



De prijs van een reis

Editie 2022



Committed to the Environment

De prijs van een reis

Editie 2022

Dit rapport is geschreven door: Arno Schroten, Louis Leestemaker en Peter Scholten

Speciale dank aan het KiM, SWOV en W2Economics voor het reviewen van het rapport.

Delft, CE Delft, mei 2022

Publicatienummer: 22.200185.073

Verkeer / Vervoer / Infrastructuur / Vervoersmiddelen / Mobiliteit / Scenario's / Toekomst / Economische factoren / Kosten / Baten / Maatschappelijke factoren / Veiligheid / Emissies / Geluid / Gezondheid / Analyse

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving

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

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

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, ngo's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Begrippenlijst	6
	Samenvatting	8
1	Inleiding	12
	1.1 Achtergrond	12
	1.2 Aanleiding	12
	1.3 Doel van de studie	13
	1.4 Afbakening	14
	1.5 Leeswijzer	16
2	Methodologisch raamwerk	17
	2.1 Inleiding	17
	2.2 Definities van externe en infrastructuurkosten	17
	2.3 Uitgangspunten	18
	2.4 Algemene methodiek voor het bepalen van externe en infrastructuurkosten	19
3	Infrastructuurkosten	22
	3.1 Inleiding	22
	3.2 Definitie van infrastructuurkosten	22
	3.3 Algemene beschrijving methodiek	24
	3.4 Wegvervoer	26
	3.5 Spoorvervoer	32
	3.6 Binnenvaart	35
	3.7 Zeevaart	38
	3.8 Luchtvaart	40
	3.9 Resultaten	41
	3.10 Robuustheid resultaten	46
4	Kosten van verkeersongevallen	47
	4.1 Inleiding	47
	4.2 Definitie van kosten	47
	4.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	50
	4.4 Waarderingskentallen	52
	4.5 Resultaten	54
	4.6 Robuustheid resultaten	57
5	Kosten van broeikasgasemissies	59
	5.1 Inleiding	59
	5.2 Definitie van kosten	59
	5.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	61
	5.4 Waarderingskentallen	63
	5.5 Resultaten	65
	5.6 Robuustheid resultaten	69



6	Kosten van luchtvervuilende emissies	70
	6.1 Inleiding	70
	6.2 Definitie van kosten	70
	6.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	72
	6.4 Waarderingskentallen	73
	6.5 Resultaten	76
	6.6 Robuustheid resultaten	80
7	Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie	81
	7.1 Inleiding	81
	7.2 Definitie van kosten	81
	7.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	82
	7.4 Waarderingskentallen	83
	7.5 Resultaten	84
	7.6 Robuustheid resultaten	87
8	Kosten van geluid	88
	8.1 Inleiding	88
	8.2 Definitie van kosten	88
	8.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	89
	8.4 Waarderingskentallen	91
	8.5 Resultaten	93
	8.6 Robuustheid resultaten	96
9	Kosten van congestie	97
	9.1 Inleiding	97
	9.2 Definitie van kosten	97
	9.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten	101
	9.4 Waarderingskentallen	106
	9.5 Resultaten	106
	9.6 Robuustheid resultaten	110
10	Gezondheidsbaten van fietsen	111
	10.1 Inleiding	111
	10.2 Definitie van externe gezondheidsbaten van fietsen	111
	10.3 Methodiek voor bepalen van gezondheidsbaten	112
	10.4 Waarderingskentallen	113
	10.5 Resultaten	114
	10.6 Robuustheid resultaten	115
11	Synthese	116
	11.1 Inleiding	116
	11.2 Overzicht infrastructuurkosten en externe kosten en baten	116
	11.3 Gedetailleerde resultaten voor totale en gemiddelde kosten	119
	11.4 Marginale situaties	129
	Referenties	131



A	Verkeersgegevens	141
	A.1 Verkeersprestaties	141
	A.2 Voertuig- en ritkenmerken	144
B	Uitgebreide resultaten wegverkeer	148
	B.1 Infrastructuurkosten	148
	B.2 Kosten van verkeersongevallen	151
	B.3 Kosten van broeikasgasemissies	154
	B.4 Kosten van luchtvervuilende emissies	156
	B.5 Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie	157
C	Overzicht fysieke effecten	160
	C.1 Inleiding	160
	C.2 Ongevallen	160
	C.3 Broeikasgasemissies	162
	C.4 Luchtvervuilende emissies	163
	C.5 Emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie	164
	C.6 Geluid	166
D	Alternatieve presentatievarianten gemiddelde kosten	169
	D.1 Gemiddelde kosten per voertuigkilometer	169
	D.2 Gemiddelde kosten lucht- en zeevaart per LTO en call	170
	D.3 Gemiddelde kosten per liter/kWh	172
E	Emissies van spoorvervoer	174
	E.1 Inleiding	174
	E.2 Emissieregistratie	174
	E.3 Overige bronnen	174
	E.4 Conclusies	175
F	Bepaling en waardering emissies van luchtvaart	176
	F.1 Inleiding	176
	F.2 Vluchtdata Schiphol	176
	F.3 CO ₂ -emissieberekeningen	176
	F.4 Toewijzing combi-toestellen	177
	F.5 Luchtvervuilende emissies	177
	F.6 Ophoging andere luchthavens	178
	F.7 Waardering luchtvervuilende emissies	179
G	Bepaling en waardering emissies van de zeevaart	180
	G.1 Inleiding	180
	G.2 Emissies en transportdata van zeevaart	180
	G.3 Waardering van emissies	181
H	Vergelijking met CE Delft & VU (2014)	182
	H.1 Inleiding	182
	H.2 Vervoersprestaties	182
	H.3 Infrastructuurkosten	184

H.4 Kosten van verkeersongevallen	185
H.5 Kosten van broeikasgasemissies	186
H.6 Kosten van luchtvervuilende emissies	188
H.7 Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie	190
H.8 Kosten van geluid	191
H.9 Kosten van congestie	192
H.10 Gezondheidsbaten van fietsen	193



Begrippenlijst

Afkorting/Begrip	Definitie
ATC	Air Traffic Control; luchtverkeersleiding.
B&O	Beheer en onderhoud.
CCD	Cruise-climb-descent phase; vliegtuigactiviteiten boven een hoogte van 3.000 voet.
CFK	Chloorfluorkoolstofemissies; broeikasgas.
CH ₄	Methaan; broeikasgas.
CNG	Compressed Natural Gas.
CO ₂ -eq.	Koolstofdioxide equivalenten.
CO	Koolmonoxide.
DALY	Disability Adjusted Life Years; Meeteenheid voor zwaarte van ziekte.
dwt	Deadweight-tonnage (in ton): de hoeveelheid massa die een schip kan vervoeren (lading, brandstof, ballastwater).
EBD	Environmental burden of Disease; de bijdrage van milieueffecten (geluid, emissies, etc.) aan de ziektelast.
Emissiefactor	Het begrip emissiefactor wordt in dit rapport gebruikt om de emissies per eenheid brandstof of per kilometer aan te duiden.
EU ETS	European Emissions trading scheme; Europees CO ₂ -emissiehandelssysteem.
EU-MRV	Regulation (EU) 2015/757 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport. Wetgeving voor het verplicht monitoren van CO ₂ -emissies van zeescheepvaart in de EU.
GVW	Gross Vehicle Weight; maximaal toegestane gewicht van het voertuig inclusief lading.
GWP	Global Warming Potential; klimaatimpact van verschillende stoffen uitgedrukt in termen van één ton CO ₂ .
HFO	Heavy Fuel Oil; zware dieselolie.
HSL	Hogesnelheidslijn.
HWN	Hoofdwegennet; netwerk van nagenoeg alle rijkswegen en enkele belangrijke provinciale wegen.
IMO	International Maritime Organisation.
kWh	Kilowattuur.
L _{den}	Level day, evening, night; de huidige wettelijke geluidsmaat voor verkeersgeluid. Deze maat geeft een gewogen gemiddelde geluidsniveau over de dag, waarbij er voor de avond en nacht een straffactor van 5 en 10 dB(A) geldt, waardoor geluidbelasting in de nacht en avond zwaarder meeweegt.
LNG	Liquified Natural Gas.
LPG	Liquified Petroleum Gas.
LTO	Landing-Take-Off-cyclus; vliegtuigactiviteiten die onder een hoogte van 3.000 voet plaats vinden. Dat zijn taxiën voor het vertrek, opstijgen, landen en taxiën bij aankomst.
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Score (MAIS); internationale standaard om ernst van letsel uit te drukken.
MDO	Marine Diesel Oil.
Mkba	Maatschappelijke kostenbatenanalyses.
N ₂ O	Distikstofmonoxide of lachgas; broeikasgas.
NMVOs	Niet-methaan vluchtige organische stoffen. Luchtvervuilende stoffen.
NO _x	Verzamelaam voor monostikstofoxiden (NO, NO ₂ en NO ₃). Leidt tot smogvorming en verzuring van het milieu en is schadelijk voor de luchtwegen.
PAE	Personenauto-equivalenten; ruimte die een voertuig inneemt op de weg ten opzichte van een personenauto.



Afkorting/Begrip	Definitie
PAS-regeling	Programma Aanpak Stikstof (PAS); voormalig beleidskader om stikstof emissies in Natura 2000-gebieden te verminderen.
Pax	Aantal passagiers per vlucht.
PHEV	Plug-in hybride vehicle.
PM	Fijnstof (particulate matter).
PM _{0,1}	Stofdeeltjes kleiner dan 0,1 micrometer, ook wel ultra-fijnstof (particulate matter) genoemd.
PM _{2,5}	Stofdeeltjes kleiner dan 2,5 micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM _v) als door slijtage (PM _{st}) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek).
PM ₁₀	Stofdeeltjes kleiner dan tien micrometer, ook wel fijnstof (particulate matter) genoemd. Ontstaat zowel bij verbranding (PM _v) als door slijtage (PM _{st}) (door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek).
PM _{st}	PM-emissies als gevolg van slijtage (banden, wegdek, remmen).
PM _v	PM-emissies als gevolg van verbranding van motorbrandstoffen.
rkm	Reizigerskilometer; de reizigerskilometer is een eenheid die de vervoersprestatie definieert, uitgedrukt als het transport van één reiziger over een afstand van één kilometer. Passagierskilometers zijn een synoniem voor reizigerskilometers.
RP	Revealed preference; methode waarbij de waarde voor effecten worden afgeleid uit daadwerkelijk waargenomen markteffecten.
SECA	Zwavelemissiecontrolegebied (SECA), waar de SO _x -emissies van de scheepvaart zijn gereguleerd.
SET	Small Emitters Tool; rekentool van Eurocontrol om CO ₂ -emissies van vluchten met een vliegtuig te bepalen.
SP	Stated Preference; methode waarbij mensen door middel van enquêtes of experimenten (indirect) gevraagd wordt naar hun waardering voor effecten.
SO ₂	Zwaveloxide-emissies; luchtvervuilende emissies.
RFI	Radiative forcing index; klimaateffect van niet-CO ₂ -emissies van vliegtuigen.
tkm	Tonkilometer; de tonkilometer is een eenheid die de transportprestatie definieert, uitgedrukt als het transport van één ton over een afstand van één kilometer.
vkm	Voertuigkilometer; de verplaatsing van één voertuig over één kilometer.
VOLY	Value of a Life Year Lost; waardering van een verloren levensjaar door vroegtijdige sterfte.
VOR	Value of reliability; waardering van onbetrouwbare reistijden.
VOT	Value of time; waardering voor een uur reistijdverlies.
VSL	Value of a Statistical Life; waardering van een (statistisch) mensenleven. Deze waardering wordt berekend op basis van de waardering van een individu voor een marginale verandering in het risico op zijn/haar dood
VSSI	Value of a Statistical Serious Injury; waardering van een ernstig ongeval.
WLO	Welvaart en Leefomgeving; officiële toekomstscenario's voor de fysieke ontwikkeling van Nederland, opgesteld door het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de leefomgeving. Deze scenario's worden gebruikt voor het maken en evalueren van toekomstig beleid.
WTA	Willingness-to-accept; maximaal bedrag dat mensen willen ontvangen om niet meer te kunnen beschikken over een goed of dienst of om akkoord te gaan met het ondergaan van een bepaald nadeel (bijv. schade of hinder).
WTP	Willingness-to-pay; maximum bedrag dat mensen bereid zijn te betalen om te kunnen beschikken over een goed of dienst of om een nadeel (bijv. schade of hinder) te vermijden.
WTT	Well-to-tank-emissies (weg en spoor) of well-to-wake-emissies (binnen, scheep- en luchtvaart); emissies die vrijkomen tijdens winning, het transport en het raffinageproces van brandstoffen of bij de productie en het transport van elektriciteit.

Samenvatting

Aanleiding en doel van de studie

Transport leidt tot baten maar veroorzaakt ook kosten. Eén gedeelte van de kosten, zoals bijvoorbeeld brandstofkosten, komt terecht bij de transportgebruiker zelf. Een ander gedeelte van de kosten komt niet terecht bij de gebruiker zelf, maar bij anderen. Deze zogeheten externe kosten zijn het onderwerp van deze studie. Naast externe kosten kijken we ook naar infrastructuurkosten, omdat deze vaak ook niet volledig door de gebruiker betaald worden.

Deze studie is een actualisatie van eerdere edities van 'De prijs van een reis' die in 2004 en 2014 zijn uitgevoerd door CE Delft en de Vrije Universiteit. Ten opzichte van de eerdere edities is de methodologie van het waarderen van externe effecten op verschillende punten verbeterd, waarbij gebruik is gemaakt van recente inzichten op dit gebied. Daarnaast hebben we, in een losstaand rapport (CE Delft, 2022), gekeken naar de verwachte ontwikkeling van infrastructuur- en externe kosten van transport richting 2050. In deze studie presenteren we totale, gemiddelde en marginale kosten van transport voor Nederland voor 2018.

Totale en gemiddelde externe en infrastructuurkosten

De totale externe en infrastructuurkosten (en baten) van de belangrijkste voertuig-categorieën zijn weergegeven in Tabel 1. Deze kosten worden voor 2018 ingeschat op ca. 60 miljard euro. Het grootste deel van deze kosten is het gevolg van wegverkeer (ca. 75%), wat o.a. te verklaren is door het grote aandeel van deze modaliteit in de totale vervoersprestaties. Het wegverkeer kent echter ook in de vorm van ongevalskosten en congestie-kosten twee belangrijke kostenposten, die aanzienlijk hoger zijn dan bij de overige vervoerswijzen. Binnen het wegverkeer zijn het personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's die de grootste bijdrage leveren aan deze kosten. Na het wegverkeer draagt de zeevaart het meeste bij aan de totale externe en infrastructuurkosten (ca. 8%), gevolgd door het spoorvervoer (7%), de luchtvaart (5%) en de binnenvaart (3%).

Wanneer we verder inzoomen op het aandeel van de verschillende kostenposten in de totale kosten, dan zien we dat bij het wegverkeer de infrastructuurkosten en de externe kosten van ongevallen en congestie de grootste bijdrage leveren. Infrastructuurkosten vormen ook de belangrijkste kostenpost bij het spoorvervoer en de binnenvaart. Bij laatstgenoemde categorie hebben ook de externe kosten van luchtvervuilende emissies een belangrijk aandeel in de totale kosten. Bij de zeevaart bestaan de kosten vooral uit de externe kosten van broeikasgas- en luchtvervuilende emissies. Ook bij de luchtvaart zijn de klimaatkosten relatief hoog, evenals de infrastructuurkosten.

De gemiddelde externe en infrastructuurkosten (en baten) van de belangrijkste voertuig-categorieën zijn weergegeven in Tabel 2 en Tabel 3. Merk op dat de gemiddelde kosten voor de verschillende vervoerswijzen vaak onderling niet (direct) vergelijkbaar zijn. Bij de gemiddelde kosten voor de auto wordt bijvoorbeeld ook rekening gehouden met de kosten die worden gemaakt in het stadsverkeer, waardoor deze kosten niet meer direct vergelijkbaar zijn met de gemiddelde kosten voor een passagiersvliegtuig.

In tegenstelling tot de vorige studie hebben we in deze editie geen onderzoek gedaan naar belastingen, heffingen en subsidies. Ook is, in vergelijking met de vorige editie, geen actualisatie uitgevoerd van de kosten van ruimtebeslag, natuur en landschap, en bodem- en watervuiling. Het gaat hierbij namelijk om relatief kleine kostenposten, waarvoor ook geen nieuwe methodieken voorhanden zijn om ze te actualiseren.

Robuustheid

De schattingen van externe- en infrastructuurkosten bevatten onzekerheden, door onzekerheden in de gehanteerde waarderingsmethodieken, de gebruikte data en de gemaakte aannames. In het rapport hebben we deze onzekerheden beschreven, maar niet gekwantificeerd (bijvoorbeeld in de vorm van bandbreedtes). De enige uitzondering hierop zijn de kosten van broeikasgasemissies, waarbij we de onzekerheid in de te hanteren CO₂-prijs hebben gekwantificeerd, door resultaten te presenteren voor drie verschillende niveaus van CO₂-prijzen. Een specifieke vermelding is op zijn plaats voor de kosten van stedelijke congestie. De inschatting van deze kosten kent een sterk verkennend karakter en de resultaten hiervoor zijn dan ook onzekerder dan voor de andere kostenposten.

Tabel 1 - Totale externe en infrastructuurkosten (en baten), uitgesplitst per post (mln. €)

Voertuigtype	Infrastructuur	Ongevallen	Broeikasgas-emissies	Luchtvervuilende stoffen	Brandstof- en elektriciteitsproductie	Geluid	Congestie		Gezondheidsbaten fietsen	Totaal
							HWN	Stad		
Personenvervoer op Nederlands grondgebied in mln. €										
Personenauto totaal	6.775	10.000	1.234	846	1.097	683	2.218	5.888	-	28.741
Motorfiets	57	314	19	25	18	134	24	50	-	640
Bromfiets	122	1.127	13	28	11	411	-	235	-	1.948
Ov-bus totaal	699	192	28	39	22	75	1,3	176	-	1.232
Touringcar	227	26	6,9	10	5,1	7	6,7	14	-	303
Fiets totaal	403	3.239	-	-	0,45	-	-	-	-2.200	1.436
Personentrein totaal	3.318	28	2,7	37	63	24	-	-	-	3.477
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied in mln. €										
Bestelauto totaal	1.124	1.649	248	479	186	116	515	768	-	5.086
Vrachtauto totaal	2.544	887	421	691	343	315	1.036	331	-	6.568
Goedertrein totaal	608	1,2	2,0	20	6,2	5,9	-	-	-	645
Binnenvaart	1.096	19	118	679	89	-	-	-	-	2.001
Internationale vervoerswijzen van/naar Nederland in mln. €										
Zeevaart	512	24	688	2.838	424	-	-	-	-	4.486
Luchtvaart personen	954	11	962	119	427	40	-	-	-	2.513
Luchtvaart goederen	100	0,65	332	35	147	5,1	-	-	-	621

Tabel 2 - Gemiddelde externe en infrastructuurkosten (en baten), uitgesplitst per post

Voertuigtype	Infrastructuur	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Brandstof- en elektriciteitsproductie	Geluid	Congestie		Gezondheidsbaten van fietsen	Totaal
							HWN	Stad		
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)										
Personenauto totaal	47	69	8,5	5,8	7,6	4,7	15	41	-	199
Motorfiets	20	109	6,8	8,6	6,3	47	8,3	17	-	223
Bromfiets	43	396	4,5	10	4,0	145	-	83	-	685
Ov-bus totaal	183	50	7,2	10	5,8	20	0,34	46	-	323
Touringcar	28	3,2	0,85	1,3	0,63	0,86	0,83	1,7	-	37
Fiets totaal	22	176	-	-	0,02	-	-	-	-120	78
Personentrein totaal	169	1,4	0,14	2,1	3,2	1,2	-	-	-	177
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 Vkm)										
Bestelauto totaal	62	91	14	26	10	6	28	42	-	279
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)										
Vrachtauto totaal	42	15	6,9	11	5,7	5,2	17	5,4	-	108
Goederentrein totaal	87	0,18	0,29	3,0	0,89	0,85	-	-	-	92
Binnenvaart	23	0,41	2,5	14	1,88	-	-	-	-	42

Tabel 3 - Gemiddelde externe en infrastructuurkosten (en baten) van internationale vervoerswijzen, uitgesplitst per post

Voertuigtype	Eenheid	Infrastructuur	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Brandstof- en elektriciteitsproductie	Geluid	Totaal
Zeevaart	€ per 1.000 tkm	0,25	0,012	0,34	1,4	0,21	-	2,2
Luchtvaart personen	€ per 1.000 rkm	8,8	0,10	8,8	1,1	3,9	0,36	23
Luchtvaart goederen	€ per 1.000 tkm	14	0,09	48	5,0	21	0,81	89

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Mobiliteit en transport heeft duidelijke baten voor de samenleving. Het maakt mensen mobiel en zorgt ervoor dat goederen op de juiste bestemming komen. Tegenover de baten van mobiliteit en transport staan ook kosten. Hierbij gaat het in de eerste plaats om interne kosten, dat wil zeggen de kosten die worden gedragen door degenen die ze veroorzaken. Het gaat dan bijvoorbeeld om brandstofkosten, kosten van aanschaf van het voertuig, onderhoudskosten, etc. Deze interne kosten worden (over het algemeen) betaald door degene die ze veroorzaakt. Daardoor worden deze kosten (tot zekere hoogte) meegenomen in de mobiliteitsbeslissingen van individuen en bedrijven.

Naast interne kosten is verkeer en vervoer ook verantwoordelijk voor externe kosten (en baten) en infrastructuurkosten. Bij externe kosten (baten) gaat het om de kosten (baten) die worden gedragen (genoten) door een andere partij dan de partijen die verantwoordelijk zijn voor het veroorzaken van deze kosten. Externe kosten worden dan ook niet meegenomen in de mobiliteitsbeslissingen van individuen en bedrijven, wat leidt tot een inefficiënte omvang/samenstelling van de mobiliteit. Voorbeelden van externe kosten zijn de kosten van luchtvervuilende emissies die worden uitgestoten door het verkeer en de geluidsoverlast die wordt veroorzaakt. Ook voor de infrastructuurkosten geldt dat ze vaak niet rechtstreeks betaald worden door de gebruikers; het overgrote deel van de infrastructuurkosten wordt immers gefinancierd door de overheid. Daardoor worden deze kosten (tot zekere hoogte) niet direct meegenomen in de mobiliteitsbeslissingen van individuen en bedrijven. Via belastingen en heffingen kunnen externe en infrastructuurkosten echter worden 'geïnternaliseerd', waarmee ze onderdeel worden van de beslisinformatie van transportgebruikers.

Voor interne kosten zoals brandstof en onderhoud bestaan er prijzen, omdat voor deze kosten een markt bestaat. Voor externe effecten en infrastructuurkosten ontbreken dergelijke markten en deze kosten (en baten) dienen dan ook op een indirecte, alternatieve wijze ingeschat te worden. Deze inschatting van externe kosten van verkeer en vervoer in Nederland is het onderwerp van deze studie. Daarnaast kijken we ook naar de kosten van infrastructuur.

In deze studie doen we geen onderzoek naar de hoogte en structuur van transportbelastingen en heffingen in Nederland. We kunnen daarom geen uitspraken doen over de mate waarin deze kosten worden geïnternaliseerd. Ook doen we geen onderzoek naar de specifieke groepen waar de externe kosten terechtkomen. Zogeheten verdelingseffecten zijn dus geen onderdeel van deze studie.

1.2 Aanleiding

In Nederland is al vaker onderzoek gedaan naar de externe en infrastructuurkosten van verkeer en vervoer. In 2004 en 2014 zijn eerdere edities van 'De Prijs van een Reis' uitgebracht door CE Delft samen met VU Amsterdam (2004a) (2014a). In beide studies worden de externe en infrastructuurkosten van het personen- en goederenvervoer (weg, spoor, binnenvaart, zeevaart en luchtvaart) in Nederland in kaart gebracht. Daarnaast wordt in die studies ook inzicht geboden in de belastingopbrengsten van het vervoer in Nederland,

alsmede in de verstrekte subsidies. De resultaten van deze studie zijn in vele beleids-trajecten gebruikt. Daarnaast worden de resultaten van deze studie ook vaak toegepast in maatschappelijke kostenbatenanalyses (mkba's) van infrastructurele en verkeersgerelateerde projecten.

Zoals hierboven aangegeven is de laatste versie van 'De Prijs van een Reis' afkomstig uit 2014. Deze studie is inmiddels toe aan een actualisatie. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- De kennis op het gebied van het waarderen van externe effecten van verkeer heeft zich sinds 2014 verder ontwikkeld. Dit leidt in sommige gevallen tot andere aanbevolen waarderingkentallen of -methodieken dan toegepast in de studie uit 2014.
- De verkeers- en voertuiggegevens die worden gehanteerd in de studie uit 2014 zijn op sommige punten achterhaald. Zo is bijvoorbeeld de gemiddelde geluidsoverlast (per voertuigkilometer) de afgelopen jaren sterk gedaald. Ook zijn vooral wegvoertuigen, onder druk van Europese regelgeving, aanzienlijk schoner geworden.

Het Planbureau van de Leefomgeving (PBL) heeft CE Delft gevraagd om een update van 'De Prijs van een Reis' uit te voeren. Voor deze studie ligt daarbij de focus op de infrastructuurkosten en externe kosten en baten voor transport. Belastingen, heffingen en subsidies voor transport zijn, zoals hierboven aangegeven, in deze studie buiten beschouwing gelaten.

1.3 Doel van de studie

Het doel van deze studie is om een onafhankelijk, wetenschappelijk onderbouwd en actueel overzicht te bieden van de externe en infrastructuurkosten van de verschillende modaliteiten in Nederland in 2018. Het vertalen van de schattingen van de externe en infrastructuurkosten in beleidsaanbevelingen valt buiten het kader van deze studie.

De resultaten van het onderzoek kunnen voor verschillende doeleinden worden ingezet, waaronder voor het gebruik in mkba's. Deze toepassing van de resultaten wordt nader toegelicht in Tekstbox 1.

Tekstbox 1 - Gebruik resultaten in mkba's

De resultaten zoals gepresenteerd in deze studie kunnen gebruikt worden als kentallen bij het opstellen van maatschappelijke kostenbatenanalyses (mkba's). Kostenkentallen kunnen in een mkba op een verfijnde en grovere wijze worden toegepast.

Verfijnde methode

Bij de verfijnde methode worden in de mkba de fysieke effecten van een ingreep (bijvoorbeeld verandering in emissies, verandering in aantal dodelijke slachtoffers bij verkeersongevallen, aantal geluidgehinderden) bepaald, die vervolgens gewaardeerd worden met een schaduwprijs uitgedrukt in € per fysiek effect.

Voor emissies gaat het dan bijvoorbeeld om €/kg NO_x en bij verkeersslachtoffers om €/dodelijk slachtoffer.

De schaduwrijzen zoals die in dit rapport worden gepresenteerd en gehanteerd zijn ook zeer geschikt om op deze wijze in mkba's gebruikt te worden.

Grovere methodiek

Vaak wordt in kentallen-mkba's de stap van het bepalen van de fysieke effecten overgeslagen. In plaats daarvan worden de veranderingen in emissies, verkeersveiligheid, etc. gewaardeerd op basis van kentallen in €/voertuigkilometer, €/reizigerskilometer of €/tonkilometer. Ook in uitgebreide mkba's wordt deze werkwijze vaak toegepast wanneer de betreffende effecten niet het hoofdeffect van een maatregel vormen, maar een

neveneffect. Voor deze toepassing van kentallen in mkba's zijn de resultaten van deze studie (uitgedrukt in €/voertuigkilometer, €/reizigerskilometer of €/tonkilometer) zeer geschikt. Drie opmerkingen zijn hierbij echter wel op zijn plaats:

- Voor effecten op congestie en ongevallen geldt dat in een mkba altijd gerekend wordt met de totale maatschappelijke kosten, dus interne en externe kosten. In deze studie presenteren we echter alleen de externe congestie- en ongevalskosten. Voor deze kostenposten zijn de resultaten van deze studie dus niet rechtstreeks toepasbaar in een mkba.
- In deze studie presenteren we zowel gemiddelde als marginale externe kostenschattingen (zie ook Paragraaf 2.2). Welk van deze twee typen kosten gehanteerd moet worden in een mkba hangt af van het type ingreep/maatregel dat in de mkba wordt bekeken:
 - Als de maatregel leidt tot veranderingen in de bestaande verkeersstromen (en daarmee tot veranderingen in de omvang van de externe effecten), dan kan het best gebruik worden gemaakt van marginale kosten. Bij de marginale kosten gaat het immers om de kosten die ontstaan als er extra voertuigen worden toegevoegd aan een bestaande verkeersstroom. De marginale kosten kunnen soms sterk afwijken van de gemiddelde kosten; dit geldt bijvoorbeeld voor de kosten van geluid: de marginale effecten van geluid zijn aanmerkelijk lager wanneer er een auto wordt toegevoegd aan een bestaande verkeersstroom dan wanneer er een auto rijdt over een tot dan toe verlaten weg. Het gebruik van gemiddelde kosten van geluid zou in deze situatie dus tot een overschatting van de kosten van geluid leiden.
 - Als de maatregel leidt tot nieuwe verkeersstromen of tot het verdwijnen van bestaande verkeersstromen (en daarmee tot het ontstaan of verdwijnen van externe effecten) dan kan het best gebruikt worden gemaakt van gemiddelde kosten. Deze kosten geven de beste indicatie van de kosten die de nieuwe verkeersstroom veroorzaakt.
- De kostenkentallen zoals die in deze studie worden gepresenteerd zijn specifiek afgeleid voor het jaar 2018. In mkba's dienen echter vaak de effecten voor een groot aantal jaren bepaald te worden. Het verdient dan ook aanbeveling om zorgvuldig te bekijken in hoeverre de kostenkentallen uit deze studie aangepast dienen te worden om ook toegepast te kunnen worden voor effecten uit toekomstige jaren. We verwijzen in dat kader ook naar de studie 'De prijs van een Reis - Toekomstverkenning', waar (globale) inschattingen worden gegeven van de externe en infrastructuurkosten in 2030, 2040 en 2050 (CE Delft, 2022)

Deze studie is gebaseerd op de laatst beschikbare wetenschappelijke literatuur en onafhankelijke databronnen. Een groot deel van de methodologie is afkomstig uit het 'European Handbook for external costs of transport' (CE Delft, INFRAS, et al., 2019), wat is opgesteld in opdracht van de Europese Commissie. Voor dit handboek is uitgebreid onderzoek gedaan naar methodieken die het meest geschikt zijn om externe kosten te waarderen. Bovendien zijn de methodieken zoals aanbevolen in het Europese Handboek gevalideerd door verschillende experts. Daarmee biedt het Europese Handboek een goede methodologische basis voor deze studie. Waar nodig (en mogelijk) hebben we de methodiek wel verder uitgewerkt en toegespitst op de Nederlandse situatie.

