elektriciteitsmix en productierendementen uit de stroom-etikettering 2011 als uitgangspunt zijn genomen. De resulterende emissiekentallen zijn opgenomen in Tabel 38. De totale CO₂-emissies inclusief emissies in de voorketen komen dan uit op 458 g/kWh (127,4 g/MJ_e).

⁵ Groene stroom is de productnaam waaronder hernieuwbare energie aan klanten wordt verkocht.



Tabel 38 Emissies van elektriciteitsopwekking 2011

	CO ₂	NO _x	PM	VOS	SO ₂
g/kWh _e	458	0,59	0,023	1,09	0,27
g/MJ _e	127,4	0,16	0,0064	0,30	0,074

Bovenstaand emissiekental van 397 gram/kWh (zonder voorketen) op basis van de stroometikettering wijkt af van de door CBS gerapporteerde waarde van 440 gram CO₂/kWh, op basis van de integrale methode zoals beschreven in (Agentschap NL, 2012c). Het verschil in waarde is te verklaren door een verschil in de wijze waarop wordt omgegaan met de emissies van WKK-installatie, energie uit hoogovengas en import en export van elektriciteit.

4.3 Zelf emissies bepalen en vergelijkingen maken: 6-stappenbenadering

Met behulp van de basisdata gepresenteerd in dit rapport is het mogelijk een groot aantal vergelijkende cases te maken. Cases kunnen gemaakt worden op basis van de data voor het parkgemiddelde in 2011 (Hoofdstuk 2) of op basis van de emissiefactoren voor bepaalde specifieke technieken (Hoofdstuk 3).

Voor het vergelijken van emissies van verschillende vervoerswijzen bevelen we de volgende 6-stappenbenadering aan:

1. Kies welke vervoerswijze(n) (vw) je in beeld wilt brengen. Let op welke modaliteiten daadwerkelijk concurreren met elkaar.
2. Bepaal welke emissies je in kaart wilt brengen: STREAM gaat in op klimaatemissies (CO₂) en luchtvervuilende emissies (NO_x, PM_v, PM_{sl}, VOS en SO₂).
3. Definieer complete transportketens van begin tot eind: welke vervoerswijzen worden gebruikt en voor welke afstanden? Bepaal hierbij voor wegverkeer indien mogelijk het aandeel in wegtypen.
4. Bepaal de correctiefactoren voor: bezettingsgraad, Euroklasse, gewichtsklasse, motief, bouwjaar. Indien geen data voor de specifieke transportketens beschikbaar zijn, kan gekozen worden om hier niet voor te corrigeren.
5. Kies of de hele brandstofketen in kaart moet worden gebracht (inclusief winning, raffinage en elektriciteitsopwekking) of alleen de directe emissies van de voertuigen (bijvoorbeeld wanneer alleen de lokale effecten van belang worden geacht). Houd er rekening mee dat de correctiefactoren uit Stap 4 kunnen verschillen tussen WTT en TTW.
6. Bepaal aan de hand van de vorige stappen de te gebruiken emissiedata en logistieke data (zie hiervoor de data in Hoofdstuk 2 en 3). Gebruik de onderstaande vergelijking om emissies te berekenen:

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

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 de cases (Hoofdstuk 5) worden de totale emissies berekend voor een aantal illustratieve cases. Hierbij zijn de emissies per reizigerskilometer en de afgelegde afstand specifiek voor de vervoerswijze en de aannames voor de betreffende case. Per vervoermiddel kan de afgelegde afstand om van het punt van vertrek op de bestemming te komen anders zijn, afhankelijk van de beschikbaarheid van infrastructuur. Ook de noodzaak voor het gebruik van voor- en natransport kan verschillen per vervoermiddel.



5 Vergelijking vervoerswijzen

5.1 Introductie

Doel

Het doel van het uitwerken van de cases is te illustreren op welke wijze de data in dit rapport gebruikt kunnen worden. Daarnaast willen we met de cases laten zien dat bij het vergelijken van modaliteiten de specifieke situatie een grote rol kan spelen. Het is niet de bedoeling om een volledig overzicht van alle kentallen in de studie te geven.

Typen cases

Het vergelijken van modaliteiten dient altijd plaats te vinden binnen de context waarbinnen een modaliteit een rol speelt. Bij vervoer naar de Verenigde Staten heeft het weinig zin om een vergelijking te maken, omdat vervoer via de lucht de enige optie is. We onderscheiden in dit hoofdstuk de volgende markten:

- a Woon-werkverkeer (drie cases, afstand 9 km (Randstad), 15 km (buiten Randstad) en 50 km).
- b Zakelijke reis (650 km).
- c Vakantietrip (1.200 km).

De volgende variabelen spelen een rol in de cases:

1. Grootte van de auto (CO₂-emissies).
2. Bezettingsgraad (gemiddeld over de hele dag, of gedurende de spitsperiode).
3. Euroklasse of voertuigtechnologie.
4. Voor- en natransport.

De volgende emissies zijn opgenomen:

CO₂, NO_x, PM₁₀, VOS en SO₂.

In de casebeschrijvingen wordt een compleet overzicht gegeven van de vervoerswijzen die bij die case een rol spelen. Hierdoor wordt een goed beeld verkregen van de opties voor verschillende modaliteiten. Lopen en fietsen zijn niet meegenomen, aangezien de emissies hiervoor nul zijn.

Er zijn vijf representatieve cases gepresenteerd, die het speelveld goed illustreren. De cases worden in de volgende paragrafen uitgewerkt. Bij elke case worden twee typen emissies vergeleken in afzonderlijke figuren. Bij de casebeschrijving is ook de reistijd weergegeven. Dit is om een idee te geven in hoeverre de modaliteiten werkelijk met elkaar concurreren (qua tijd).

5.2 Case 1: Woon-werk; Den Haag-Delft

Motief: woon-werk
 Afstand: ca. 9 km
 Traject: Den Haag, Spaarnestraat-Delft, Oude Delft
 Emissies: CO₂ en NO_x

De eerste case is een woon-werkreis tussen Den Haag en Delft, waarvoor vele opties bestaan. In Tabel 39 staan de vervoerswijzen in de case beschreven die concurrerend zijn op dit traject.

Tabel 39 Algemene kenmerken Case 1

	Afstand hoofdmodaliteit (km)	Tijd hoofdmodaliteit (min)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
E-Fiets	8,5	31	Nee	0	31
Tram	7,5	20	Lopen	1,0	32
Bus	10,6	27	Lopen	1,0	39
Trein (intercity, elektrisch)	8,5	7	Lopen	1,6	26
Auto	11,9	14	Lopen (parkeren buiten centrum)	0,6	26

Voor het uitrekenen van de emissies per vervoerswijze (vw) is de volgende formule gebruikt:

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

Voor de verschillende wegtypen is een aparte berekening gemaakt met behulp van de aandelen in wegtypen. Voor het bepalen van afstand en correctiefactoren kan Tabel 40 worden gebruikt. Voor Case 1 is op basis van Tabel 40 een uitwerking gemaakt in Bijlage E. De specifieke aannames voor de verschillende modaliteiten worden weergegeven in Tabel 40. Met deze gegevens kunnen de correctiefactoren worden bepaald.

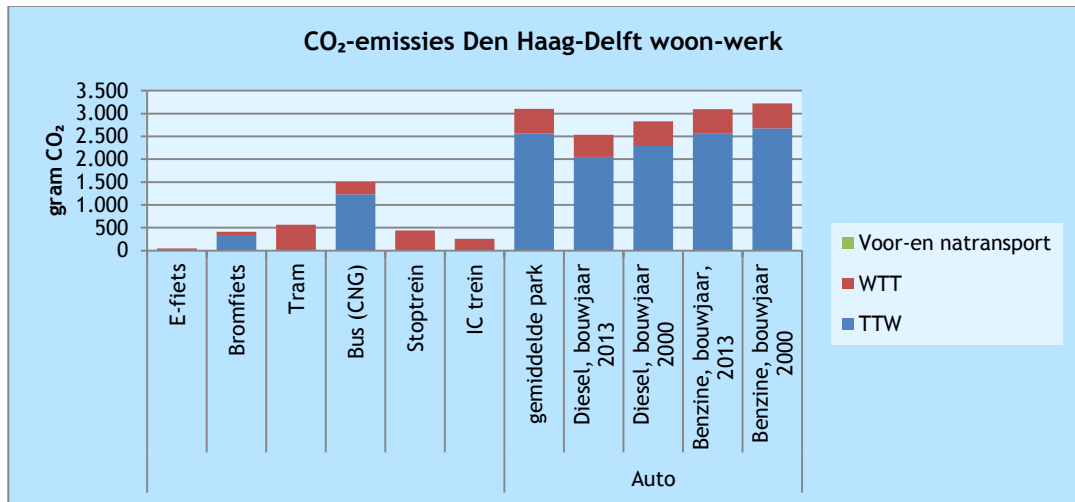
Tabel 40 Specifieke aannames Case 1

Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting	Afstand (km)	Wegtype (stad: buiten: snelweg)
E-fiets	Gemiddeld	1,0	8,5	76 : 24 : 0
Bromfiets	Gemiddeld	1,1	8,5	76 : 24 : 0
Tram	Gemiddeld	14%	7,47	
Bus	CNG	9,0	10,6	81 : 19 : 0
Stoptrein	Elektrisch	24%	8,5	
IC-trein	Gemiddeld	32%	8,5	
Auto	Gemiddeld, spits, zakelijk	1,08	11,9	68 : 0 : 32
	Diesel 2013, spits, zakelijk	1,08	11,9	68 : 0 : 32
	Diesel 2000, spits, zakelijk	1,08	11,9	68 : 0 : 32
	Benzine 2013, spits, zakelijk	1,08	11,9	68 : 0 : 32
	Benzine 2000, spits, zakelijk	1,08	11,9	68 : 0 : 32

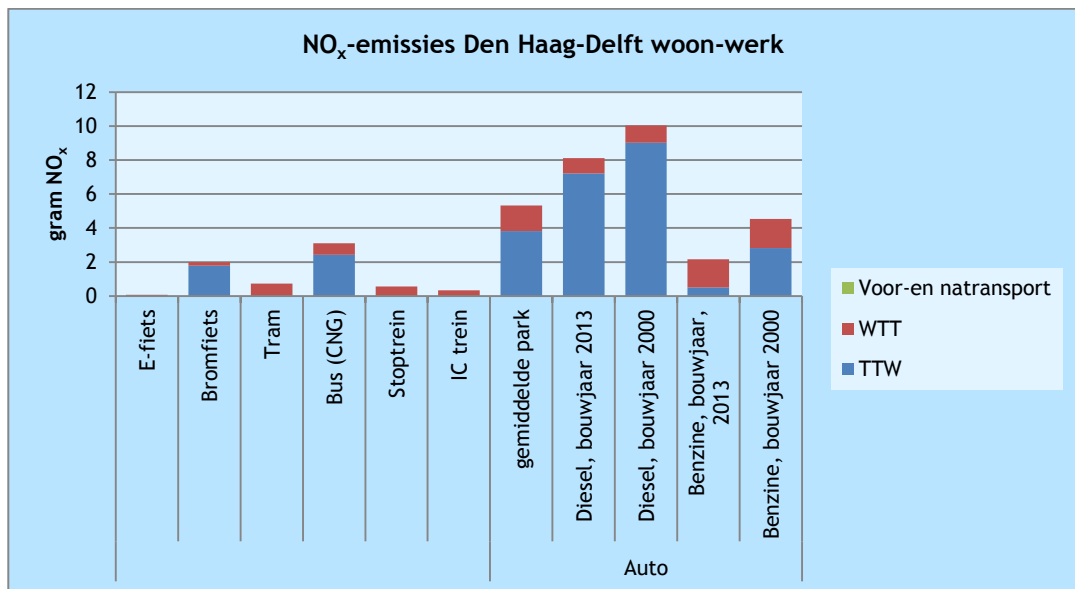


Met deze aannames kunnen de CO₂-emissies en NO_x-emissies worden berekend. Dit levert de volgende vergelijkende figuren op met de totale emissies voor de verschillende vervoerswijzen over de gehele reis.

Figuur 1 CO₂-emissies Case 1



Figuur 2 NO_x-emissies Case 1



5.1 Case 2: Woon-werk; Winsum-Groningen

Motief: woon-werk
 Afstand: ca. 15 km
 Traject: Sylvenne, Winsum-Broerstraat, Groningen
 Emissies: CO₂ en VOS

De tweede case is een woon-werkcase met een afstand van ongeveer 15 km. In Tabel 41 staan de vervoerswijzen en afstanden samengevat.