1.4 Afbakening

In deze studie hebben we ons gericht op de infrastructuurkosten en externe kosten en baten van transport. In tegenstelling tot eerdere studies zijn subsidies en belastingen en heffingen geen onderdeel van de deze rapportage.

In deze studie zijn de belangrijkste vervoerswijzen over weg, spoor, water en door de lucht onderzocht, voor zowel personen- als goederenvervoer. In Tabel 4 staat een overzicht van de vervoerswijzen en de kostenposten die onderdeel van deze studie zijn. Naast totalen

voor vervoerswijzen hebben we voor wegvervoer en spoorvervoer ook gekeken naar specifieke aandrijflijnen. In Tabel 77 (zie Bijlage A.1) staat een gedetailleerd overzicht van alle voertuigtypen die onderdeel zijn van deze studie.

Tabel 4 - Beknopt overzicht van vervoerswijzen en kostenposten

	Infra-structuur	Ongevallen	Broeikas-gasemissies	Lucht-vervuilende stoffen	Brandstof- en elektriciteits-productie	Geluid	Congestie	Gezondheids-baten van fietsen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied								
Personenauto	x	x	x	x	x	x	x	-
Motorfiets	x	x	x	x	x	x	x	-
Bromfiets	x	x	x	x	x	x	x	-
Fiets	x	x	-	-	-	-	-	x
Bus/touringcar	x	x	x	x	x	x	x	-
Personentrein	x	x	x	x	x	x	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied								
Bestelauto	x	x	x	x	x	x	x	-
Vrachtauto	x	x	x	x	x	x	x	-
Goederentrein	x	x	x	x	x	x	-	-
Binnenvaart	x	x	x	x	x	-	-	-
Internationale vervoerswijzen								
Zeevaart goederen	x	x	x	x	x	-	-	-
Luchtvaart goederen	x	x	x	x	x	x	-	-

Bepaalde vervoerswijzen zijn geen onderdeel van deze studie. Het gaat dan om vervoerswijzen die minder relevant zijn en/of waarvoor databeschikbaarheid problematisch is. De bijdrage van deze vervoerswijzen in de totale externe kosten is relatief klein, terwijl de onzekerheid in de uitkomsten en/of de tijdsinvestering groot is. De vervoerswijzen die om deze redenen buiten beschouwing gelaten zijn bijvoorbeeld cruiseschepen en ferry's (personen zeevaart), trams en metro's en enkele alternatieve aandrijflijnen bij wegvoertuigen (bijvoorbeeld CNG- en LNG-voertuigen).

In vergelijking met 2014 studie zijn er minder verschillende externe kostenposten meegenomen. Ruimtebeslag, schade aan natuur en landschap en bodem- en grondwatervervuiling zijn geen onderdeel van deze studie. De bijdrage van deze externe kostenposten aan de totale kosten van transport is relatief klein en de onzekerheid in de uitkomsten is relatief groot. In samenspraak met PBL is daarom besloten om deze kostenposten buiten de huidige update te houden.

Voor andere kostenposten geldt dat er momenteel (nog) onvoldoende basis is voor een betrouwbare kwantificering en waardering van deze posten. Dit kan het gevolg zijn van een gebrek aan data, maar vaker nog is dit het gevolg van ontbrekende (breed gedragen) methodieken voor het kwantificeren en waarderen van deze effecten. Enkele kostenposten die in deze studie niet worden meegenomen zijn:

- congestiekosten en schaarstekosten bij de niet-wegmodaliteiten
- externe kosten van energievoorzieningszekerheid;
- externe kosten als gevolg van nucleaire elektriciteitsopwekking;
- externe kosten van barrièrewerking van infrastructuur;

- externe kosten door watervervuiling als gevolg van scheepvaart;
- externe kosten die zijn gerelateerd aan de productie, onderhoud en beheer van voertuigen en infrastructuur.

Nader onderzoek naar deze externe kostenposten, en dan met name naar de methodiek voor de bepaling ervan, is gewenst.

1.5 Leeswijzer

In het vervolg van dit rapport presenteren we in Hoofdstuk 2 allereerst het algemene methodologische raamwerk voor deze studie. Vervolgens worden voor de verschillende kostenposten de methodiek, aannames en resultaten gepresenteerd. Daarbij gaan we in op de volgende kostenposten (hoofdstuknummer):

- Infrastructuurkosten (Hoofdstuk 3);
- Kosten van verkeersongevallen (Hoofdstuk 4);
- Kosten van broeikasgasemissies (Hoofdstuk 5);
- Kosten van luchtvervuilende emissies (Hoofdstuk 6);
- Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie (Hoofdstuk 7);
- Kosten van geluid (Hoofdstuk 8);
- Congestiekosten (Hoofdstuk 9);
- Gezondheidsbaten van fietsen (Hoofdstuk 10).

Tot slot, presenteren we in Hoofdstuk 11 een synthese, waarbij we vooral in beeld brengen hoe de verschillende kostenposten zich verhouden tot elkaar en wat de belangrijkste verschillen m.b.t. deze kosten zijn tussen de verschillende vervoerswijzen.

In aanvulling op de hoofdstukken in het hoofdrapport, staat er in de bijlagen achtergrondinformatie over:

Tabel 5 - Onderdelen in de bijlagen

Onderwerp	Bijlage
Verkeersgegevens	Bijlage A
Uitgebreide resultaten wegverkeer	Bijlage B
Overzicht fysieke effecten	Bijlage C
Alternatieve presentatievarianten gemiddelde kosten	Bijlage D
Emissies van spoorvervoer	Bijlage E
Bepaling en waardering emissies van luchtvaart	Bijlage F
Bepaling en waardering emissies van zeevaart	Bijlage G
Vergelijking met CE Delft & VU (2014)	Bijlage H

2 Methodologisch raamwerk

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we het overkoepelende methodologische raamwerk voor deze studie. In Paragraaf 2.2 gaan we daartoe allereerst in op de definities van externe en infrastructuurkosten. Vervolgens staan we in Paragraaf 2.3 stil bij enkele belangrijke methodologische uitgangspunten. Tot slot geven we in Paragraaf 2.4 op hoofdlijnen een beschrijving van de methodiek waarmee de externe en infrastructuurkosten van verkeer in deze studie zijn bepaald. Deze algemene methodiek wordt in de volgende hoofdstukken toegepast en uitgewerkt voor de verschillende kostenposten.

2.2 Definities van externe en infrastructuurkosten

Externe kosten zijn kosten voor derden die worden veroorzaakt door een vervoerswijze, maar die zonder overheidsingrijpen niet tot uitdrukking komen in de kosten voor de gebruiker van die vervoerswijze. Deze externe kosten kunnen worden gedragen door andere verkeersdeelnemers (wat bijvoorbeeld het geval is bij congestiekosten), maar ook door actoren buiten de verkeerssector (bijvoorbeeld de overheid of de maatschappij als geheel). Dit laatste is bijvoorbeeld het geval bij de kosten van klimaatemissies, luchtvervuilende emissies of verkeersgeluid.

Infrastructuurkosten zijn alle kosten voor aanleg, vernieuwing, onderhoud en beheer van transportinfrastructuur.

Zowel voor externe als infrastructuurkosten maken we onderscheid naar drie varianten:

- *Totale kosten*, uitgedrukt in miljoenen euro's per jaar. Hierbij gaat het om de totale jaarlijkse kosten in het basisjaar 2018.
- *Gemiddelde kosten*, uitgedrukt in euro per 1.000 reizigerskilometer voor het personenvervoer en in euro per 1.000 tonkilometer voor het goederenvervoer. Deze worden berekend door de totale kosten te delen door de totale vervoersprestaties van de betreffende vervoerswijze. Voor bestelauto's is het weinig zinvol om de kosten uit te drukken in euro per reizigerskilometer (geen personenvervoer) of tonkilometer (bestelauto's zijn immers niet bedoeld om grote vrachten te vervoeren, maar juist kleine vrachten die niet efficiënt met een vrachtauto vervoerd kunnen worden). Vandaar dat we de gemiddelde kosten voor deze vervoerswijze in euro per 1.000 voertuigkilometer presenteren. Naast gemiddelde kosten in euro per 1.000 reizigers- en tonkilometer, presenteren we de gemiddelde kosten in Bijlage D ook voor enkele andere veelgebruikte presentatievarianten: euro per 1.000 voertuigkilometer, euro per LTO (enkel voor de luchtvaart) en euro per call (enkel voor de zeevaart).
- *Marginale kosten* zijn de additionele kosten van een extra vervoersbeweging. De omvang van deze kosten zijn vaak sterk afhankelijk van de kenmerken van het voertuig, de locatie en andere omstandigheden. De belangrijkste parameters waar de hoogte van de marginale kosten van afhangt verschilt per kostenpost. Zo hangen de marginale lucht-kwaliteitskosten bijvoorbeeld af van het type brandstof, het type voertuig en de locatie, terwijl de marginale ongevalskosten afhangen van factoren zoals het rijgedrag van de bestuurder en de verkeerssituatie. Om de variatie in de marginale kosten weer te

geven presenteren we ze voor verschillende cases, die per kostensoort zijn gedifferentieerd naar de belangrijkste 'cost drivers'. Daarbij worden de marginale kosten, evenals de gemiddelde kosten, uitgedrukt in euro per 1.000 reizigerskilometer voor het personenvervoer, in euro per 1.000 tonkilometer voor het goederenvervoer en in euro per 1.000 voertuigkilometer voor de bestelauto.

2.3 Uitgangspunten

2.3.1 Geografische afbakening

Het algemene uitgangspunt voor deze studie is dat we de kosten van vervoer op Nederlands grondgebied in kaart brengen, inclusief alle vervoersmiddelen die in het buitenland staan geregistreerd. Dit betekent ook dat we de schadelijke effecten van emissies die op Nederlands grondgebied worden uitgestoten, maar die over de grens waaien en daar effecten veroorzaken meenemen¹. De effecten op inwoners uit andere landen zijn daarbij gewaardeerd tegen dezelfde waarde als voor de inwoners van Nederland².

Voor de internationale vervoerswijzen zeevaart en luchtvaart is de afbakening zoals hierboven beschreven niet altijd mogelijk, omdat een groot deel van het vervoer via deze vervoerswijzen dan aan geen enkel land zou worden toegedeeld. Internationaal vervoer via de lucht- en zeevaart vindt namelijk vaak plaats in niet-territoriale gebieden (luchtruim/wateren) en bij toepassing van de bovenstaande methodiek zouden de externe kosten die verbonden zijn aan de vervoersbewegingen in die gebieden aan geen enkel land worden toegewezen. Dit is met name relevant voor de externe effecten met een mondiaal karakter: de kosten van klimaatverandering, de kosten van emissies van brandstofproductie, luchtvervuilende emissies en de ongevalskosten.

Voor deze mondiale effecten van de lucht- en zeevaart wordt van al het verkeer van en naar Nederlandse (lucht)havens de helft van alle kosten van de reis toegerekend aan Nederland (de andere helft wordt toegerekend aan de vertreklocatie of bestemming van de reis)³. Deze toewijzingsmethodiek wordt vaak toegepast in studies naar externe kosten (zie bijv. CE Delft et al. (2019) en CE Delft & VU (2014a)), maar bijvoorbeeld ook in het EU ETS⁴. Bij de bepaling van de gemiddelde kosten (bijvoorbeeld in €/reizigerskilometer of €/tonkilometer) hanteren we uiteraard zowel voor de externe effecten als de kilometers de aanname dat 50% van de effecten/kilometers van reizen van en naar Nederland toegewezen dienen te worden aan Nederland.

¹ Volgens dezelfde logica worden de effecten die in Nederland optreden als gevolg van emissies die in het buitenland worden uitgestoten niet meegenomen bij de bepaling van de kosten voor Nederland.

² Deze aanpak is gebruikelijk in externe kostenstudies en wordt bijvoorbeeld ook toegepast in het Handboek Milieuprijzen 2017 (CE Delft, 2017). Deze pragmatische keuze is vooral gemaakt omdat er onvoldoende zicht is op waar de emissies die in Nederland worden uitgestoten door de verschillende vervoerswijzen precies neerslaan.

³ Deze methodiek zou nog verder uitgewerkt kunnen worden door rekening te houden met de effecten die plaatsvinden in territoriale gebieden anders dan in Nederland of het land van herkomst/bestemming. De benodigde data voor een dergelijke analyse is echter niet beschikbaar.

⁴ Feitelijk geldt in het EU ETS voor luchtvaart dat bijvoorbeeld bij intra-EU-vluchten enkel de CO₂-emissies van uitgaande vluchten worden meegenomen, wat (nagenoeg) hetzelfde is als 50% van de uitgaande en binnenkomende vluchten.

Voor de lokale externe effecten (infrastructuurkosten, geluid) van de lucht- en zeevaart hanteren we een soortgelijke methodiek als voor de overige vervoerswijzen. Dit houdt in dat we alleen de effecten die optreden op nationaal grondgebied meenemen in onze analyse. Bijvoorbeeld, voor de infrastructuurkosten worden enkel de kosten van de Nederlandse luchthaven en verkeersleiding meegenomen. Bij de bepaling van de gemiddelde kosten (bijvoorbeeld in €/reizigerskilometer of €/tonkilometer) hanteren we voor de kilometers wel de aanname dat 50% van de kilometers van reizen van en naar Nederland toegewezen dienen te worden aan Nederland. De gemiddelde infrastructuurkosten voor de passagiersluchtvaart worden dus bepaald door de kosten voor de Nederlandse luchthavens (en verkeersleiding) te delen 50% van de reizigerskilometers van alle vluchten van en naar Nederland.

2.3.2 Basisjaar

Alle resultaten in deze studie worden gepresenteerd voor het jaar 2018. Alle benodigde inputdata zijn dan ook zoveel mogelijk gebaseerd op data voor dit basisjaar. Wanneer er geen gegevens beschikbaar waren voor 2018 zijn data voor het meest recente jaar gebruikt.

De keuze voor 2018 als basisjaar betekent ook dat alle waarderingskentallen en kosten in deze studie zijn uitgedrukt in het prijsniveau voor 2018. Waar nodig zijn hiervoor de benodigde correcties uitgevoerd met behulp van de relevante inflatiecijfers van het CBS, (lopend-f) (lopend-e) Conform de aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet (Ministerie van Financiën, 2015) gaan we er voor de waarderingskentallen van gezondheidseffecten vanuit dat die, in reële termen, constant zijn door de tijd heen⁵. We voeren voor deze effecten dus geen correcties uit voor ontwikkelingen in het inkomensniveau over de tijd, zoals in vorige studies (CE Delft & VU (2004a) en CE Delft & VU (2014a)) wel werd gedaan. Voor de effecten op het klimaat, onomkeerbare effecten op natuur (incl. landbouw) en reistijdwaarderingen wordt, conform de aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet, wel gerekend met een relatieve prijsstijging over de tijd. De daarbij gehanteerde percentages worden verderop in het rapport toegelicht.

2.4 Algemene methodiek voor het bepalen van externe en infrastructuurkosten

Aangezien er voor externe effecten geen markten bestaan, zijn er ook geen marktprijzen beschikbaar waarmee de externe kosten kunnen worden bepaald. Hiervoor moeten dus alternatieve benaderingen gehanteerd worden. In deze paragraaf gaan we kort in op de methodieken die gebruikt kunnen worden voor de bepaling van de externe kosten, waarbij we expliciet stil staan bij de daarbij gehanteerde waarderingsmethoden.

Infrastructuurkosten kunnen wel bepaald worden op basis van marktprijzen en daarom wordt de methodiek voor de bepaling van deze kosten niet nader besproken in deze paragraaf. In Hoofdstuk 3 wordt deze methodiek uitgebreid toegelicht.

⁵ De onderbouwing hierbij is dat een eventuele hogere waardering van gezondheid ten gevolge van inkomen kan worden weggestreept tegenover het toegenomen aanbod van gezondheid dat beschikbaar komt door technologieverbetering.

2.4.1 Top-down- vs. bottom-up-methodiek

Voor het bepalen van de externe kosten van vervoer kan zowel een top-down- als een bottom-up-benadering gehanteerd worden. De top-down-benadering wordt in deze studie toegepast voor de infrastructuurkosten, de ongevalskosten, de geluidskosten en de congestiekosten. De kosten van luchtvervuilende en broeikasgasemissies alsmede de kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie zijn vastgesteld met behulp van een bottom-up-benadering.

Bij een top-down-benadering wordt allereerst de omvang van de externaliteiten voor een specifieke modaliteit (bijvoorbeeld wegverkeer) vastgesteld. Zo wordt bij de bepaling van de geluidskosten bijvoorbeeld eerst bepaald hoeveel mensen worden blootgesteld aan geluid van het wegverkeer, het spoorverkeer en de luchtvaart. Vervolgens worden de totale externe kosten bepaald door deze fysieke effecten te vermenigvuldigen met relevante waarderingskentallen (bijvoorbeeld uitgedrukt in € per persoon per decibel geluid). Deze totale externe kosten worden tenslotte toegedeeld aan de verschillende vervoerswijzen op basis van specifieke ‘*cost drivers*’ (in het geval van geluid bijvoorbeeld voertuigkilometers die worden gewogen voor verschillen in geluidsproductie van de voertuigcategorieën).

Bij een bottom-up-benadering worden juist eerst de externe effecten op het niveau van een individueel voertuig bepaald (bijvoorbeeld de hoeveelheid uitstoot van een specifieke stof per voertuigkilometer), op basis waarvan vervolgens totale (fysieke) effecten worden bepaald door ze te vermenigvuldigen met het aantal voertuigen of voertuigkilometers. De externe kosten worden tenslotte berekend door de fysieke effecten te vermenigvuldigen met relevante waarderingskentallen.

2.4.2 Waardering van externe kosten

Waarderingskentallen vormen een belangrijk element in de bepaling van de externe kosten, zowel bij de top-down-als de bottom-up-benadering. Er zijn verschillende methoden die toegepast kunnen worden voor de bepaling van deze waarderingskentallen. De belangrijkste zijn de schadekostenwaardering en de preventiekostenmethode.

Schadekostenmethodiek

De schadekostenmethodiek wordt door economen gezien als de beste methode voor de waardering van externe kosten (CPB & PBL, 2013). Deze methode bepaalt de waardering voor een extern effect op basis van de schadekosten die optreden als gevolg van dat effect. Daarbij worden de schadekosten bepaald op basis van de betalingsbereidheid van individuen om die schade (gedeeltelijk) te voorkomen. Deze betalingsbereidheid kan op twee verschillende manieren gemeten worden:

- *Waargenomen voorkeur* (*‘revealed preference’*); bij deze methoden wordt waargenomen marktgedrag in een bestaande markt gebruikt om iets te zeggen over de betalingsbereidheid in een ontbrekende markt. Daarvoor is het uiteraard nodig dat er een relatie bestaat tussen de waargenomen markt en de ontbrekende markt. Een veel gebruikte methodiek op basis van waargenomen voorkeuren is de hedonische prijsanalyse, waarbij bijvoorbeeld prijsverschillen op de huizenmarkt gebruikt worden om de betalingsbereidheid voor minder verkeersgeluid of verkeersemissies te bepalen. Het belangrijkste voordeel van deze categorie methoden is dat zij zijn gebaseerd op waargenomen werkelijk gedrag. Een belangrijk nadeel is echter dat deze methoden minder goede resultaten opleveren naarmate een bepaalde eigenschap minder invloed heeft op de geanalyseerde marktbeslissing (bijvoorbeeld een huis kopen) of niet goed te scheiden is van andere

eigenschappen. Ook een gebrek aan kennis van marktpartijen over de schade die veroorzaakt kan worden door een bepaalde eigenschap (bijvoorbeeld geluid) kan leiden tot minder betrouwbare schattingen van de schadekosten.

- *Beweerde voorkeuren ('stated preference')*; deze methoden gaan niet uit van werkelijk marktgedrag, maar van antwoorden op vragen over het marktgedrag dat individuen onder hypothetische omstandigheden zouden vertonen. Tot deze groep behoren de *'contingent valuation methode'*, waarbij individuen via een enquête gevraagd wordt direct een waarde toe te kennen aan een extern effect, en *'conjoint analyse'*, waarbij de betalingsbereidheid wordt afgeleid aan de hand van een keuze-experiment. De methoden op basis van beweerde voorkeuren bieden onderzoekers de mogelijkheid om te controleren voor alle factoren, waardoor de waardering die puur wordt toegekend aan het externe effect kan worden bepaald. Nadelen van deze methoden zijn dat de bepaling van de betalingsbereidheid gebaseerd is op hypothetische situaties en dat er de mogelijkheid bestaat voor respondenten om strategisch gedrag te vertonen.

In deze studie wordt voor de meeste kostenposten gebruikgemaakt van waarderingskentalen op basis van schadekosten. Uitzondering hierop zijn de externe kosten van broeikasgasemissies (en gedeeltelijk de externe kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie).

Preventiekostenmethodiek

Soms leidt toepassing van de schadekostenmethodiek niet tot betrouwbare schattingen van externe kosten. In die situatie wordt gebruikgemaakt van de preventiekostenmethodiek. In deze studie wordt gebruikgemaakt van een CO₂-prijs die op basis van die methodiek is bepaald. Preventiekosten geven de kosten weer van maatregelen die genomen moeten worden om een bepaalde beleidsdoelstelling voor een specifiek extern effect (bijvoorbeeld CO₂-reductiedoelen) te halen. Hiervoor wordt eerst een reductiekostencurve bepaald, aan de hand waarvan vervolgens de minimale kosten worden bepaald die gemaakt moeten worden om de politieke doelstelling te halen. De aanname hierbij is dat deze beleidsdoelstelling een afspiegeling vormt van de collectieve voorkeuren van de samenleving met betrekking tot dat externe effect en dat de minimale reductiekosten daarmee een goede benadering vormen van de collectieve betalingsbereidheid om die externe kosten te reduceren.



3 Infrastructuurkosten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren wij de methodiek en resultaten van de analyse naar de infrastructuurkosten van de verschillende vervoerswijzen. In Paragraaf 3.2 definiëren we allereerst de infrastructuurkosten. In Paragraaf 3.3 beschrijven we vervolgens de methodiek voor het bepalen van de infrastructuurkosten in algemene termen. In Paragraaf 3.4 t/m 3.8 wordt per vervoerswijze de gehanteerde methodiek in meer detail beschreven. Paragraaf 3.9 geeft vervolgens een samenvatting van de resultaten, waarna we in Paragraaf 3.10 tenslotte de robuustheid van deze resultaten bespreken.

3.2 Definitie van infrastructuurkosten

3.2.1 Afbakening transportinfrastructuur

In deze studie is transportinfrastructuur gedefinieerd als het fysieke en organisatorische netwerk dat de beweging tussen verschillende locaties mogelijk maakt (Lindberg, G., 1999). Onder deze definitie vallen dus niet alleen de fysieke infrastructuur zoals wegen, bruggen en kanalen, maar ook de organisatorische aspecten zoals verkeersregeling. Een korte nadere toelichting op de gehanteerde afbakening van infrastructuur is voor de verschillende vervoerswijzen weergegeven in Tekstbox 2.

Tekstbox 2 - Afbakening infrastructuur voor de verschillende vervoerswijzen

Hier volgt een toelichting op de afbakening zoals we die in deze studies hanteren voor de verschillende vervoerswijzen:

- **Wegvervoer:** de infrastructuur voor het wegverkeer bestaat enerzijds uit de fysieke infrastructuur (wegen, bruggen, viaducten, fietspaden, parkeerplaatsen, verkeerslichten, verkeersborden, etc.) en anderzijds uit meer organisatorische elementen zoals verkeersmanagement en verkeerspolitie.
- **Spoorvervoer:** de infrastructuur voor treinverkeer bestaat enerzijds uit fysieke infrastructuur (de onder- en bovenbouw, platforms, spoorwegovergangen, toegangswegen) en anderzijds uit organisatorische elementen (zoals installaties voor veiligheid en communicatie). Spoorwegstations (m.u.v. de perrons) maken in deze studie geen onderdeel uit van de spoorweginfrastructuur, aangezien het hierbij grotendeels om commerciële ruimtes gaat (bijv. voor winkels, restaurants), waarvoor in de vorm van huren reeds een marktprijs bestaat. De kosten van deze infrastructuur zijn dus reeds geïnternaliseerd.
- **Binnenvaart:** de infrastructuur voor de binnenvaart bestaat uit de vaarwegen (rivieren, kanalen), binnenhavens (kades, steigers), sluisen, verkeersborden en verkeersmanagement elementen. Bij een deel van de binnenvaartinfrastructuur (de waterwegen) geldt dat die een gedeelde functie hebben: naast dat ze plek bieden aan de binnenvaart spelen ze ook een rol in de waterhuishouding en voor de natuur. Deze functie van de waterwegen blijft in deze studie buiten beschouwing en daarmee ook de daarmee gepaard gaande kosten (bijvoorbeeld de kosten voor onderhoud aan de waterkant voor natuurdoeleinden).
- **Zeevaart:** voor de zeevaart kijken we in dit hoofdstuk enkel naar de nautische infrastructuur. Daaronder vallen onder anderen de kades, aanlegsteigers, kanalen, etc. Voor de landzijdige infrastructuur veronderstellen we, evenals in CE Delft en VU (2014b), dat die wordt verhuurd aan marktpartijen, waarmee de kosten



daarvan reeds zijn geïnternaliseerd. Naast de fysieke infrastructuur nemen we ook bij de zeevaart de organisatorische aspecten mee, zoals verkeersmanagement, douane en loodsen.

- **Luchtvaart:** in deze studie nemen we voor de luchtvaart enkel de aan de luchtvaartactiviteiten (dat wil zeggen opstijgen, landen en parkeren van vliegtuigen, passagiers- en bagage-afhandeling en beveiliging van passagiers en bagage (security)) gerelateerde infrastructuur mee. Dan gaat het dus bijvoorbeeld om de start- en landingsbanen, de terminals, de check-in balies, de douane-faciliteiten, etc. De landzijdige infrastructuur (winkels, kantoren, etc.) nemen we niet mee, aangezien de daarmee gepaard gaande kosten reeds zijn geïnternaliseerd in de vorm van huren. Ook worden de kosten van luchtverkeersleiding meegenomen. Daarbij nemen we alleen de kosten mee van de diensten van de luchtverkeersleiding die gerelateerd zijn aan de vluchten naar en vanaf Nederlandse luchthavens (dat wil zeggen dat de kosten van diensten die worden geleverd aan passerende vliegtuigen niet worden meegenomen).

3.2.2 Infrastructuurkosten

Infrastructuurkosten kunnen worden gedefinieerd als de directe uitgaven aan infrastructuur plus de financieringskosten of, gezien vanuit een ander gezichtspunt, de opportuniteitskosten van andere winstgevende bestedingen van het kapitaal (Fraunhofer ISI & CE Delft, 2008)⁶. Uitgaven aan infrastructuur vinden onregelmatig plaats en zowel de investeringen als grootschalige onderhoudsuitgaven worden over een langere tijdsduur afgeschreven. Voor deze studie verdient het gebruik van infrastructuurkosten daarom de voorkeur, aangezien die een beter inzicht geven in de feitelijke kostenstructuur.

In dit onderzoek onderscheiden wij vier soorten infrastructuurkosten:

- **Aanlegkosten:** alle kosten met betrekking tot de aanleg van nieuwe infrastructuur die leiden tot een verhoging van de functionaliteit van het bestaande infrastructuurnetwerk voor gebruikers.
- **Vernieuwingskosten:** alle kosten met betrekking tot vernieuwing van de infrastructuur, om zodoende de kwaliteit van de infrastructuur te handhaven op het niveau van de vorige oplevering. De vernieuwde delen van de infrastructuur hebben een technische levensduur die langer is dan 1-2 jaar.
- **Onderhoudskosten:** alle niet-vernieuwingskosten die bedoeld zijn om de kwaliteit van de infrastructuur te handhaven op het niveau van de vorige oplevering. Het gaat hierbij voornamelijk om kleinschalig onderhoud met een technische levensduur van minder dan 1-2 jaar.
- **Beheerkosten:** de kosten van de diensten die moeten worden geleverd om een efficiënt gebruik van de infrastructuur mogelijk te maken (o.a. politie, verkeersmanagement, etc.).

⁶ Financieringskosten treden, in de vorm van rentebetalingen, op wanneer er een lening wordt afgesloten voor de uitgaven aan infrastructuur. Wanneer de infrastructuur echter wordt gefinancierd vanuit de lopende inkomsten (kasstelsel), dan is er sprake van opportuniteitskosten; de inkomsten hadden immers ook voor een ander doel kunnen worden ingezet, waarmee een bepaald rendement zou zijn gehaald. Dit misgelopen rendement dient gezien te worden als kosten van de keuze om het geld te investeren in infrastructuur. Financieringskosten en opportuniteitskosten vormen dus feitelijk twee verschillende kanten van dezelfde medaille.



Bij de vernieuwings-, onderhouds-, en beheerkosten kan zowel worden uitgegaan van de daadwerkelijke uitgaven als van de normkostenmethodiek. Bij de laatstgenoemde aanpak worden de kosten gebaseerd op de (jaarlijkse) uitgaven die nodig zijn om de huidige infrastructuur bij de gegeven omstandigheden in fysiek en functioneel opzicht op de langere termijn in stand te houden (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b). Aangezien de daadwerkelijke uitgaven niet altijd voldoende zijn om de infrastructuur in goede staat te houden, bijvoorbeeld door achterstallig onderhoud, verdient het een aanbeveling om van de normkostenmethodiek uit te gaan (mits beschikbaar).

In deze studie wordt ook een onderscheid gemaakt naar de mate waarin de kosten worden beïnvloed door meer of minder gebruik van de infrastructuur. Dit geeft een onderscheid in twee soorten kosten (Ecorys & CE Delft, 2006):

1. **Variabele kosten:** dit zijn de kosten die afhankelijk zijn van het gebruik van de infrastructuur, terwijl tegelijkertijd de functionaliteit van de infrastructuur niet verandert. Een deel van de vernieuwings- en onderhoudskosten behoren tot deze categorie.
2. **Vaste kosten:** dit zijn de kosten die niet afhankelijk zijn van het gebruik van de infrastructuur of om kosten die de functionaliteit of levensduur van de infrastructuur verlengen. Aanlegkosten en beheerkosten zijn over het algemeen vast, terwijl ook een deel van de onderhouds- en vernieuwingskosten als vaste kosten gecategoriseerd kunnen worden.

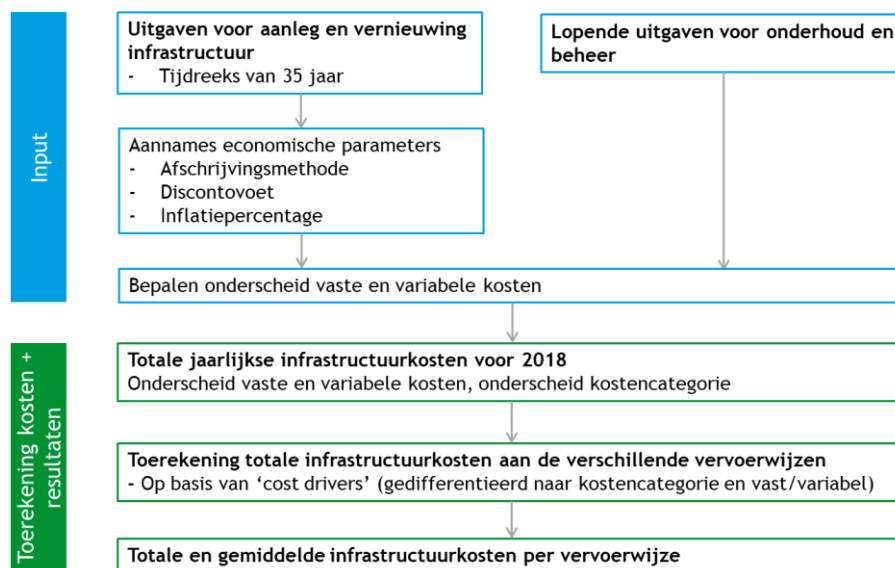
3.3 Algemene beschrijving methodiek

In deze paragraaf wordt de algemene methodiek voor het bepalen van de infrastructuurkosten toegelicht. We doen dit allereerst voor de totale en gemiddelde kosten en vervolgens voor de marginale kosten.

3.3.1 Methodiek bepalen totale/gemiddelde kosten

Voor de bepaling van de totale/gemiddelde infrastructuurkosten per voertuigcategorie hanteren wij een top-down-benadering, zoals weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1 - Algemene methodiek voor de bepaling van de totale en gemiddelde infrastructuurkosten



Deze benadering voor de bepaling van de totale/gemiddelde infrastructuurkosten bestaat uit de volgende twee stappen:

1. Bepalen van de totale jaarlijkse infrastructuurkosten

De totale jaarlijkse infrastructuurkosten in 2018 worden, net als in voorgaande studies als CE Delft en VU Amsterdam (2004a), CE Delft en VU (2014b) en CE Delft et al. (2019), bepaald met behulp van de *'Perpetual Inventory Method'* (PIM)⁷. In deze methodiek wordt onderscheid gemaakt tussen kosten van infrastructuuraanpassingen met een lange levensduur (aanleg en vernieuwing) en kosten van infrastructuuraanpassingen met een korte levensduur (onderhoud en beheer). Voor de bepaling van de aanleg- en vernieuwingskosten worden in de PIM-methodiek op basis van de historische uitgaven de jaarlijkse afschrijvingen berekend. Deze uitgaven worden vervolgens aangevuld met de bijbehorende financieringskosten, om op die manier de totale jaarlijkse aanleg- en vernieuwingskosten te bepalen. De onderhouds- en beheerkosten worden daarentegen gebaseerd op de lopende uitgaven of, indien beschikbaar, op kosten die zijn bepaald volgens de normkostenmethodiek.

Voor het bepalen van de afschrijvings- en financieringskosten zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- **Afschrijvingsmethodiek:** verschillende afschrijvingsmethoden kunnen worden gebruikt voor het bepalen van de aanleg- en vernieuwingskosten. In deze studie hanteren we, evenals in CE Delft en VU (2014b), een annuïteiten afschrijvingsmethodiek⁸. Hierbij worden de afschrijvingen zodanig bepaald dat de jaarlijkse kosten (afschrijvingen + financieringskosten) constant zijn.
- **Afschrijvingstermijn:** de afschrijvingstermijn is afhankelijk van de levensduur van de infrastructuur. Idealiter wordt de afschrijvingstermijn gedifferentieerd naar het type infrastructuur. Echter, de beschikbare data is in de meeste gevallen te beperkt om verschillende afschrijvingstermijnen te hanteren voor verschillende typen infrastructuur. Daarom rekenen we evenals in CE Delft en VU (2014b) met een gemiddelde afschrijvingstermijn van 35 jaar⁹.
- **Inflatie:** de nominale historische kosten worden gecorrigeerd voor inflatie. Daarbij maken we, waar mogelijk, gebruik van specifieke prijsindexcijfers voor de weg- en waterbouw.

⁷ Een alternatieve methode voor de bepaling van de infrastructuurkosten is de zogenaamde synthetische methode, waarbij de (toekomstige) vervangingsinvesteringen voor de bestaande infrastructuur worden geschat (voor meer informatie over deze methodiek, zie Fraunhofer-ISI & CE Delft (2008)). De PIM-benadering verdient de voorkeur indien de huidige waarde bepaald moet worden van historische uitgaven. Vandaar dat we in deze studie de PIM-benadering toepassen.

⁸ Een alternatieve, veel gebruikte, afschrijvingsmethodiek is de lineaire afschrijving, waarbij de afschrijvingskosten door de tijd heen constant zijn (waardoor de totale kosten door de tijd heen afnemen). In CE Delft (2008) zijn beide methodieken vergeleken, waarbij bleek dat de invloed van de gekozen afschrijvingsmethodiek op de uiteindelijke resultaten beperkt was.

⁹ Verschillende studies tonen aan dat 35 jaar de gemiddelde afschrijvingstermijn is voor de infrastructuur van verschillende modaliteiten. Fraunhofer-ISI & CE Delft (2008) concluderen bijvoorbeeld dat 35 jaar een goede benadering is van de gemiddelde afschrijvingstermijn van weginfrastructuur.



- **Discontovoet:** in deze studie wordt een discontovoet gehanteerd die gebaseerd is op de reële rentevoeten die gelden voor de periode waarop de infrastructuuruitgaven betrekking hebben¹⁰. Dit is in lijn met de Europese Eurovignet Richtlijn (EC, 2006)¹¹.

2. Toedelen van de kosten aan de verschillende voertuigcategorieën

Verschillende voertuigen maken gebruik van dezelfde infrastructuur, wat betekent dat een keuze moet worden gemaakt voor het toedelen van de infrastructuurkosten aan verschillende voertuigen. In deze studie is, net als in CE Delft & VU (2014b), gebruikgemaakt van de ‘equivalentie factor methode’¹². Bij deze methode wordt een aantal aan de verscheidene vervoersvormen gerelateerde ‘*cost drivers*’ vastgesteld voor elke kostencategorie, die het oorzakelijke verband tussen het gebruik van de infrastructuur door de voertuigen en de infrastructuurkosten goed weerspiegelen. Een voorbeeld van een ‘*cost driver*’ is de aslast van een wegvoertuig. Deze biedt een goede verklaring voor de bijdrage van het voertuig aan gewichtafhankelijke infrastructuurkosten. Op basis van deze ‘*cost drivers*’ worden vervolgens de infrastructuurkosten toegedeeld aan de verschillende vervoerswijzen. In de volgende paragrafen komen we hier nog uitgebreid op terug en presenteren we ook per vervoerswijze de gehanteerde ‘*cost drivers*’.

Het moet opgemerkt worden dat met name bij de vaste infrastructuurkosten de relevante ‘*cost drivers*’ niet altijd even eenduidig zijn vast te stellen, waardoor de toewijzing van deze kosten aan de verschillende voertuigcategorieën altijd enigszins arbitrair is.

3.3.2 Methodiek bepalen marginale kosten

Voor de bepaling van de marginale infrastructuurkosten zou idealiter een totale kostenfunctie opgesteld worden (waarbij rekening wordt gehouden met alle relevante ‘*cost drivers*’ van de infrastructuurkosten), waarna vervolgens marginale kosten berekend worden als de partiële afgeleide van deze functie. Omdat de benodigde data hiervoor niet beschikbaar zijn, worden de (gemiddelde) variabele infrastructuurkosten meestal gebruikt als benadering van de marginale infrastructuurkosten. Evenals in CE Delft & VU (2014b) hanteren we deze aanpak in deze studie.

3.4 Wegvervoer

In deze paragraaf presenteren we de methodiek voor de bepaling van de infrastructuurkosten voor het wegvervoer. Daartoe geven we allereerst een nadere toelichting op de wijze waarop de totale infrastructuurkosten zijn berekend. Vervolgens gaan we in op de gehanteerde toedelingsmethodiek van de totale kosten aan de verschillende vervoerswijzen.

¹⁰ Concreet betekent dit dat we voor de verschillende perioden uitgaan van de dan geldende risicovrije reële rentevoeten. Voor de periode 1984-1986 was die gelijk aan 10%, voor de periode 1987-1995 aan 5%, voor de periode 1996-2006 aan 4%, voor de periode 2007-2015 aan 2,5% en voor de periode 2016-2018 aan 0%.

¹¹ In eerdere studies (onder anderen CE Delft & VU (2014b) en CE Delft (2008)) wordt vaak (ook) gerekend met een constante discontovoet van 4%. Hier wijken we in deze studie dus vanaf. Overigens is de gewogen gemiddelde discontovoet over de gehele afschrijvingsperiode wel ongeveer gelijk aan 4%.

¹² Volgens Fraunhofer-ISI & CE Delft (2008) zijn er drie methodieken voor het toedelen van infrastructuurkosten: 1) de equivalentie factor methode, 2) een econometrische benadering, waarbij de toedeling van kosten wordt gebaseerd op de regressiecoëfficiënten die volgen uit een econometrische analyse, en 3) een spel theoretische benadering. De laatste twee methoden worden in de praktijk weinig toegepast, voornamelijk vanwege het bewerkelijke karakter van deze methoden.



3.4.1 Bepaling totale infrastructuurkosten wegvervoer

Bij de bepaling van de totale infrastructuurkosten kan onderscheid worden gemaakt tussen de vier eerder gedefinieerde soorten kosten (aanleg, vernieuwing, onderhoud en beheer). Daarnaast worden de kosten van parkeren afzonderlijk ingeschat.

Aanleg

Voor de bepaling van de (jaarlijkse) aanlegkosten in 2018 is gebruikgemaakt van een historische reeks (van 35 jaar) van uitgaven aan infrastructuraanleg. Voor de rijkswegen zijn de uitgaven vanaf 2001 gebaseerd op de rijksbegrotingen¹³. Voor de uitgaven van vóór 2001 is gebruikt gemaakt van CBS-data.

Voor het onderliggend wegennet¹⁴ zijn de benodigde data afkomstig van het CBS. Hierbij is gebruikgemaakt van verschillende datasets voor gemeente- en provinciebegrotingen. Met betrekking tot de aanlegkosten van het onderliggend wegennet hebben we twee correcties uitgevoerd:

1. In lijn met CE Delft & VU (2014b) veronderstellen we dat 70% van de aanlegkosten binnen de bebouwde kom verkeersgerelateerd is. De overige 30% van de aanlegkosten heeft betrekking op de aanleg van pleinen, trottoirs, etc.¹⁵
2. Er is gecorrigeerd voor de uitgaven aan specifieke fietsinfrastructuur. Op basis van CE Delft & VU (2014b) is aangenomen dat binnen de bebouwde kom circa 16% van de aanlegkosten toe te rekenen zijn aan fietsinfrastructuur¹⁶.

Tot slot, de aanlegkosten worden voor 100% vast (gebruiksonafhankelijk) verondersteld.

Vernieuwing

De vernieuwingskosten voor het hoofdwegennet hebben wij gebaseerd op de normkostenmethodiek. Hiervoor hebben wij ons gebaseerd op door Rijkswaterstaat aangeleverde gegevens.

¹³ De volgende begrotingsposten zijn daarbij meegenomen: 12.03, 12.04, 12.05, 34.01.01, 34.01.03, 34.01.04, 34.01.05, 34.01.06.

¹⁴ Hierbij gaat het om de wegen onder beheer van gemeenten, provincies, waterschappen en overige wegbeheerders. Het onderliggend wegennet buiten de bebouwde kom bestaat uit de wegen onder beheer van provincies, waterschappen en overige wegbeheerders plus 43% van de gemeentelijke wegen (CE Delft, 2008). Het onderliggend wegennet binnen de bebouwde kom betreft 57% van de gemeentelijke wegen (CE Delft, 2008). Verder zijn voor sommige jaren kosten gerelateerd aan parkeerplaatsen onderdeel van de gemeentelijke uitgaven aan infrastructuur, terwijl voor andere jaren hier een aparte post voor is. Bij de jaren waar kosten gerelateerd aan parkeren onder dezelfde post vallen zijn deze kosten van het totaal afgetrokken op basis van het gemiddelde percentage van de totale uitgaven dat aan parkeren wordt toegerekend in de jaren dat dit wel een aparte post is.

¹⁵ Deze percentages zijn gebaseerd op gedetailleerd onderzoek in Zwitserland. Voor meer informatie verwijzen we naar CE Delft & VU (2014b).

¹⁶ In CE Delft & VU (2014b) is op basis van specifieke data over de uitgaven aan fietsinfrastructuur in Nederland (Ligtermoet, D., 2010) een inschatting gemaakt van de kosten van fietsinfrastructuur. Aangezien er geen recentere data beschikbaar zijn over deze uitgaven, nemen we in deze studie aan dat het aandeel van deze kosten in de totale kosten van de weginfrastructuur gelijk zijn gebleven.



Voor het onderliggend wegennet zijn geen normkosten bekend. Daarom is er gebruikgemaakt van de daadwerkelijke gerealiseerde uitgaven van gemeenten en provincies zoals gerapporteerd door het CBS (CBS, 2018, lopend-d)¹⁷.

We veronderstellen, in lijn met CE Delft & VU (2014b), dat 52% van de gerapporteerde B&O-uitgaven betrekking hebben op vernieuwingsuitgaven. Verder is op basis van CE Delft en VU (2014b) aangenomen dat bij stadswegen circa 2,5% en bij provinciale wegen circa 3% van de vernieuwingskosten betrekking hebben op fietsinfrastructuur.

Zowel voor het rijkswegennet als het onderliggend wegennet wordt, op basis van Rijkswaterstaat (2007) en Rijkswaterstaat (2008), verondersteld dat 60% van de vernieuwingskosten variabel (gebruiksafhankelijk) en 40% vast (gebruiksonafhankelijk) is¹⁸. Dezelfde verdeling naar vast en variabel is aangehouden voor de fietsinfrastructuur.

Onderhoud

Voor het bepalen van de onderhoudskosten zijn we voor de rijkswegen uitgegaan van de normkostenmethodiek. Daarbij hebben we gebruikgemaakt van de inschattingen van de normkosten door RWS, (2020)¹⁹. Dit document bevat echter niet het vereiste detailniveau om de totale gerapporteerde kosten op te delen naar enerzijds onderhoudskosten en anderzijds beheerkosten. Dit onderscheid is daarom gemaakt op basis van eerdere normkostenstudies (RWS, 2007, 2008). Uit deze analyse volgt dat 38% van de kosten onderhoudskosten en 62% van de kosten beheerkosten betreft.

Voor het onderliggend wegennet zijn er geen normkosten bekend. Om deze reden is uitgegaan van daadwerkelijke kosten aan onderhoud, zoals gerapporteerd door het CBS (CBS, 2020a)²⁰. Op basis van CE Delft & VU (2014b) is daarbij aangenomen dat bij stadswegen circa 6,5% en bij provinciale wegen circa 9% van de onderhoudskosten specifiek betrekking hebben op fietsinfrastructuur. Aangezien deze data geen onderscheid maakt in kosten voor onderhoud en beheer, is aangenomen dat het aandeel onderhoudsuitgaven gelijk is aan het rijkswegennet.

Zowel voor het rijkswegennet als het onderliggend wegennet wordt, op basis van RWS, (2020), verondersteld dat 29% variabel (gebruiksafhankelijk) en 71% vast (gebruiksonafhankelijk) is. Dezelfde verdeling naar vast en variabel is aangehouden voor de fietsinfrastructuur.

¹⁷ Voor statistiekjaren die ouder zijn dan in deze bronnen beschikbaar hebben wij vergelijkbare tabellen uit het CBS StatLine archief gebruikt.

¹⁸ Op basis van nieuw aangeleverde informatie vanuit Rijkswaterstaat was het niet mogelijk om deze aannames te actualiseren.

¹⁹ Wij hebben aangenomen dat deze normkosten voor 2019 representatief zijn voor het basisjaar 2018.

²⁰ Voor gemeenten is hiervoor gebruikgemaakt van de kostenpost 'verkeer en parkeren' van de Gemeentebegrotingen; Baten en lasten naar regio en grootteklasse.' De kosten voor parkeren zijn hiervan afgetrokken op basis van het gemiddelde percentage van deze kostenpost aan parkeren op basis van voorgaande jaren. Voor provincies zijn de kosten gebaseerd op de kostenpost 'gerealiseerde uitgaven aan provinciale wegen' van de provincierekeningen.

Beheer

Voor het bepalen van de beheerkosten wordt voor het rijkswegennet uitgegaan van de normkosten (62% van de gerapporteerde onderhoudskosten hebben betrekking op beheer). Voor het onderliggend wegennet hebben we de beheerkosten, volgens dezelfde aanpak als de onderhoudskosten, bepaald op basis van CBS statistieken (CBS, 2020a). Daarbij is op basis van CE Delft & VU (2014b) aangenomen dat voor stadswegen circa 5% en voor provinciale wegen circa 7% van de kosten specifiek betrekking heeft op fietsinfrastructuur.

Tot slot, de beheerkosten worden voor 100% vast (gebruiksonafhankelijk) verondersteld.

Kosten van parkeerplaatsen

De kosten van parkeerplaatsen zijn afzonderlijk ingeschat, omdat deze kosten op een andere manier worden toegewezen dan de overige kostenposten (zie Paragraaf 3.4.3). Bij de kosten van parkeerplaatsen worden alleen de openbare parkeerplaatsen meegenomen; de kosten van niet-openbare parkeerplaatsen konden vanwege een gebrek aan data niet in beeld gebracht worden.

Op basis van data over het aantal parkeerplaatsen in Nederland (KiM, 2018b) en data over de kosten per parkeerplaats (CROW, 2006) zijn de aanleg-, vernieuwings-, onderhouds- en beheerkosten van parkeerplaatsen bepaald. Daarbij nemen we aan dat alle openbare parkeerplaatsen binnen de bebouwde kom zijn gelegen.

3.4.2 Overzicht totale kosten wegvervoer

Op basis van de hierboven gepresenteerde methodiek zijn de totale kosten voor de weginfrastructuur bepaald. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 - Overzicht totale infrastructuurkosten binnenvaart in mln. €

Kostencategorieën	Aanleg	Vernieuwing	O&B
Rijkswegen	2.505	710	592
Buitenwegen	1.792	1.046	522
Stadswegen	840	904	390

3.4.3 Toerekening van de infrastructuurkosten

Aanlegkosten

Voor de toerekening van de aanlegkosten aan de verschillende vervoerswijzen is dezelfde methodiek gebruikt als in CE Delft en VU (2014b). De methodiek en de daarin gemaakte aannames is gebaseerd op een uitgebreide literatuurstudie. Voor meer informatie verwijzen we naar Bijlage B in CE Delft en VU (2014b). Voor de aanlegkosten is op basis van de literatuurstudie aangenomen dat circa 11% gewichtsaafhankelijk is (om wegen geschikt te maken voor zware voertuigen zijn er bijvoorbeeld hogere uitgaven aan de wegverharding noodzakelijk). Deze kosten worden toegeedeeld op basis van de vierde macht aslasten. De overige 89% van de aanlegkosten wordt toebedeeld op basis van het capaciteitsbeslag van de voertuigen. De redenering daarachter is dat nieuwe infrastructuur wordt aangelegd

op het moment dat er een capaciteitstekort optreedt. Verkeersdeelnemers die meer ruimte in beslag nemen dienen derhalve ook een groter deel van de aanlegkosten te dragen. Om het capaciteitsbeslag van de verschillende voertuigen te kunnen vergelijken wordt gebruikgemaakt van personenauto-equivalenten (PAE's)²¹. De gehanteerde PAE's zijn weergegeven in Bijlage A.2. De bovenstaande methodiek voor de toerekening van de aanlegkosten wordt zowel toegepast voor de rijkswegen als voor het onderliggend wegennet.

Vernieuwingskosten

CE Delft & VU (2014b) vinden op basis van een review van een aantal internationale studies naar de infrastructuurkosten van wegvervoer dat ook bij de toedeling van vernieuwingskosten, evenals bij de aanlegkosten, vaak onderscheid wordt gemaakt tussen gewichtsaafhankelijke kosten en capaciteitsafhankelijke kosten. De gewichtsaafhankelijke kosten worden daarbij meestal toegeedeeld op basis van aslasten, terwijl voor de capaciteitsafhankelijke kosten toedeling op basis van PAE-kilometers of voertuigkilometers het meest voor de hand ligt. Om consistentie met CE Delft & VU (2014b) te waarborgen is er voor gekozen om de capaciteitsafhankelijke kosten toe te delen op basis van voertuigkilometers. De gewichtsaafhankelijke kosten delen we, op dezelfde wijze als bij de aanlegkosten, toe op basis van aslasten.

Op basis van de normkosten is aangenomen dat circa 78% van de vernieuwingskosten gewichtsaafhankelijk is (RWS, 2020) en deze kosten zijn op basis van de tweede en vierde macht aslasten toegeedeeld. De overige 22% wordt toegeedeeld op basis van voertuigkilometers.

Onderhoudskosten

Bij de toedeling van de onderhoudskosten maken we onderscheid naar vaste (gebruiks-onafhankelijke) en variabele (gebruiksafhankelijke) kosten. Voor de toedeling van de vaste onderhoudskosten maken we voor de rijkswegen gebruik van een gedetailleerde toedelingsmethodiek die door ProgTrans & IWW (2007) is ontwikkeld op basis van een zeer gedetailleerd onderzoek naar de aard van de vaste onderhoudskosten op Duitse snelwegen. Deze aanpak is in lijn met CE Delft & VU (2014b). Specifiek worden daarbij de volgende toewijzingsregels gehanteerd:

- 35% van de kosten worden toegeedeeld op basis van voertuigkilometers (van alle wegvoertuigen);
- 15% van de kosten wordt toegeedeeld aan vrachtauto's >12 ton;
- 50% van de kosten wordt toegeedeeld op basis van capaciteitsbeslag van alle voertuigen.

Voor de overige wegen is, evenals in CE Delft & VU (2014b), een alternatieve toewijzingsmethodiek gehanteerd²². De vaste onderhoudskosten voor deze wegen wijzen we toe op basis van capaciteitsbeslag (PAE-kilometers).

²¹ Concreet betekent dit dat voor de verschillende voertuigcategorieën de voertuigkilometers worden vermenigvuldigd met de bijbehorende PAE-factor. Op basis van de uitkomst van deze berekening wordt bepaald welk deel van de aanlegkosten dient te worden toegerekend aan het desbetreffende voertuig.

²² Aangezien vrachtauto's relatief gezien minder kilometers op deze wegen rijden ligt het minder voor de hand om een vast percentage van de vaste onderhoudskosten toe te rekenen aan deze groep voertuigen.

Op basis van de methodiek die gehanteerd werd in CE Delft en VU (2014b) en nieuwe informatie over het aandeel gewichtsafhankelijke onderhoudskosten (RWS, 2020) is onderscheid gemaakt naar twee categorieën variabele onderhoudskosten, die beiden hun eigen toedelingsmethodiek kennen:

1. 63% van de variabele onderhoudskosten is afhankelijk van de verreden kilometers en het gewicht van het voertuig (bijvoorbeeld schade aan het wegdek). Deze kosten worden toegerekend op basis van voertuigkilometers en de tweede en vierde macht aslasten.
2. 37% van de variabele onderhoudskosten is alleen afhankelijk van de verreden kilometers (bijvoorbeeld reinigen van zeer open asfalt beton). Deze kosten worden toegerekend op basis van voertuigkilometers.

Beheerkosten

In lijn met CE Delft & VU (2014b) rekenen we de beheerkosten voor 30% toe op basis van voertuigkilometers en voor 70% op basis van PAE-kilometers. Deze toedelingsmethodiek wordt toegepast voor zowel de rijkswegen als het onderliggend wegennet.

Parkeren

De kosten van parkeerplaatsen worden volledig toegewezen aan personenauto's en bestelauto's. Van vrachtauto's wordt, evenals in CE Delft en VU (2004a) aangenomen dat ze op privaat terrein parkeren. De toewijzing aan de personen- en bestelauto vindt plaats op basis van voertuigkilometers.

Overzicht toedelingsmethodiek

De methodiek waarmee de posten van de totale infrastructuurkosten worden toegewezen aan de verschillende voertuigcategorieën is samengevat in Tabel 7.

Tabel 7 - Samenvatting toedelingsmethodiek

Kostencategorie	Toedeling
Aanlegkosten	<ul style="list-style-type: none"> - PAE-kilometers (89%) - Vierde macht aslasten (11%)
Vernieuwingskosten	<ul style="list-style-type: none"> - Voertuigkilometers (22%) - Tweede en vierde macht aslasten (78%)
Vaste onderhoudskosten	<p>Snelwegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voertuigkilometers (35%) - Specifiek vrachtauto's >12 ton (15%) - PAE-kilometers (50%) <p>Overige wegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PAE-kilometers
Variabele onderhoudskosten	<ul style="list-style-type: none"> - Tweede en vierde macht aslasten (63%) - Voertuigkilometers (37%)
Beheerkosten	<ul style="list-style-type: none"> - Voertuigkilometers (30%) - PAE-kilometers (70%)
Parkeren	<ul style="list-style-type: none"> - Voertuigkilometers (personen- en bestelauto)

3.5 Spoorvervoer

In deze paragraaf presenteren we de methodiek voor het bepalen van de infrastructuurkosten van het spoorvervoer. Daarbij gaan we allereerst in op de wijze waarop de totale infrastructuurkosten zijn bepaald, om vervolgens stil te staan bij de toedelingsmethodiek.

3.5.1 Bepaling totale infrastructuurkosten spoorvervoer

Aanlegkosten

Voor de bepaling van de aanlegkosten is gebruikgemaakt van een historische reeks (van 35 jaar) van uitgaven aan infrastructuraanleg. Voor de periode 1997-2018 is daarbij gebruikgemaakt van gerealiseerde uitgaven in de rijksbegrotingen²³, waarbij voor de jaren vanaf 2005 is gecorrigeerd voor het feit dat de uitgaven op de rijksbegroting inclusief btw zijn²⁴. Voor een deel van deze periode hadden we ons ook kunnen baseren op data uit de jaarverslagen van ProRail. In Tekstbox 3 is uitgelegd waarom we ons in deze studie baseren op data uit de rijksbegroting in plaats van op ProRail-data. Voor de periode 1984-1986 hebben we ons gebaseerd op data van (CBS, lopend-a).

De aanleg van de HSL-infrastructuur is op twee manieren gefinancierd. Een deel van de infrastructuur (de onderbouw) is rechtstreeks gefinancierd door de rijksoverheid en deze uitgaven komen dan ook als aanleguitgaven terug in de rijksbegrotingen. De aanleg van een ander deel van de infrastructuur (de bovenbouw) is echter gefinancierd door een private investeerder (Infraspeed). Over een periode van 25 jaar ontvangt deze investeerder jaarlijks een vast bedrag ('*performance fee*'), dat bestaat uit een vergoeding voor de gemaakte aanlegkosten, de financieringskosten, de geschatte B&O-kosten voor 25 jaar en een opslag voor winst en risico. Omdat het niet bekend is welk deel van deze vergoeding opgevat kan worden als een vergoeding voor de aanlegkosten hebben we deze volledige fee in dit onderzoek meegenomen bij de vaste B&O-kosten. Hiermee onderschatten we dus de variabele kosten van het spoorvervoer.

Tot slot hebben wij aangenomen dat de aanlegkosten volledig vast (gebruiksonafhankelijk) zijn.

²³ De volgende begrotingsposten zijn daarbij meegenomen voor de periode 2004-2018: 13.03.01, 13.03.02, 13.03.03, 13.05.01, 13.05.03, 17.05 (gemengd net), 17.02 (Betuweroute), 17.03 (HSL), 17.07 (ERMTS) en 17.10 (Programma Hoogfrequent Spoorvervoer). Voor de periode 2000-2003 zijn de volgende begrotingsposten meegenomen: 01.02.01, 01.02.02, 01.02.03, 01.02.06 (gemengd net), 03.02 (Betuweroute) en 03.03 (HSL). Tot slot, voor de periode 1997-1999 zijn de volgende begrotingsposten meegenomen: 01.02.01, 01.02.02 (gemengd net), 03.02 (Betuweroute) en 03.02 (HSL).

²⁴ ProRail is over haar uitgaven aan aanleg en onderhoud van spoorinfrastructuur btw verschuldigd. Hiervoor worden zij door het ministerie van Infrastructuur en Milieu gecompenseerd, zodat ze voldoende geld ter beschikking hebben voor hun taakuitvoering. De gerealiseerde bedragen in de rijksbegroting zijn sinds 2005 dan ook inclusief btw. In de analyse van de infrastructuurkosten van het spoor is het noodzakelijk om de bedragen uit de rijksbegroting te corrigeren voor de btw-bedragen, aangezien dat geen reële kosten van de infrastructuur zijn.

Tekstbox 3 - Infrastructuurkosten door ProRail vergeleken met de gerealiseerde uitgaven op de rijksbegrotingen

Door ProRail wordt jaarlijks gerapporteerd over hun investeringen en onderhouds- en beheerkosten van de Nederlandse spoorinfrastructuur. De bedragen in deze jaarverslagen zijn echter niet rechtstreeks vergelijkbaar met de bedragen zoals die zijn opgenomen in de rijksbegrotingen. Door de Algemene Rekenkamer (2011) is uitgebreid onderzoek gedaan naar de verschillen tussen de door ProRail gepresenteerde gegevens en de gerealiseerde bedragen op de rijksbegrotingen. Naast een groot aantal kleinere verklaringen voor specifieke verschillen, noemen zij twee belangrijke redenen voor de verschillen:

- De uitgaven in de rijksbegrotingen zijn (vanaf 2005) incl. btw, terwijl de uitgaven in de jaarverslagen excl. btw zijn.
- Een deel van de door de Nederlandse overheid uitgekeerde bedragen zijn door ProRail nog niet besteed, bijvoorbeeld door vertragingen in geplande investerings- en onderhoudsprojecten.

In deze studie hebben we er voor gekozen om in onze berekeningen uit te gaan van de gerealiseerde bedragen in de rijksbegrotingen. Hiervoor hebben we de volgende redenen:

- Met betrekking tot de aanleguitgaven geldt dat de jaarverslagen van ProRail maar voor een beperkte periode informatie leveren (2003-2010). Hierdoor is het moeilijker om een consistente tijdreeks van jaarlijkse aanleguitgaven te vormen.
- Bij de vernieuwings- en onderhoudsuitgaven speelt dat de gerealiseerde bedragen in de rijksbegrotingen uitgaan van geplande investerings- en onderhoudsprojecten, terwijl de uitgaven in de jaarverslagen van ProRail de daadwerkelijke investeringen en onderhoudsuitgaven weerspiegelen. Voor de bepaling van de kosten van infrastructuur zijn het eerste type uitgaven geschikter, omdat die niet vertekend worden door achterstallig onderhoud.