Tabel 41 Algemene kenmerken Case 2

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Bromfiets	14,4	28	-	-	28
Bus	17,0	17	Lopen	0,9	27
Trein (diesel)	11,6	11	Bus + lopen	1,3 + 0,9	28
Auto	14,6	23	Lopen	0,7	37

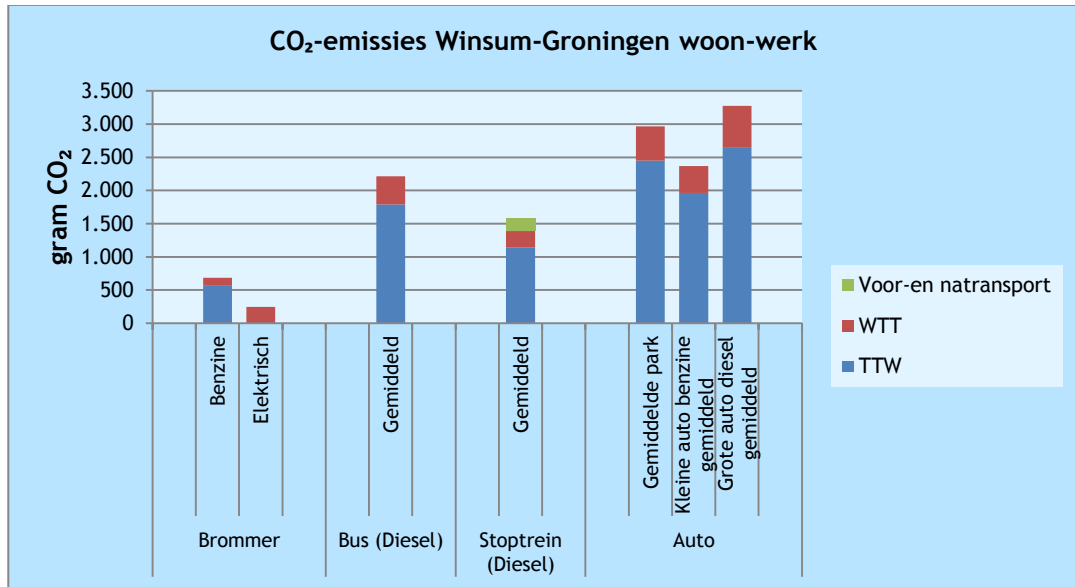
Ook hier is voor elke vervoerswijze onderscheid gemaakt naar specifieke kenmerken van de reis. In Tabel 42 staan de specifieke aannames die voor Case 2 zijn gemaakt.

Tabel 42 Specifieke aannames Case 2

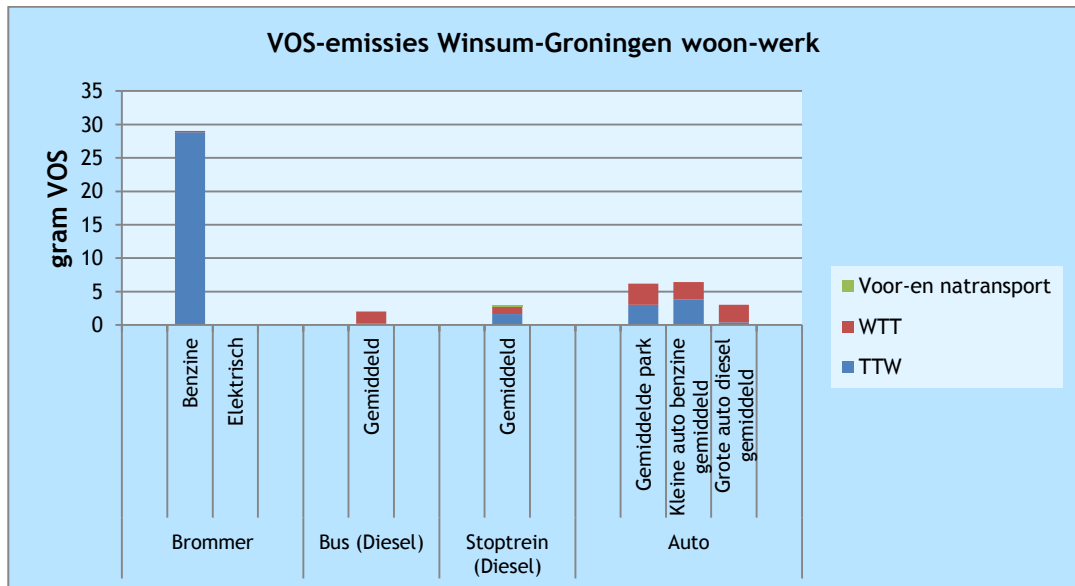
Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting	Afstand (km)	Wegtype (stad: buiten: snelweg)	Voor/ natransport
Brommer	Benzine	1,1	14,4	30 : 70 : 0	
	Elektrisch	1,1	14,4	30 : 70 : 0	
Bus	Diesel	9,0	17	24 : 76 : 0	
Stoptrein	Diesel	20%	11,6		Stadsbus (1,3 km)
Auto	Gemiddelde	1,08	14,6	20 : 80 : 0	
	Kleine benzine	1,08	14,6	20 : 80 : 0	
	Grote diesel	1,08	14,6	20 : 80 : 0	

Figuur 3 en Figuur 4 geven de totale emissies voor deze case over de gehele reis voor respectievelijk CO₂ en VOS.

Figuur 3 CO₂-emissies Case 2



Figuur 4 VOS-emissies Case 2



5.2 Case 3: Woon-werk; Weert-Eindhoven

Motief: woon-werk
 Afstand: ca. 50 km
 Traject: Ernst Casimirstraat, Weert-Sciencepark Eindhoven, Son
 Emissies: CO₂ en PM

Case 3 is ook een woon-werkcase, nu voor een langere afstand, namelijk ongeveer 50 km. Hierbij zijn fiets, bromfiets en bus niet meer concurrerend als hoofdvervoerswijze. In Tabel 43 staan de vervoerswijzen samengevat die relevant zijn voor deze case.

Tabel 43 Algemene kenmerken Case 3

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit (min)	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Trein (IC)	29,0	17	Bus + lopen	8,1 + 1,6	63
Auto	44,1	37	Lopen	0,2	41
Carpoolen	44,1	37	Lopen + fietsen	0,2 (2 pers.)+ 2 (1 pers)	41/50

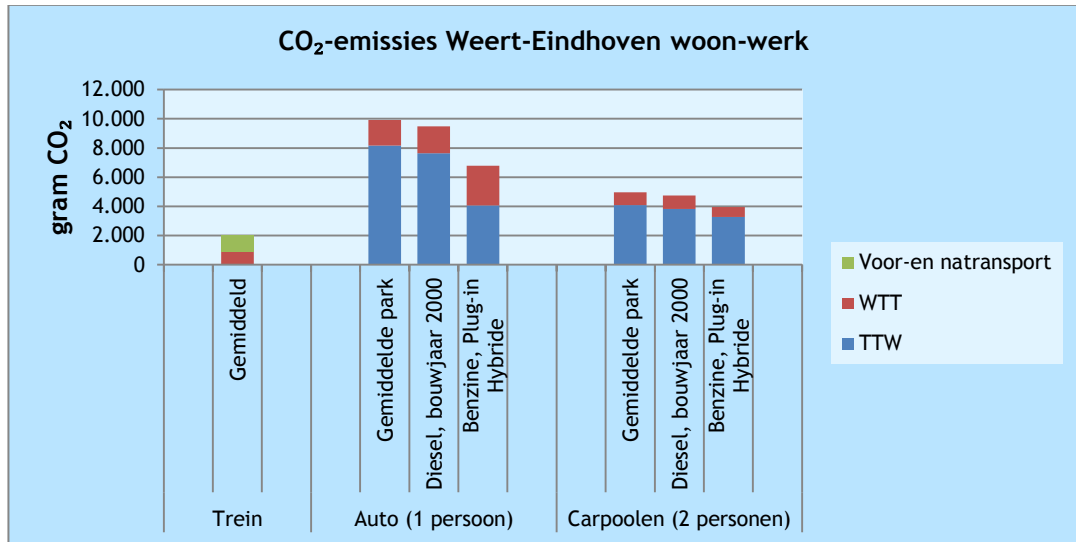
Voor de trein is gerekend met de gemiddelde bezetting. Dit geldt ook voor de bus in het voortransport. Voor de auto en het carpoolen zijn verschillende typen auto's meegenomen. In Tabel 44 staan de specifieke aannames die voor Case 3 zijn gemaakt.

Tabel 44 Specifieke aannames Case 3

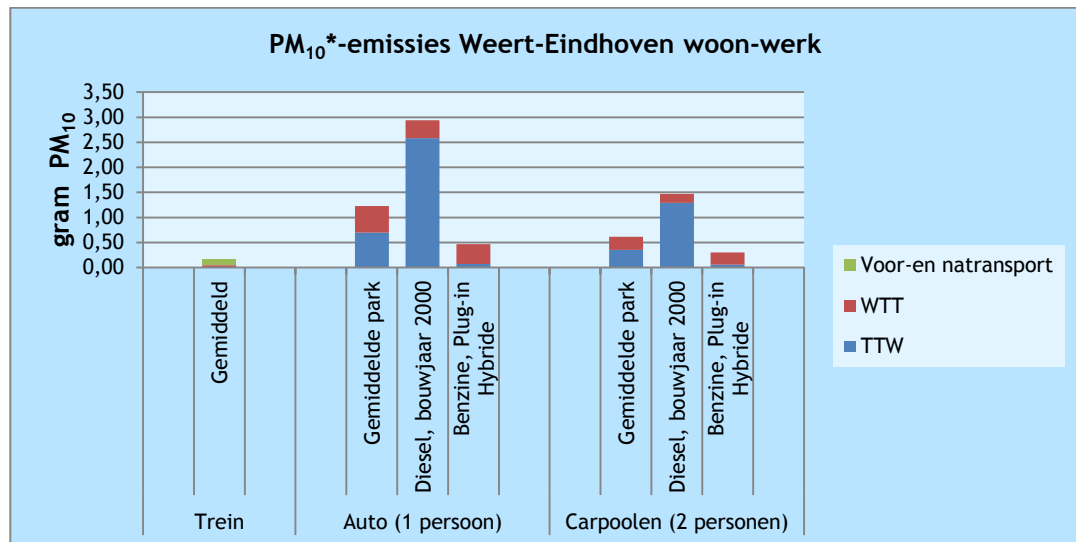
Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting	Afstand (km)	Wegtype (stad: buiten: snelweg)	Voor/na-transport
Trein	Intercity	32%	29		Stadsbus (8,1 km)
Auto	Gemiddeld	1,0	44,1	7 : 9 : 84	
Auto	Diesel, bouwjaar 2000	1,0	44,1	7 : 9 : 84	
Auto	Benzine, plug-in hybride	1,0	44,1	7 : 9 : 84	
Auto	Carpoolen, gemiddeld	2,0	44,1	7 : 9 : 84	
Auto	Carpoolen, diesel 2000	2,0	44,1	7 : 9 : 84	
Auto	Carpoolen, benzine plug-in hybride	2,0	44,1	7 : 9 : 84	

Figuur 5 en Figuur 6 geven de totale emissies van CO₂ en PM₁₀ (door verbranding) over de hele reis voor de verschillende vervoerswijzen.

Figuur 5 CO₂-emissies Case 3



Figuur 6 PM₁₀-emissies Case 3



* PM₁₀ door verbranding.

5.3 Case 4: Zakelijk; Alkmaar-Berlijn

Motief: zakelijk
 Afstand: ca. 650 km
 Traject: Lekstraat Alkmaar-Oranienburgerstrasse Berlijn
 Emissies: CO₂ en SO₂

Case 4 betreft een zakelijke reis van Alkmaar naar Berlijn. Hier zijn de auto, het vliegtuig en de trein relevante opties. In Tabel 45 staan de vervoerswijzen samengevat.

Tabel 45 Algemene kenmerken Case 4

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit	Voor- en natransport	Voor- en natransport (km)	Totaal tijd (min)
Trein (IC+ICE)	Ca. 650	7u55	1. Bus en metro (S-bahn) 2. Auto/taxi	Ca. 6 km	8u25
Vliegtuig 700 km	630	1u20	1. Bus/trein en metro (S-bahn) 2. Auto/taxi	Ca. 60 km	4u55
Auto	689	6u30	Lopen	Ca. 0,5 km	6u36

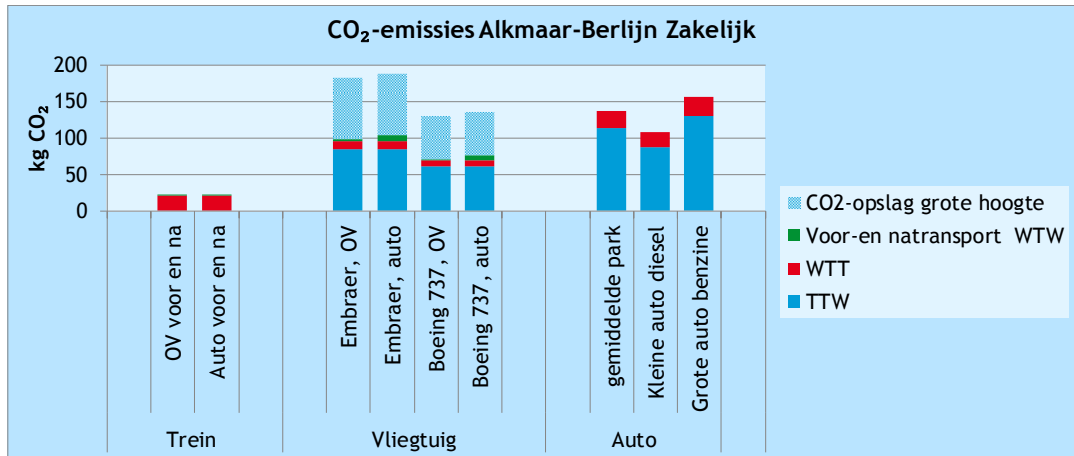
Hierbij is gerekend met gemiddelde bezetting voor trein. Voor het vliegtuig is gerekend met een klein vliegtuig en een middelgroot vliegtuig. Voor de auto is gekozen om naast de gemiddelde auto, een zeer zuinige (kleine diesel) en onzuinige (grote benzine) auto te vergelijken. In Tabel 46 staan de specifieke aannames die voor Case 4 zijn gemaakt.