Vernieuwingskosten

De vernieuwingskosten voor de spoorinfrastructuur zijn gebaseerd op een historische reeks van uitgaven aan groot onderhoud van het spoor. Voor de periode 2004-2018 zijn deze kosten overgenomen uit de rijksbegrotingen²⁵, waarbij evenals bij de aanleguitgaven is gecorrigeerd voor de btw. Voor de jaren vóór 2004 is aangenomen dat deze uitgaven 32% (gemiddeld aandeel in de periode 2004-2010) van de totale uitgaven aan beheer en onderhoud van het spoor vormen. Het variabele deel van de vernieuwingskosten hebben wij ingeschat op 26,8%²⁶.

Beheer- en onderhoudskosten

De B&O-kosten worden gebaseerd op de gerealiseerde uitgaven voor 2018 in de rijksbegroting²⁷. Daarbovenop worden ook de opbrengsten van de gebruiksvergoedingen meegenomen. Zoals hierboven is aangegeven, zijn circa 26,8% van de B&O-kosten variabel.

Zoals eerder aangegeven wordt ook de performance fee die de Nederlandse overheid jaarlijks verstrekt aan de beheerder van de HSL meegenomen als vaste B&O-kosten.

²⁵ Hierbij gaat het om begrotingspost 13.02.02. Vanaf 2011 is er geen onderscheid meer tussen beheer, onderhoud en vervanging in de rijksbegroting. Om deze reden hebben wij vanaf dit jaar de vernieuwingskosten ingeschat door het percentage van de vernieuwingskosten in 2010 toe te passen op de totale kosten voor beheer, onderhoud en vervanging (13.02) uit de rijksbegroting.

²⁶ In mailcontact heeft ProRail aangegeven dat een percentage van 26,8% gehanteerd kan worden voor de totale B&O kosten, inclusief vernieuwingskosten.

²⁷ Deze is gebaseerd op begrotingsposten: 13.02 (gemengd net, het aandeel O&B is ingeschat op basis van de verhouding van deze kostenpost tot het totaal in 2010) en 13.04 (HSL). De B&O kosten voor de Betuweroute in 2018 waren gelijk verondersteld aan de kosten in 2010.



3.5.2 Overzicht totale infrastructuurkosten spoorvervoer

Op basis van de hierboven gepresenteerde methodiek zijn de totale kosten voor de spoorinfrastructuur bepaald. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 - Overzicht totale infrastructuurkosten spoorvervoer in mln. €

Kostencategorieën	Aanleg	Vernieuwing	O&B
Gemengd net	879	724,3	1.282
HSL	467	0,7	142
Betuweroute	353	1	78

3.5.3 Toerekening van de infrastructuurkosten

Aanlegkosten

Twee motieven voor investeringen in nieuwe spoorinfrastructuur kunnen worden onderscheiden:

1. *Investerings gericht op het vergroten van de capaciteit van de spoorinfrastructuur.* Tot deze investeringen wordt besloten vanwege capaciteitstekort tijdens de drukste periode, ofwel tijdens de spits. Deze kosten rekenen we daarom toe op basis van het aandeel van personen- en goederenvervoer aan het spoorvervoer tijdens de spits. Op basis van CE Delft en VU (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b) schatten we in dat personentreinen circa 96% van de capaciteit tijdens de spits gebruiken en goederenvervoer dus 4%.
2. *Investerings die als doel hebben om de functionaliteit van de infrastructuur voor de gebruiker te verhogen* (bijvoorbeeld de aanleg van de Betuwelijn). Deze kosten worden volledig toegerekend aan de gebruikers die er baat bij hebben (bij de Betuwelijn dus het goederenvervoer, terwijl de kosten van de HSL volledig worden toegerekend aan het personenvervoer).

Vernieuwingskosten

Een deel van de variabele vernieuwingskosten (circa 29%, het zogenaamde projectmatige onderhoud) wordt door ProRail meegenomen bij de bepaling van de tarieven voor de gebruiksvergoeding (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b). Voor toerekening van deze kosten hanteren we de verdeelsleutel zoals die door ProRail voor de gebruiksvergoeding is opgesteld (zie hieronder). De overige variabele vernieuwingskosten zijn afhankelijk van het gewicht en de mate van gebruik van de verschillende type treinen. Daarom wijzen we deze kosten toe op basis van tonkilometers.

Voor de vaste vernieuwingskosten van het gemengde net is geen duidelijke 'cost driver' beschikbaar. Vandaar dat we, evenals in (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b), deze kosten toewijzen op basis van voertuigkilometers.

Voor de Betuweroute zijn er, gezien de jonge leeftijd, pas vanaf 2011 uitgaven toegekend aan de vernieuwing van de infrastructuur²⁸. Voor de HLS zijn er pas vanaf 2012 uitgaven toegekend aan de vernieuwing van de infrastructuur²⁹.

Onderhouds- en beheerkosten

Wij delen op het gemengde net circa 84% van de variabele B&O-kosten toe aan elektrische personentreinen, 8% aan dieselpersonentreinen, 5% aan elektrische goederentreinen en 3% aan diesel goederentreinen. Wij hebben deze verdeling gebaseerd op aangeleverde informatie door ProRail.

De vaste B&O-kosten van het gemengde net wijzen we, evenals de vaste vernieuwingskosten, toe op basis van voertuigkilometers.

De B&O-kosten voor de HSL- en de Betuweroute worden specifiek toegewezen aan personen- en goederentreinen. Bij de Betuweroute wordt een nadere onderverdeling naar elektrische en dieseltreinen gemaakt op basis van voertuigkilometers.

3.6 Binnenvaart

In deze paragraaf beschrijven we de methodiek voor de bepaling van de infrastructuurkosten van de binnenvaart. Allereerst schatten we daartoe de totale infrastructuurkosten voor de binnenvaart in, om vervolgens te bepalen welk deel we kunnen toedelen aan de 'goederenbinnenvaart', en welk deel toegedeeld dient te worden aan de recreatievaart en de zeevaart.

3.6.1 Bepaling totale infrastructuurkosten binnenvaart

Aanlegkosten

Voor de bepaling van de jaarlijkse aanlegkosten in 2018 hebben wij gebruikgemaakt van een historische reeks (van 35 jaar) van uitgaven aan infrastructuuraanleg, op basis waarvan de totale afschrijvingskosten en financieringskosten in 2018 bepaald zijn. Voor de rijksvaarwegen is de historische reeks aan uitgaven voor de periode 2010-2018 gebaseerd op de rijksbegrotingen³⁰. Voor de voorgaande jaren is gebruikgemaakt van de data uit CE Delft & VU (2014b). Voor de investeringen van lokale overheden in vaarwegen baseren we ons op CBS-statistieken over uitgaven aan vaarwegen (inclusief sluisen, etc.) en binnenhavens voor de periode 2004-2018. Voor de jaren 1992-2003 maken we gebruik van een tijdreeks uit CE Delft & VU (2004b). De uitgaven voor de periode 1984-1992 zijn ingeschat op basis van een extrapolatie. De gerapporteerde getallen door gemeenten en provincies maken geen onderscheid naar aanlegkosten. Om deze reden is, net als in CE Delft & VU (2014b), aangenomen dat 30% van de uitgaven door lokale overheden gerelateerd zijn aan aanleg van infrastructuur.

²⁸ Alle investeringsuitgaven (17.02) vanaf 2011 zijn als vernieuwingsuitgaven gerekend, voor die tijd zijn de uitgaven als aanleg gerekend.

²⁹ Alle investeringsuitgaven (17.03) vanaf 2012 zijn als vernieuwingsuitgaven gerekend, voor die tijd zijn de uitgaven als aanleg gerekend.

³⁰ Dit betreft de begrotingsposten 15.03 en 15.05 voor het jaar 2010 en slechts begrotingspost 15.05 na 2010.

Naast de bovenstaande aanleguitgaven aan het vaarwegennet en de binnenhavens dienen ook de aanleguitgaven in zeehavens die toegerekend kunnen worden aan de binnenvaart meegenomen te worden in de bepaling van de aanlegkosten voor de binnenvaart. De wijze waarop deze kosten zijn bepaald wordt nader toegelicht in Paragraaf 3.7.

Voor de aanlegkosten is aangenomen dat ze volledig vast (gebruiksonafhankelijk) zijn.

Vernieuwingskosten

Evenals de aanlegkosten worden ook de vernieuwingskosten gebaseerd op een historische tijdreeks van 35 jaar. Voor de rijksvaarwegen is er enkel voor de jaren 2004-2018 informatie beschikbaar over de omvang van de uitgaven aan vernieuwingen van de infrastructuur vanuit de rijksbegrotingen³¹. Voor de jaren 1984-2003 zijn de uitgaven geschat op basis van een extrapolatie. De relatief lange periode waarvoor de uitgaven geëxtrapoleerd dienen te worden maakt de onzekerheid in de vernieuwingskosten relatief groot.

Voor de overige vaarwegen zijn er geen specifieke statistieken beschikbaar die inzicht geven in de vernieuwingsuitgaven: deze uitgaven zijn opgenomen in de totale B&O-uitgaven. We nemen aan dat de vernieuwingsuitgaven voor deze vaarwegen eenzelfde aandeel in de totale B&O-uitgaven vormen als bij de rijksvaarwegen (namelijk circa 19%). Aangezien de zeevaart geen gebruik maakt van deze vaarwegen kunnen alle uitgaven worden toegeschreven aan de binnenvaart.

Tot slot dient ook een deel van de vernieuwingskosten in zeehavens te worden toegerekend aan de binnenvaart. De wijze waarop deze kosten zijn bepaald is beschreven in Paragraaf 3.7. Bij het bepalen van de vernieuwingskosten voor de zeehavens was het niet mogelijk om deze kosten te onderscheiden van de aanlegkosten. Vandaar dat we zowel voor de zeevaart als de binnenvaart de vernieuwingskosten in combinatie met de aanlegkosten presenteren.

Op basis van CE Delft & VU (2014b) is aangenomen dat circa 15% van de vernieuwingskosten variabel is.

Onderhouds- en beheerkosten

De onderhouds- en beheerkosten voor de rijksvaarwegen in het jaar 2018 worden gebaseerd op post 15.02.01 van de rijksbegroting uit 2020. Voor de overige vaarwegen baseren we ons op de uitgaven voor 2018 zoals die door het CBS worden gerapporteerd (CBS, 2020a). Tot slot dienen ook de B&O-kosten van de zeehavens die toegerekend kunnen worden aan de binnenvaart meegenomen te worden (zie Paragraaf 3.7).

Evenals voor de vernieuwingskosten is op basis van CE Delft & VU (2014b) aangenomen dat circa 15% van de B&O-kosten variabel zijn.

3.6.2 Overzicht totale kosten binnenvaartinfrastructuur

Op basis van de hierboven gepresenteerde methodiek zijn de totale kosten voor de binnenvaartinfrastructuur (binnenwateren + binnenhavens + deel infrastructuurkosten zeehavens dat dient te worden toegewezen aan de binnenvaart) bepaald. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Tabel 9.

³¹ Dit betreft begrotingspost 15.02.04.

Tabel 9 - Overzicht totale infrastructuurkosten binnenvaart in mln. €

Kostencategorieën	Totale kosten
Rijkswaerwegen	
Aanlegkosten + vernieuwingskosten vast	548
Vernieuwingskosten variabel	23
B&O vast	219
B&O variabel	24
Overige vaerwegen	
Aanlegkosten + vernieuwingskosten vast	192
Vernieuwingskosten variabel	8
B&O vast	79
B&O variabel	2

3.6.3 Toerekening van de infrastructuurkosten

Aanlegkosten

De aanlegkosten wijzen we, evenals in CE Delft & VU (2014b), toe op basis van het gemiddelde capaciteitsbeslag van een binnenvaartschip en een recreatievaartuig. Daarvoor maken we gebruik van de verdeelsleutel zoals die in CE Delft & VU (2004a) is ontwikkeld. Volgens deze verdeelsleutel dient op de rijkswaerwegen circa 99% van de aanlegkosten toegerekend te worden aan de binnenvaart en op de overige vaerwegen circa 93%.

Vernieuwingskosten

Een deel van de vernieuwingskosten voor de rijkswaerwegen dient te worden toegeschreven aan de zeevaart, die immers ook gebruik maakt van (een deel) van deze vaerwegen. Op basis van CE Delft & VU (2014b) wordt ingeschat dat circa 20% van de vernieuwingskosten van de rijkswaerwegen kunnen worden toegeschreven aan de zeevaart. De resterende 80% van de vernieuwingskosten voor de rijkswaerwegen en de totale vernieuwingskosten voor de overige vaerwegen dienen te worden toegewezen aan de binnenvaart en de recreatievaart. Daarbij maken we onderscheid tussen variabele en vaste vernieuwingskosten. De vaste vernieuwingskosten worden evenals de aanlegkosten toegewezen op basis van het gemiddelde capaciteitsbeslag. De variabele infrastructuurkosten worden daarentegen toegewezen op basis van vaartuigkilometers, wat inhoudt dat op rijkswaerwegen circa 60% van de vernieuwingskosten wordt toegewezen aan de binnenvaart en op de overige vaerwegen circa 16% (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b).

Beheer- en onderhoudskosten

Ook voor de B&O-kosten voor de rijkswaerwegen dient een deel toe te worden gewezen aan de zeevaart. Evenals bij de vernieuwingskosten wordt er aangenomen dat 20% van de B&O-kosten voor de binnenwateren kunnen worden toegewezen aan de zeevaart.

De overige B&O-kosten worden toegewezen aan de binnenvaart en de recreatievaart. Daarbij maken we wederom onderscheid naar variabele en vaste kosten. Laatstgenoemde categorie wordt – evenals bij de vernieuwingskosten – toegewezen op basis van het gemiddelde capaciteitsbeslag. Bij de variabele B&O-kosten hanteren we een aparte toewijzingsmethodiek voor de kosten van de bediening van sluisen en bruggen op de rijkswaerwegen

(circa 70% van de variabele B&O-kosten voor de rijkswaarwegen). Aangezien er weinig recreatievaart in de winter en tijdens dure nachtelijke uren is, zal het overgrote deel van deze kosten veroorzaakt worden door de binnenvaart. In CE Delft & VU (2004a) is uitgegaan van een inschatting van Rijkswaterstaat dat circa 80% van deze kosten kunnen worden toegerekend aan de binnenvaart en de overige 20% aan de recreatievaart. In deze studie volgen we deze methodiek. De overige variabele B&O-kosten wijzen we toe op basis van vaartuigkilometers.

3.7 Zeevaart

De infrastructuurkosten voor de zeevaart bestaan uit de volgende elementen:

- de infrastructuurkosten van de zeehavens;
- de kosten van het door Rijkswaterstaat uitgevoerde onderhoud en beheer van het hoofdvaarwegennet dat kan worden toegerekend aan de zeevaart.

3.7.1 Infrastructuurkosten zeehavens

Wij hebben de infrastructuurkosten voor de zeehavens gebaseerd op een gedetailleerde casestudie voor de Rotterdamse haven, waarvan de resultaten vervolgens zijn geëxtrapoleerd naar de overige Nederlandse Zeehavens.

Infrastructuurkosten haven van Rotterdam

Wij hebben de infrastructuurkosten voor de haven van Rotterdam bepaald op basis van gegevens die zijn aangeleverd door het Havenbedrijf Rotterdam. Hierbij is aangenomen dat het landzijdige deel van de haven is verhuurd aan derden (in lijn met Bruinsma, F. R. et al., (2000) waardoor de bijbehorende aanlegkosten feitelijk zijn geïnternaliseerd (hierbij wordt verondersteld dat de opbrengsten uit verhuur de aanlegkosten van de verhuurde infrastructuur dekken). Vandaar dat we in ons onderzoek enkel de kosten die zijn verbonden aan de nautische infrastructuur hebben meegenomen. Het gaat dan om de kosten van kades, steigers, baggeren, etc.

Bij de bepaling van de infrastructuurkosten voor de haven van Rotterdam zijn we uitgegaan van de volgende aannames:

- Door het Havenbedrijf zijn gegevens aangeleverd over normatieve jaarlijkse uitgaven aan aanleg en groot onderhoud (vernieuwingsuitgaven), (klein) onderhoud en beheer³².
- Wij hebben de huidige waarde van de nautische infrastructuur bepaald op basis van de uitgaven aan aanleg en vernieuwing. Hierbij is, evenals voor de andere vervoerswijzen, uitgegaan van een gemiddelde afschrijftermijn van 35 jaar. De jaarlijkse afschrijvingen zijn door middel van een annuïteitenmethode bepaald op basis van een discontovoet van 4%³³.
- De onderhouds- en beheerkosten zijn gebaseerd op de jaarlijkse normatieve uitgaven. Hierbij zijn ook de indirecte kosten (bijvoorbeeld personeelskosten van het Havenbedrijf) meegenomen.

³² Het gaat hier om normatieve jaarlijkse uitgaven en niet om daadwerkelijke jaarlijkse uitgaven; deze uitgaven kunnen dan ook niet teruggevonden worden in het jaarverslag van het Havenbedrijf Rotterdam.

³³ Dit komt goed overeen met het gemiddelde van de discontovoeten die zijn gebruikt voor de bepaling van de infrastructuurkosten van het wegvervoer en de binnenvaart.



- De onderhoudskosten zijn voor 10% gebruikafhankelijk, terwijl de aanleg-, vernieuwings- en beheerkosten geheel gebruiksonafhankelijk zijn³⁴.
- Een deel van de kosten moet worden toegerekend aan de binnenvaart. Voor aanleg- en vernieuwingskosten betreft dit 10%, voor de onderhoudskosten 50% en voor de beheerkosten 65%³⁵.

In Tabel 10 staan de resulterende infrastructuurkosten voor de haven van Rotterdam weergegeven.

Tabel 10 - Totale infrastructuurkosten voor de haven van Rotterdam in 2018 in mln. €

Kostencategorie	Zeevaart	Binnenvaart
Aanleg + vernieuwing	127	14
Onderhoud vast	23	23
Onderhoud variabel	3	3
Beheer	11	21
Totaal	164	60

Extrapolatie naar overige zeehavens

We hebben de infrastructuurkosten voor de haven van Rotterdam geëxtrapoleerd naar de overige Nederlandse zeehavens op basis van de overgeslagen tonnen per zeehaven in 2018 (CBS, lopend-i). Deze gegevens zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 - Goederenoverslag in Nederlandse Zeehavens in 2018

Overslag in 2018	mln. ton	Aandeel in totaal overgeslagen tonnen
Rotterdam	458.350	76%
Amsterdam	99.503	16%
Zeeland Seaports	36.715	6%
Delfzijl/Eemshaven	7.237	1%
Overige havens	2.737	0%

De gehanteerde methode voor de extrapolatie van de infrastructuurkosten naar alle zeehavens is vrij grof, aangezien het aantal overgeslagen tonnen geen perfecte 'cost driver' voor de kosten van de haveninfrastructuur vormt. Zo kan er bij de infrastructuurkosten van zeehavens bijvoorbeeld sprake zijn van schaafeffecten ('economies of scale'), waardoor er bij extrapolatie sprake kan zijn van een onderschatting van de infrastructuurkosten van zeehavens. Ook kunnen lokale verschillen tussen havens (bijvoorbeeld aandeel binnenvaart in totaal verkeer in de haven, omvang van de benodigde baggeractiviteiten, etc.) er voor zorgen dat de extrapolatie van de Rotterdamse infrastructuurkosten leidt tot een over- of onderschatting van de daadwerkelijke infrastructuurkosten. De hier gepresenteerde resul-

³⁴ Aanname gebaseerd op persoonlijke communicatie met het Havenbedrijf Rotterdam.

³⁵ Idem.

taten dienen dan ook gezien te worden als een eerste orde schatting van de daadwerkelijke infrastructuurkosten³⁶.

De resulterende infrastructuurkosten zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 - Totale infrastructuurkosten van Nederlandse Zeehavens in 2018 in mln. €

Kostencategorie	Zeevaart	Binnenvaart
Aanleg + vernieuwing	168	19
Onderhoud vast	30	30
Onderhoud variabel	3	3
Beheer	17	31
Totaal	218	83

Kosten van door Rijkswaterstaat uitgevoerd onderhoud en beheer

Zoals aangegeven in Paragraaf 0 dient een deel van het door Rijkswaterstaat uitgevoerde onderhoud en beheer van het hoofdvaarwegnet toegerekend te worden aan de zeevaart. Het gaat dan bijvoorbeeld om het baggeren van de waterwegen die toegang vormen tot de havens, onderhoud van de oevers, onderhoud van sluizen, vuurtorens, betoning, etc. De totale kosten van het door Rijkswaterstaat uitgevoerde onderhoud en beheer is bepaald in Paragraaf 3.6.1. Op basis van een inschatting van het Havenbedrijf Rotterdam nemen we aan dat hiervan 20% dient te worden toegerekend aan de zeevaart. De resulterende kosten zijn weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13 - Totale kosten voor de zeevaart door Rijkswaterstaat in 2018 in mln. €

Kostencategorie	Kosten
Aanlegkosten	-
Vernieuwingskosten	39
B&O vast	40
B&O variabel	7

3.8 Luchtvaart

De infrastructuurkosten voor de luchtvaart in Nederland zijn gebaseerd op de infrastructuurkosten voor de luchthavens van nationale betekenis³⁷: Schiphol, Eindhoven Airport, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport en Rotterdam-The Hague Airport.

Op basis van data uit de jaarverslagen van de luchthavens over de operationele kosten en afschrijvingen die betrekking hebben op de luchtvaartactiviteiten van de luchthaven (opstijgen, landen en parkeren van vliegtuigen, passagiers- en bagage-afhandelingen en beveiliging van passagiers en bagage (security)) zijn de infrastructuurkosten voor de luchthavens bepaald (Royal Schiphol Group, 2019, Eindhoven Airport, 2019, Groningen Airport Eelde, 2019, Rotterdam The Hague Airport, 2019). Daarbij zijn de vermogenskosten bepaald door uit te gaan van constante afschrijvingen over een periode van 35 jaar bij een disconto-

³⁶ Echter, aangezien de Rotterdamse haven goed is voor 76% van de goederenoverslag in Nederland, is de resulterende onzekerheid voor het totaal in Nederland beperkt.

³⁷ Naast deze vijf luchthavens is ook luchthaven Maastricht-Aken van nationale betekenis. Echter, door een gebrek aan data zijn de infrastructuurkosten voor deze luchthaven niet bepaald.

voet van 2,7%³⁸. Daarnaast is ook een inschatting gemaakt van de kosten van de luchtverkeersleiding, waarbij we enkel de kosten van de diensten die worden geleverd aan vliegtuigen die landen en opstijgen in Nederland hebben meegenomen. Hierbij zijn we ervan uitgegaan dat de opbrengsten van de Air Traffic Control (ATC) heffingen in 2018 gelijk zijn aan de (operationele) kosten van deze diensten van de luchtverkeersleiding.

Een overzicht van de verschillende kostencomponenten is weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 - Gerapporteerde infrastructuurkosten voor Schiphol, de regionale luchthavens en de luchtverkeersleiding in 2018 in mln. €

Kostencategorie	Schiphol	Regionale luchthavens	Luchtverkeers- leiding	Totaal
Operationele kosten	528	119	63	710
Afschrijvingen	192	15	-	207
Vermogenskosten	181	14	-	195
Totaal	901	147	63	1.112

In deze studie nemen we aan dat de operationele kosten kunnen worden opgevat als de B&O-kosten van de luchtvaart. Op basis van een literatuurstudie is door CE Delft et al. (2019) ingeschat dat circa 33% van deze kosten als variabel beschouwd kunnen worden. De afschrijvingskosten en de vermogenskosten vormen samen de aanleg- en vernieuwingskosten. Op basis van CE Delft & VU (2014b) en CE Delft et al. (2019) wordt ingeschat dat 8% van deze kosten als variabele (vernieuwings)kosten kunnen worden beschouwd. Uiteraard leiden deze verschillende aannames tot de nodige onzekerheid en nader onderzoek op dit punt is dan ook gewenst.

Doordat we geen goed inzicht hebben in de samenstelling van de verschillende kostenposten is het niet mogelijk om nauwkeurig 'cost drivers' vast te stellen. De toedeling van de infrastructuurkosten is daarom gebaseerd op de aandelen van personen- en vrachtluchtvaart in het totale aantal LTO's op Nederlandse luchthavens (zie Bijlage A.1).

3.9 Resultaten

In deze paragraaf presenteren wij de totale, gemiddelde en marginale infrastructuurkosten per voertuigcategorie. Gedetailleerde uitsplitsingen naar wegtype of verschillende soorten infrastructuurkosten zijn opgenomen in Bijlage B.1.

3.9.1 Totale infrastructuurkosten

De totale infrastructuurkosten voor de verschillende voertuigcategorieën zijn weergegeven in Tabel 15. De totale infrastructuurkosten in 2018 van het wegverkeer bedragen 12,1 miljard euro, van spoorvervoer 3,9 miljard euro, van de binnenvaart 1,1 miljard euro, van de zeevaart 0,5 miljard euro en van de luchtvaart 1,1 miljard euro.

De voertuigcategorieën die het meest worden gebruikt hebben het grootste aandeel in deze kosten. Voor het wegverkeer houdt dit in dat een groot aandeel van de kosten (56%) veroorzaakt wordt door personenauto's. Daarnaast hebben ook vrachtauto's een aanzienlijk

³⁸ Deze discontovoet is in CE Delft & VU (2014b) bepaald als het gewogen gemiddelde van de rente over vreemd vermogen en dividenden op eigen vermogen.

aandeel in de kosten van het wegverkeer (22%), wat vooral het gevolg is van de hoge aslast van deze voertuigen, wat een indicatie is van de relatief grote schade die ze toebrengen aan het wegdek. Van de overige wegvoertuigen zijn bestelauto's verantwoordelijk voor 9% van de kosten, ov-bussen voor 6%, touringcars voor 2% en tweewielers voor slechts 1%.

Bij het spoorvervoer zijn personentreinen verantwoordelijk voor 85% van de totale kosten en goederentreinen voor 15% aan goederentreinen. Deze verdeling weerspiegelt de mate waarin de spoorinfrastructuur in Nederland wordt gebruikt voor personen- en goederenvervoer. Zowel bij personen- als goederentreinen zijn de elektrische treinen verantwoordelijk voor het grootste deel van de kosten, wat het gevolg is van het feit dat het overgrote deel van het spoornetwerk in Nederland is geëlektrificeerd. Tot slot, bij de luchtvaart is de personenluchtvaart verantwoordelijk voor 91% van de infrastructuurkosten, terwijl de bijdrage van de goederenluchtvaart 9% bedraagt.

Tabel 15 - Totale kosten van infrastructuur in mln. €

Voertuigcategorie	Totale kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Personenauto totaal	6.775
- <i>Personenauto benzine</i>	4.796
- <i>Personenauto diesel</i>	1.679
- <i>Personenauto LPG</i>	110
- <i>Personenauto elektrisch</i>	39
- <i>Personenauto PHEV</i>	151
Motorfiets	57
Bromfiets	122
Ov-bus totaal	699
- <i>Ov-bus diesel</i>	671
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	28
Touringcar	227
Fiets totaal	403
- <i>Gewone fiets</i>	354
- <i>Elektrische fiets</i>	49
Personentrein totaal	3.318
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	609
- <i>Personentrein diesel</i>	211
- <i>Personentrein elektrisch</i>	2.498
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Bestelauto totaal	1.124
- <i>Bestelauto diesel</i>	1.123
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	1
Vrachtauto totaal	2.544
- <i>Trekker voor oplegger</i>	2.026
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	12
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	100
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	406
Goederentrein totaal	608
- <i>Goederentrein diesel</i>	132
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	476
Binnenvaart	1.096
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)	
Zeevaart	512
Luchtvaart personenvervoer	954
Luchtvaart goederenvervoer	100

3.9.2 Gemiddelde infrastructuurkosten

De gemiddelde infrastructuurkosten voor de verschillende voertuigcategorieën op Nederlands grondgebied zijn weergegeven in Tabel 16. Voor het personenvervoer zijn de kosten weergegeven in eenheden van euro's per 1.000 reizigerskilometers. Voor het vrachtvervoer zijn de eenheden in euro's per 1.000 tonkilometers. Voor bestelauto's zijn de gemiddelde kosten per 1.000 voertuigkilometers weergegeven.

Tabel 16 - Gemiddelde kosten van infrastructuur op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 rkm)	
Personenauto gemiddeld	47
– <i>Personenauto benzine</i>	49
– <i>Personenauto diesel</i>	41
– <i>Personenauto LPG</i>	43
– <i>Personenauto elektrisch</i>	49
– <i>Personenauto PHEV</i>	49
Motorfiets	20
Bromfiets	43
Ov-bus gemiddeld	78
– <i>Ov-bus diesel</i>	183
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	183
Touringcar	28
Fiets gemiddeld	22
– <i>Gewone fiets</i>	22
– <i>Elektrische fiets</i>	22
Personentrein gemiddeld	169
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	419
– <i>Personentrein diesel</i>	318
– <i>Personentrein elektrisch</i>	143
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€/1.000 vkm)	
Bestelauto gemiddeld	62
– <i>Bestelauto diesel</i>	62
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	62
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 tkm)	
Vrachtauto gemiddeld	42
– <i>Trekker voor oplegger</i>	45
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	77
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	58
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	29
Goederentrein gemiddeld	87
– <i>Goederentrein diesel</i>	69
– <i>Goederentrein elektrisch</i>	93
Binnenvaart	23

Voor het personenvervoer valt op dat ov-bussen en personentreinen relatief hoge gemiddelde infrastructuurkosten hebben. De kosten van personentreinen zijn hoog omdat de aanleg van spoorvervoer relatief kostbaar is. Daarnaast is ook de benutting van spoorwegen (in termen van het aantal passagiers dat per tijdeenheid gebruik maakt van een kilometer

infrastructuur) lager dan bij het wegvervoer. Voor ov-bussen geldt dat de hoge aslast en de relatief lage gemiddelde bezettingsgraad zorgen voor hoge kosten per reizigerskilometers. De gemiddelde infrastructuurkosten van fietsen, motorfietsen en touringcars zijn daarentegen relatief laag. Het intensieve gebruik van fietsinfrastructuur (vooral binnen de bebouwde kom) en de beperkte schade die fietsers daaraan veroorzaken verklaart de relatief lage kosten voor de fiets. Voor motorfietsen geldt dat, door de lage aslast en het relatief beperkte ruimtebeslag op de weg, de toegekende kosten per gereisde kilometer laag zijn. Touringcars hebben wel een hoge aslast en nemen veel ruimte in op de weg, maar hebben ook een erg hoge gemiddelde bezetting, waardoor de gemiddelde kosten per reizigerskilometer toch relatief laag uitvallen.

Voor het goederenvervoer valt op dat de binnenvaart de laagste infrastructuurkosten heeft per tonkilometer. Vervoer over de weg heeft ongeveer twee keer hogere kosten per tonkilometer, terwijl het spoorvervoer nog hogere kosten heeft. De hoge aanlegkosten en de beperktere benutting van de infrastructuur in vergelijking met het wegverkeer zijn de belangrijkste verklaringen voor de hoge kosten van het spoorvervoer.

Tot slot, de gemiddelde kosten van infrastructuur voor de internationale lucht- en zeevaart zijn weergegeven in Tabel 17. Zoals verwacht mocht worden, zijn de gemiddelde infrastructuurkosten voor deze vervoerswijzen relatief laag in vergelijking met het weg- en spoorvervoer en de binnenvaart.

Tabel 17 - Gemiddelde kosten van infrastructuur voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Kosten
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,3
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	9
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	14

3.9.3 Marginale infrastructuurkosten

De marginale infrastructuurkosten (Tabel 18 en Tabel 19) zijn in deze studie gekwantificeerd als het variabele deel van de gemiddelde infrastructuurkosten. Aangezien de variabele onderhouds- en vernieuwingskosten sterk gewichtsafhankelijk zijn, zijn bij het wegverkeer vooral voor de vervoerswijzen met relatief hoge aslasten (bussen en vrachtauto's) de marginale kosten relatief hoog. Lichter wegverkeer, zoals personen- en bestelauto's, hebben relatief lage marginale kosten. Ook de marginale kosten van spoorinfrastructuur zijn (in verhouding met de gemiddelde kosten) laag. Dit komt omdat een groot deel van de uitgaven aan spoorinfrastructuur vast van aard zijn. Ook de marginale infrastructuurkosten van de binnenvaart, zeevaart en luchtvaart zijn relatief beperkt.

Een belangrijke opmerking bij de marginale kosten zoals berekend in deze studie is dat deze alleen gelden als de maximale capaciteit van de infrastructuur nog niet is bereikt. Dit houdt in dat, wanneer de maximale capaciteit is bereikt en de infrastructuur moet worden uitgebreid voordat meer voertuigen zich kunnen verplaatsen, de marginale kosten zoals hier gepresenteerd niet toepasbaar zijn.

Tabel 18 - Marginale kosten van infrastructuur op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 rkm)	
Personenauto gemiddeld	2,2
– <i>Personenauto benzine</i>	2,3
– <i>Personenauto diesel</i>	2,1
– <i>Personenauto LPG</i>	2,2
– <i>Personenauto elektrisch</i>	2,4
– <i>Personenauto PHEV</i>	2,4
Motorfiets	2,5
Bromfiets	5,3
Ov-bus gemiddeld	38,4
– <i>Ov-bus diesel</i>	92,1
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	92,1
Touringcar	13,1
Fiets gemiddeld	1,5
– <i>Gewone fiets</i>	1,5
– <i>Elektrische fiets</i>	1,5
Personentrein gemiddeld	27,2
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	26,2
– <i>Personentrein diesel</i>	65,0
– <i>Personentrein elektrisch</i>	25,8
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€/1.000 vkm)	
Bestelauto gemiddeld	3,0
– <i>Bestelauto diesel</i>	3,0
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	3,0
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 tkm)	
Vrachtauto gemiddeld	13,9
– <i>Trekker voor oplegger</i>	15,9
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	7,0
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	9,7
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	7,9
Goederentrein gemiddeld	9,1
– <i>Goederentrein diesel</i>	10,2
– <i>Goederentrein elektrisch</i>	8,8
Binnenvaart	1,2

Tabel 19 - Marginale externe kosten van infrastructuur voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Kosten
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,1
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	2,1
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	3,4

3.10 Robuustheid resultaten

In deze paragraaf staan wij kort stil bij de onzekerheden in de gepresenteerde resultaten. De historische uitgaven aan infrastructuur voor het wegvervoer, het spoorvervoer en de binnenvaart zijn redelijk goed bekend. Hierdoor konden de totale infrastructuurkosten met relatief grote zekerheid bepaald worden. Bij deze vervoerswijzen is een grotere mate van onzekerheid toe te wijzen aan de toerekening van de totale kosten aan verschillende vervoerswijzen (bijv. aan de auto, vrachtauto, motorfiets, etc.). Hoewel we in deze studie gebruikmaken van een gedetailleerde methodiek gebaseerd op specifieke ‘*cost drivers*’ voor de verschillende modaliteiten, is het slechts mogelijk om een globale reflectie van de complexe relatie van infrastructuurgebruik en -kosten mee te nemen in onze berekeningen. Bovendien geldt dat bij de toedeling van vooral de vaste infrastructuurkosten ‘*cost drivers*’ niet altijd even eenduidig zijn vast te stellen en dat de toedeling van deze kosten aan de verschillende vervoerswijzen dus altijd enigszins arbitrair is.

Voor de bepaling van de infrastructuurkosten van de zeevaart hebben wij gebruikgemaakt van data van de haven van Rotterdam. Deze schattingen hebben een relatief lage onzekerheid. Voor de overige zeehavens zijn echter geen specifieke data verzameld, waardoor voor die havens volstaan moest worden met een grove extrapolatie. Deze aanpak leidt uiteraard tot de nodige onzekerheid in de infrastructuurkosten van de totale zeevaart in Nederland.

Voor de luchtvaart hebben wij ons gebaseerd op de infrastructurele kosten zoals gerapporteerd in de jaarverslagen van de luchthavens. Deze kosten zijn dus relatief goed bekend, hoewel het lastig is om in te schatten welke posten hierbij allemaal zijn inbegrepen. Dit bemoeilijkt de vergelijking van infrastructuurkosten van andere modaliteiten. Ook in de toedeling van de kosten naar personen- en goederenluchtvaart wordt gehinderd door het beperkte inzicht in de opbouw van de infrastructuurkosten van de luchtvaart, wat resulteert in extra onzekerheid.

Tot slot, voor alle vervoerswijzen geldt dat er een bepaalde mate van onzekerheid is in de onderverdeling van de verschillende kostenposten naar vast en variabel. Deze onzekerheid is het grootst voor de luchtvaart, maar geldt in mindere mate ook voor de andere modaliteiten. Deze onzekerheid heeft vooral invloed op de resultaten voor de marginale kosten (aangezien deze gebaseerd zijn op de variabele kosten).

4 Kosten van verkeersongevallen

4.1 Inleiding

In 1972 vielen er nog ruim 3.000 verkeersdoden in Nederland (SWOV, 2020b). Inmiddels is dat aantal gedaald naar rond de 600 per jaar. Toch blijven de maatschappelijke kosten van verkeersongevallen substantieel, o.a. omdat er ook veel niet-dodelijke slachtoffers vallen. Een deel van deze kosten is extern van aard. In dit hoofdstuk wordt de methodiek voor de kwantificering van deze kosten beschreven, alsmede de inschatting van de omvang van de externe ongevalskosten.

In het vervolg van dit hoofdstuk gaan we allereerst in op de definitie van externe ongevalskosten (Paragraaf 4.2). Daarbij staan we stil bij de verschillende componenten van de kosten van verkeersongevallen, en welk gedeelte daarvan als extern gezien mag worden. In Paragraaf 4.3 gaan we in op de methodiek om totale, gemiddelde en marginale externe ongevalskosten te berekenen. Paragraaf 4.4 staat vervolgens stil bij de waarderingskennertallen die gebruikt worden binnen deze methodiek. De resultaten worden gepresenteerd in Paragraaf 4.5, waarna we tenslotte in Paragraaf 4.6 de robuustheid van die resultaten bespreken.

4.2 Definitie van kosten

De maatschappelijke kosten van verkeersongevallen bestaan uit verschillende onderdelen (kostenposten), die we in deze paragraaf kort toelichten. Daarbij staan we ook stil bij de vraag in hoeverre deze componenten als 'extern' gezien mogen worden.

4.2.1 De maatschappelijke kosten van verkeersongevallen

De maatschappelijke kosten van verkeersongevallen bestaan uit verschillende kostenposten (SWOV, 2020a).

- *Immateriële kosten*: Hieronder verstaan we de kosten van leed, pijn, verdriet en verlies aan kwaliteit van leven en levensvreugde voor slachtoffers en hun naasten (SWOV, 2020a). Immateriële kosten zijn lastig te waarderen en doen zich voor bij zowel dodelijke verkeersslachtoffers als licht- en zwaargewonden.
- *Medische kosten*: De kosten van de medische behandeling van de slachtoffers, bijvoorbeeld ziekenhuiskosten, revalidatiekosten, kosten voor geneesmiddelen en aanpassingen voor gehandicapten. In Nederland horen daar ook de kosten voor mensen die in het ziekenhuis op bezoek komen en de (vervroegde) begrafeniskosten bij (SWOV, 2020a).
- *Productieverlies*: Dit zijn de kosten van tijdelijke of blijvende arbeidsongeschiktheid van gewonden en het geheel wegvallen van overleden verkeersslachtoffers die tot de beroepsbevolking behoren. Daarbij kijkt men naar marktproductie. De waarde van huishoudelijk- of vrijwilligerswerk wordt in Nederland niet meegerekend. Ook de kosten voor werkgevers om vervangend personeel op te leiden of gewonde verkeersslachtoffers te re-integreren worden in Nederland niet meegenomen.

- *Afhandelingskosten*: Afhandelingskosten bestaan uit de inzet van politie en brandweer bij ongevallen, administratieve kosten van verzekeraars en justitiële kosten (bijvoorbeeld rechtsbijstand, en de kosten van opsporing, vervolging, berechting en het straffen van veroorzakers van een ongeval) (SWOV, 2020a).
- *Materiële kosten*: In Nederland zijn dit zijn de kosten van voertuigschade. Ook schade aan lading, wegen, infrastructuur en persoonlijke bezittingen zouden onder deze kostenpost kunnen vallen, maar deze worden in Nederland niet meegenomen³⁹ (SWOV, 2020a).
- *Overige kosten*: Hieronder verstaat men in Nederland de kosten van files als gevolg van een ongeval (SWOV, 2020a). Omdat we in deze studie apart stilstaan bij de congestiekosten (Hoofdstuk 9) nemen we deze kostenpost niet mee in de berekening van ongevalskosten.

Kosten gerelateerd aan het voorkomen van verkeersongevallen worden niet meegenomen in de maatschappelijke kosten. De kosten van politiehandhaving worden bijvoorbeeld niet meegenomen omdat dit niet een (direct) resultaat van ongevallen is, maar bedoeld is om aan de voorkant het aantal verkeersongevallen te verminderen (Wijnen, W. et al., 2017). Bovendien worden deze kosten (deels) meegenomen in de infrastructuurkosten (Hoofdstuk 3).

4.2.2 Het externe deel van de kosten van verkeersongevallen

Slechts een deel van de kosten van verkeersongevallen kan als extern van aard worden beschouwd⁴⁰. Er zijn twee factoren die een rol spelen bij het bepalen van de hoogte van het externe deel van ongevalskosten: de risico perceptie en de verzekeringen.

Risicoperceptie

De risicoperceptie van de reiziger, dat wil zeggen in hoeverre de reiziger rekening houdt met het risico dat hij/zij loopt door deel te nemen aan het verkeer, is een belangrijke determinant voor het bepalen van de hoogte van de externe ongevalskosten. De traditionele aanpak in de literatuur is daarbij dat reizigers wel rekening houden met het risico dat zij zelf lopen op het moment dat zij deelnemen aan het verkeer, maar geen rekening houden met het risico dat zij veroorzaken voor andere verkeersdeelnemers (UNITE, 2000, GRACE, 2006, CE Delft & VU Amsterdam, 2014b, CE Delft, INFRAS, et al., 2019). Dit houdt dus in dat de kosten die samenhangen met het eigen risico als volledig geïnternaliseerd worden beschouwd, terwijl de kosten die samenhangen met het risico van anderen als extern van aard worden gezien. In deze studie sluiten we ons aan bij deze aanname.

³⁹ Deze kosten komen niet terug in de ongevallenstatistieken in Nederland en kunnen daarom ook niet meegenomen worden bij de bepaling van maatschappelijke (en externe) ongevalskosten.

⁴⁰ In studies naar de maatschappelijke kosten van verkeersongevallen (zoals die regelmatig door het KiM worden gedaan, en waarvan in de tweede helft van 2022 waarschijnlijk een nieuwe versie verschijnt) wordt gewerkt met een bredere definitie van ongevalskosten, waarbij niet alleen de externe, maar ook de interne ongevalskosten worden meegenomen. Ook voor het gebruik in mkba's wordt over het algemeen gebruikgemaakt van kentallen die zijn gebaseerd op de brede maatschappelijke definitie van ongevalskosten (RWS & Ecorys, 2012).

Verzekeringen

Er wordt vaak aangenomen dat een deel van de ongevalskosten wordt geïnternaliseerd door middel van verzekeringen en vanuit die optiek dus niet als extern hoeft te worden beschouwd. Echter, internalisering van een extern effect vereist dat de marginale kosten ervan bij de veroorzaker in rekening worden gebracht. De verzekeringspremies in Nederland zijn echter niet of nauwelijks afhankelijk van het aantal gereden kilometers en maar in beperkte mate van het risicogedrag van verkeersdeelnemers. Daarom kan geconcludeerd worden dat verzekeringen maar (zeer) gedeeltelijk bijdraagt aan de internalisatie van de kosten van verkeersongevallen (zie bijvoorbeeld Ubbels & Knockaert (2008); VU (Van den Bergh, J. & Botzen, W., 2012)). In lijn met CE Delft & VU (2014b) gaan we er in deze studie dus vanuit dat ook de verzekerde kosten opgevat kunnen worden als externe kosten.

Tekstbox 4 - Bij wie slaan de kosten van verkeersongevallen neer?

In tegenstelling tot veel van de andere externe kosten wordt een deel van de externe ongevalskosten gedragen door verkeersdeelnemers. Zo komen bijvoorbeeld de immateriële kosten terecht bij de slachtoffers van een verkeersongeval, die ook deelnemers aan het verkeer zijn. In hoeverre ongevalskosten als extern beschouwd kunnen worden is dan ook sterk afhankelijk van het gehanteerde perspectief. Stel bijvoorbeeld dat er een ongeval gebeurt tussen een vrachtauto en een personenauto, waarbij er in de personenauto een dodelijk slachtoffer valt. Vanuit het perspectief van de vrachtauto wordt het overgrote deel van de kosten van dit slachtoffer als extern beschouwd (de verongelukte automobilist maakte immers geen deel uit van de categorie 'vrachtauto'). Echter, vanuit het perspectief van de transportsector als geheel is het overgrote deel van deze kosten intern (de kosten komen immers grotendeels terecht bij de automobilist, die onderdeel is van het transportsysteem).

Afhankelijk van het perspectief van de analyse kunnen ongevalskosten dus extern of intern van aard zijn. Om hier meer inzicht in te bieden presenteren we, in aanvulling op de hoofdanalyse, ook welk deel van de ongevalskosten neerslaan binnen de transportsector en welk deel daarbuiten. We hanteren daarvoor de in CE Delft & VU (2014b) ontwikkelde matrix (zie Tabel 20), waarin voor de verschillende kostenposten wordt aangegeven of ze worden afgewenteld op de transportsector of op de rest van de maatschappij. Zoals duidelijk wordt uit Tabel 20 gaan we er daarbij vanuit dat alle verzekerde kosten neerslaan binnen de transportsector. Voor de kosten die gedekt worden door autoverzekeringen is dit evident (de premies voor deze verzekeringen worden immers alleen door verkeersdeelnemers betaald). De verzekerde medische kosten, daarentegen, komen in eerste instantie bij de rest van de maatschappij terecht. We verwachten echter dat de verzekeraars (een deel van) deze kosten verhalen op de autoverzekeringen, zodat ze toch weer afgewenteld worden op de transportsector. Het is onduidelijk om welk deel van de verzekerde medische kosten het hierbij gaat. In deze studie nemen we daarom aan dat de volledige verzekerde medische kosten verhaald kunnen worden op autoverzekeringen en dus neerslaan binnen de transportsector.

Tabel 20 - Categorisering van externe ongevalskosten

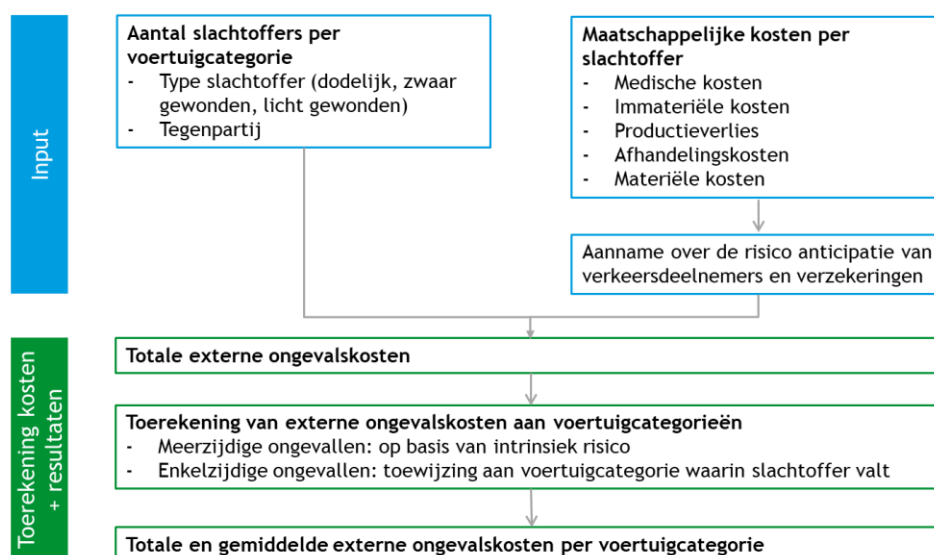
Kostenpost	Kosten die neerslaan binnen de transportsector	Kosten die neerslaan bij de rest van de maatschappij
Immateriële kosten	Alle immateriële kosten	
Medische kosten	Verzekerde medische kosten	Niet-verzekerde medische kosten
Productieverlies	Consumptieverlies in de toekomst	Bruto kosten van productieverlies minus de waarde van toekomstig consumptieverlies
Afhandelingskosten	Afhandelingskosten verzekeraars	Overige afhandelingskosten (bijvoorbeeld kosten van politie en brandweer inzet & justitiële kosten)
Materiële kosten	Alle verzekerde en niet-verzekerde materiële kosten	

4.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

4.3.1 Totale en gemiddelde ongevalskosten

Voor de bepaling van de totale en gemiddelde externe ongevalskosten maken we gebruik van een top-down-benadering. Deze benadering is grafisch weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2 - Methodiek voor de bepaling van de totale en gemiddelde externe ongevalskosten



De bepaling van de totale en gemiddelde ongevalskosten bestaat op hoofdlijnen uit drie stappen:

1. *Bepalen van de totale externe ongevalskosten*; hiertoe vermenigvuldigen we het totale aantal verkeersslachtoffers (zie Bijlage C.2) per wegtype met de relevante waarderingskennentallen voor die slachtoffers (zie Paragraaf 4.4). Daarbij worden drie typen slachtoffers onderscheiden: dodelijke slachtoffers, zwaargewonden en lichtgewonden (zie Tekstbox 5 voor een nadere toelichting). Ook zijn er ongevallen met enkel materiële schade. Echter, doordat het ontbreekt aan een robuuste methodiek om deze kosten toe te delen aan de verschillende vervoerswijzen en er bovendien een gebrek is aan data over het aantal van deze ongevallen, laten we die in deze studie buiten beschouwing.

Tekstbox 5 - Definities van verkeersslachtoffers

De hoogte van een aantal kostenposten is afhankelijk van de ernst van het opgelopen letsel.

Verkeersslachtoffers worden daarom in drie categorieën ingedeeld: dodelijke slachtoffers, zwaargewonde slachtoffers en lichtgewonde slachtoffers.

- **Verkeersdode:** Een verkeersdode is internationaal gedefinieerd als iemand die bij of na een ongeval op de openbare weg, waarbij ten minste één rijdend voertuig betrokken is, binnen dertig dagen aan de gevolgen van dat ongeval overlijdt, mits het geen zelfdoding betreft (SWOV, 2020b). Ook Nederland hanteert deze definitie (CBS, 2020).
- **Zwaargewonde:** Een zwaargewonde (of ernstig verkeersgewonde) is in Nederland gedefinieerd als een slachtoffer met ernstig letsel dat als gevolg van een verkeersongeval is opgenomen in het ziekenhuis en niet binnen dertig dagen is overleden (SWOV, 2019a). Daarbij moet de letselernst van het slachtoffer, uitgedrukt in de 'Maximum Abbreviated Injury Score' (MAIS), tenminste MAIS2 zijn (SWOV, 2019a). MAIS is

een internationaal gebruikte maat om de ernst van letsel aan te duiden, beginnend bij MAIS1 (licht letsel, bijvoorbeeld een gekneusde enkel) en eindigend bij MAIS6 (maximaal letsel zonder overlevingskans).

Voorbeelden van MAIS2 zijn botbreuken en een hersenschudding met bewustzijnsverlies.

- **Lichtgewonde:** een persoon met letsel als gevolg van een ongeval, maar die niet valt onder de definitie van een zwaargewonde.

2. *Toedelen van de totale externe ongevalskosten aan de verschillende vervoerswijzen;* bij enkelvoudige ongevallen is de toedeling van externe ongevalskosten eenvoudig: 100% van de externe kosten worden toegeedeeld aan de betreffende voertuigcategorie. Voor meerzijdige ongevallen maken we, in lijn met CE Delft et al. (2019) en CE Delft & VU (2014b), gebruik van een toedelingsmethodiek gebaseerd op intrinsiek risico⁴¹. Hierbij worden de externe kosten toegerekend aan het voertuig dat intrinsiek het grootste risico van verkeersslachtoffers met zich meebrengt. We operationaliseren dit principe door slachtoffers bij een meerzijdig ongeval toe te rekenen aan de tegenpartij. Zo worden bijvoorbeeld bij een ongeval tussen een vrachtauto en een personenauto alle slachtoffers in de personenauto toegerekend aan de vrachtauto, terwijl alle slachtoffers in de vrachtauto worden toegerekend aan de personenauto. Deze toedelingsmethodiek doet recht aan de risico's die het gebruik van bepaalde vervoerswijzen met zich meebrengt en sluit daarom goed aan bij de aard van externe ongevalskosten (ook bij externe ongevalskosten gaat het immers om de kosten van risico's die ontstaan voor anderen als gevolg van de beslissing om deel te nemen aan het verkeer).
3. *Bepalen van de gemiddelde ongevalskosten;* de gemiddelde externe ongevalskosten per wegtype worden tenslotte gevonden door de totale externe ongevalskosten per vervoerswijze per wegtype te delen door het totale aantal reizigers- of tonkilometers van de betreffende vervoerswijze voor het betreffende wegtype.

4.3.2 Marginale ongevalskosten

De marginale ongevalskosten kunnen worden gedefinieerd als de kosten van het extra ongevalsrisico dat ontstaat bij een extra kilometer die wordt toegevoegd aan de bestaande verkeersstroom. Het belangrijkste verschil tussen de berekening van de marginale en gemiddelde externe ongevalskosten is het feit dat er bij de marginale externe kosten rekening moet worden gehouden met de invloed van een extra gereden kilometer op het ongevalsrisico. Dit komt tot uiting in de waarde van de risico-elasticiteit; wanneer deze waarde gelijk is 0, dan verandert het ongevalsrisico niet als de hoeveelheid verkeer verandert. In dat geval zijn de marginale en gemiddelde externe ongevalskosten aan elkaar gelijk. Is de risico-elasticiteit daarentegen groter (kleiner) dan 0 dan neemt het ongevalsrisico toe (af) als het verkeersvolume stijgt en zijn de marginale kosten groter (kleiner) dan de gemiddelde kosten.

Door CE Delft & VU (2014b) en CE Delft et al. (2019) zijn verschillende studies in kaart gebracht die onderzoek hebben gedaan naar de risico-elasticiteit voor verschillende wegtypen. Op basis van die analyses kan geconcludeerd worden dat:

- Voor *stedelijke wegen* (of wegen binnen de bebouwde kom) de risico-elasticiteit gelijk is aan 0. De redenering daarachter is dat er op die wegen vaak sprake is van drukke verkeersstromen en relatief smalle wegen, waardoor de snelheid relatief laag ligt.

⁴¹ Alternatieve toewijzingsmethodieken zijn op basis van ongevallenbetrokkenheid, waarbij de kosten evenredig worden toegerekend aan de voertuigen die bij het ongeval betrokken zijn, en op basis van schuldvraag, waarbij de kosten worden toegerekend aan het voertuig dat schuldig is aan het ongeval.

Het toevoegen van een extra voertuig leidt hierbij niet tot een significante verandering in het ongevalsrisico per voertuig.

- Voor *wegen buiten de bebouwde kom* en *snelwegen* wordt daarentegen uitgegaan van een negatieve risico-elasticiteit. Uit empirisch onderzoek blijkt dat het toevoegen van extra voertuigen aan free-flow verkeersstromen leidt tot lagere ongevalsrisico's. De reden hiervoor is dat mensen hun snelheid gaan matigen en voorzichtiger gaan rijden als het drukker wordt, waardoor de kans op een (ernstig) ongeluk afneemt. Evenals CE Delft et al. (2019) gaan we daarom voor deze wegen uit van een risico-elasticiteit van -0,25.
- Voor de niet-wegmodaliteiten gaan we uit van een risico-elasticiteit van 0, waardoor de marginale ongevalskosten gelijk zijn aan de gemiddelde ongevalskosten. De redenering hierbij is dat de ongevalskans bij deze modaliteiten niet (sterk) samenhangt met de omvang van de verkeersstroom (CE Delft, INFRAS, et al., 2019).

4.4 Waarderingskentalen

Bij de bespreking van de waarderingskentalen voor de externe kosten van verkeersongevallen besteden we allereerst afzonderlijk aandacht aan de waarde van een statistisch mensenleven (op basis waarvan de immateriële kosten kunnen worden bepaald). Vervolgens staan we stil bij de overige directe en indirecte economische kosten van verkeersongevallen.

Waarde van een statistisch mensenleven

Voor de bepaling van de immateriële kosten van verkeersongevallen kan gebruikgemaakt worden van de waarde van een statistisch mensenleven ('*Value of a Statistical Life*', VSL). De VSL is gebaseerd op het bedrag ('*willingness to pay*', WTP) dat mensen overhebben voor een reductie van het risico op een verkeersongeval en vormt daarmee een goed waarderingskental voor de immateriële kosten van verkeersongevallen⁴².

In 2021 zijn de resultaten van het VALOR-project uitgebracht (Schoeters, A. et al., 2021). Deze studie is uitgevoerd door een consortium van Belgische, Duitse, Franse en Nederlandse onderzoekers op basis van een '*stated preference*' methode⁴³. De studie leidt tot een VSL voor Nederland van 6.1 miljoen euro in 2018. Ten opzichte van de vorige studie uit 2014, waarin gebruik werd gemaakt van een VSL gebaseerd op onderzoek uit 2002, komt de waarde voor een VSL daarmee ruim een factor 2 hoger uit. In de Kamerbrief van 2 december over verkeersveiligheid (Ministerie van I&W, 2021) wordt uitgelegd waarom de kosten gestegen zijn: "*De hogere nieuwe schattingen zijn deels te verklaren door de nieuwe robuuste onderzoeksmethode en deels omdat de afgelopen jaren de welvaart is gestegen. Een hogere welvaart leidt ook tot een hogere waardering van verkeersveiligheid. De oude schattingen waren gebaseerd op onderzoek uit 2002. In de periode van 20 jaar is de welvaart gestegen en zijn schattingsmethoden verbeterd.*"

Naast de waarde van een mensenleven is ook ingeschat wat de waarde van een ernstig ongeval is ('*Value of a Statistical Serious Injury*', VSSI). De VSSI komt uit op 1,0 miljoen.

⁴² Bij de VSL gaat het niet om de waardering van een leven van een specifiek individu, maar om de waardering voor een afname van het ongevalsrisico. De meeste mensen wensen immers tegen geen enkele prijs te overlijden, maar mensen zijn ook niet bereid om tegen elke prijs elk risico op een ongeval te vermijden.

⁴³ Wijnen et al. (Wijnen, W. et al., 2022) geeft een toegankelijke samenvatting van de studie.

Deze VSSI gaat echter uit van een ongeval op MAIS3+-niveau. Dit sluit niet goed aan bij het niveau waarop ernstige ongevallen in Nederland worden geregistreerd. In Nederland worden ongevallen vanaf MAIS2+ geclassificeerd als een ernstig ongeval. Voor de waardering van ernstige ongevallen gaan we daarom niet uit van de nieuw geüpdatet waarde van een VSSI. In plaats daarvan baseren we de waardering van een ernstig ongeval (MAIS2+) op de vorige studie. Hierbij gaan we uit van de verhouding die een ernstig ongeval (MAIS2+) had ten opzichte de VSL. SWOV (SWOV, 2020a) beveelt aan om deze kosten voor zwaargewonden gelijk te stellen aan 12% van de VSL. Voor lichtgewonden gaan wij uit van 0,4% van de VSL. Dit doen we op basis van (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b), omdat dit goed aansluit bij de in deze studie gehanteerde definitie van lichtgewonden.

Overige kosten verkeersongevallen

Voor de waardering van de overige kosten van verkeersongevallen maken we gebruik van een onderzoek van Rijkswaterstaat (De Wit, M. & Methorst, R., 2012). Hoewel dit onderzoek uit 2012 is en resultaten geeft voor 2009, is dit nog steeds het meest recente onderzoek naar de kosten van verkeersongevallen in Nederland⁴⁴. Vandaar dat we deze getallen, na een inflatiecorrectie, toepassen in deze studie. We doen dit voor alle vervoerswijzen, ook al zijn de cijfers in De Wit & Methorst (2012) specifiek afgeleid voor het wegverkeer. Voor de overige vervoerswijzen zijn echter geen specifieke kentallen beschikbaar.

Tabel 21 - Waarderingskentallen voor overige kosten van verkeersongevallen (€/slachtoffer)

Kostenpost	Dodelijke slachtoffers	Zwaargewonden	Lichtgewonden ^a
Medische kosten	15.899	1.850	611
Netto productieverlies ^b	65.203	24.165	487
Afhandelingskosten	20.228	6.565	1.458
Materiële kosten	12.517	12.162	4.093

^a In De Wit & Methorst (2012) is de categorie lichtgewonden opgedeeld in twee categorieën: lichtgewonden en overige gewonden. De waarderingskentallen zoals hier gepresenteerd zijn een gewogen gemiddelde van de waarderingskentallen voor deze twee categorieën.