Tabel 46 Specifieke aannames Case 4

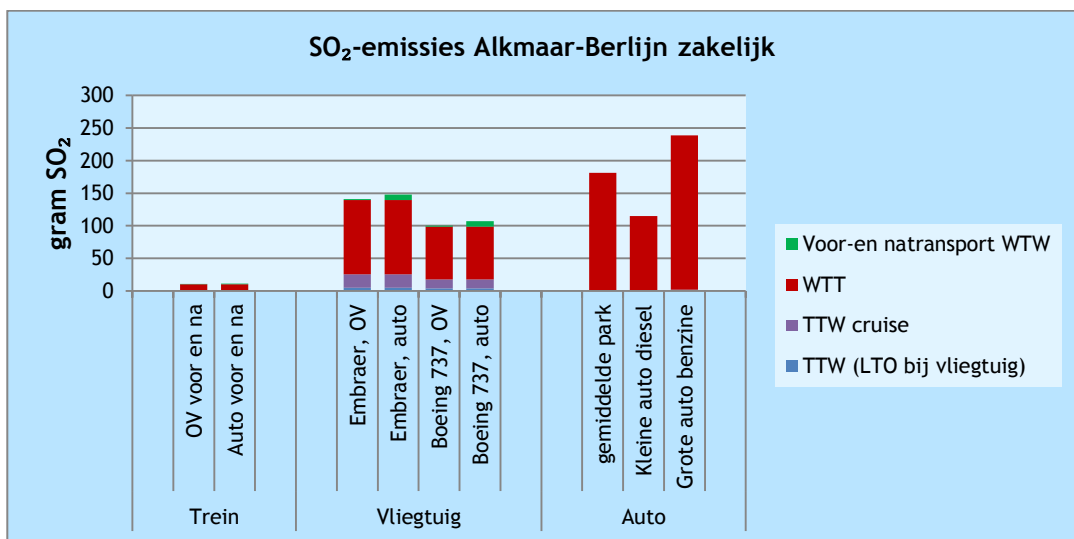
Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting	Afstand (km)	Wegtype (stad: buiten: snelweg)	Voor/natransport
Trein	Intercity, HSL	32%, 57%	425, 255		OV
	Intercity, HSL	32%, 57%	425, 255		Auto
Vliegtuig	Embraer	67	580		OV
	Boeing 737	124	580		Auto
	Embraer	67	580		OV
	Boeing 737	124	580		Auto
Auto	Gemiddelde	1,06	689	1 : 3 : 96	
	Kleine diesel	1,06	689	1 : 3 : 96	
	Grote benzine	1,06	689	1 : 3 : 96	

Figuur 7 en Figuur 8 laten de totale CO₂- en SO₂-emissies zien voor de verschillende vervoerswijzen over de hele reis.

Figuur 7 CO₂-emissies Case 4



Figuur 8 SO₂-emissies Case 4



5.4 Case 5: Toeristisch; Utrecht-Nice/Monaco

Motief: toeristisch/zakelijk
 Afstand: ca. 1.400 km
 Traject: Utrecht-Nice/Monaco
 Emissies: CO₂ en NO_x

De laatste case is een lange afstandsverplaatsing van ongeveer 1.400 km met toeristisch motief van Utrecht naar Nice. Hierbij is ook de vergelijking gemaakt met Monaco als bestemming. Hierbij geldt voor Nice weinig natransport bij een reis met het vliegtuig en voor Monaco veel natransport. In Tabel 47 staan de relevante vervoerswijzen samengevat.

Tabel 47 Algemene kenmerken Case 5

	Afstand hoofd-modaliteit (km)	Tijd hoofd-modaliteit	Voor- en natransport	Voor- en na-transport (km)	Totaal tijd
Trein (IC+ICE)	Ca. 1.400	10u24	Auto/stadsbus, metro, taxi	6-8 km	11 uur
Touringcar	1.360	> 1 dag	-	-	13 uur
Vliegtuig 1.000 km	1.000	2 uur	Stadsbus, IC-trein, taxi	55-70 km	Ca. 6 uur
Auto	1.360	13 uur	-	-	13 uur

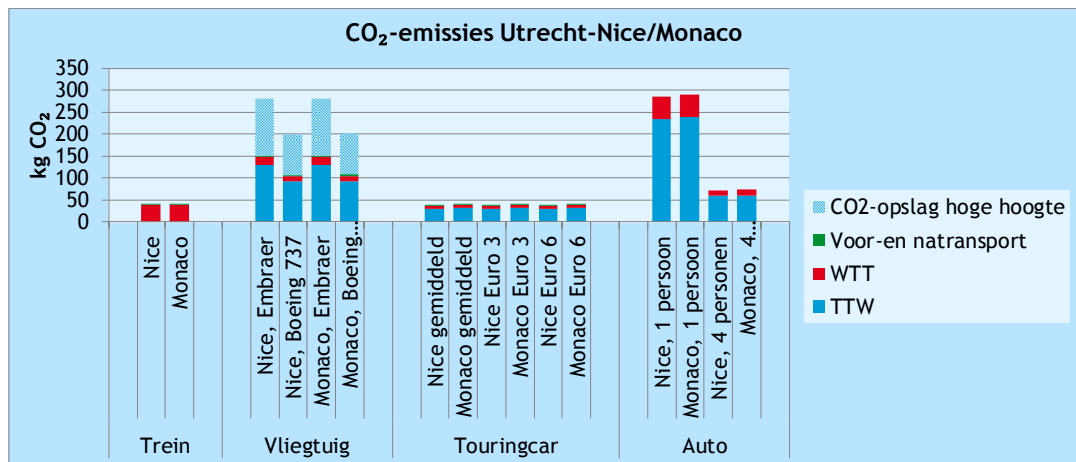
Voor deze reis is naast verschillende bestemmingen voor de touringcar ook onderscheid gemaakt naar verschillende Euroklassen. Bij de auto is bovendien de vergelijking gemaakt tussen een zakelijk motief (één persoon) en een vakantietrip met vier personen. Voor het vliegtuig is onderscheid gemaakt tussen een vlucht met een Boeing 737 en een Embraer. In Tabel 48 staan de specifieke aannames die voor Case 5 zijn gemaakt.

Tabel 48 Specifieke aannames Case 5

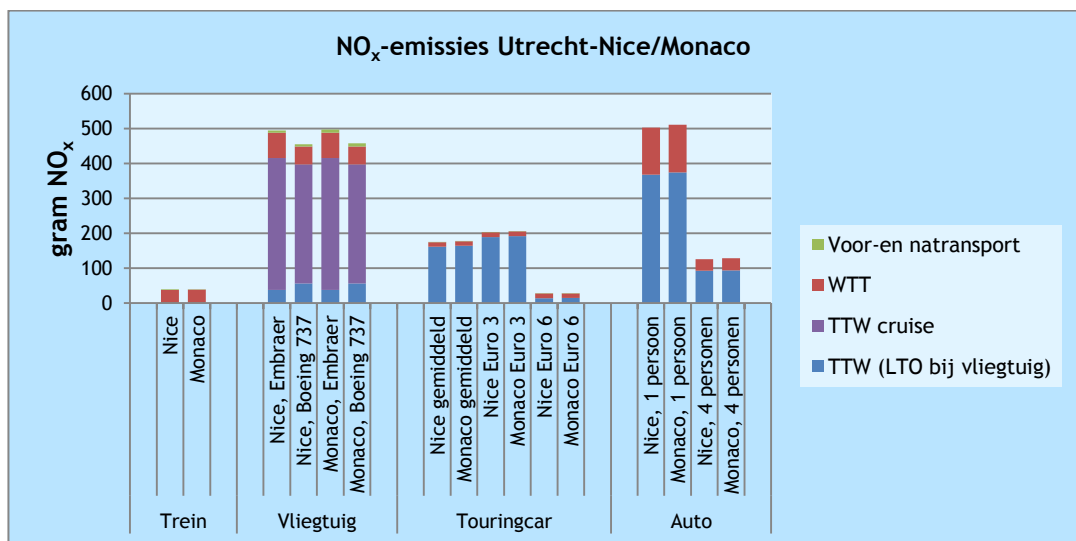
Vervoerswijze	Bijzonderheden	Bezetting	Afstand (km)	Wegtype (stad: buiten: snelweg)	Voor/na-transport
Trein	Nice	32%	1.473,5		Stadsbus, metro, taxi
	Monaco	32%	1.489,7		Auto, metro
Vliegtuig	Embraer, Nice	67	978		Stadsbus, IC-trein, taxi
	Embraer, Monaco	67	978		Stadsbus, IC-trein, taxi
	Boeing 737, Nice	124	978		Stadsbus, IC-trein, taxi
	Boeing 737, Monaco	124	978		Stadsbus, IC-trein, taxi
Touringcar	Touringcar, Nice	31,6	1.356	1 : 0 : 99	
	Touringcar, Monaco	31,6	1.380	1 : 0 : 99	
	Euro 3, Nice	31,6	1.356	1 : 0 : 99	
	Euro 3, Monaco	31,6	1.380	1 : 0 : 99	
	Euro 6, Nice	31,6	1.356	1 : 0 : 99	
	Euro 6, Monaco	31,6	1.380	1 : 0 : 99	
Auto	Gemiddeld Nice	1,0	1.356	1 : 0 : 99	
	Gemiddeld Monaco	1,0	1.380	1 : 0 : 99	
	Gemiddeld Nice	4,0	1.356	1 : 0 : 99	
	Gemiddeld Monaco	4,0	1.380	1 : 0 : 99	

Figuur 9 en Figuur 10 laten de totale emissies over de gehele reis zien voor de verschillende vervoerswijzen voor CO₂ en NO_x.

Figuur 9 CO₂-emissies Case 5



Figuur 10 NO_x-emissies Case 5



5.5 Conclusies

In de cases hebben we een brede range laten zien van toepassingsmogelijkheden van de emissiekentallen in dit rapport.

Wat opvalt is dat de verschillen tussen vervoerswijzen erg afhankelijk zijn van de specifieke case. Zo heeft bijvoorbeeld het voor-/natransport bij de trein in Case 3 een groot aandeel, maar in Case 4 en 5 die over langere afstand gaan een zeer beperkt aandeel. De resultaten verschillen daarnaast sterk voor CO₂- en luchtvervuilende emissies.



6 Doorkijk naar 2020

6.1 Inleiding

2011 is het meest recente jaar waarvoor een redelijke set aan statistische data beschikbaar is. Voor het voorbereiden en maken van beleid is de (nabije) toekomst ook erg belangrijk. Daarom geeft STREAM een doorkijk naar 2020 voor de emissiekentallen die beleidstechnisch het belangrijkste zijn (CO₂, NO_x en PM₁₀).

De getallen voor 2020 zijn gebaseerd op vastgesteld nationaal en Europees beleid, voornemens en doelstellingen vanuit (vervoers)bedrijven en trends in voertuigparkontwikkelingen en energievoorziening. De trends naar de toekomst zijn onder andere gebaseerd op de Referentieraming energie en emissies van het PBL (2012) en op informatie van NS, HTM en KLM voor specifieke ontwikkelingen bij verschillende modaliteiten.

We gaan er in dit hoofdstuk vanuit dat logistieke parameters (bezetting, gemiddeld gebruik) niet significant veranderen in de nabije toekomst (tot 2020).

6.2 Data overzicht

Tabel 49 Gemiddelde emissiefactoren vervoerswijzen 2020

Emissiefactoren gemiddeld, 2020		Bezetting	TTW-emissies			WTT-emissies		
		rkm/vkm of %	CO ₂ -eq. g/rkm	NO _x mg/rkm	PM ₁₀ mg/rkm	CO ₂ -eq. g/rkm	NO _x mg/rkm	PM ₁₀ mg/rkm
Niveau 1	Niveau 2							
Auto	Gemiddeld	1,39	108	104	3	29	65	8
	Auto benzine	1,39	114	26	2	26	74	10
	Auto diesel	1,39	109	301	7	34	43	5
	Auto LPG	1,39	118	127	2	14	62	4
Fiets	Elektrisch	1,00	0	0	0	5	8	0
Bromfiets/snorfiets	Gemiddeld	1,10	32	165	9	9	22	3
	Benzine	1,10	37	193	11	8	22	3
	Elektrisch	1,10	0	0	0	15	22	1
Motorfiets	Benzine	1,15	96	205	8	22	62	8
Touringcar	Diesel	31,62	25	60	2	8	10	1
OV-bus	Gemiddeld	9,00	105	199	4	32	44	5
	Diesel	9,00	107	227	4	34	43	5
	CNG	9,00	115	224	4	26	63	4
Tram	Elektrisch	14%	0	0	0	57	83	4
Metro	Elektrisch	14%	0	0	0	62	92	5
Bus, tram, metro	Gemiddeld	-	19	36	1	54	80	5
Trein	Gemiddeld	30%	4	24	2	26	38	2
	Stoptrein diesel	21%	78	491	32	22	28	3
	Stoptrein elektrisch	25%	0	0	0	38	56	3
	Intercity	33%	0	0	0	23	33	2
	HSL	57%	0	0	0	23	34	2
Openbaar vervoer	Gemiddeld	-	22	62	2	30	44	3
Vliegtuig	Korte afstand (type Embraer)	67	116	40	0,27	15	56	8

Emissiefactoren gemiddeld, 2020		Bezetting	TTW-emissies			WTT-emissies		
		rkm/vkm	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀
Niveau 1	Niveau 2	of %	g/rkm	mg/rkm	mg/rkm	g/rkm	mg/rkm	mg/rkm
	Middellange afstand (type 737-800)	124	78	43	0,31	10	38	5
	Lange afstand (type 777-300)	327	57	14	0,03	8	28	4

Deze tabel is een kopie van de overzichtstabel in Paragraaf 2.1, met dezelfde uitgangspunten.

Tabel 50 Gemiddelde emissiefactoren vervoerswijzen 2020 gerekend met hernieuwbare elektriciteit en groen gas

Emissiefactoren gemiddeld		Bezetting	TTW emissies			WTT emissies		
		rkm/vkm	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀
Niveau 1	Niveau 2	of %	g/rkm	mg/rkm	mg/rkm	g/rkm	mg/rkm	mg/rkm
OV-bus	Groen gas	9,00	5	224	4	51	32	2
Trein	Stoptrein elektrisch	25%	0	0	0	2	17	3
	intercity	33%	0	0	0	1	10	2

6.3 Gebruik van data

Tabel 49 geeft een overzicht van de emissiekentallen voor CO₂, NO_x en PM₁₀ voor de verschillende vervoersmodaliteiten in 2020. De kentallen gelden voor de gemiddelde energie/brandstofmix van de verschillende voertuigen. Dit betekent dat voor de elektrische modaliteiten is uitgegaan van de gemiddelde elektriciteitsmix en dat voor de CNG-bus is uitgegaan van gemiddeld CNG uit het aardgasnet.

Veel partijen hebben als doelstelling om in 2020 gedeeltelijk of volledig duurzaam te rijden. Indien hiervoor gebruik wordt gemaakt gaat worden van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen of groen gas, dat additioneel wordt geproduceerd door toedoen van de vervoerder of eigenaar van een elektrisch of CNG-voertuig, dan gelden de kentallen in Tabel 50. De kentallen gaan uit van 100% hernieuwbare elektriciteit of groen gas.

6.4 Beschrijving en aannames data-overzicht

6.4.1 Personenauto 2020

Naar 2020 toe zullen alternatieve technieken een steeds groter aandeel in het wagenpark krijgen. Het totaal aan alternatieve technieken zal echter nog steeds beperkt zijn en naar verwachting niet boven de 10% uitkomen. De aandelen van brandstoffen en technieken in de voertuigkilometers zijn weergegeven in Tabel 51.

Tabel 51 Aandelen brandstoffen en technieken in voertuigkilometers gemiddelde auto

Brandstof	Aandeel 2011	Aandeel 2020
Benzine	66%	63%
Diesel	31%	28%
LPG	3%	2%
Volledig elektrisch	0%	2%
Plug-in hybride	0%	3%
CNG	0%	2%

Bron: PBL/ECN, 2012.

Energiegebruik en CO₂-emissies in 2020

In Europees beleid is vastgelegd dat nieuwe auto's in 2015 gemiddelde niet meer dan 130 gram CO₂ per kilometer uitstoten en vanaf 2021 niet meer dan 95 gram per kilometer. Dit zorgt ervoor dat de gemiddelde auto in 2020 minder brandstof verbruikt en minder CO₂-emissies uitstoot.

Het energiegebruik van de gemiddelde personenauto in 2020 is gebaseerd op een inschatting van het aandeel in de voertuigkilometers per bouwjaar (Tabel 52) op basis van de Referentieraming 2012 (PBL/ECN, 2012) en het gemiddelde verbruik per bouwjaarklasse. Daarbij is het gemiddelde verbruik van personenauto's per bouwjaar gebaseerd op het testverbruik van de huidige auto (CE Delft/TNO, 2014) en de ontwikkeling in het verbruik naar 2020 volgens Referentieraming 2012. De testwaarden zijn gecorrigeerd voor een verschil in verbruik tussen test en praktijk corresponderend met een verschil van 55 gram CO₂ per kilometer tussen test en praktijk (CE Delft/TNO, 2014).

Tabel 52 Aandeel in voertuigkilometers per leeftijdsklasse in 2020

Bouwjaar	Benzine	Diesel	LPG
2020	6%	7%	6%
2019	9%	11%	9%
2018	10%	11%	10%
2017	8%	8%	7%
2016	8%	8%	7%
2015	8%	8%	7%
2014	7%	6%	6%
2013	7%	6%	6%
2012	6%	6%	6%
2011 en ouder	32%	29%	37%
	100%	100%	100%

Bovengenoemde aannames resulteren in een gemiddelde efficiëntieverbetering zoals per brandstof weergegeven in Tabel 53.

Tabel 53 Efficiëntieverbetering personenauto 2011-2020

Efficiëntieverbetering gemiddelde auto 2011-2020 (MJ/km)	
Benzine	9,5%
Diesel	6,2%
LPG	6,1%



De CO₂-uitstoot van de personenauto en de well-to-tank-emissies zijn gebaseerd op het energiegebruik per kilometer (MJ/km) en de emissiekentallen per megajoules brandstof. Er is hierbij voor diesel en benzine rekening gehouden met een aandeel van 8,5% (energieaandeel) biobrandstoffen in 2020.

Voor de elektrische auto is aangenomen dat elke vijf jaar een efficiëntieverbetering van 5% optreedt (CE Delft, 2011b). Dit betekent de elektrische auto (nieuwverkoop) in 2020 8,8% zuiniger is dan is aangenomen voor de elektrische auto in Tabel 5. Voor de gemiddelde elektrische auto is de helft van de efficiëntieverbetering aangenomen.

Voor de plug-in hybride is de efficiëntieverbetering gebaseerd op de verbetering van diesel en benzineauto's enerzijds en de elektrische auto anderzijds. Hierbij is aangenomen dat het aandeel elektrisch gereden kilometers (38%) niet wijzigt.

Voor de aardgasauto is aangenomen dat de efficiëntie van de motor evenredig verbetert met de benzineauto. Het energiegebruik van de aardgasauto is daarmee 5% hoger dan dat van de gemiddelde benzineauto in 2020 (zie ook Tabel 30).

Luchtvervuilende emissies in 2020

Luchtvervuilende emissies zullen afnemen door het verschonen van de diesel en benzine personenauto's door toedoen van de steeds strengere Europese Euroklassenormen voor nieuwe voertuigen. De effecten hiervan zijn ingeschat op basis van een aangepast parkmodel waarin de opbouw van het huidige wagenpark is doorvertaald op basis van de introductie data van Euro 5 en Euro 6. De toegepaste aandelen van de Euroklassen in 2020 zijn weergegeven Tabel 54. Daarnaast zullen de emissies afnemen door de toename van de alternatieve technieken in het park, zoals weergegeven in Tabel 51.

Tabel 54 Aandeel Euroklassen in gemiddelde per brandstof 2020

Euroklasse	Benzine	Diesel	LPG
Pré-Euro	0%	0%	4%
Euro 1	0%	1%	1%
Euro 2	1%	1%	0%
Euro 3	3%	2%	1%
Euro 4	18%	14%	18%
Euro 5	27%	31%	28%
Euro 6	50%	52%	47%
Totaal	100%	100%	100%

6.4.2 Elektrische fiets

Voor de elektrische fiets is aangenomen dat het energiegebruik afneemt met de helft van de relatieve verbetering die is aangenomen voor de elektrische auto (4,5% voor de fiets, de helft voor parkgemiddeld). Net als bij de auto zijn efficiëntieverbeteringen mogelijk door lichtere accu's, lagere laadverliezen en een hoger rendement in het terugwinnen van remenergie. Er is echter minder verbeterpotentieel in vergelijking met de auto op het gebied van gewichtsreductie en reductie van lucht en rolweerstand.

6.4.3 Bromfiets/snorfiets

Voor 2020 is aangenomen dat 15% van de bromfietsen elektrisch zal zijn (Tabel 55). Deze inschatting is gemaakt op basis van extrapolatie van de ontwikkeling van het aandeel elektrisch bromfietsen in de periode 2007-2013 op basis van CBS-cijfers (CBS, 2014).

Tabel 55 Aandeel elektrisch gemiddelde bromfiets

Aandrijving	2011	2020
Benzine	99%	85%
Elektrisch	1%	15%

Net als voor de elektrische fiets wordt aangenomen dat de elektrische bromfiets in 2020 4,5% zuiniger zal zijn dan de huidige elektrische (brom)fiets. Ook de gemiddelde benzine bromfiets is zuiniger in 2020.

De totale efficiëntieverbetering voor de bromfiets op benzine in de periode 2011-2020 wordt geschat op 3,7% op basis van referentieraming 2012.

Daarnaast wordt voor benzine in 2020 aangenomen dat deze voor 8,5% uit bio-ethanol (energie %) bestaat.

Tenslotte zorgen aangescherpte Euronormen voor bromfietsen voor lagere NO_x- en PM-emissies. De Euro 4-norm voor bromfietsen gaat in 2016 in (EU Regulation 168, 2013).

Ingeschat is dat in 2020 ongeveer de helft van de tweewielers voldoet aan de nieuwe norm. De gemiddelde benzinebrommer in 2020 zal daarmee 8% minder NO_x en 76% minder PM₁₀ uitstoten (Tabel 56).

Tabel 56 Ontwikkeling luchtvervuilende emissies bromfiets (benzine) 2020

Gemiddelde emissie (g/km)	2011	2020	verschil
NO _x	0,23	0,21	-8%
PM ₁₀	0,049	0,012	-76%

6.4.4 Motorfiets

De efficiëntieverbetering voor motorfietsen is geschat op basis van referentieraming 2013. Een belangrijke ontwikkeling bij de motorfiets is een trend naar zwaardere motoren. De efficiëntie daalt dan ook licht (het energiegebruik neemt met 2% toe). Er worden geen veranderingen in de emissiefactoren verwacht. Ook voor de motorfiets wordt in 2020 rekening gehouden met een bijmengingspercentage van 8,5% bio-ethanol in benzine.

Ook voor de motorfiets wordt de Euro 4-norm ingevoerd in 2016 (EU Regulation 168, 2013). In overeenstemming met de referentieramingen 2012 is aangenomen dat de gemiddelde afname in NO_x- en PM₁₀-(verbranding)emissies voor de gemiddelde motorfiets respectievelijk 25 en 41% bedraagt.

6.4.5 Touringcar

Voor zware voertuigen is er vooralsnog geen vastgesteld Europees beleid om het brandstofverbruik te verminderen. In overeenstemming met de referentieramingen 2012 nemen we daarom aan dat het verbruik van de voertuigen in 2020 niet zal zijn afgenomen ten opzichte van 2011.

De luchtkwaliteitsemissies van de touringcar zullen afnemen door vernieuwing van het wagenpark en daarmee de introductie van schonere Euro 6-voertuigen.

Aangenomen is dat in 2020 de leeftijdsopbouw van het wagenpark en de bijbehorende kilometrages per leeftijdsklasse gelijk zijn aan die van 2011. Op basis hiervan is een verdeling van de Euroklassen in de totale voertuigkilometers aangenomen zoals opgenomen in Tabel 57.

Tabel 57 Aandelen voertuigkilometers Euroklassen touringcar 2020

	2011	2020
Pré-Euro	2%	1%
Euro 0	2%	0%
Euro 1	5%	1%
Euro 2	12%	3%
Euro 3	25%	7%
Euro 4	11%	3%
Euro 5	43%	17%
Euro 6	0%	67%
Totaal	100%	100%

6.4.6 OV-bus

OV-bussen worden in de toekomst steeds zuiniger en schoner doordat concessieverlenende overheden steeds strengere duurzaamheidseisen stellen aan OV-bussen. Voor de OV-bus is voor 2020 een parkmodel opgesteld op basis van een analyse van KpVV. In deze analyse is voor alle concessies in Nederland gekeken welke concessies ten minste tot 2020 lopen. Voor deze concessies is aangenomen dat het buspark niet verandert. Voor concessies die wel aflopen in de periode tot 2020 is per concessiegebied door KpVV een expert-inschatting gemaakt welke bussen in de nieuwe concessie zullen rondrijden op basis van de wijze waarop concessieverleners aankijken tegen verschillende technieken en brandstoffen (KpVV, 2014). De wagenparkverdeling is opgenomen in Tabel 58. Hierbij is ook aangegeven hoe het wagenpark in 2013 is samengesteld.

Tabel 58 Aandelen van bus-types in Nederland 2020

Aantal bussen in Nederland (% van totaal)			
Type	2011	2013	2020
Euro 0-2	4%	0%	0%
Euro 3	22%	11%	0%
Euro 4	5%	2%	0%
Euro 5	10%	8%	2%
Euro 6	0%	0%	42%
EEV diesel	49%	63%	26%
EEV aardgas stoichiometrisch	9%	13%	10%
Hybride bussen (Euro 5)	1%	1%	20%
LPG	1%	1%	0

Bron: KpVV-bussenposters.

Door het grotere aandeel van hybride bussen is het energiegebruik, en daarmee de CO₂-uitstoot van de gemiddelde bus in 2020 15% lager. Voor de dieselbus wordt net als bij de touringcar aangenomen dat deze niet zuiniger wordt.

De luchtvervuilende emissies nemen met name af door een groter aandeel Euro 6-voertuigen.