^b Bij de kosten van productieverlies dient uitgegaan te worden van de netto kosten, dat wil zeggen de bruto kosten van productieverlies minus de waardering van toekomstig consumptieverlies. Op deze manier kan een dubbel telling voorkomen worden, aangezien de waardering van toekomstig consumptieverlies ook deel uitmaakt van de VOSL (Wijnen, W. et al., 2017).

Tekstbox 6 - Specifieke informatie voor de toedeling van de kosten aan de transportsector en de rest van de maatschappij

Zoals weergegeven in Tabel 20 dient voor enkele kostenposten een nadere onderverdeling gemaakt te worden om in te kunnen schatten welke kosten neerslaan binnen de transportsector en welk deel daarbuiten. Specifiek gaat het dan om:

- *Medische kosten*: deze kosten bestaan uit een verzekerd en onverzekerd deel, waarbij het verzekerde deel neerslaat binnen de transportsector en het onverzekerde deel bij de rest van de maatschappij. Er is niet bekend welk deel van de medische kosten van verkeersongevallen wordt vergoed door verzekeraars. Wel kan op basis van CBS-data bepaald worden dat circa 20% van de medische kosten in Nederland betaald worden door de overheid, terwijl de overige 80% betaald wordt door huishoudens en bedrijven (in de vorm van verzekeringspremies en eigen bijdragen). We gaan er in deze studie vanuit dat deze percentages ook

⁴⁴ Vanwege deze reden wordt onder anderen in W2Economics & CE Delft (2016) en KiM (2019) de aanbeveling gedaan om deze kosten grondig te updaten.

voor de medische kosten van verkeersongevallen gelden. Dit houdt dus in dat 80% van de medische kosten wordt toegerekend aan de transportsector en 20% aan de rest van de maatschappij.

- *Afhandelingskosten*: hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen de afhandelingskosten voor verzekeraars en die voor de overige diensten. De kosten van verzekeraars worden immers via premiebetalingen gedragen door verkeersdeelnemers en slaan daarmee neer binnen de transportsector. De overige afhandelingskosten slaan neer bij de rest van de maatschappij. De Wit & Methorst (2012) geven aan dat de kosten van verzekeraars 84% van de totale afhandelingskosten bedragen.

4.5 Resultaten

In deze paragraaf presenteren wij de totale, gemiddelde en marginale ongevalskosten per voertuigcategorie. Gedetailleerde uitsplitsingen naar wegtype en soort ongeval (dodelijk, zwaargewond, lichtgewond) zijn opgenomen in Bijlage B.2.

4.5.1 Totale externe ongevalskosten

De totale externe kosten van ongevallen in 2018 zijn weergegeven in Tabel 22. Zoals hierboven besproken gaan we ervan uit dat verkeersdeelnemers rekening houden met het risico om zelf betrokken te raken bij een ongeval. Dit houdt dus in dat de kosten die samenhangen met het eigen risico als volledig geïnternaliseerd worden beschouwd, terwijl de kosten die samenhangen met het risico van anderen als extern van aard worden gezien. In de praktijk betekent dat we slechts een beperkt gedeelte van de kosten van enkelvoudige ongevallen (bijv. een auto die tegen een boom rijdt) meenemen.

Tabel 22 - Totale externe kosten van ongevallen per vervoerswijze (mln. €)

Vervoerswijze	Binnen de transportsector	Rest van de maatschappij	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Personenauto totaal	9.682	318	10.000
- <i>Personenauto benzine</i>	7.120	234	7.354
- <i>Personenauto diesel</i>	2.133	70	2.204
- <i>Personenauto LPG</i>	146	4,8	151
- <i>Personenauto elektrisch</i>	57	1,9	59
- <i>Personenauto PHEV</i>	225	7,4	232
Motorfiets	293	20	314
Bromfiets	1.038	89	1.127
Ov-bus totaal	188	4,0	192
- <i>Ov-bus diesel</i>	180	3,9	184
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	7,4	0,16	7,6
Touringcar	25	0,67	26
Fiets totaal	3.008	230	3.239
- <i>Gewone fiets</i>	2.642	202	2.844
- <i>Elektrische fiets</i>	366	28	394
Personentrein totaal	28	0,21	28
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,1	0,001	0,10
- <i>Personentrein diesel</i>	1,01	0,007	1,0
- <i>Personentrein elektrisch</i>	27	0,20	27
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Bestelauto totaal	1.600	49	1.649
- <i>Bestelauto diesel</i>	1.598	49	1.647
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	1,30	0,04	1,34

Vervoerswijze	Binnen de transportsector	Rest van de maatschappij	Totaal
Vrachtauto totaal	872	15	887
– Trekker voor oplegger	517	9,1	526
– Vrachtauto <10 ton	37	0,65	38
– Vrachtauto 10-20 ton	165	2,9	168
– Vrachtauto >20 ton	152	2,6	155
Goederentrein totaal	1,237	0,009	1,25
– Goederentrein diesel	0,339	0,003	0,34
– Goederentrein elektrisch	0,898	0,007	0,90
Binnenvaart	19	0,15	19
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)			
Zeevaart	24	0,251	24
Luchtvaart personenvervoer	11	0,045	11
Luchtvaart goederenvervoer	0,65	0,003	0,65

Zoals duidelijk wordt uit Tabel 22 valt het merendeel van de kosten binnen de transportsector. Het gaat dan om andere weggebruikers die bij ongevallen betrokken waren en kosten die door (auto)verzekeringen worden vergoed. Een klein deel van de kosten wordt niet door verzekeringen vergoed maar door de overheid; deze kosten worden dus gedragen door de rest van de maatschappij.

Veruit de meeste ongevallen vinden plaats binnen het wegverkeer. De totale kosten voor wegvoertuigen zijn daardoor significant hoger dan de kosten van de overige modaliteiten. Met 10 miljard zijn de kosten het hoogst voor personenauto's. Daarnaast zijn de kosten hoog voor de fiets en bestelauto's, met respectievelijk 3,2 en 1,6 miljard euro. Dat deze vervoerswijzen naar voren komen is niet verwonderlijk aangezien deze vervoerswijzen relatief vaak betrokken zijn bij ongevallen. Er wordt daardoor een groot gedeelte van de meervoudige ongevallen toegewezen aan deze voertuigcategorieën. Zelfs bij de fiets, wat natuurlijk een kwetsbare verkeersdeelnemer is, leidt de hoge ongevallenbetrokkenheid ertoe dat er ook vaak (lichte) slachtoffers vallen bij de tegenpartij en dus dat de fiets verantwoordelijk is voor aanzienlijke ongevalskosten.

4.5.2 Gemiddelde externe ongevalskosten

In Tabel 23 staan de gemiddelde externe ongevalskosten op Nederlands grondgebied voor 2018. De gemiddelde kosten zijn het hoogst voor bromfietsers en fietsers. Deze vervoerswijzen zijn relatief vaak bij ongevallen betrokken. Ook motorfietsen, personenauto's hebben relatief hoge ongevalskosten. Wat opvalt is dat de gemiddelde kosten van diesel en LPG-auto's lager zijn dan de kosten voor benzineauto's. Dit komt doordat deze vervoerswijzen een relatief groter gedeelte van de kilometers op de snelweg rijden. Hier is per kilometer een lager risico op ongevallen waardoor de gemiddelde externe kosten ook lager uitkomen. Er zit dus geen intrinsiek verschil op ongevallen tussen de verschillende brandstoffen en aandrijflijnen. De externe kosten van personentreinen zijn significant lager dan voor de wegvoertuigen, wat de relatief hoge mate van veiligheid van deze vervoerswijze weerspiegelt.

Voor vrachtvervoer geldt dat spoorvervoer en binnenvaart lagere ongevalskosten hebben dan het wegvervoer. Dit komt enerzijds door de betere belading van deze voertuigen. Belangrijker is echter dat het ongevalsrisico voor deze voertuigen een stuk lager is. Bij vrachtwagens valt op dat de kleinere vrachtwagens hogere gemiddelde ongevalskosten hebben, wat het gevolg is van een hoger ongevalsrisico. Dit komt omdat deze voertuigen relatief veel kilometers in de stad rijden en daardoor meer risico op ongevallen hebben.

Doordat ze daarnaast minder lading vervoeren ten opzichte van de grotere vrachtwagens zijn de kosten per tonkilometers hoger.

Tabel 23 - Gemiddelde externe kosten van ongevallen op Nederlands grondgebied

Vervoerswijze	Binnen de transportsector	Rest van de maatschappij	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto gemiddeld	67	2,20	69
– Personenauto benzine	73	2,40	75
– Personenauto diesel	52	1,72	54
– Personenauto LPG	57	1,88	59
– Personenauto elektrisch	73	2,40	75
– Personenauto PHEV	73	2,40	75
Motorfiets	102	7,1	109
Bromfiets	365	31,2	396
Ov-bus gemiddeld	49	1,1	50
– Ov-bus diesel	49	1,1	50
– Ov-bus elektrisch	49	1,1	50
Touringcar	3,1	0,08	3,2
Fiets gemiddeld	164	12,5	176
– Gewone fiets	164	12,5	176
– Elektrische fiets	164	12,5	176
Personentrein gemiddeld	1,4	0,011	1,42
– Hoge snelheidstrein	0,07	0,001	0,072
– Personentrein diesel	1,5	0,011	1,5
– Personentrein elektrisch	1,5	0,011	1,5
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto gemiddeld	88	2,7	91
– Bestelauto diesel	88	2,7	91
– Bestelauto elektrisch	88	2,7	91
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	14	0,25	15
– Trekker voor oplegger	12	0,20	12
– Vrachtauto <10 ton	250	4,33	254
– Vrachtauto 10-20 ton	96	1,68	97
– Vrachtauto >20 ton	11	0,19	11
Goederentrein gemiddeld	0,176	0,0013	0,18
– Goederentrein diesel	0,176	0,0013	0,18
– Goederentrein elektrisch	0,176	0,0013	0,18
Binnenvaart	0,408	0,0033	0,41

Voor de lucht- en zeevaart staan de kosten van ongevallen in Tabel 24. Het gaat om de kosten over de hele reis. Vanwege het lage ongevalsrisico en de lange reisafstanden zijn de gemiddelde kosten erg laag.

Tabel 24 - Gemiddelde externe kosten door ongevallen voor internationale lucht- en zeevaart

Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland	Eenheid	Binnen de transportsector	Rest van de maatschappij	Totaal
Zeevaart	€ per 1.000 tkm	0,01	0,00012	0,012
Luchtvaart personenvervoer	€ per 1.000 rkm	0,10	0,00042	0,101
Luchtvaart goederenvervoer	€ per 1.000 tkm	0,09	0,00038	0,093

4.5.3 Marginale externe ongevalskosten

De marginale externe kosten van ongevallen voor wegvervoer op Nederlands grondgebied staan in Tabel 25. De marginale ongevalskosten van de wegmodaliteiten variëren sterk per wegtype, wat vooral afhangt van de mate waarin een extra gereden kilometer leidt tot een verhoging of verlaging van het risico op een ongeval. Zo geldt voor buitenwegen (en snelwegen) dat een extra voertuig verondersteld wordt te leiden tot een lager ongevalsrisico, waardoor de marginale ongevalskosten relatief beperkt zijn. De negatieve marginale externe ongevalskosten voor de (brom)fiets kunnen worden verklaard door het feit dat ze relatief weinig verantwoordelijk zijn voor slachtoffers in andere voertuigen, terwijl hun aanwezigheid er wel voor zorgt dat de gemiddelde snelheid, en daarmee de ongevalsrisico's, op deze wegen afnemen. Hierdoor leiden extra (brom)fietsers op buitenwegen tot een daling in de externe ongevalskosten. Belangrijk om op te merken is dat de marginale maatschappelijke kosten, inclusief interne kosten, wel stijgen. Zoals beschreven in Paragraaf 4.3.2 gaan we er voor de overige modaliteiten vanuit dat de marginale ongevalskosten gelijk zijn aan de gemiddelde ongevalskosten.

Tabel 25 - Marginale externe kosten van ongevallen op Nederlands grondgebied

Vervoerswijze	Stadsweg	Buitenweg	Snelweg
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto gemiddeld	251	19	6,2
Motorfiets	401	14	2
Bromfiets	517	-18	-
Ov-bus gemiddeld	65	16	1,4
Touringcar	10	2,6	0,2
Fiets gemiddeld	179	-90	6,2
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto gemiddeld	361	52,7	9,2
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	78	18,2	3,3

4.6 Robuustheid resultaten

De robuustheid van de berekende externe ongevalskosten is allereerst afhankelijk van de betrouwbaarheid van de gehanteerde ongevallenstatistieken. Onze berekeningen zijn gebaseerd op het aantal geregistreerde ongevallen. Deze zijn, zoals beschreven is in Bijlage C.2, gebaseerd op ongevallen die geregistreerd worden door bijvoorbeeld de politie en ziekenhuizen. De registratie van met name lichtgewonden is onvolledig, slechts enkele procenten van dergelijke ongevallen wordt geregistreerd. Ook ongevallen waarbij geen motorvoertuigen betrokken zijn worden erg weinig geregistreerd door de politie (SWOV, 2019b). Wij corrigeren hiervoor door de gerapporteerde aantallen ongevallen en slachtoffers voor wegverkeer op te schalen op basis van correctiefactoren. Deze correctiefactoren bevatten

uiteraard onzekerheid, die met name voor de lichtgewonden aanzienlijk is. De invloed hiervan op de uiteindelijke resultaten is significant, aangezien de kosten van lichtgewonden een significant aandeel hebben in de totale kosten, zoals te zien is in Tabel 89.

Een tweede onzekerheid zit in de waardering van ongevallen en dan met name in de waardering van licht en zwaargewonden. Voor dodelijke slachtoffers kon in deze studie gebruikgemaakt worden van recente inzichten over de waardering van een statistisch mensenleven. In deze inschattingen zit een ruime bandbreedte (95% betrouwbaarheidsinterval) van 3,4 tot 9,0 miljoen Euro voor de VSL. Voor de waarderingen van gewonde slachtoffers zijn (nog) geen specifieke waarderingskentallen beschikbaar die aansluiten bij de door ons gehanteerde definitie. Daarom hebben we deze waarderingskentallen ingeschat door een percentage te nemen van de VSL, wat leidt tot extra onzekerheid in de uitkomsten.

Voor de andere modaliteiten geldt ook dat er onzekerheid is in de geregistreeerde ongevallen en in de waardering van ongevallen. Voor binnenvaart en spoorvervoer gaan we uit van nationale registraties. Ook hier is het aannemelijk dat, met name gewonden, minder goed geregistreerd worden. Voor de lucht- en zeevaart maken we gebruik van internationale datasets van geregistreeerde ongevallen. Hierdoor geldt dat het niet duidelijk is hoe de registratiegraad van ongevallen is. Voor de waardering zijn geen specifieke kengetallen beschikbaar voor de niet-wegmodaliteiten. Dit kan met name voor de afhandelingkosten en materiele kosten leiden tot significante onzekerheden, omdat het aannemelijk is dat in deze kosten grote verschillen zitten tussen vervoerswijzen. Nader onderzoek op dit onderwerp valt aan te bevelen.

5 Kosten van broeikasgasemissies

5.1 Inleiding

Verkeer en vervoer heeft een belangrijk aandeel in de totale uitstoot van broeikasgasemissies (CO₂, N₂O en CH₄) in Nederland. Zo zijn het wegvervoer, spoorvervoer en de binnenvaart gezamenlijk bijvoorbeeld verantwoordelijk voor circa 19% van de totale uitstoot van broeikasgasemissies in Nederland in 2018 (CBS & RIVM/Emissieregistratie, 2020). Deze emissies zijn verantwoordelijk voor de opwarming van de aarde, ofwel (IPCC, 2007). De effecten van klimaatverandering zijn globaal, treden op de lange termijn op en de risico's zijn zeer groot⁴⁵. Hierdoor is het de onzekerheid in de kosten van broeikasgasemissies relatief groot.

In dit hoofdstuk gaan we in op de bepaling van de omvang van de kosten van broeikasgasemissies van de verschillende vervoerswijzen. Daartoe worden in Paragraaf 5.2 allereerst de externe kosten van broeikasgasemissies gedefinieerd. In de Paragraaf 5.3 wordt vervolgens de methodiek voor de bepaling van de externe kosten van broeikasgasemissies uiteengezet. In Paragraaf 5.4 worden de waarderingskentallen besproken die voor broeikasemissies worden toegepast, waarna we in Paragraaf 5.5 de resultaten presenteren. In Paragraaf 5.6 bespreken we tenslotte de robuustheid van de gepresenteerde resultaten.

5.2 Definitie van kosten

Het klimaat verandert op dit moment door de oplopende concentraties aan broeikasgassen in onze atmosfeer. Die gassen laten de invallende zonnestrallen door, maar houden de door de aarde teruggekaatste warmte tegen. Dit fenomeen is bekend als het broeikaseffect en leidt tot een stijging van de mondiale temperatuur en klimaatveranderingen als gevolg van deze temperatuurstijging. De IPCC verwacht een significante toename van temperaturen als er geen klimaatbeleid wordt toegepast (IPCC, 2013). Dergelijke temperatuurstijgingen zullen grote en grotendeels onomkeerbare gevolgen hebben op de huidige samenleving. De kosten van broeikasgassen bevatten alle kosten die geassocieerd worden met de effecten van klimaatverandering, zoals extremere weersomstandigheden, een hoger zeespiegelniveau en veranderende leefomgevingen van mens, plant en dier. Overstromingen, droogte en verspreiding van ziektes (bijvoorbeeld malaria) zijn enkele van de te verwachten gevolgen. In Tekstbox 7 zijn enkele van belangrijkste gevolgen van klimaatverandering in meer detail beschreven.

Tekstbox 7 - Effecten klimaatverandering

Enkele belangrijke (mogelijke) effecten van klimaatverandering zijn:

- De *zeespiegelstijging* zal leiden tot verlies aan landareaal, met name in deltagebieden waar wereldwijd veruit de meeste mensen wonen. Dit kan leiden tot omvangrijke migratiestromen en ontwrichtingen van menselijke samenlevingen. Daarnaast kan het leiden tot een verlies aan landbouwareaal en wetlands.
- *Menselijke gezondheid*; Verminderde koude stress in de winter heeft een (mogelijke) reducerende invloed op het aantal dodelijke slachtoffers, terwijl hogere temperaturen in de zomer juist tot meer dodelijke

⁴⁵ Onder andere door het bestaan van verschillende mogelijke feedbackloops en de onduidelijkheid over de relatie tussen klimaatverandering en sommige zeer ernstige gevolgen (zoals de vertraging of stop van de golfstroom).



slachtoffers en gezondheidsproblemen kunnen leiden. Tot op zekere hoogte zullen deze effecten elkaar opheffen. Daarnaast leidt de temperatuurstijging tot een verhoogde kans op het optreden van bepaalde parasitaire ziekten zoals malaria.

- De *voedselproductie* zal mondiaal aanzienlijk verschuiven, waarbij een verlies aan mogelijkheden in warme landen zal worden gecompenseerd door verruimde mogelijkheden in koudere landen. Aangezien deze verandering zich snel zal voltrekken kan dit tot belangrijke sociaaleconomische problemen leiden waarbij hongersnoden vaker kunnen voorkomen en er migratiestromen op gang zullen komen.
- Er kunnen gevolgen zijn voor de *watervoorziening*: in sommige gebieden zal het tekort aan water worden verergerd door de klimaatverandering, bijvoorbeeld door een verdere verzouting van ecosystemen. In andere gebieden zal er juist meer water beschikbaar zijn, wat kan leiden tot problemen met watermanagement.
- *Ecosystemen en biodiversiteit impacts* zijn de meest complexe en moeilijk te beoordelen effecten van klimaatverandering. Mogelijke effecten zijn onder andere een verhoogd risico op uitsterven van bepaalde kwetsbare soorten. Bepaalde geïsoleerde systemen zoals koraalriffen zijn in het bijzonder in gevaar.
- *Extreme gebeurtenissen*, zoals hittegolven, droogte, stormen en cyclonen zijn niet lineair afhankelijk van de temperatuurveranderingen en de gevolgen van dergelijke effecten zijn ook heel moeilijk in te schatten. Daarnaast bestaan er mogelijke catastrofische effecten, zoals het verlies van de West-Antarctische ijskap, het verlies van de Groenlandse ijskap, methaan uitbarstingen, veranderingen in de oceaanstromingen en transformaties van de Indiase moesson. Deze effecten zijn zeer moeilijk in te schatten, maar de gevolgen kunnen enorm zijn.

De belangrijkste bron van broeikasgasemissies is het verstoken van fossiele brandstoffen.

De belangrijkste broeikasgassen die de transportsector uitstoot zijn⁴⁶:

- koolstofdioxide (CO₂);
- lachgas (N₂O);
- methaan (CH₄).

Van bovengenoemde broeikasgassen speelt vooral CO₂ een grote rol in de totale uitstoot van de verkeerssector.

Naast de bovenstaande broeikasgasemissies zijn er ook andere emissies die een rol kunnen spelen in de opwarming van de aarde. ‘*Black Carbon*’ (elementair koolstof) heeft bijvoorbeeld invloed op de hoeveelheid zonlicht dat de aarde kan weerkaatsen. Doordat roet donker van kleur is absorbeert het meer zonlicht wat leidt tot een verdere temperatuurstijging. Dit is met name het geval wanneer de roetdeeltjes terecht komen op met sneeuw bedekte oppervlaktes, omdat met name deze oppervlaktes vrijwel al het zonlicht dat de aarde bereikt terugkaatsen. Data over ‘*Black Carbon*’ emissies worden echter niet op een systematische wijze als gemiddelden verzameld en daarom is het niet mogelijk om de klimaat verwarmende effecten van ‘*Black Carbon*’ mee te nemen.

Er zijn ook emissies die een verkoelend effect hebben, zoals SO₂ en NO_x. SO₂ heeft zowel een direct als indirect verkoelend effect; de directe verkoeling wordt veroorzaakt doordat SO₂-deeltjes zonlicht weerkaatsen, het indirecte verkoelingseffect resulteert uit het feit dat SO₂-emissies bijdragen aan wolkvorming, hetgeen leidt tot een verkoeling (Fuglestvedt, J. S. et al., 2010). Er zijn de laatste jaren weinig nieuwe onderzoeken gedaan naar de verkoelende effecten van zeevaart, mede doordat vanaf 2020 nieuwe IMO-wetgeving in is gegaan die de zwavelinhoud van scheepsbrandstoffen limiteert. Hierdoor wordt er vanaf januari 2020 ongeveer 80% minder SO₂ uitgestoten door de zeevaart. Vanwege de grote onzekerheid over de omvang van deze verkoelende effecten en het feit dat het mogelijke

⁴⁶ Naast deze drie broeikasgassen hebben ook chloorfluorkoolstofemissies (cfk's), die vrijkomen bij het gebruik van airco's in voertuigen, een klimaateffect. De uitstoot van deze emissies is echter zeer beperkt en daarom worden ze in deze studie buiten beschouwing gelaten.



belang ervan sterk afneemt vanwege de nieuwe IMO-brandstofwetgeving, nemen we deze effecten in deze studie niet mee.

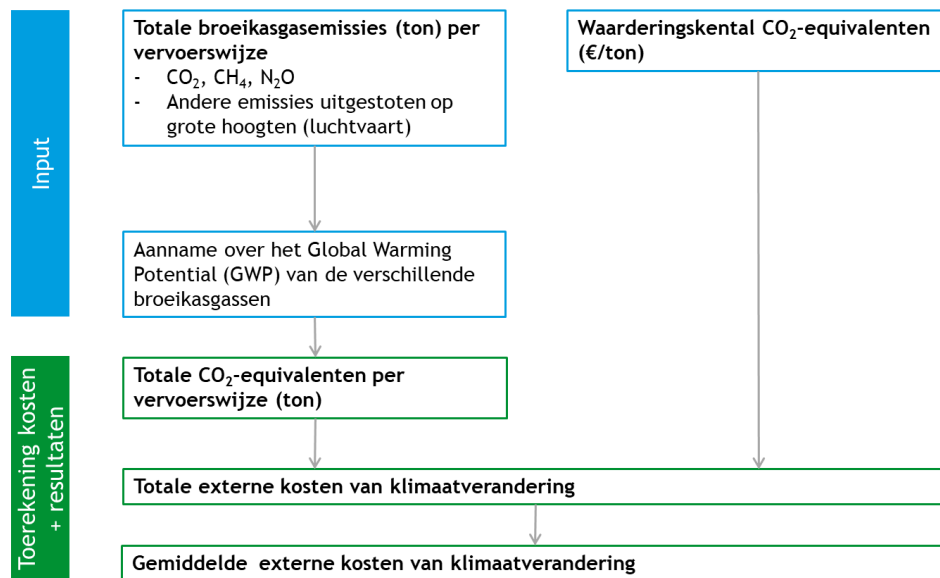
Tot slot, bij de luchtvaart heeft ook de uitstoot van enkele andere stoffen (waterdamp, roetdeeltjes, sulfaat en ozon (door een chemische reactie met stikstofoxiden)) op grote hoogten invloed op het klimaat. Sommige van deze stoffen hebben een verkoelend effect en beperkten de effecten van klimaatverandering, terwijl andere van deze stoffen (bijvoorbeeld waterdamp en sulfaat) een verwarmend effect hebben doordat zij zonnestraling absorberen. De klimaatimpact van deze op grote hoogte uitgestoten emissies worden in deze studie meegenomen.

5.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

5.3.1 Totale en gemiddelde kosten

De methodiek voor het bepalen van de totale en gemiddelde kosten van broeikasgasemissies is op hoofdlijnen weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 - Methodiek bepaling totale en gemiddelde externe kosten van broeikasgasemissies



Op hoofdlijnen bestaat de methodiek voor de bepaling van de totale en gemiddelde externe kosten van broeikasgasemissies uit vier stappen:

1. *Bepaal de totale hoeveelheid broeikasgassen per vervoerswijze*; in Bijlage C.3 wordt dit nader toegelicht en worden de totale broeikasgassen per vervoerswijze gepresenteerd.
2. *Bepaal de totale CO₂-equivalenten emissies per vervoerswijze*; omdat de verschillende broeikasgassen een verschillende levensduur en klimaatimpact hebben worden ze omgerekend naar tonnen CO₂-equivalenten zodat ze onderling kunnen worden vergeleken. Een ton N₂O en CH₄ hebben respectievelijk een 298 en 25 keer grotere impact op

klimaatverandering dan één ton CO₂ (IPCC, 2007)⁴⁷. Door de emissies van elk broeikasgas te vermenigvuldigen met dit bijbehorende kental (ook wel ‘*Global Warming Potential*’ (GWP) genoemd) wordt de hoeveelheid CO₂-equivalenten verkregen⁴⁸. Met betrekking tot de niet-CO₂-emissies die door de luchtvaart hoog in de atmosfeer worden uitgestoten wordt een andere methode gehanteerd. Evenals CE Delft et al. (2019) worden de CO₂-emissies van vliegtuigen vermenigvuldigd met een correctiefactor om de totale klimaatimpact van de luchtvaart vast te stellen⁴⁹. Op basis van recente bevindingen (Lee, D. S. et al., 2021) gaan we uit van een correctiefactor van 1,7 in 2018.

3. *Bepaal de totale externe kosten van klimaatverandering*; door de totale hoeveelheid uitgestoten emissies (in CO₂-eq.) te vermenigvuldigen met een CO₂-prijs worden de totale externe kosten van klimaatverandering verkregen. De CO₂-prijs geeft de maatschappelijke kosten weer van een ton CO₂-eq. In Paragraaf 5.4 gaan we hier dieper op in.
4. *Bepaal de gemiddelde externe kosten van klimaatverandering*; door de totale externe kosten van klimaatverandering (per vervoerwijze) te delen door de rkm's of tkm's van de betreffende vervoerwijze kunnen de gemiddelde externe kosten van klimaatverandering worden bepaald.

5.3.2 Marginale kosten

Evenals bij luchtvervuilende stoffen worden de externe marginale kosten van klimaatverandering gelijk verondersteld aan de gemiddelde kosten. Onder het kopje marginale kosten presenteren we in deze studie dan ook vooral gemiddelde/marginale kosten voor specifieke cases. Meer specifiek:

- Voor de verschillende vervoerswijzen onderscheiden we drie cases: een zuinig voertuig, een gemiddeld voertuig en een onzuinig voertuig. De bijbehorende emissiefactoren zijn weergegeven in Tabel 26.

⁴⁷ Door IPCC (2013) worden geüpdatete GWP's gepresenteerd, die een klein beetje afwijken van deze GWP's. Er wordt echter aangegeven dat in internationale rapportages nog de GWP's uit IPCC (IPCC, 2007) dienen te worden gebruikt. Daar sluiten wij in deze studie bij aan.

⁴⁸ Global Warming Potentials (GWP) kunnen gezien worden als correctiefactoren voor het verschil in klimaatimpact en levensduur van de verschillende broeikasgassen. Zoals in de beleidscontext gebruikelijk is maken we daarbij gebruik van GWP's voor 100 jaar, wat wil zeggen dat alle klimaateffecten van een emissie over een periode van 100 jaar worden meegenomen door ze te verdisconteren tot één correctiefactor.

⁴⁹ In sommige studies wordt er gebruikgemaakt van de zogenaamde ‘*radiative forcing index*’ (RFI) om te corrigeren voor het klimaateffect van de uitstoot van emissies op grote hoogten. Deze correctiefactor, die varieert tussen de 1 en 4, geeft aan hoeveel groter de totale klimaatimpact van de luchtvaart op een bepaald moment is in vergelijking met de uitgestoten CO₂-emissies. Een nadeel van de RFI is dat deze correctiefactor geen rekening houdt met de verschillen in levensduur van de verschillende emissies. CO₂ heeft bijvoorbeeld een levensduur van meer dan 100 jaar, terwijl de levensduur van wolkvorming slechts enkele uren is. Het gebruik van de RFI als correctiefactor leidt dan ook tot een overschatting van de klimaatimpact van de luchtvaart. Beter is het om gebruik te maken van zogenaamde ‘*Emission Weighting Factors*’, waarbij er wel rekening wordt gehouden met de factor tijd (Forster, P. et al., 2007) de straling van een bepaalde hoeveelheid broeikasgas wordt vergeleken met de straling van eenzelfde hoeveelheid CO₂ over een bepaalde tijdsperiode (bijvoorbeeld 100 jaar). Door Lee, D. S. et al., (2021) wordt geschat met een 100 jarige tijdshorizon de (correctiefactor voor de klimaatbijdrage gelijk is aan 1.7. Deze waarde zullen we ook in deze studie hanteren.