6.4.7 Tram en metro

De tram en metro worden naar verwachting zuiniger door de doelstelling van de OV-maatschappijen om duurzamer te worden en kosten te besparen. De verwachte afname in energiegebruik per passagierskilometer neemt in de periode 2011-2020 voor tram en metro met 15% af. Dit is gebaseerd op een analyse door HTM en komt overeen met de ontwikkeling in efficiëntieverbetering voor 2008-2013 (HTM, 2014). Deze ontwikkeling is gebaseerd op zowel technische als operationele maatregelen. De belangrijkste maatregelen zijn:

- teruglevering remenergie aan het net;
- beperken nullastverliezen door transformatoren zo mogelijk uit te zetten buiten de spits;
- beter afgestelde verwarming van de trams en metro's;
- verbeterde monitoringsmogelijkheden energiegebruik en daarmee betere mogelijkheden voor optimalisatie van energiegebruik.

6.4.8 Trein

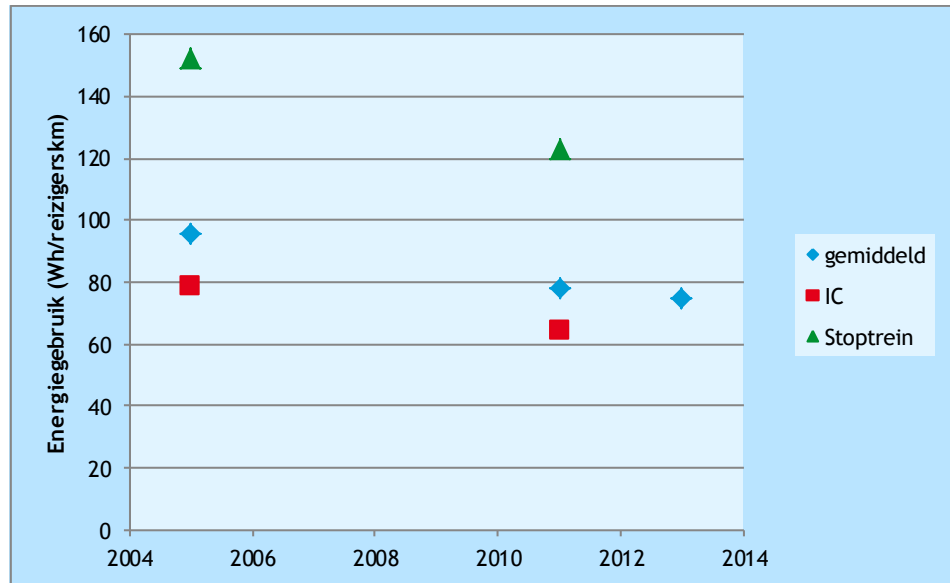
Op basis van de ontwikkeling van het energiegebruik en zitplaatskilometers in de periode 2004-2011 kan worden verwacht dat het energiegebruik per zitplaatskilometer van elektrische treinen verder zal afnemen. Nieuwe treinen zijn vaak lichter en energiezuiniger dan oude treinen. Deze trend is in het verleden te zien en zal zich met de voorgenomen vernieuwing van het treinenpark ook doorzetten in de toekomst.

De verbetering is een optelsom van technische maatregelen (bij revisie en innovaties in nieuw materieel) en procesmaatregelen zoals zuinig rijden, zuinig opstellen en optimaliseren van inzet van materieel. NS verwacht dat de komende jaren door een mix van maatregelen per jaar het energiegebruik per reizigerskilometer met 2% per jaar zal afnemen ten opzichte van het niveau 2011 (NS, 2014). Deze verwachting is consistent met het ambitieniveau (inspanningsverplichting) van de meerjarenafspraken (MJA-3) waar NS in participeert (Agentschap NL, 2012a).

Bovenstaande is een inschatting voor NS, maar tevens representatief voor de ontwikkeling van het totale elektrische treinverkeer (het aandeel van NS in de elektrische treinkilometers is 98%).

Een afname van het energiegebruik per reizigerskilometers van 2% per jaar komt voor 2020 neer op een efficiëntieverbetering van 17% ten opzichte van 2011. Deze verwachting is in lijn met de ontwikkeling voor de periode 2005-2013 (Figuur 11).

Figuur 11 Ontwikkeling energiegebruik trein per reizigerskilometer (2005-2013)



Meer specifieke maatregelen die zullen bijdragen aan de efficiëntieverbetering zijn:

- technische maatregelen:
 - revisie van oude treinstellen;
 - instroom nieuw Sprintermaterieel.
- procesmaatregelen:
 - verdere uitbouw van het programma EnergieZuinig Rijden (EZR); vroegtijdig aanpassen rijgedrag op verkeerssituatie spoor (programma Route Lint) en snelheidsadvisering voor machinisten;
 - verdere uitbouw van het programma Zuinig Opstellen wat tot doel heeft het aandeel niet-productieve kilometers terug te dringen;
 - verbeteren bezettingsgraad in de daluren.

Aangenomen is dat de gemiddelde bezetting met 6% verbetert in 2020 en de overige maatregelen leiden tot een energiebesparing van 11%.

De well-to-tank-emissiefactoren van de elektrische trein worden uiteindelijk bepaald door het energiegebruik per passagierskilometer in 2020 en de emissies van elektriciteitsopwekking in 2020 (zie Paragraaf 6.4.2).

Dieseltreinen

Op basis van de onderliggende data van de referentieraming 2012 (PBL/ECN, 2012) en aangescherpte normen voor motoren bij dieseltreinen, wordt een verdere daling verwacht van de emissies per kilo brandstof bij aanschaf van nieuwe dieseltreinen. Aangenomen is dat in 2020 een derde van de dieseltreinen aan de EU-norm voldoet die vanaf 2012 geldig is (zie Tabel 59). Voor PM_{10} (verbranding) wordt een daling van ongeveer 40% verwacht en voor NO_x een daling van ongeveer 30% ten opzichte van de 2011-data.

Tabel 59 Normen luchtkwaliteit Rail

Categorie	Datum	PM (g/kWh)	NO _x (g/kWh)
RC A	Januari 2006	0.2	4.0*
RC B	Januari 2012	0.025	2.0

* Norm voor 2012 betreft NO_x + HC.

Bron: EU, 2004.

Daarnaast wordt een zelfde verbetering van de energie-efficiëntie verwacht als bij elektrische stoptreinen (17%).

Tot slot is aangenomen dat ook voor dieseltreinen 8,5% biodiesel wordt bijgemengd in de brandstof.

6.4.9 Vliegtuig

Het is de verwachting dat in 2020 vliegtuigen gemiddeld minder brandstof zullen verbruiken. Dit is met name gebaseerd op basis van doelstellingen vanuit de branche en internationale doelstellingen op het gebied van duurzaamheid en kostenbesparing.

De International Civil Aviation Organization (ICAO) heeft ingestemd met een vrijwillige doelstelling van 2% brandstofbesparing per jaar voor de wereldwijde vloot tot 2020, en de ambitie om dit voort te zetten met een 2% verbetering per jaar tot 2050 (ICAO, 2010). Daarnaast hebben de belangrijkste vertegenwoordigers van de luchtvaartindustrie gezamenlijk als ambitie gesteld de brandstofefficiëntie tot 2020 jaarlijks met 1,5% te verbeteren en om daarna 'koolstofneutraal' te groeien tot 2050 (KiM, 2013).

KLM heeft als doelstelling om over de periode 2009-2020 in totaal een CO₂-emissiereductie te verwezenlijken van 20% (CSR 2012). Dit betreft een combinatie van technische en operationele maatregelen zoals:

- Vlootvernieuwing (nieuw vliegtuigen kunnen tot 20% zuiniger zijn).
- Efficiënter gebruik luchtruim via het SESAR-programma. Door de uitvoering van het SESAR-concept in 2020, moet door efficiënter luchtverkeersmanagement (ATM) de ATM gerelateerde CO₂-uitstoot worden vermindert met 10% per vlucht ten opzichte van 2005 (SESAR, 2013).
- Reduceren overschot aan brandstof tijdens vlucht (Air France Brandstof Plan (KLM, 2012)). Het nieuwe Air France Brandstof Plan moet leiden tot 1% reductie van het brandstofverbruik van Air France in 2015 ten opzichte van 2011.
- Inzet van biokerosine (doelstelling KLM 2% in 2020).

Aangenomen wordt dat KLM met een groot aandeel van de vluchten (met partners ca. 70%) representatief is voor Nederland. De 20% CO₂-reductiedoelstelling tussen 2009 en 2020 van KLM komt overeen met een CO₂-reductie van 16,7% in 2020 ten opzichte van 2011. We nemen aan dat 15% van deze reductie wordt behaald door brandstofbesparing en 1,7% door de inzet van biobrandstoffen.

Het verminderde brandstofverbruik leidt tot een reductie van zowel CO₂, luchtvervuilende als upstream-emissies. Voor biokerosine geldt dat de WTW-broeikasgasemissies ca. 80% lager zijn dan de uitstoot van conventionele vliegtuigbrandstof (IATA, 2014).



Daarnaast is per 31 december 2013 een strengere NO_x-norm voor vliegtuigmotoren van kracht geworden (ICAO, 2008). Op basis van deze aangescherpte norm wordt aangenomen dat de NO_x-uitstoot tussen 2011 en 2020 afneemt met 5,8% per kilo verbruikte brandstof (Owen, 2010). Voor PM₁₀ wordt geen reductie verwacht, anders dan door brandstofbesparing. Er is geen regelgeving om PM₁₀-emissies van motoren verder te reduceren.

6.4.1 Well-to-tank-emissies van brandstofproductie

Voor brandstofproductie is aangenomen dat de emissies bij raffinage en winning afnemen door aangescherpte Europese regelgeving. Van belang zijn Directive 2009/30 (voor broeikasgasemissies) en de aangescherpte NEC-plafonds voor NO_x en PM_{2,5} in 2020. In STREAM international freight (CE Delft, 2011) is aangenomen dat op basis van deze regelgeving de broeikasgasemissies voor de winning van fossiele brandstoffen tussen 2011 en 2020 afnemen met 5,4% en de emissies van NO_x en PM₁₀ met 21%. Daarnaast is aangenomen dat in 2020 de bijmenging van biobrandstoffen 8,5% (energieaandeel) bedraagt.

6.4.2 Emissies van elektriciteitsopwekking

Doelstelling van de Nederlandse overheid is dat in 2020 14% van de Nederlandse energievoorziening uit hernieuwbare bronnen is. De elektriciteitsproductie zal hierin een groot aandeel hebben met windenergie en energie uit biomassa. Daarnaast wordt ook verwacht dat het aandeel elektriciteit uit kolen zal toenemen (PBL/ECN, 2012). Op basis van de huidige energiemix volgens de stroometikettering (CE Delft, 2013) en inschattingen voor 2020 (ECN, 2013) is een samenstelling van de Nederlandse productiemix ingeschat zoals weergegeven in Tabel 60. De bijbehorende emissiekentallen voor de 2020-stroommix zijn weergegeven in Tabel 61.

Tabel 60 Brandstofmix elektriciteit 2020

	2020
WKK	33%
Gas	13%
Kolen	25%
Hernieuwbaar:	24%
- biomassabijstook	5%
- biomassacentrale/afvalverbranding	3%
- windenergie	16%
Nucleair	3%
Overig 1%	2%
Import	0
Totaal productie	100%

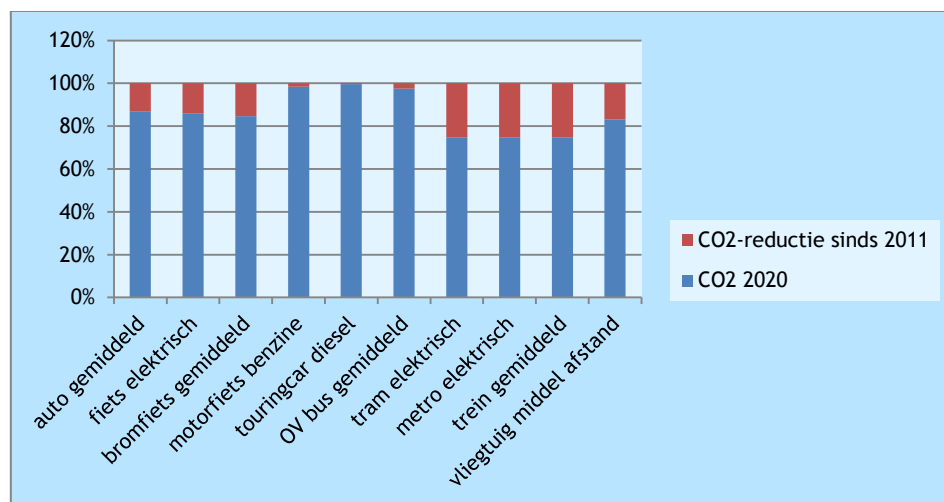
Tabel 61 Emissies elektriciteitsopwekking 2020

	CO ₂	NO _x	PM	VOS	SO ₂
g/kWh _e	403	0,58	0,029	0,61	0,299
g/MJ _e	112	0,16	0,008	0,17	0,083

6.5 Conclusies

Gemiddeld genomen dalen voor alle modaliteiten de emissies. De CO₂-emissies zullen dalen door vermindering van het energiegebruik per passagierskilometer, verminderde CO₂-emissies voor brandstofwinning en elektriciteitsproductie en het toepassen van biobrandstoffen. In Figuur 12 zijn de relatieve veranderingen voor de CO₂-uitstoot (WTW) van de verschillende modaliteiten weergegeven.

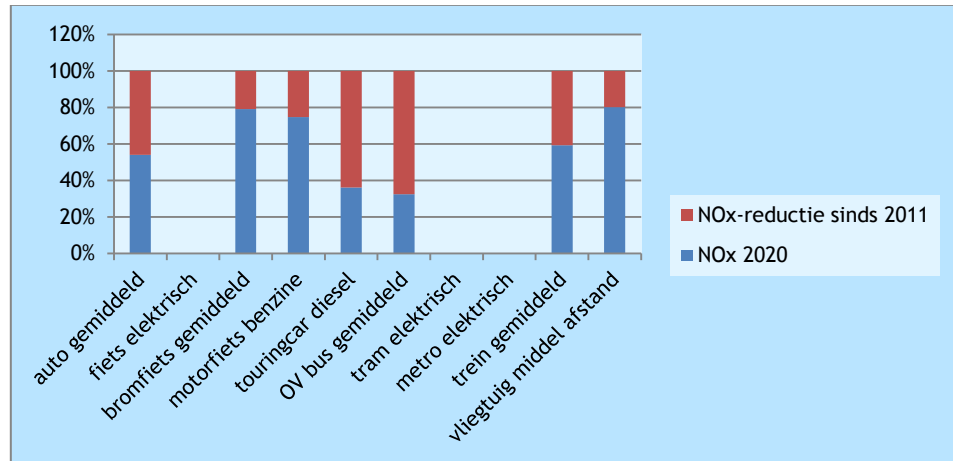
Figuur 12 Relatieve verandering WTW-CO₂-emissies in 2020 t.o.v. die in 2011 van zelfde vervoerswijze



Met name de CO₂-reductie bij de elektrische modaliteiten is relatief groot. De reden is dat zowel een reductie op energiegebruik per passagierskilometer wordt behaald als een forse reductie van CO₂-emissies bij elektriciteitsopwekking. Voor de motorfiets, de touringcar en de OV-bus is de CO₂-reductie relatief beperkt. Belangrijkste reden is dat er geen duidelijk vastgesteld beleid is zoals voor personenauto's, om de CO₂-emissies van motoren en zware voertuigen te beperken. Alleen voor de OV-bus zullen eisen in de concessieverlening naar verwachting een beperkt effect hebben op de gemiddelde CO₂-uitstoot ten opzichte van 2011.

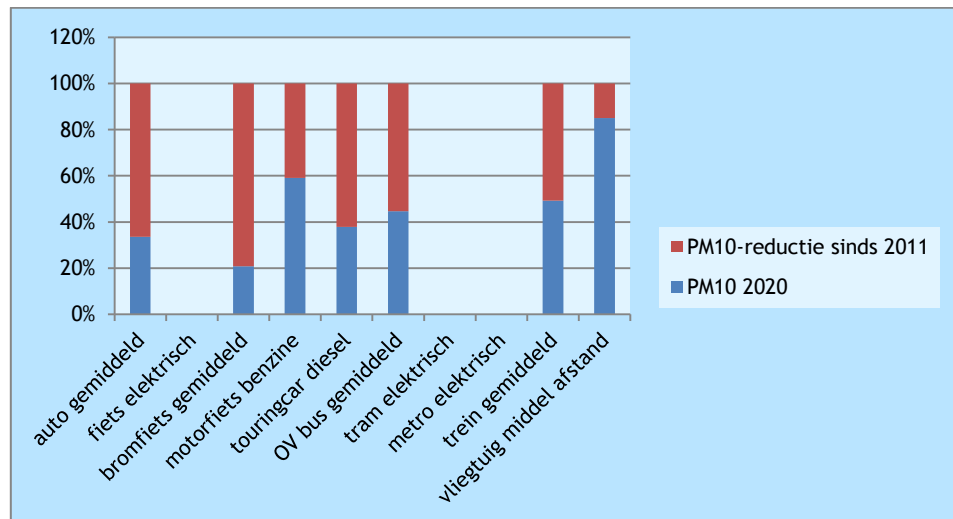
Voor de tank-to-wheel NO_x- en PM₁₀-emissies zijn in Figuur 13 en Figuur 14 de relatieve verbeteringen weergegeven voor 2020 ten opzichte van 2011. Met name de NO_x-emissies voor personenauto en bus zullen in 2020 veel lager zijn door instroom van Euro 6/Euro VI-voertuigen.

Figuur 13 Relatieve verandering TTW NO_x-emissies in 2020 t.o.v. die in 2011 van zelfde vervoerswijze



PM₁₀-emissies zullen voor alle modaliteiten veel lager zijn door verschoning van het park. Alleen voor vliegtuigen is de relatieve afname klein. De PM₁₀-emissies van vliegtuigen per passagierskilometer zijn echter al relatief laag.

Figuur 14 Relatieve verandering TTW PM₁₀-emissies in 2020 t.o.v. die in 2011 van zelfde vervoerswijze



7 Verantwoording methodiek en uitgangspunten

Dit hoofdstuk beschrijft de methodiek die gebruikt is bij de berekening van de emissies van de verschillende modaliteiten in het personenvervoer. De methodiek en de uitgangspunten zijn afgestemd met vertegenwoordigers van verschillende vervoerssectoren. De lijst met deelnemers is te vinden in Bijlage C.

7.1 Welke milieueffecten?

De belangrijkste milieueffecten van het personenvervoer hangen samen met de uitgestoten emissies. Deze studie richt zich op de belangrijkste klimaat- en luchtvervuilende emissies van het personenvervoer die samenhangen met het gebruik van voertuigen. Het gaat daarmee om de verbrandingsemissies (tank-to-wheel-emissies) koolstofdioxide (CO₂), fijnstof (PM₁₀), stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxiden (SO₂) en vluchtige organische stoffen (VOS). Daarnaast worden ook de slijtage-emissies van banden, wegdek en railinfrastructuur meegenomen (PM_{sl}). Tenslotte wordt gekeken naar bovengenoemde emissies tijdens brandstofproductie, elektriciteitsopwekking en transport in de voorketen, de zogenoemde well-to-tank-emissies.

De CO₂-emissies in dit rapport bestaan uit CO₂ (koolstofdioxide), CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) en worden tezamen uitgedrukt in CO₂ equivalenten. NO_x is een verzamelnaam voor NO, NO₂ en NO₃ en wordt in dit rapport uitgedrukt in gram NO₂-equivalenten. Slijtage-emissies verschillen van de PM₁₀ verbrandingsemissies in samenstelling en grootte en daarmee ook in schadelijkheid. Terwijl de PM₁₀-verbrandingsemissies voornamelijk bestaan uit deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM_{2,5}) bestaande slijtage-emissies maar voor een klein deel uit PM_{2,5}.

Een overzicht van de emissies die zijn opgenomen in deze studie is gegeven in Tabel 62.

Tabel 62 Overzicht van emissies in deze studie

	Verbranding (tank-to-wheel)	Slijtage (banden, bovenleidingen etc.)	Brandstofproductie, elektriciteitsopwekking en transport in de voorketen (well-to-tank)
CO ₂	x		x
NO _x	x		x
PM ₁₀	x	x	x
VOS*	x		x
SO ₂	x		x

* Verbrandingsemissies van VOS zijn exclusief emissies door verdamping van brandstof.

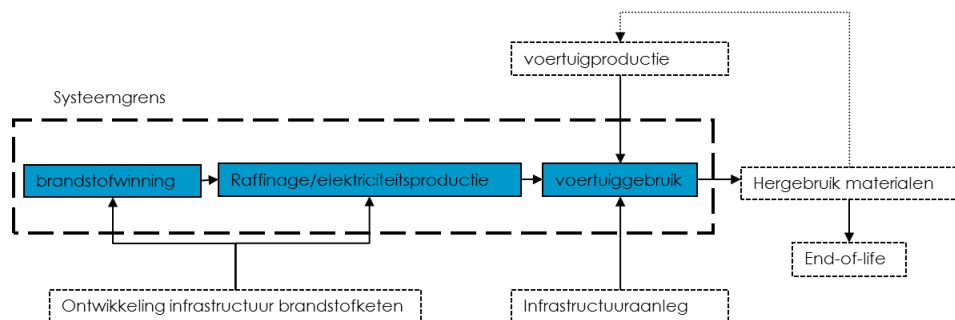
Onderwerpen die niet in deze studie naar voren komen, maar wel een rol spelen, zijn geluid en versnippering van landschappen. Beide milieueffecten zijn moeilijk terug te rekenen tot de bijdrage van één gereden kilometer. Voor geluid is de marginale bijdrage aan de geluidsbelasting sterk afhankelijk van het reeds aanwezige geluidsniveau. Voor versnippering van landschappen is de aanleg van infrastructuur van groter belang dan het gebruik van de infrastructuur.

7.2 Systeemgrenzen

Niet alleen de emissies van het gebruik van voertuigen spelen een rol, maar ook bij de productie van brandstoffen en voertuigen komen emissies vrij. Vanwege de beperkte beschikbaarheid aan betrouwbare data voor met name die niet-wegmodaliteiten over het energiegebruik en emissies bij voertuigproductie, voertuigontmanteling en infrastructuuraanleg, zijn deze emissies niet opgenomen.

De emissies van brandstofproductie en -distributie zijn wel opgenomen in deze studie. In Figuur 15 zijn de systeemgrenzen aangegeven.

Figuur 15 Systeemgrenzen



7.3 Nederlandse situatie

De gebruikte data zijn gebaseerd op de Nederlandse situatie. Dit betekent dat in sommige gevallen de data niet geheel representatief zijn voor de EU. Nederland kent bijvoorbeeld relatief hoge CO₂-emissies bij elektriciteitsopwekking, terwijl dit in de EU als geheel lager is vanwege een groter aandeel van energiebronnen als kernenergie en waterkracht in de elektriciteitsopwekking. Ook is het Nederlandse wagenpark relatief iets jonger dan voor Europa gemiddeld, waardoor gemiddelde emissiefactoren lager kunnen zijn dan in de EU als geheel.

7.4 Rekenmethodiek

In deze studie worden emissies uitgedrukt per reizigerskilometer. Afhankelijk van de vervoerswijze wordt daarbij onderscheid gemaakt naar wegtype en toegepaste techniek. Daarnaast wordt voor elke vervoerswijze onderscheid gemaakt tussen de verbrandingsemissies (TTW) en de emissies tijdens elektriciteits-/brandstofproductie (WTT).

De emissiekentallen voor de meeste modaliteiten zijn berekend uit de emissies per voertuigkilometer en de bezetting. In z'n algemeenheid is gebruik gemaakt van de volgende rekenwijze om de emissies per voertuigkilometer om te rekenen in de emissies per reizigerskilometer:

$$EF_{rkm} (WTW) = \frac{EF_{vkm} (TTW) + EF_{vkm} (WTT)}{\text{bezetting}}$$

Waarbij:

$EF_{vkm}(TTW)$: uitlaat (tank-to-wheel) emissies per voertuigkilometer

$EF_{vkm}(WTT)$: emissies van brandstofwinning (well-to-tank) per voertuigkilometer

Bezetting: gemiddeld aantal personen aan boord; het product van de capaciteit maal de bezettingsgraad

Voor tram, trein en metro zijn de emissies per reizigerskilometer berekend door de totale emissies per jaar te delen door het totaal aantal reizigerskilometers per jaar volgens:

$$EF_{rkm} (WTW) = \frac{E * EF_{MJ}}{\text{reizigerskm} \quad m}$$

Waarbij:

E: energiegebruik per jaar (in MJ_e)

EF_{MJ} : emissies per MJ elektriciteit (slijtage of WTT)

Reizigerskm: aantal reizigerskilometers per jaar

De in STREAM gebruikte methodiek voor CO₂-emissies voldoet aan de CEN- standaard EN 16258 voor CO₂-emissieberekeningen voor transport.

7.5 Marginale en gemiddelde emissies

In de huidige studie wordt gerekend met de gemiddelde emissies van vervoerswijzen. In STREAM 2008 werden voor het openbaar vervoer ook marginale emissies gegeven voor spits en dal. In deze studie is deze benadering losgelaten, op grond van een recente studie door de VU over de marginale emissies van treinen (Hörcher, 2013).

De gemiddelde emissies van een vervoerswijze worden bepaald door de totale emissies te delen door het totaal aantal passagierskilometers. Marginale emissies geven het effect van een extra reiziger. Zo draagt een extra passagier in een auto nauwelijks bij aan extra emissies en de marginale emissies van deze passagier zijn bijna nul. Een extra autobestuurder op de weg draagt net zo veel bij aan de emissies als de al aanwezige bestuurders op de weg en in dit geval zijn de marginale emissies gelijk aan de gemiddelde emissies (aangenomen dat het om een gemiddelde auto en bestuurder gaat).

In het algemeen kan gesteld worden dat de marginale emissies per passagierskilometer lager zijn dan de gemiddelde emissies wanneer bij een toename in reizigers de bezettingsgraad van het voertuig stijgt. De marginale emissies zijn hoger dan gemiddeld wanneer de bezettingsgraad juist daalt. In 2002 werd in een studie van Rietveld (Rietveld, 2002) geconcludeerd dat de marginale emissies van een treinreiziger in de spits hoger zijn dan de dag-



gemiddelde emissies per reizigerskilometer, terwijl de marginale emissies in het dal nul zijn.