Tabel 26 - CO₂-emissies (g per rkm/vkm/tkm) voor de verschillende marginale kosten cases per vervoerswijze

Voertuigcategorie	Zuinig	Gemiddeld	Onzuinig
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (g/rkm)			
Personenauto benzine	108	138	185
Personenauto diesel	96	121	146
Personenauto LPG	91	122	156
Motorfiets	87	104	111
Bromfiets	56	69	74
Ov-bus diesel	75	116	151
Touringcar	12	13	22
Personentrein diesel	49	64	78
Bestelauto op Nederlands grondgebied (g/vkm)			
Bestelauto diesel	135	210	310
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (g/tkm)			
Trekker voor oplegger	83	101	121
Vrachtauto <10 ton	305	597	776
Vrachtauto 10-20 ton	176	208	359
Vrachtauto >20 ton	56	109	197
Goederentrein diesel	12	16	30
Binnenvaart	13	39	43

Tabel 27 - CO₂-emissies (g per rkm/tkm) voor de verschillende marginale kosten cases per vervoerswijze

Voertuigcategorie	Eenheid	Lage prijs	Hoge prijs	2-graden-prijs
Zeevaart	g/tkm	2	5	41
Luchtvaart personenvervoer	g/rkm	73	136	108
Luchtvaart goederenvervoer	g/tkm	408	731	1.087

5.4 Waarderingskentalen

Waarderingskentalen voor CO₂ kunnen bepaald worden door middel van de schadekostenmethodiek alsmede via de preventiekostenmethodiek. De schadekosten laten zich echter lastig schatten doordat het bij klimaatverandering gaat om langetermijneffecten met een hoog onzekerheidsgehalte. Daarnaast heeft de gebruikte discontovoet veel invloed op de resultaten. Uit onder andere Van den Bijgaart et al. (2016) en Van den Bergh en Botzen (2012) blijkt dat de uitkomsten van de schadekostenmethodiek zeer divers kunnen zijn, omdat er bij de berekeningen beslissingen moeten worden genomen over parameters waarvan de exacte waarde moeilijk wetenschappelijk is vast te stellen. Vandaar dat zij aanbevelen om het waarderingskental voor CO₂ te bepalen via de preventiekostenmethodiek.

Via de Klimaatwet heeft de Nederlandse overheid de volgende klimaatdoelen vastgesteld:

- 49% minder CO₂-uitstoot in 2030 ten opzichte van 1990;
- 95% minder CO₂-uitstoot in 2050 ten opzichte van 1990.

Daarnaast is uit het Urgenda-vonnis gebleken dat de Nederlandse staat in 2020 tenminste 25% minder broeikasgassen moet uitstoten ten opzichte van 1990.

Omdat de beleidsdoelstellingen bekend zijn is het mogelijk om de marginale preventiekosten te bepalen. Dit heeft de voorkeur boven de schadekostenmethodiek vanwege de lagere onzekerheid in de waarderingskentalen. In lijn met de vorige studie CE Delft & VU Amsterdam, (2014b), het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017) en 'Handbook of external

costs of transport' (CE Delft, INFRAS, et al., 2019) wordt daarom gebruikgemaakt van de preventiekostenmethodiek om de waarderingskentallen te bepalen.

De waarderingskentallen die toegepast worden voor CO₂ volgen de voor maatschappelijke kostenbatenanalyses voorgeschreven waarderingskentallen uit het Milieuprijzenhandboek (CE Delft, 2017). Deze prijzen sluiten aan bij het advies van de Werkgroep Discontovoet (in 2015 overgenomen door het Nederlandse Kabinet) om CO₂-emissies te waarderen aan de hand van prijspaden die het CPB en PBL hebben gemaakt in het kader van de WLO-scenario's. In deze scenario's worden twee ontwikkelingen geschetst die in de toekomst kunnen plaatsvinden: Laag en Hoog. Voor Scenario Hoog komt de beleidsopgave overeen met het 2030 beleid dat de EU in 2014 heeft aangenomen (EC, 2014) en dat op dit moment in concrete instrumenten wordt omgezet, zoals het EU ETS. Voor Scenario Laag is de doelstelling minder dan de beleidsvoornemens. Scenario Laag bevat dus de aanname dat rond 2025 het inzicht komt dat internationaal klimaatbeleid niet gaat werken waarop het toegezegde beleid wordt afgebouwd en afgezwakt (CPB & PBL, 2016).

In aanvulling op de hoge en lage CO₂-prijzen voor het huidige beleidspad, wordt er in het Milieuprijzenhandboek ook een CO₂-prijs gegeven die past bij een beleid dat noodzakelijk is om de 2 °C-doelstelling te halen. Bij een dergelijk beleid zullen de CO₂-prijzen aanzienlijk stijgen. De WLO-scenario's gaan er in dat geval vanuit dat tot 2050 de prijzen zullen stijgen tot 200 of zelfs 1.000 €/tCO₂. Op basis hiervan zijn de efficiënte prijzen voor tussenliggende jaren te berekenen. Dit laat zien dat de prijzen in 2030 reeds tussen de 100 en 500 euro moeten liggen. En voor 2018 rond de 100 €/ton.

Een overzicht van de gehanteerde CO₂-prijzen in deze studie is weergegeven in Tabel 28.

Tabel 28 - Waarderingskental voor CO₂ behorende bij verschillende beleidsdoelstellingen voor 2018 in €/t CO₂

€/t CO ₂	Huidig beleid - Laag	Huidig beleid - Hoog	2-gradenbeleid
CO ₂ -prijs	16	65	107

Bij de bepaling van de CO₂-prijzen voor 2018 zijn conform CPB & PBL (2016) de prijzen verdisconteerd met 3,5% per jaar.

Tekstbox 8 - Verschil CO₂-prijs en ETS-prijs

In Europa is er een CO₂-emissiehandelsstelsel van kracht genaamd 'EU Emission-Trading-Scheme' (EU ETS). Sectoren die onder het EU ETS vallen moeten CO₂-rechten afdragen voor de uitstoot van broeikasgasemissies. De CO₂-rechten zijn handelbaar waardoor er een marktprijs voor CO₂-emissies ontstaat. Deze CO₂-prijs wordt ook wel de ETS-prijs genoemd. De ETS-prijs verschilt van de hierboven gepresenteerde CO₂-prijzen en de prijzen zijn niet onderling inwisselbaar om verschillende redenen. Ten eerste verschilt de scope van de ETS-prijs, omdat niet alle sectoren (volledig) vallen onder EU ETS. Hierdoor verschillen de gemiddelde kosten om CO₂-emissies te verminderen, wat resulteert in een andere prijs. Ook worden niet alle CO₂-rechten geveild waardoor niet alle emissies geprijsd zijn. Ten tweede is de EU ETS-prijs niet specifiek voor Nederland, maar is het een Europees gemiddelde. Emissiereductie in Nederland kan relatief goedkoper of prijziger zijn dan gemiddeld in Europa. Een derde reden is dat de ETS-prijs gedreven wordt door speculatie en fluctuaties op de markt. De ETS-prijs is daardoor een stuk volatieler en niet noodzakelijk een goede reflectie van de daadwerkelijke kosten van CO₂-emissiereductie. Deze drie redenen zorgen ervoor dat de EU ETS-prijs niet geschikt is ter vervanging van een Nederlands waarderingskental voor CO₂-emissies.



5.5 Resultaten

In deze paragraaf presenteren wij de totale, gemiddelde en marginale kosten van broeikasgasemissies per voertuigcategorie. Gedetailleerde uitsplitsingen naar wegtype zijn opgenomen in Bijlage B.3.

5.5.1 Totale kosten van broeikasgasemissies

De totale kosten van broeikasgasemissies zijn weergegeven in Tabel 29. De omvang van deze kosten zijn sterk afhankelijk van de CO₂-prijs die wordt aangenomen. Let wel, zoals is beschreven in de vorige paragraaf, zijn de CO₂-prijzen gebaseerd op de preventiekostenmethodiek. Dit betekent dat de ingeschatte klimaatkosten gebaseerd zijn op de kosten van beleid wat nodig is om een bepaalde mate van klimaatopwarming tegen te gaan. Bij een lage CO₂-prijs wordt er weinig beleid gevoerd, wat betekent dat in 2018 de kosten om klimaatverandering tegen te gaan lager zijn. Op de lange termijn zijn er echter waarschijnlijk hogere kosten doordat er in dit scenario meer verandering van het klimaat optreedt. Het is goed om te realiseren dat deze langetermijnkosten niet tot uiting komen in de schatting van de klimaatkosten. Om langetermijnrisico's zoveel mogelijk te vermijden is in het Parijsakkoord afgesproken om te streven naar een maximale temperatuurstijging van 2-graden ten opzichte van 1990. Om dit te behalen is er in 2018 dus significant meer beleid nodig dan bij het lage scenario waar weinig aan klimaatbeleid wordt gedaan. De klimaatkosten liggen in een dergelijk scenario op de korte termijn aanmerkelijk hoger, zoals duidelijk wordt uit de laatste kolom in Tabel 29.

De vervoerswijzen die het meeste bijdragen aan de kosten van broeikasgasemissies zijn personenauto's. Dit is te verklaren door het grote aandeel dat personenauto's heeft in de totale vervoersprestatie in Nederland. Binnen het wegverkeer dragen daarnaast vooral de bestel- en vrachtauto's bij aan de klimaatkosten, wat te verklaren valt door het significante aandeel dat deze vervoerswijzen hebben in de totale verkeersprestaties van het wegverkeer. Bij de niet-wegmodaliteiten zijn vooral de lucht- en zeevaart verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de kosten van broeikasgasemissies. Bij het spoorvervoer zijn de klimaatkosten volledig afkomstig van dieseltreinen (de kosten van broeikasgasemissies die vrij komen bij de opwekking van elektriciteit worden behandeld in Hoofdstuk 7). Doordat het aandeel van dieseltreinen in Nederland klein is, zijn er echter ook weinig kosten van broeikasgasemissies door spoorvervoer.

Tabel 29 - Totale externe kosten van broeikasgasemissies door verschillende vervoerswijzen in mln. €

Voertuigcategorie	Lage prijs	Hoge prijs	2-graden-prijs
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Personenauto totaal	308	1.234	2.030
– <i>Personenauto benzine</i>	219	875	1.439
– <i>Personenauto diesel</i>	80	321	529
– <i>Personenauto LPG</i>	5,1	20	33
– <i>Personenauto elektrisch</i>	-	-	-
– <i>Personenauto PHEV</i>	4,4	17	29
Motorfiets	4,8	19	32
Bromfiets	3,2	13	21
– <i>Ov-bus totaal</i>	8,6	34	57
– <i>Ov-bus diesel</i>	6,9	28	45
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	-	-	-
Touringcar	1,7	6,9	11,1

Voertuigcategorie	Lage prijs	Hoge prijs	2-graden-prijs
Personentrein totaal	0,68	2,7	4,5
– Hoge snelheidstrein	-	-	-
– Personentrein diesel	0,68	2,7	4,5
– Personentrein elektrisch	-	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Bestelauto totaal	62	248	408
– Bestelauto diesel	62	248	408
– Bestelauto elektrisch	-	-	-
Vrachtauto totaal	105	421	693
– Trekker voor oplegger	73	294	483
– Vrachtauto <10 ton	1,4	5,8	10
– Vrachtauto 10-20 ton	5,8	23	38
– Vrachtauto >20 ton	25	99	162
Goederentrein totaal	0,50	2,0	3,3
– Goederentrein diesel	0,50	2,0	3,3
– Goederentrein elektrisch	-	-	-
Binnenvaart	30	118	195
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)			
Zeevaart	172	688	1.132
Luchtvaart personenvervoer	241	962	1.584
Luchtvaart goederenvervoer	83	332	546

5.5.2 Gemiddelde kosten van broeikasgasemissies

De gemiddelde kosten van broeikasgasemissies op Nederlands grondgebied zijn zichtbaar in Tabel 30. Voor personenvervoer zijn de hoogste gemiddelde kosten te vinden bij het wegvervoer. Daarbij liggen de kosten het hoogst voor de benzinepersonenauto. In vergelijking met de diesel- en LPG-variant zijn de kosten voor dit autotype ook hoger, wat enerzijds te verklaren is door de iets lagere gemiddelde brandstofefficiëntie van deze auto's en anderzijds door het feit dat benzineauto's gemiddeld genomen meer worden gebruikt (voor korte ritten) op stadswegen waar het brandstofverbruik per kilometer hoger ligt. De relatief lage bezettingsgraad van ov-bussen leidt ertoe dat de gemiddelde klimaatkosten van dieselbussen slechts beperkt lager zijn dan bij personenauto's. Echter door het hoge aandeel elektrische bussen in de vloot, zijn de gemiddelde klimaatkosten voor de gehele ov-busvloot wel aanmerkelijk lager dan voor personenauto's.

Bij goederenvervoer valt op dat de binnenvaart en met name het spoorvervoer aanmerkelijk lagere gemiddelde klimaatkosten hebben dan het wegvervoer. Een hogere gemiddelde belading en het feit dat het spoorvervoer grotendeels is geëlektrificeerd is hiervoor de belangrijkste verklaring.

Tabel 30 - Gemiddelde externe kosten van broeikasgasemissies op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Lage prijs	Hoge prijs	2-graden-prijs
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 rkm)			
Personenauto gemiddeld	2,1	8,5	14
– Personenauto benzine	2,2	9,0	15
– Personenauto diesel	2,0	7,9	13
– Personenauto LPG	2,0	7,9	13
– Personenauto elektrisch	-	-	-
– Personenauto PHEV	1,4	5,7	9,3
Motorfiets	1,7	6,8	11
Bromfiets	1,1	4,5	7,4
Ov-bus gemiddeld	0,7	2,9	4,8
– Ov-bus diesel	– 1,9	– 7,5	– 12
– Ov-bus elektrisch	– -	– -	– -
Touringcar	0,2	0,8	1,4
Personentrein gemiddeld	0,035	0,14	0,23
– Hoge snelheidstrein	-	-	-
– Personentrein diesel	1,0	4,1	6,8
– Personentrein elektrisch	-	-	-
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€/1.000 vkm)			
Bestelauto gemiddeld	3,4	14	22
– Bestelauto diesel	– 3,4	– 14	– 22
– Bestelauto elektrisch	– -	– -	– -
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	1,7	6,9	11
– Trekker voor oplegger	1,6	6,5	11
– Vrachtauto <10 ton	9,7	39	64
– Vrachtauto 10-20 ton	3,4	14	22
– Vrachtauto >20 ton	1,8	7,1	12
Goederentrein gemiddeld	0,072	0,29	0,47
– Goederentrein diesel	0,26	1,05	1,7
– Goederentrein elektrisch	-	-	-
Binnenvaart	0,63	2,5	4,1

De gemiddelde externe kosten van broeikasgasemissies van lucht- en zeevaart zijn weer-gegeven in Tabel 31. De kosten van de zeevaart zijn gemiddeld gezien zeer laag, wat vooral verklaard kan worden door de grotere ladingen die met deze vervoerswijzen vervoerd kunnen worden. Voor het goederenvervoer via de luchtvaart geldt daarentegen dat de klimaatkosten relatief hoog zijn, wat allereerst het gevolg is van het feit dat de luchtvaart relatief energie-intensief is. Daarnaast bestaat luchtvracht vooral uit goederen met een hoge economische waarde of korte houdbaarheidsdatum en zijn de gemiddelde beladingsgraden (in termen van tonnage) vaak beperkt. De klimaatkosten per tonkilometer vallen daardoor hoger uit. Ook bij het personenvervoer via de luchtvaart zien we dat de gemiddelde klimaatkosten significant zijn, maar niet heel veel hoger dan de gemiddelde klimaatkosten van bijvoorbeeld een personenauto. Echter, hierbij moet bedacht worden dat dit eigenlijk een vergelijking van appels en peren is; je vergelijkt immers een gemiddelde personenauto, die ook veel korte ritjes in de stad maakt, met een gemiddeld vliegtuig, waar dus ook gedeeltelijk intercontinentale vluchten zijn verwerkt. Deze vergelijking is dus niet zuiver en om een realistische vergelijking te kunnen maken moeten vervoersopties worden vergeleken op specifieke routes.

Tabel 31 - Gemiddelde externe kosten van emissies door broeikasgasemissies voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Lage prijs	Hoge prijs	2-graden-prijs
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,085	0,34	0,56
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	2,2	8,8	15
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	12	48	78

5.5.3 Marginale kosten van broeikasgasemissies

De marginale externe kosten van broeikasgasemissies op Nederlands grondgebied zijn weer-gegeven in Tabel 32. Bij wegvervoer zitten er weinig verschillen in de emissies omdat we zijn uitgegaan van een gelijke benutting van de voertuigen. Voor de binnenvaart, spoor- vervoer, de zeevaart, en luchtvaart zijn we uitgegaan voor verschillende type ladingen. Hierdoor is met name bij zeevaart de spreiding in kosten groter zoals te zien is in Tabel 33.

Tabel 32 - Marginale externe kosten van broeikasgasemissies op Nederlands grondgebied voor hoge CO₂-prijs

Voertuigcategorie	Lage prijs			Hoge prijs			2-graden-prijs		
	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 rkm)									
Personenauto benzine	1,7	2,2	3,0	7,0	9,0	12	11	15	20
Personenauto diesel	1,6	2,0	2,4	6,2	7,9	9,5	10	13	16
Personenauto LPG	1,5	2,0	2,5	5,9	7,9	10	9,7	13	17
Motorfiets	1,4	1,7	1,8	5,6	6,8	7,2	9,3	11	12
Bromfiets	0,91	1,1	1,2	3,6	4,5	4,8	6,0	7,4	7,9
Ov-bus diesel	1,2	1,9	2,5	4,9	7,5	9,8	8,0	12	16
Touringcar	0,20	0,21	0,36	0,78	0,85	1,4	1,3	1,4	2,4
Personentrein diesel	0,79	1,0	1,3	3,2	4,1	5,1	5,2	6,8	8,4
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€/1.000 vkm)									
Bestelauto diesel	2,2	3,4	5,0	8,8	14	20	14	22	33
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 tkm)									
Trekker voor oplegger	1,3	1,6	2,0	5,4	6,5	7,9	8,8	11	13
Vrachtauto <10 ton	5,0	9,7	13	20	39	50	33	64	83
Vrachtauto 10-20 ton	2,9	3,4	5,8	11	14	23	19	22	38
Vrachtauto >20 ton	0,91	1,8	3,2	3,7	7,1	13	6,0	12	21
Goederentrein diesel	0,20	0,26	0,48	0,79	1,0	1,9	1,3	1,7	3,2
Binnenvaart	0,20	0,63	0,70	0,82	2,5	2,8	1,3	4,1	4,6

Tabel 33 - Marginale externe kosten van emissies door broeikasgasemissies voor internationale lucht- en zeevaart voor hoge CO₂-prijs

Voertuigcategorie	Eenheid	Lage prijs			Hoge prijs			2-graden-prijs		
		Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,031	0,085	0,66	0,12	0,34	2,6	0,20	0,56	4,3
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	2,0	2,2	3,0	8,1	8,8	12	13	15	20
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	11	12	30	45	48	120	74	78	198



5.6 Robuustheid resultaten

De inschatting van de klimaatkosten bestaat uit twee belangrijke elementen: de bepaling van de uitstoot van broeikasgasemissies en de waardering van die emissies. De robuustheid van het eerste element is over het algemeen hoog. De belangrijkste onzekerheid ligt bij de binnenvaart, lucht- en zeevaart, omdat het voor deze vervoerswijzen lastiger te bepalen is waar de emissies plaatsvinden doordat deze vervoerswijzen een (groot) gedeelte van de tijd buiten Nederland opereren. Het bepalen van de emissies en de toewijzing ervan naar Nederland bevat daardoor onzekerheid. Voor de luchtvaart geldt daarnaast dat er aannames gemaakt moeten worden voor de toedeling van het totale brandstofverbruik naar personen- en vrachtvervoer. In Bijlage F is dit in meer detail beschreven.

Lastiger is om een goede prijs te plakken op de emissies van broeikasgassen. De effecten van klimaatverandering vinden op de lange termijn plaats en de precieze gevolgen zijn erg onzeker. In Paragraaf 5.4 wordt besproken dat we om deze reden niet uitgaan van waarderingkentallen die gebaseerd zijn op de te verwachte schade (de zogeheten schadekostenmethodiek), maar in plaats daarvan gebruikmaken van waarderingkentallen gebaseerd op de preventiekostenmethodiek. Deze methodiek bepaalt de waarde van broeikasemissies op basis van de kosten die gemaakt moeten worden om een bepaalde reductiedoelstelling te halen. In hoeverre die reductiedoelstelling dan ook optimaal is en in de toekomst niet leidt tot hoge kosten van klimaatverandering is echter onduidelijk. Zeker bij een lage reductiedoelstelling en daarmee ook een lage CO₂-prijs bestaat er dus de kans dat de langetermijnkosten van klimaatverandering worden onderschat.

6 Kosten van luchtvervuilende emissies

6.1 Inleiding

De verkeerssector veroorzaakt luchtvervuiling door de uitstoot van een aantal luchtverontreinigende stoffen zoals fijnstof en stikstofoxiden. Deze stoffen kunnen schade veroorzaken aan de menselijke gezondheid, bodem, water, de biosfeer, gebouwen en/of materialen. In dit hoofdstuk worden de externe kosten van luchtvervuiling voor de verschillende vervoerswijzen bepaald.

Luchtvervuiling is één van de meest onderzochte externe kostenposten. Sinds de jaren negentig is er een breed scala aan nationale en internationale studies gedaan naar de schade van luchtvervuilende stoffen en de monetaire waardering daarvan. In de laatste jaren zijn er weinig grote en vernieuwende studies geweest over de gehele route van emissie naar schade en kosten. De algemene methodiek is daarom veelal hetzelfde als in de vorige editie van deze studie. Wel zijn er nieuwe epidemiologische studies uitgevoerd naar de relatie tussen concentraties van luchtvervuilende stoffen en gezondheidsrisico's, die zich vertalen in nieuwe inzichten op het gebied van de waarderingskennallen die gebruikt kunnen worden voor het moneteriseren van de schade veroorzaakt door deze stoffen.

Paragraaf 6.2. omschrijft welke luchtverontreinigende stoffen en welke van hun gevolgen zijn meegenomen in deze studie. In Paragraaf 6.3 wordt de methodiek voor het bepalen van de totale, gemiddelde en marginale kosten gepresenteerd. De gehanteerde waarderingskennallen worden omschreven in Paragraaf 6.4. In Paragraaf 6.5 worden de resultaten van de analyse naar de kosten van luchtvervuilende emissies gepresenteerd, waarna in Paragraaf 6.6 de robuustheid van die resultaten wordt besproken.

6.2 Definitie van kosten

Er zijn verschillende luchtvervuilende stoffen die bijdragen aan de externe kosten van luchtvervuiling. De belangrijkste luchtvervuilende stoffen in de vervoerssector zijn:

- Fijnstof: $PM_{2,5}$ (verbrandingsemissies⁵⁰) en PM_{10} (slijtage-emissies⁵¹, dat wil zeggen emissies als gevolg van slijtage van de remmen en banden). $PM_{0,1}$ -emissies worden in deze studie niet apart meegenomen, maar wel als onderdeel van de $PM_{2,5}$ -emissies (zie ook onderstaand kader);
- Stikstofoxiden (NO_x);
- Zwaveloxide (SO_2).

⁵⁰ De verbrandingsemissies zijn voor het overgrote deel kleiner dan 2,5 micrometer en worden daarom over het algemeen aangeduid als $PM_{2,5}$. Zowel de emissiedata als de waarderingsgetallen hebben betrekking op alle verbrandingsemissies, inclusief de fractie die groter is dan 2,5 micrometer.

⁵¹ Bij de binnenvaart en zeevaart is er geen sprake van slijtage-emissies. Bij de luchtvaart zijn er wel slijtage-emissies, die vooral bestaan uit emissies van slijtage van banden en remmen en stof dat opwaait van de landingsbaan. De slijtage-emissies van luchtvaart zijn maar zeer beperkt onderzocht (Masiol, M. & Harrison, R. M., 2014). Volgens Bennett, M. et al., (2011) zijn de deeltjes die als gevolg van slijtage vrijkomen echter dermate groot dat ze niet of nauwelijks gezondheidseffecten veroorzaken. Vandaar dat we voor luchtvaart geen rekening houden met de kosten van deze emissies.



Tekstbox 9 - Gezondheidsschade door 'black carbon'

In een aantal recente studies van de WHO worden er nieuwe inzichten gepresenteerd over black carbon, in het Nederlands elementair koolstof genoemd. Kleinere stofdeeltjes bestaan voor het merendeel uit roetdeeltjes, die ook wel bekend staan als black carbon. Zo blijkt uit een literatuur studie van de (WHO, 2012) dat 'black carbon' een effect heeft op gezondheid en dat dit effect in veel gevallen groter is dan het gezondheidseffect van PM₁₀ (6-14 keer groter) maar gelijk bij een 'interquartile range'⁵².

In deze studie waarden wij gezondheidseffecten op het niveau van PM_{2,5}. WHO (2012) stelt dat er an sich geen overduidelijk bewijs is dat 'black carbon' een belangrijkere impact heeft dan PM_{2,5}, maar stelt dat in sommige gevallen het een nuttige additionele indicator kan zijn. Daarvoor moet er dan wel informatie beschikbaar zijn over het aandeel van 'black carbon' in de fijnstofemissies. Omdat deze niet op een systematische wijze als gemiddelden voor Nederland verzameld worden, stellen wij voor om hier geen separate aanpassing voor te maken in deze studie. Deze aanpak is in lijn met het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017) en het Europese 'Handbook on the external costs of transport'(CE Delft, INFRAS, et al., 2019).

De uitstoot van deze luchtvervuilende stoffen leidt tot schade op verschillende manieren. Daarbij zijn de volgende effecten het belangrijkste:

- **Gezondheidskosten:** De inademing van vervuilende stoffen als fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}) en stikstofoxiden (NO_x) hebben gevolgen voor de menselijke gezondheid en veroorzaken bijvoorbeeld een verhoogd risico op hart- en vaatziekten. Deze categorie vormt de belangrijkste externe kostenpost van luchtvervuiling.
- **Schade aan gebouwen en materialen:** Luchtvervuilende stoffen kunnen op twee manieren schade veroorzaken aan gebouwen:
 - a stikstofoxide (NO_x) en zwaveloxide (SO₂) zijn verzurende stoffen die corrosie kunnen veroorzaken aan gevels;
 - b deeltjes en stof kunnen gebouwen en materialen vervuilen.
- **Verlies van landbouwgewassen:** Verschillende luchtvervuilende stoffen kunnen schade veroorzaken aan landbouwgewassen. Met name de verzurende stoffen NO_x en SO₂ en secundaire ozon dat voorkomt uit emissies van NO_x en NMVOS kunnen deze schadelijke effecten veroorzaken. Een toename in de concentratie van deze stoffen zal dus ook leiden tot een vermindering van het productievolume van landbouwgewassen.
- **Impacts op ecosystemen en biodiversiteit:** luchtvervuilende stoffen veroorzaken schade aan ecosystemen. Daarbij gaat het met name om a) verzuring van de bodem en het grondwater (door NO_x en SO₂) en b) eutrofiëring van ecosystemen (door NO_x). Deze negatieve gevolgen voor ecosystemen kan ook schade veroorzaken aan de biodiversiteit.

⁵² 'Interquartile range' is een maatstaf voor de variabiliteit van data, door de data te verdelen in vier kwartielen. De 'interquartile range' is de middelste 50% van de data.



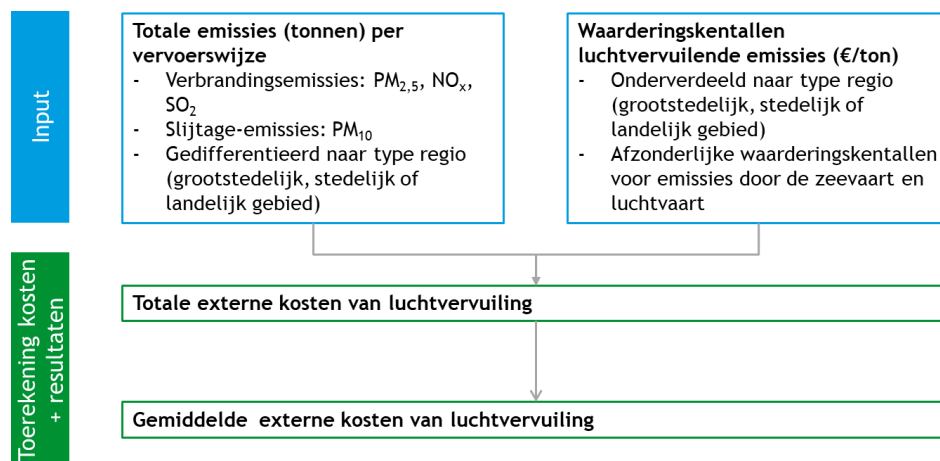
6.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

6.3.1 Totale en gemiddelde kosten

De methodiek die wordt gebruikt om de totale en gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies te berekenen is weergegeven in Figuur 5 en bestaat uit vier stappen:

1. *Verzamel de totale emissies per vervoerwijze*; de totale emissies per vervoerwijze zijn gebaseerd op data van Emissieregistratie (2020). Voor de $PM_{2,5}$ - en PM_{10} -emissies wordt onderscheid gemaakt naar emissies in grootstedelijk, stedelijk of landelijk gebied. Voor de overige emissies wordt enkel onderscheid gemaakt tussen emissies binnen en buiten de bebouwde kom. Voor de luchtvaart is gebruikgemaakt van de rekentool van de EEA (2019). Een overzicht van de totale luchtvervuilende emissies per vervoerswijze kan worden gevonden in Bijlage C.3.
2. *Stel de relevante waarderingskennallen voor de verschillende luchtvervuilende emissies op*. De waarderingskennallen zijn in deze studie overgenomen uit CE Delft (2021). Dit wordt nader toegelicht in Paragraaf 6.4.
3. *Bepaal de totale externe kosten van luchtvervuiling*; door de totale emissies per vervoerswijze te vermenigvuldigen met de waarderingskennallen voor de betreffende emissies worden de totale externe kosten van luchtvervuiling gevonden.
4. *Bepaal de gemiddelde externe kosten van luchtvervuiling*; de gemiddelde externe kosten van luchtvervuiling worden berekend door de totale externe kosten van luchtvervuiling te delen door de reizigerskilometers respectievelijk tonkilometers van de verschillende vervoerswijzen.

Figuur 4 - Methodiek bepaling totale en gemiddelde externe luchtvervuilingskosten



6.3.2 Marginale kosten

De marginale kosten van luchtvervuilende kosten worden verondersteld gelijk te zijn aan de gemiddelde gemonetariseerde kosten, aangezien aangenomen wordt dat de relatie tussen het aantal emissies en de resulterende schade een (nagenoeg) lineaire functie betreft. Onder de noemer marginale kosten presenteren we hier dan ook vooral resultaten voor specifieke cases.