Als onderdeel van deze studie was een analyse gemaakt van het capaciteitsmanagement van NS. Een belangrijke conclusie toen was dat de omvang en frequentie van treinen grotendeels wordt bepaald door de vraag in de spits. Het meeste materieel dat gebruikt wordt in de spits, wordt niet afgekoppeld, maar blijft in gebruik buiten de spits. Logischerwijs is het effect van een extra passagier in de dalperiode nagenoeg nul, terwijl dit in de spitsperiode meer is dan de emissies die de betreffende reiziger zelf veroorzaakt op zijn reis, omdat zijn stoel in de dalperiode leeg blijft. De gemiddelde bezetting gedurende de dag daalt dus door extra reizigers in de spits. Extra reizigers in het dal hebben in dit geval juist een positief effect op de gemiddelde bezetting. Bovenstaande benadering is toegepast in STREAM 2008.

In een recente studie van de VU (Hörcher, 2013) is opnieuw een analyse gemaakt van het capaciteitsmanagement bij NS. De studie concludeert dat NS steeds beter in staat is om de capaciteit in het dal aan te passen op de vraag. Dit betekent dat de marginale benadering uit 2002 niet of in mindere mate opgaat. Wanneer vraag en aanbod perfect op elkaar afgestemd kunnen worden, zullen de bezettingsgraad in dal en spits ongeveer gelijk worden en zullen de marginale emissies ongeveer gelijk zijn aan de gemiddelde emissies per persoonskilometer. In de studie worden door gebrek aan volledige data uiteindelijk geen nieuwe marginale waarden bepaald. We hebben daarom besloten voor de huidige update de marginale emissiemethode niet meer toe te passen. Ook voor de andere OV-vervoerswijzen is de marginale methode niet toegepast, omdat de marginale effecten onduidelijk zijn.

Ook is in de huidige studie er niet voor gekozen om gemiddelde spits- en dal-emissiekentallen te geven, waarbij de emissies bepaald worden aan de hand van de bezetting in spits en dal. In dit geval zouden de gemiddelde spits-emissies, door de hogere bezettingsgraad, lager zijn dan de gemiddelde emissies in het dal. Dit zou het beeld kunnen scheppen dat reizen in de spits milieuvriendelijker is dan in het dal. Omdat dit beeld, vanuit de marginale zienswijze, ongenuanceerd is, passen we ook deze benadering niet toe.

In de huidige studie adviseren we voor spits en dal uit te gaan van daggemiddelde emissiekentallen. Deze benadering ziet de vervoerswijze OV gedurende de dag als één systeem.

Literatuur

Agentschap NL, 2011

A. Peene, F. Velghe, I. Wierinck
Evaluatie van de vergisters in Nederland
Utrecht : Agentschap NL, Organic Waste systems, 2011

Agentschap NL, 2012a

MJA3-Bedrijfsrapport 2011
S.l. : Agentschap NL, 2012

Agentschap NL, 2012b

H.H.J.Vreuls en P.J.Zijlema
Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren,
versie januari 2012, UEMB1234690
Utrecht : Agentschap NL, 2012

Agentschap NL et al., 2012c

Mirjam Harmelink, Lex Bosselaar, Joost Gerdes, Piet Boonekamp,
Reinoud Segers, Hans Pouwelse, Martijn Verdonk
Berekening van de CO₂-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het
rendement van elektriciteit in Nederland
S.l. : Agentschap NL; CBS; ECN; PBL, 2012

CBS, 2011

Verkeersprestaties autobussen : Methodebeschrijving en resultaten
Den Haag/Heerlen : Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2011

CBS, 2013a

CBS Statline: Luchtverontreiniging, feitelijke emissies door wegverkeer
Geraadpleegd in november 2013

CBS, 2013b

CBS Statline: Mobiliteit in Nederland; vervoerwijzen en motieven, regio's
Geraadpleegd in november 2013

CBS, 2013c

CBS Statline: Verkeersprestaties autobussen; kilometers, bouwjaar en
grondgebied
Geraadpleegd in november 2013

CBS, 2013d

Brandstofverbruik en CO₂-uitstoot van personenauto's, 2011
Niet in Statline gepubliceerd: Maatwerk
[http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/verkeer-
vervoer/cijfers/incidenteel/maatwerk/default.htm](http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/verkeer-
vervoer/cijfers/incidenteel/maatwerk/default.htm)

CBS, 2013e

Reinoud Segers
Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland,
update 2011
Den Haag/Heerlen : Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2013



CBS, 2014

CBS Statline: Bromfietsen; soort, brandstof en bouwjaar
Geraadpleegd in januari 2014

CE Delft, 2008

Eelco den Boer, Femke Brouwer, Huib van Essen
Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten
Delft : CE Delft, 2008

CE Delft, 2011

Eelco den Boer, Matthijs Otten, Huib van Essen
STREAM International Freight 2011
Delft : CE Delft, 2011

CE Delft, 2011b

Bettina Kampman, Willem Braat, Huib van Essen, Duleep Gopalakrishnan (ICF)
Impacts of Electric Vehicles - Deliverable 4
Delft : CE Delft, 2011

CE Delft, 2012

M. (Mart) Bles, L.M.L. (Lonneke) Wielders
Achtergrondgegevens Stroometikettering 2011
Delft : CE Delft, 2012

CE Delft, 2013

M. (Mart) Bles, L.M.L. (Lonneke) Wielders
Achtergrondgegevens Stroometikettering 2012
Delft : CE Delft, 2013

CE Delft/TNO, 2014

Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer, Herziene versie 2014,
te publiceren in 2014

Connexxion, 2013

Basisdata 2011 voor Valleilijn, verkregen uit persoonlijk contact Connexxion

EEA, 2013

Monitoring of CO₂ emissions from vans - Regulation 510/2011
Published 17 December 2013
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/vans-1>
Geraadpleegd in december 2013

ECN, 2013

M. Hekkenberg, H.M. Londo, S.M. Lensink
Toelichting inschatting korte-termijneffecten
Energieakkoord op hernieuwbare energie
Petten : ECN, 2013

Ecofys, 2013

Biofuels for aviation
Studie in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu
Utrecht: Ecofys, 2013

Ecoinvent, 2007

Ecoinvent database version 2.2
Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007
<http://www.ecoinvent.org/home/>



EU, 2004

Richtlijn 2004/26/EG van het Europees parlement en de raad van 21 april 2004 tot wijziging van Richtlijn 97/68/EG betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendigeverbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines

In : Publicatieblad van de Europese Unie, 21-6-2004 ; L225/3-107

EU, 2013

Regulation (EU) No 168/2013 of the European Parliament and of the Council of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles Text with EEA relevance

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32013R0168:EN:NOT>

13R0168:EN:NOT

Geraadpleegd in januari 2014

Goudappel, 2010

Robert van den Brink, Luuk Brederode, Menno Wagenaar
Onderzoek naar de wegtypeverdeling van het wegverkeer
Deventer : Goudappel Coffeng, 2010

GCM, 2013

Great Circle Mapper

<http://www.gcmap.com/>

Geraadpleegd in november 2013

GVB, 2013

Jaarverslag GVB Holding NV 2012

Amsterdam : GVB Holding NV, 2013

Hörcher, 2013

Daniel Hörcher

Marginal External Costs of Peak-hour and Off-peak Rail Passengers
Internship Project, Final Report

S.l. : VU/NS, 2013

HTM, 2011

HTM op koers voor nieuwe uitdagingen, Jaarverslag 2010

Den Haag : HTM, 2011

HTM, 2013

Slank om te concurreren, samenwerkend om te groeien

Den Haag : HTM, 2013

HTM, 2014

Persoonlijke communicatie met HTM

IATA, 2014

IATA Fact sheet Alternative fuels

https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/pages/alt-fuels.aspx

Geraadpleegd in januari 2014



ICAO, 2008

Environmental Protection, Annex 16 to the convention on international civil aviation. Volume II: aircraft engine emissions
Montréal : International Civil Aviation Organization (ICAO), 2008

ICAO, 2010

Resolution A37-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change
Montreal : International Civil Aviation Organization (ICAO), 2010
http://www.icao.int/env/A37_Res19_en.pdf
Geraadpleegd in februari 2014

ICCT, 2013

Peter Mock, John German, Anup Bandivadekar (ICCT), Iddo Riemersma (Sidekick Project Support), Norbert Ligterink (TNO), Udo Lambrecht (IFEU)
From laboratory to road A comparison of official and 'real-world' fuel consumption and CO₂ values for cars in Europe and the United States
Washington DC. : International Council on Clean Transportation (ICCT), 2013

IFEU, 2010

EcoPassenger : Environmental Methodology and Data
Heidelberg : IFEU, April 2010

IFEU, 2011

Ecotransit World : Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports : Methodology and Data Update
Berlin ; Hannover ; Heidelberg : Öko-Institut ; IVE/RMCON ; IFEU Heidelberg, 2011

InfoMil, 2013

Bussenknop 2013
Den Haag : Kenniscentrum InfoMil, 2013
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/luchtkwaliteit/rekenen-meten/bussenknop/>

Infras, 2007

J. Heldstab, N. Kljun
PM_{2.5}-Emissionen verkehr : Teil Schienenverkehr
Bern : INFRAS, 2007

ING, 2013

Veroudering wagenpark remt verlaging CO₂-uitstoot
S.l. : ING Economisch Bureau, 22 juli 2013

IPCC, 2006

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Volume 2: Energy, Chapter 3: Mobile Combustion
Kanagawa : IGES, 2006

JRC, 2011

R. Edwards (JRC), J-F. Larivé (CONCAWE), J-C. Beziat (EURCAR)
Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context; WTT APPENDIX 2, Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways, Version 3c
Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2011



JRC, 2013

Robert Edwards (JRC) ; Jean-François Larivé, David Rickeard (CONCAWE) ; Werner Weindorf (LBST)

Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context; Well-to-tank (WTT) Report - appendix 2, version 4
Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013

KiM, 2013

Quick scan duurzame luchtvaart 2050

Reductieopties en beleidsopties voor vermindering van de CO₂-uitstoot
Den Haag : Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), 2013

KLM, 2012

Corporate Social Responsibility report

Airfrance KLM, 2012

<https://asp.zone-secure.net/v2/index.jsp?id=2272/2921/35080&lng=en>

KLM, 2013

Gemiddeld brandstofverbruik, NO_x- en SO₂-emissies en bezetting aangeleverd door KLM per vliegtuigcategorie voor het jaar 2011

Ook aannames voor ontwikkeling 2020 teruggekoppeld via KLM

Persoonlijke communicatie

KNV, 2011

Statistiek Touringcarvervoer 2010

In: Nederlands Vervoer, september 2011

KpVV, 2011a

Poster Milieuprestatie OV-bussen, editie 2011

Utrecht : Kennisplatform Verkeer en Vervoer (KpVV), 2011

KpVV, 2011b

Natalie in 't Veld, Gerard van Kesteren Ruud Overweg

Ontwikkeling openbaar vervoer 2000-2009. Vraag en aanbod

Utrecht : Kennisplatform Verkeer en Vervoer (KpVV), 2011

KpVV, 2014

Persoonlijke communicatie met KpVV

Lee et al., 2009

David S. Lee, David W. Fahey, Piers M. Forster, Peter J. Newton, Ron C.N. Wit, Ling L. Lim, Bethan Owena, Robert Sausen

Aviation and global climate change in the 21st century

In : Atmospheric Environment (2009); p. 3520-3537

Met.No, 2004

Leonor Tarrasón, Jan Eiof Jonson, Terje K. Berntsen and Kristin Rypdal

Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation

Oslo : Norwegian Meteorological Institute (Met.No), Centre for International Climate and Environmental Research, 2004

MNP, 2006

Anco Hoen, Gerben Geilenkirchen

De waarde van een SUV : waarom de gemiddelde auto in Nederland niet zuiniger wordt : bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2006, 23 en 24 november 2006

Amsterdam : Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), 2006



NS, 2012

NS Jaarverslag 2011

Utrecht : Nederlandse Spoorwegen (NS), 2012

NS, 2014

Persoonlijke communicatie met NS

Owen, et al., 2010

Bethan Owen, David S. Lee, Ling Lim

Flying into the Future : Aviation Emissions Scenarios to 2050

In : Environmental Science and Technology, Vol. 44 (2010); p. 2255-2260

Panteia, 2013

Kerncijfers 2012 van het touringcarvervoer van Nederlandse

touringcarondernemingen; waarden voor 2011 verkregen van de auteurs

Panteia 2013

PBL/ECN, 2012

Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012; Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030

Den Haag ; Petten : PBL ; ECN, 2012

Personenbus, 2013

– Mercedes benz sprinter combi: http://www.mercedes-benz.nl/content/netherlands/mpc/mpc_netherlands_website/nl/home_mpc/van/home/new_vans/models/sprinter_906/crewbus_.flash.html

– Ford Transit combi: <http://www.marktnet.nl/autos/bedrijfswagens/ford-transit-combi-9-persoons-airco-bj-2010-16100949.htm>

– Renault traffic passenger

<http://www.renault.nl/showroom/personenautos/trafic/trafic-personenvervoer/prijzen-en-specificaties/>

Geraadpleegd in december 2013

Provincie Utrecht, 2012

Jaarverslag 2011 : Concessie Openbaar Vervoer

Utrecht : Provincie Utrecht, juni 2012

RAI/BOVAG, 2013

Duurzaamheidsmonitor Mobiliteit 2013

Amsterdam : RAI Vereniging en BOVAG, 2013

RET, 2013

Aardig onderweg, Jaarverslag 2012

Rotterdam : Rotterdamse Elektrische Tram N.V. (RET), 2013

Rietveld, et al., 2002

P. Rietveld, J. Dekkers, S. van Woudenberg

Choice of frequency and vehicle size in rail transport : Implications for marginal external costs

In : European Journal of Transport and Infrastructure Research, Vol. 2., No. 2,(2002); p. 95-111

SESAR, 2013

SESAR's environmental objectives

<http://www.sesarju.eu/environment>

Geraadpleegd in januari 2014



SBB, 2014

Facts and Figures environment 2011

<http://www.sbb.ch/en/group/the-company/facts-and-figures/environment.html>

Geraadpleegd in januari 2014

Task Force, 2013

J. Klein, G. Geilenkirchen, J. Hulskotte, A. Hensema, P. Fortuin and H. Molnár-in 't Veld

Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands

The Hague : CBS, Task Force on Transportation of the Dutch

Pollutant Release and Transfer Register, 2013

TNO, 2008a

G. Kadijk, B. Bos

Praktijkcommissies EEV-stadsbussen

S.l. : TNO, 2008

TNO, 2008b

Ingrid Hendriksen, Luuk Engbers, Jeroen Schrijver, Rene van Gijlswijk, Jesse Weltevreden (BOVAG) en Jaap Wilting (BOVAG)

Elektrisch Fietsen : Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden

Leiden : TNO, 2008

TNO, 2008C

Harm ten Broeke

Fijnstofemissies als gevolg van slijtage bij de spoorwegen

S.l. : TNO,2008

TNO, 2009

A. Hensema, W. Roeterdink

De effecten van brommers op de luchtkwaliteit in de gemeente Amsterdam

Delft : TNO, 2009

TNO, 2011

R, Dröge, A Hensema, H.M ten Broeke, J.H.J Hulskotte

Emissions of two-wheeled vehicles

Utrecht : TNO, 2011

TNO, 2013a

Amber Hensema, Pim van Mensch, Robin Vermeulen

Tail-pipe emissions and fuel consumption of standard and tampered mopeds

Delft : TNO, 2013

TNO, 2013b

Norbert Ligterink, Artur Patuleia, Gertjan Koorneef

Current state and emission performance of CNG/LNG heavy-duty vehicles

Delft : TNO, 2013

TNO, 2013c

Invoergegevens berekenen luchtkwaliteit 2013

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtkwaliteit/berekenen-luchtvervuiling>

Geraadpleegd in december 2013



TNO, 2013d
N.E. Ligterink en Richard T.M. Smokers
Praktijkverbruik van zakelijke auto's en plug-in auto's
Delft : TNO, 2013



Bijlage A Emissies per eenheid brandstof

Tabel 63 Emissiefactoren per eenheid brandstof

Emissiefactoren per eenheid gemiddelde, 2011		Eenheid	WTW	TTW					
Niveau 1	Niveau 2		CO ₂ -eq.	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOS	SO ₂
			g/eenheid		mg/eenheid				
Auto	Auto benzine	liter	2.740	2.269	1.707	51	200	2.528	31
	Auto diesel	liter	3.230	2.606	7.969	539	234	265	16
	Auto LPG	liter	1.806	1.610	3.737	42	141	2.662	0
Fiets	Elektrisch	kWh	458	0	0	0	0	0	0
Bromfiets/ snorfiets	Benzine	liter	2.944	2.474	12.920	2.740	158	124.250	31
	Elektrisch	kWh	458	0	0	0	68	0	0
Motorfiets	Benzine	liter	2.756	2.285	6.326	325	128	16.363	31
Touringcar	Diesel	liter	3.225	2.601	16.171	452	198	846	16
OV-bus	Diesel	liter	3.222	2.598	14.735	207	207	386	16
	CNG	kg	2.728	2.234	4.336	72	176	2.535	0
Tram	Elektrisch	kWh	458	0	0	0	185	0	0
Metro	Elektrisch	kWh	458	0	0	0	185	0	0
Trein	Stoptrein diesel	liter	3.515	2.891	24.318	1.935	837	4.178	16
	Stoptrein elektrisch	kWh	458	0	0	0	233	0	0
	Intercity	kWh	458	0	0	0	233	0	0
	HSL	kWh	458	0	0	0	233	0	0
Vliegtuig	EMBRAER 190 (korte afstand)	liter	2.844	2.509	912	6	-	290	126
	Boeing 737-800 (middellange afstand)	liter	2.844	2.509	1.436	10	-	80	95
	Boeing 777-300ER (lange afstand)	liter	2.844	2.509	650	1	-	16	22



Tabel 64 Emissiefactoren per eenheid brandstof alternatieve technieken en voertuigen

Voertuigtype	Eenheid	TTW emissies (g/eenheid)				WTT emissies (g/eenheid)		
		CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂ -eq.	NO _x	PM ₁₀
Personenauto								
Benzine Euro 5	liter	2271	0,274	0,0308	0,206	470	1,460	0,171
Benzine Euro 6	liter	2271	0,274	0,0308	0,200	470	1,460	0,171
Benzine hybride	liter	2277	0,342	0,0385	0,258	470	1,460	0,171
Benzine plug-in hybride	liter	2277	0,342	0,0385	0,258	470	1,460	0,171
Benzine plug-in hybride	kWh	0	0	0	0,069	458	0,591	0,023
Bioethanol (E85)	liter	373	0,210	0,0243	0,141	226 -1775 (710)*	2,956	0,528
Diesel Euro 5	liter	2608	9,576	0,0732	0,266	624	1,159	0,123
Diesel Euro 6	liter	2608	6,307	0,0737	0,250	624	1,159	0,123
Diesel hybride	liter	2614	11,969	0,0915	0,333	624	1,159	0,123
Biodiesel Euro 5 (B100)	liter	24	10,949	0,0402	0,244	264-3786 (3130)*	1,641	0,268
Elektrisch	kWh	0	0	0	0,069	458	0,591	0,023
CNG	kg	2234	0,706	0,0346	0,232	494	1,218	0,074
Bio-CNG	kg	87	0,706	0,0346	0,232	-2656 -1550 (994)	0,618	0,043
Waterstof	liter	0	0	0	0,144	76-5152 (1136)	1,444	0,205
OV-bus								
Euro 3	liter	2598	24,381	0,4357	0,207	624	1,159	0,123
Euro 5	liter	2598	10,212	0,1959	0,207	624	1,159	0,123
EEV diesel	liter	2598	9,919	0,0640	0,207	624	1,159	0,123
EEV aardgas stoichiometrisch	liter	2234	4,336	0,0722	0,176	494	1,218	0,074
Bio-CNG	kg	87	4,336	0,0722	0,176	-2656 -1550 (994)	0,618	0,043
Diesel hybride	liter	2601	11,670	0,0753	0,243	624	1,159	0,123
Elektrisch	kWh	0	0,000	0,0000	0,040	458	0,591	0,023

* Inschatting gemiddelde waarde.

Bijlage B Aandelen in vervoersprestatie

BTM

Voor BTM is uitgegaan van een aandeel in reizigerskilometers voor OV-bus, tram en metro in Amsterdam, Rotterdam en Den Haag volgens Tabel 65.

Tabel 65 Aandeel vervoerswijzen in BTM gemiddeld

Vervoerswijzen	Passagierskilometers (mln. rkm)	Aandeel in rkm	Bron
OV-Bus	351	18%	RET, 2013; GVB
Tram	780	41%	2013; HTM, 2011/
Metro	789	41%	HTM, 2013

OV gemiddeld

Voor OV gemiddeld is uitgegaan van een aandeel in reizigerskilometers voor OV-bus, tram en metro in Amsterdam, Rotterdam en Den Haag volgens Tabel 66.

Tabel 66 Aandeel vervoerswijzen in OV gemiddeld

Vervoerswijzen	Passagierskilometers (mln. rkm)	Aandeel in rkm	Bron
OV-Bus	4.513	20%	O.b.v. CBS, 2013c en KpVV, 2011b
Tram	780	3%	o.b.v. RET, 2013;
Metro	789	3%	GVB, 2013; HTM, 2011/HTM, 2013
Trein gemiddeld	16.959	74%	NS, 2012



Bijlage C Deelnemers expert workshop STREAM

De volgende personen hebben deelgenomen aan de workshop STREAM waarin de methodiek en de basisdata voor deze studie besproken zijn:

Tabel 67 Deelnemers expert workshop STREAM

Naam	Organisatie
Ruben Alblas	KLM
Gerben Geilenkirchen	PBL
Chris Hottentot	ANWB
Rogier Kuin	BOVAG
Ralph Luijt	NS
Bob Polak	KLM
Ad Toet	KNV
Frank Twiss	ANWB





Bijlage D Deelnemers gebruikers workshop STREAM

De volgende personen hebben deelgenomen aan de workshop STREAM waarin is besproken hoe deze studie in de praktijk gebruikt wordt:

Tabel 68 Deelnemers gebruikers workshop STREAM

Naam	Organisatie
Jurgen de Haan	KPVV
Marc Herberigs	Stichting Stimular
Wieb Miedema	Climate Neutral Group
Dirk-Jan Slood	IenM
Gijs Termeer	SKAO
Marc Zitzen	Milieu Centraal





Bijlage E Uitwerking Case 1

In deze bijlage is de eerste case uitgebreid uitgewerkt volgens de methode in Paragraaf 4.3. Deze case betreft een woon-werkreis van Den Haag naar Delft. De gegevens zijn in Tabel 69 weergegeven.

Tabel 69 Overzicht kenmerken Case 1

Vervoerswijze	Brandstof	Bezetting	Bijzonderheden	Wegtype	Afstand	CO ₂ TTW (g/km)	CO ₂ WTT (g/km)	Corr factor
E-fiets	Elektrisch	Gemiddeld			8,5	0	6	
Bromfiets	Benzine	Gemiddeld		Stad	6,5	41	8	
	Benzine	Gemiddeld		Buiten	2,0	40	8	
Tram	Elektrisch	Daggemiddeld			7,5	0	76	
Bus	CNG	Daggemiddeld		Stad	8,6	120	27	
	CNG	Daggemiddeld		Buiten	2	102	22	
Stoptrein	Elektrisch	Daggemiddeld			8,5	0	52	
IC-trein	Elektrisch	Daggemiddeld			8,5	0	31	
Auto	Gemiddeld	Zakelijk	Spits	Stad	8,1	176	37	1,35
	Gemiddeld	Zakelijk	Spits	Snelweg	3,8	124	27	1,35
	Diesel	Zakelijk	Spits, 2013	Stad	8,1	161	38	1,16
	Diesel	Zakelijk	Spits, 2013	Snelweg	3,8	121	29	1,16
	Diesel	Zakelijk	Spits, 2010	Stad	8,1	161	38	1,30
	Diesel	Zakelijk	Spits, 2010	Snelweg	3,8	121	29	1,30
	Benzine	Zakelijk	Spits, 2013	Stad	8,1	180	37	1,32
	Benzine	Zakelijk	Spits, 2013	Snelweg	3,8	126	26	1,32
	Benzine	Zakelijk	Spits, 2010	Stad	8,1	180	37	1,38
	Benzine	Zakelijk	Spits, 2010	Snelweg	3,8	126	26	1,38

De formule 'Emissie = Afstand_{wegtype} x Emissiekental x correctiefactoren' is toegepast voor CO₂:

- TTW CO₂ = afstand_{wegtype} x TTW CO₂ (g/km) x correctiefactor_{TTW}
- WTT CO₂ = afstand_{wegtype} x WTT CO₂ (g/km) x correctiefactor_{WTT}

Voor elke vervoerswijze is eerst de standaard emissiefactor opgezocht, in dit geval voor CO₂ TTW (g/km) en CO₂ WTT (g/km). Voor wegverkeer is deze emissiefactor vaak afhankelijk van het wegtype, hierboven zijn deze in aparte rijen opgenomen.

Vervolgens is de afstand bepaald (per wegtype) waarover de verplaatsing plaatsvindt. De correctiefactor tenslotte hangt af van de bijzonderheden van de verplaatsing en de bezetting. Deze factoren zijn opgenomen in Paragraaf 3.3.

De berekende emissies zijn weergegeven in Tabel 70.

Tabel 70 Emissies CO₂ (g) Case 1

Vervoerswijze	Brandstof	Bezetting	Bijzonderheden	CO ₂ TTW	CO ₂ WTT	CO ₂ WTW
E-fiets	Elektrisch	Gemiddeld		0	51	51
Bromfiets	Benzine	Gemiddeld		344	65	409
Tram	Elektrisch	Daggemiddeld		0	565	565
Bus	CNG	Daggemiddeld		1.236	273	1.509
Stoptrein	Elektrisch	Daggemiddeld		0	439	439
IC-trein	Elektrisch	Daggemiddeld		0	261	261
Auto	Gemiddeld	Zakelijk	Spits	2.561	543	3.104
	Diesel	Zakelijk	Spits, bouwjaar 2013	2.049	489	2.538
	Diesel	Zakelijk	Spits, bouwjaar 2010	2.287	546	2.833
	Benzine	Zakelijk	Spits, bouwjaar 2013	2.567	530	3.097
	Benzine	Zakelijk	Spits, bouwjaar 2010	2.672	551	3.224