Specifiek betekent dat we een best-case- en worst-case-scenario definiëren die verschillen in de hoeveelheid uitstoot van het voertuig (emissiefactor) en de locatie:

- Voor het wegvervoer gaat het worst-case-scenario uit van een vervuilend Euro 3-voertuig en een locatie met een hoge bevolkingsdichtheid (stedelijke omgeving). Het best-case-scenario gaat daarentegen uit van een Euro 6-voertuig op een landelijke locatie.
- Voor spoorvervoer is gekozen om de emissiefactoren te baseren op (CROW-KpVV, 2020) en CE Delft (2020d). Voor persontreinen is de afwijking gebaseerd op de spreiding van het energieverbruik van regionale dieseltreinen. Voor goederentreinen zijn we uitgegaan van een middellange trein met lichte lading voor de worst-case met Stage IIIb motor. Voor de best-case zijn we uitgegaan van een extra lange trein met zware lading.
- Voor de binnenvaart is gekozen om de emissiefactoren te baseren op CE Delft (2020d). Voor de worst-case is uitgegaan van een scheepstype met relatief oude motoren (Spits op de Waal). Voor de best-case is uitgegaan van een schip met nieuwere motoren (zes bakduwstel op de Waal).
- Voor de zeevaart zijn de marginale cases ook bepaald op basis van CE Delft (2020d). Voor de worst-case zijn de emissiefactoren afgeleid van een klein en licht bulkschip (General Cargo Ship 0-4,999 dwt), terwijl voor de best-case is uitgegaan van een groot bulkschip (Oil tanker 200,000+ dwt) met een Tier III-motor. Voor de best-case gaan we uit van emissies op open zee, voor het worst-case-scenario van emissies in de haven bij stedelijke omgeving.
- Voor de luchtvaart wordt ook uitgegaan van de berekeningen uit (CE Delft, 2020d). Voor de worst-case is uitgegaan van een korte afstand vlucht en voor de best-case van een lange afstand vlucht. Voor de best-case gaan we uit van emissies in de lucht, voor het worst-case-scenario van emissies bij de grond.

Naast de marginale kosten in de worst- en best-case presenteren we ook de gemiddelde marginale kosten, die gelijk zijn aan de gemiddelde kosten.

6.4 Waarderingskentalen

In deze studie gebruiken we de waarderingskentalen zoals die voor Nederland worden gepresenteerd in (CE Delft, 2021). Deze studie gebruikt eenzelfde, maar geüpdatete, aanpak als het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017). Laatstgenoemde Handboek geeft waarderingskentalen voor meer dan 2.500 stoffen, waarbij vooral gebruik is gemaakt van de directe schadewaardering methodiek zoals gehanteerd in NEEDS (2008). Voor de bepaling van de waarderingskentalen is het NEEDS-model aangepast aan de hand van de meest recente inzichten. De kern van dit model bestaat uit de zogenaamde *'Impact Pathway Approach'*, die in een groot aantal gezaghebbende studies op dit vlak is toegepast (onder andere in NEEDS (2006); (2007) en (2008)), HEATCO, (2006) en ExternE, (2005). De *'Impact Pathway Approach'* is de meest geavanceerde methode voor het schatten van de externe kosten van luchtvervuiling gezien zijn consistentie en het gebruik van gedetailleerde inputvariabelen.

Het NEEDS-model is sinds 2009 niet verder ontwikkeld, net als het concurrerende model van CAFE-CBA (IIASA, 2014). Omdat er in het afgelopen decennium grote wijzigingen zijn opgetreden in achtergrondconcentraties en er meer kennis over de impact van vervuiling en



waardering daarvan beschikbaar is gekomen, zijn de oorspronkelijke waarden in het NEEDS-model niet langer bruikbaar. Daarom zijn in het kader van de berekeningen voor CE Delft et al. (2019) de volgende aanpassingen gedaan, die vervolgens ook zijn toegepast in (CE Delft, 2021):

- Er is gerekend met lagere achtergrondconcentraties en de invloed die dit heeft op de schadelijkheid van de emissies.
- Er is gerekend met recente gegevens over de bevolkingssamenstelling (bijv. vergrijzing van de samenleving) en bevolkingsomvang.
- Er zijn nieuwe inzichten in de schadelijkheid van luchtverontreiniging toegepast (gebaseerd op WHO (2013) (2014) wat is vormgegeven in aanpassingen aan de concentratie response functies in het model.
- De waardering van de verschillende schadelijke effecten (onder andere gezondheids-effecten en schade aan ecosystemen en gebouwen) is aangepast aan de hand van recente inzichten op dit terrein.
- Voor PM_{2,5} is er bij de waardering onderscheid gemaakt naar bevolkingsdichtheid, aangezien deze emissies meer schade veroorzaken in gebieden met een hoge bevolkingsdichtheid. Voor PM_{2,5} zijn er daarnaast specifieke waarderingskentallen opgesteld voor transportemissies⁵³.

De waarderingskentallen uit CE Delft (2021) bevatten waarderingskentallen die momenteel de beste inschatting voor Nederland zijn. Daarnaast zijn de waarderingskentallen voor PM₁₀/PM_{2,5} uitgesplitst naar uitstoothoogte en bevolkingsdichtheid. De schadelijkheid voor andere luchtvervuilende stoffen is ook afhankelijk van de locatie van uitstoot, maar de variatie in schadelijkheid is het grootst voor PM₁₀/PM_{2,5}. Er zijn momenteel geen uitgesplitste waarderingskentallen van SO₂ en NO_x beschikbaar die specifiek opgesteld zijn vanuit de Nederlandse situatie⁵⁴. Daarom rekenen voor deze studie met vaste milieuprijzen voor SO₂ en NO_x. De gebruikte waarderingskentallen zijn opgenomen in Tabel 34.

Tabel 34 - Waarderingskentallen luchtvervuilende emissies in Nederland(€₂₀₁₈/kg)

Type emissie	Differentiatie	Waarderingskental
NO _x	Alle gebieden	24,9
SO ₂	Alle gebieden	25,8
PM _{2,5} (verbranding) op de grond	<50.000 inwoners	86,5
	50.000-150.000 inwoners	106,9
	150.000-300.000 inwoners	153,0
	300.000-500.000 inwoners	231,5
	>500.000 inwoners	391,9
PM ₁₀ niet zijnde PM _{2,5}	Alle gebieden	5,1

Bron: CE Delft (2021).

⁵³ De waarderingskentallen zoals NEEDS (2008) die presenteert voor PM-emissies zijn vooral gebaseerd op de PM-emissies die vrijkomen bij elektriciteitsproductie. De hierbij uitgestoten fijnstofdeeltjes zijn over het algemeen groter dan bij transport en hebben daardoor minder ernstige gezondheidsgevolgen. Bovendien worden deze emissies op grotere hoogte uitgestoten, waardoor de gezondheidseffecten beperkter zijn.

⁵⁴ In CE Delft et al.(2019) worden NO_x-waardes gepresenteerd voor twee stedelijkheidsgraden voor Nederland. Deze waardes zijn er echter afgeleid van Europees gemiddelde waarde en niet specifiek bepaald voor de Nederlandse situatie.



Bij de bepaling van de waarderingskentallen voor NO_x is geen rekening gehouden met de recente beleidswijzigingen op het gebied van stikstofuitstoot in Nederland. Dit wordt nader toegelicht in Tekstbox 10.

Tekstbox 10 - Stikstofproblematiek

De neerslag van stikstofoxiden is in de meeste Natura 2000-gebieden te hoog. De PAS-regeling bleek onvoldoende effectief in het reduceren van stikstofemissies. Momenteel is er nieuw beleid in ontwikkeling om de emissies van stikstofoxiden rondom Natura 2000 te reduceren. Dit beleid is erop gericht om de natuur te behouden, en niet op het 'economisch optimum van vervuiling'. Hierdoor kan het voor bepaalde maatregelen voorkomen dat de preventiekosten hoger uitvallen dan wanneer uitgegaan wordt van op schadekosten gebaseerde milieuprijzen. Deze afwijking zal met name rondom Natura 2000 voorkomen, waardoor de afwijking vooral om lokaal niveau relevant is. Omdat deze studie zich richt op heel Nederland wordt gebruikgemaakt van gemiddelde milieuprijzen op basis van schadekosten. Het kan dus zijn dat de milieuprijzen in deze studie lager uitvallen dan de kosten die worden gemaakt om de neerslag van stikstofoxiden in Natura 2000-gebieden te reduceren.

De schadelijkheid van kleinere fijnstoffracties ($\text{PM}_{2,5}$) is aanzienlijk groter dan grotere fracties (PM_{10}). Verbrandingsemissies bestaan volledig uit kleinere fracties ($\text{PM}_{2,5}$), terwijl dit voor slijtage-emissies niet het geval is. Om de schadelijkheid van slijtage-emissies te bepalen is op basis van de specifieke aandelen van $\text{PM}_{2,5}$ en van grotere fracties (PM_{10} niet zijnde $\text{PM}_{2,5}$) (Geilenkirchen, G. & Hoen, M. t., 2019)), een gewogen gemiddelde waardering voor de slijtage-emissies bepaald. In deze studie presenteren we deze emissies onder de noemer PM_{10} .

Voor de binnenlandse emissies van luchtvervuilende stoffen geldt dat deze plaatsvinden in gebieden met verschillende niveaus van verstedelijking. Zoals in Tabel 34 is weergegeven zijn de waarderingskentallen van fijnstof gedifferentieerd naar vijf niveaus van bevolkingsdichtheid. Op basis van CBS is per gemeente bepaald hoeveel inwoners er per kern wonen. Vanuit Emissieregistratie zijn uitgesplitste emissies per subcategorie, zoals wegtypes, beschikbaar. Vanuit deze data bepalen we per gemeente/dorp de emissies per voertuigtype en wegtype. Op basis van deze informatie kunnen gewogen milieuprijzen worden opgesteld voor de verschillende wegtypes en vervoerswijzen.

Deze methodiek is voor lucht- en zeevaart minder geschikt omdat de binnenlandse emissies van deze modaliteiten zich concentreren op de lucht- en zeehavens. Doordat de grootste lucht- en zeehavens zich binnen de Amsterdamse en Rotterdamse gemeentegrenzen bevinden zou dit leiden tot onrealistisch hoge waarderingskentallen die geen recht doen aan het feit dat lucht- en zeehavens niet direct in woongebieden liggen. Voor binnenlandse emissies van lucht- en zeevaart gaan we daarom op basis van CE Delft (2020c) uit van het tweede niveau van bevolkingsdichtheid.

Daarnaast geldt voor lucht- en zeevaart dat een groot gedeelte van de emissies plaats vindt in onbewoonde gebieden (boven of op de oceaan). Deze emissies zijn daardoor minder schadelijk. Bij de bepaling van de schadekosten van luchtvervuilende emissies van lucht- en zeevaart dient daarom ook op dit vlak onderscheid te worden gemaakt naar de locatie van de emissies. In Bijlagen E (luchtvaart) en G (zeevaart) wordt verder ingegaan op de waardering van de luchtvervuilende emissies van lucht- en zeevaart.



Overzicht van gehanteerde waarderingskentallen

Een overzicht van de gehanteerde waarderingskentallen voor het wegverkeer, spoorvervoer en de binnenvaart is weergegeven in Tabel 35.

Tabel 35 - Waarderingskentallen luchtvervuilende emissies wegverkeer en binnenvaart (€/kg)

		NO _x	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀ slijtage
Wegverkeer	Bebouwde kom	24,9	25,8	141,6	28,4
	Buitenweg			106,0	22,8
	Autosnelweg			117,6	24,5
Personentrein diesel*	94,3			N.v.t.	
Personentrein elektrisch*	127,9			N.v.t.	
Spoorvervoer goederen*	154,7			N.v.t.	
Binnenvaart	124,1			N.v.t.	

* Slijtage-emissies van spoor zijn gewaardeerd op PM_{2,5}-niveau.

Voor de zeevaart staan de gehanteerde waarderingskentallen in Tabel 36. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de emissies die binnengaats worden uitgestoten en de emissies die op zee worden uitgestoten (waarbij voor de laatste categorie wordt uitgegaan van een gewogen gemiddelde van waarderingskentallen voor het continentaal plat en overige zeeën/oceanen).

Tabel 36 - Waarderingskentallen luchtvervuilende emissies zeevaart (€/kg)

	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}
Binnengaats	24,93	25,76	90,50
Gemiddelde zee	5,48	5,77	15,32

Tot slot zijn de waarderingskentallen voor de luchtvervuilende emissies voor de luchtvaart weergegeven in Tabel 37, waarbij onderscheid is gemaakt in de waardering van de emissies in de LTO-fase en tijdens de rest van de vlucht.

Tabel 37 - Waarderingskentallen luchtvervuilende emissies luchtvaart (€/kg)

	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}
LTO-emissies	14,84	14,94	59,75
Cruise-emissies	1,65	0,67	0,37

6.5 Resultaten

In deze paragraaf presenteren wij de totale, gemiddelde en marginale kosten van de uitstoot van luchtvervuilende stoffen per voertuigcategorie. Gedetailleerde uitsplitsingen naar wegtype zijn opgenomen in Bijlage B.4.

6.5.1 Totale kosten van luchtvervuilende emissies

De totale externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen zijn weergegeven in Tabel 38. De meeste kosten worden veroorzaakt door de zeevaart waar vooral de hoge uitstoot van NO_x en SO₂ aan bijdragen. Ook het grote volume aan transport over de zee is een belangrijke verklaring voor de relatief hoge totale kosten. Voor de lucht- en zeevaart zijn we uitgegaan van de gehele reis waarbij we 50% van de kosten aan Nederland toewijzen. Het merendeel van de kosten vindt dan ook buiten Nederland plaats. Wanneer we naar Nederlands grondgebied kijken dan zijn personenauto's, vrachtauto's en de binnenvaart de belangrijkste veroorzakers van de kosten van luchtvervuilende emissies. Vooral de binnenvaart valt hierbij op, aangezien het aandeel van de binnenvaart in het totaal bij andere kostenposten, zoals broeikasgasemissies, stuk kleiner is. Binnenvaartschepen zijn echter veelal nog uitgerust met oude motoren en stoten dus relatief veel luchtvervuilende emissies uit. Bij de personenauto's dragen dieselauto's het meeste bij aan de kosten van luchtvervuilende emissies, ondanks het feit dat er in Nederland veel meer kilometers worden gereden door benzine auto's. De verklaring is dat (met name oudere) dieselauto's relatief meer luchtvervuilende emissies uitstoten per kilometer.

Tabel 38 - Totale externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen in mln. €

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Personenauto totaal	846
– <i>Personenauto benzine</i>	385
– <i>Personenauto diesel</i>	442
– <i>Personenauto LPG</i>	16
– <i>Personenauto elektrisch</i>	0,38
– <i>Personenauto PHEV</i>	2,9
Motorfiets	25
Bromfiets	28
Ov-bus totaal	39
– <i>Ov-bus diesel</i>	39
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,05
Touringcar	10
Personentrein totaal	37
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,52
– <i>Personentrein diesel</i>	27
– <i>Personentrein elektrisch</i>	8,7
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Bestelauto totaal	479
– <i>Bestelauto diesel</i>	479
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,01
Vrachtauto totaal	691
– <i>Trekker voor oplegger</i>	420
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	23
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	69
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	180
Goederentrein totaal	20
– <i>Goederentrein diesel</i>	20
– <i>Goederentrein elektrisch</i>	0,85
Binnenvaart	679
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)	
Zeevaart	2.838
Luchtvaart personenvervoer	119
Luchtvaart goederenvervoer	35

6.5.2 Gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies

De gemiddelde externe kosten van luchtvervuilende emissies zijn te zien in Tabel 39. Hierbij valt op dat vooral de dieselveertuigen leiden tot relatief hoge kosten van luchtvervuilende emissies. De kosten van de gemiddelde dieselpersonenauto liggen bijvoorbeeld een stuk hoger dan bij de andere type personenauto's. Ook diesel-ov-bussen stoten relatief veel luchtvervuilende stoffen uit, wat leidt tot relatief hoge gemiddelde kosten. Daar komt nog eens bij dat deze voertuigen vooral in een stedelijke omgeving rijden, waardoor de schadelijke effecten van de emissies ook nog eens groter zijn. Tot slot valt op dat de gemiddelde kosten voor dieseltreinen hoog zijn, wat verklaard kan worden door een relatief hoge uitstoot per kilometer en relatief lage bezettingsgraden.

Voor goederenvervoer valt op dat de gemiddelde kosten het hoogst zijn voor de binnenvaart, wat vooral het gevolg is van de gemiddeld minder schone motoren (bijv. in vergelijking tot het wegvervoer) die worden gebruikt. De gemiddelde kosten voor de vrachtwagen en de dieseltrein zijn vergelijkbaar. Er zijn echter wel grote verschillen per vrachtwagentype. De grotere voertuigen zijn over het algemeen nieuwer en efficiënter, waardoor de emissies per kilometer lager zijn. Ook maken de grotere vrachtwagens gemiddeld genomen minder kilometers in de stedelijke omgeving, waardoor de schadelijke effecten van de luchtvervuilende emissies kleiner zijn. De laagste kosten van luchtvervuilende emissies worden gevonden voor de elektrische goederentrein. Deze vervoerswijze kent alleen slijtage-emissies, waardoor de kosten van luchtvervuilende emissies zeer beperkt zijn.

Tabel 39 - Gemiddelde externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)	
Personenauto gemiddeld	5,8
– Personenauto benzine	3,9
– Personenauto diesel	11
– Personenauto LPG	6,2
– Personenauto elektrisch	0,49
– Personenauto PHEV	0,95
Motorfiets	8,6
Bromfiets	9,9
Ov-bus gemiddeld	10
– Ov-bus diesel	11
– Ov-bus elektrisch	0,32
Touringcar	1,3
Personentrein gemiddeld	1,9
– Hoge snelheidstrein	0,36
– Personentrein diesel	41
– Personentrein elektrisch	0,50
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)	
Bestelauto gemiddeld	26
– Bestelauto diesel	26
– Bestelauto elektrisch	0,69
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)	
Vrachtauto gemiddeld	11
– Trekker voor oplegger	9,4
– Vrachtauto <10 ton	156
– Vrachtauto 10-20 ton	40
– Vrachtauto >20 ton	13
Goederentrein gemiddeld	2,9
– Goederentrein diesel	10,2
– Goederentrein elektrisch	0,17
Binnenvaart	14

Bij de internationale lucht- en zeevaart zijn de gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies beperkt in vergelijking tot de meeste landgebonden vervoerswijzen. De belangrijkste reden hiervoor is dat een groot deel van de emissies bij deze vervoerswijzen worden uitgestoten op of boven de oceaan (of op hoge hoogte), waardoor de schadelijke effecten beperkt zijn. Echter, op specifieke locaties (bijvoorbeeld in havens of rondom luchthavens) kunnen deze vervoerswijzen een significante bijdrage leveren aan de kosten van luchtvervuilende emissies.

Tabel 40 - Gemiddelde externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Kosten
Zeevaart	€/1.000 tkm	1,4
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	1,1
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	5,0

6.5.3 Marginale kosten van luchtvervuilende emissies

De marginale externe door van emissies van luchtvervuilende stoffen door transport op Nederlands grondgebied staan in Tabel 41. De spreiding is vrij groot doordat de emissies per kilometer erg verschillen afhankelijk van de technologische opties (type motoren, emissie-reducerende nabehandelingstechnieken) die worden verondersteld in de verschillende cases en voor de verschillende vervoerswijzen. Daarnaast heeft de locatie veel invloed op de waardering van fijnstofemissies.

Tabel 41 - Marginale externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Goed	Middel	Slecht
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto benzine	0,40	3,9	6,4
Personenauto diesel	1,8	11	24
Personenauto LPG	2	6,2	9,4
Motorfiets	4,0	8,6	19
Bromfiets	6,2	9,9	71
Ov-bus diesel	1,1	11	46
Touringcar	0,17	1,3	7,3
Personentrein diesel	14	41	69
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto diesel	2,50	26	43
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Trekker voor oplegger	3,7	9,4	61
Vrachtauto <10 ton	20	156	238
Vrachtauto 10-20 ton	12	40	171
Vrachtauto >20 ton	4,0	13	41
Goederentrein diesel	2,2	14	10
Binnenvaart	4,3	14	112

De marginale kosten van de lucht- en zeevaart variëren significant, zoals te zien is in Tabel 42. De verschillen komen voornamelijk door de locatie waarde emissies plaatsvinden. De goede situatie gaat uit van emissies op open zee (zeevaart) of op hoge hoogte (lucht-

vaart) waar er weinig schadelijke effecten op de menselijke gezondheid zijn. De slechte situatie gaat juist uit van emissies op Nederlands grondgebied (in drukker bevolktere gebieden) waardoor de kosten aanzienlijk hoger uitvallen.

Tabel 42 - Marginale externe kosten door emissies van luchtvervuilende stoffen voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Goed	Middel	Slecht
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,08	1,4	35
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	0,53	1,1	27
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	2,9	5,0	159

6.6 Robuustheid resultaten

De totale emissies van luchtvervuilende stoffen worden bepaald met behulp van bottom-up-berekeningen op basis van emissiefactoren en voertuigkilometers. Voor het transport binnen Nederland gebeurt dit jaarlijks in het kader van de Emissieregistratie. De kwaliteit van deze berekeningen is over het algemeen goed. Enige uitzondering hierin zijn de emissies van spoorvoer die gebaseerd zijn op een verouderde methodiek, zoals nader beschreven is in Bijlage E. Voor de lucht- en zeevaart geldt dat de berekeningen in minder detail zijn gedaan. De gebruikte methodieken zijn beschreven in Bijlage F en G. De resultaten geven echter nog steeds een robuuste inschatting van de totale emissies per vervoerswijze.

De waarderingskennallen gebruikt in deze studie gaan uit van de geüpdatete centrale waarden uit het handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017), zoals die gepresenteerd worden in (CE Delft, 2021). Het Handboek Milieuprijzen presenteert ook onder- en bovenwaardes voor toepassing in mkba's. Deze onder- en bovenwaardes geven een bandbreedte van de onzekerheid in de luchtvervuilende stoffen. Deze onzekerheid, gemiddeld zo'n 30%, geeft de onzekerheid in de waardering weer. Tegelijkertijd kunnen niet alle afhankelijkheden perfect in de milieukentallen gevangen worden. Voor fijnstof hebben we in deze studie een uitsplitsing naar uitstoothoogte en bevolkingsdichtheid meegenomen. Voor NO_x en SO₂ is de schadelijkheid ook afhankelijk van uitstoothoogte en bevolkingsdichtheid. De voorgescreven waarderingskennallen zijn echter niet op dergelijk detailniveau beschikbaar waardoor we met landgemiddelde hebben gerekend. Ten opzichte van fijnstof is de schadelijkheid van NO_x en SO₂ echter minder afhankelijk van de uitstoothoogte en bevolkingsdichtheid beperkt waardoor de gevolgen op de uitkomsten beperkt zijn. Een geüpdatete versie van het Handboek Milieuprijzen is voorzien voor eind 2022 dan wel begin 2023. Een gedeelte van de hierboven besproken tekortkomingen zullen daarin aandacht krijgen. Ook worden nieuwe inzichten verwerkt, wat mogelijk effect heeft op de hoogte van de waarderingskennallen.

7 Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

7.1 Inleiding

De vervoerssector veroorzaakt naast directe emissies ook een aantal indirecte emissies, zoals de emissies die worden uitgestoten tijdens de productie van brandstoffen en elektriciteit⁵⁵. Deze emissies staan ook wel bekend als ‘*Well-To-Tank*’ (WTT) emissies, ofwel de emissies die veroorzaakt worden om de energie bij het voertuig te krijgen. De kosten van deze emissies zijn het onderwerp van dit hoofdstuk. De kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie omvatten de gehele keten. Zo leiden de winning van grondstoffen, de verwerking in raffinaderijen en elektriciteitscentrales en het transport van de energiebronnen tot emissies van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen alsmede andere externaliteiten. Zeker voor voertuigen die op elektriciteit rijden is het relevant om deze kosten mee te nemen, aangezien er bij het gebruik van elektriciteit geen (directe) emissies vrijkomen.

In het vervolg van dit hoofdstuk definiëren we eerst de relevante emissies en hun schadelijke effecten (Paragraaf 7.2). Daarna wordt de methodiek voor het bepalen van externe kosten omschreven in Paragraaf 7.3, waarbij de gehanteerde waarderingskennallen nader worden toegelicht in Paragraaf 7.4. In Paragraaf 7.5 worden de resultaten gepresenteerd, waarna in Paragraaf 7.6 de robuustheid van de resultaten wordt besproken.

7.2 Definitie van kosten

De productie van motorbrandstoffen en elektriciteit veroorzaakt luchtvervuilende en broeikasgasemissies (onder andere bij de winning van de ruwe grondstoffen, bij het transport van brandstoffen, etc.). Deze zogenaamde ‘*Well-To-Tank*’-emissies leiden tot externe kosten, voornamelijk kosten van luchtvervuiling en kosten van broeikasgasemissies. Deze effecten zijn goed onderzocht en er is daardoor een goede basis om deze kosten in te schatten.

De emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie leiden tot de volgende externe kosten:

- **Klimaatverandering;** broeikasgasemissies (CO₂, N₂O, CH₄) kunnen verschillende schadelijke effecten hebben. Al deze effecten zijn uitvoerig beschreven in Hoofdstuk 5.
- **Luchtvervuiling;** de uitstoot van luchtvervuilende emissies (PM_{2,5}, PM₁₀, NO_x, SO₂, NMVOS) bij de productie van brandstoffen en elektriciteit heeft verschillende schadelijke effecten, die uitvoerig zijn beschreven in Hoofdstuk 5. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de luchtverontreinigende emissies van energieproductie doorgaans minder schade toebrengen aan de menselijke gezondheid dan de directe luchtvervui-

⁵⁵ Andere indirecte emissies die veroorzaakt worden door de vervoerssector zijn de emissies die vrijkomen bij de productie en het onderhoud en beheer van vervoermiddelen en infrastructuur. De externe kosten van deze emissies blijven in deze studie echter buiten beschouwing.



lende emissies van vervoer, doordat energiecentrales en raffinaderijen over het algemeen niet in dichtbevolkte gebieden liggen. Dit komt tot uiting in het hanteren van andere waarderingskennallen voor luchtvervuiling (zie Paragraaf 7.4).

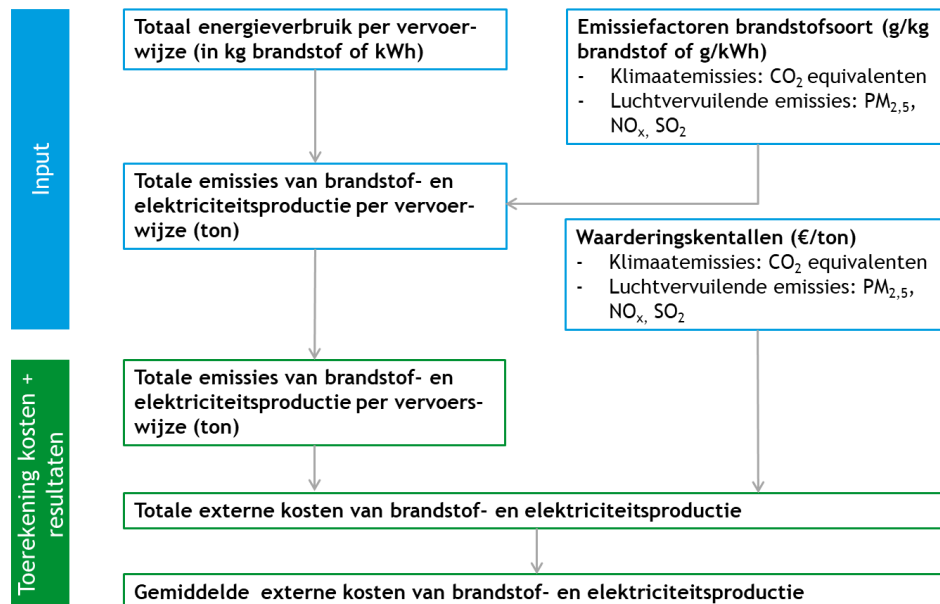
Naast de effecten op klimaatverandering en luchtvervuiling, kunnen er bij de productie van motorbrandstoffen en elektriciteit ook andere externe effecten optreden. Zo komen er bij de productie van elektriciteit via centrales bijvoorbeeld zware metalen vrij, die schadelijke effecten op de menselijke gezondheid en het ecosysteem kunnen hebben. Daarnaast nemen bijvoorbeeld centrales en raffinaderijen (visuele) ruimte in beslag waar kosten aan verbonden zijn. Ook zijn er risico's verbonden aan de productie van elektriciteit en motorbrandstoffen, zoals bijvoorbeeld risico's op een nucleaire ramp bij het gebruik van kernenergie of risico's op een olieramp bij de winning of het transport van olie (met name op zee). In de literatuur zijn geen betrouwbare methodieken en/of kennallen beschikbaar voor de kwantificering en waardering van de externe kosten die het gevolg zijn van giftige stoffen, landgebruik of de hierboven genoemde risico's. Vandaar dat deze externe kosten niet worden meegenomen in dit onderzoek.

7.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

7.3.1 Totale en gemiddelde kosten

De gevolgde methodiek voor het bepalen van de externe kosten van de emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie is op schematische wijze weergegeven in Figuur 5.

Figuur 5 - Methodiek bepaling totale en gemiddelde externe kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie



Voor het bepalen van de totale en gemiddelde kosten hebben we allereerst het totale energieverbruik per vervoerwijze bepaald. Om consistentie met de bepaling van de kosten van broeikasgasemissies te waarborgen hebben we het totale energieverbruik per vervoer-

wijze teruggerekend vanuit de totale broeikasgasemissies⁵⁶. Het resulterende totale energieverbruik per vervoerwijze is weergegeven in Bijlage C.5. Vervolgens hebben we met behulp van specifieke emissiefactoren per brandstofsoort (zie Bijlage C.5) de totale emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie per vervoerwijze bepaald. De waardering van de broeikasgasemissies en luchtverontreinigende emissies is vervolgens op dezelfde wijze gedaan als omschreven in respectievelijk Hoofdstuk 5 en 6. Dit houdt in dat de totale/ gemiddelde emissies worden vermenigvuldigd met de relevante waarderingstallen.

Een belangrijk aspect bij de bepaling van de externe kosten van emissies van elektriciteitsproductie is de veronderstelde brandstofmix voor de geconsumeerde elektriciteit. We gaan voor deze studie uit van de gemiddelde Nederlandse handelsmix, waarbij we hebben gecorrigeerd voor de aanwezigheid van elektriciteit opgewekt met behulp van kernenergie in deze mix⁵⁷.

7.3.2 Marginale kosten

Evenals bij de kosten van luchtvervuilende en broeikasgasemissies zijn de marginale kosten van de emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie verondersteld gelijk te zijn aan de gemiddelde kosten. Ook in dit hoofdstuk presenteren we onder het kopje marginale kosten dan ook vooral resultaten voor specifieke cases. Deze cases zijn gelijk aan de cases zoals we die gedefinieerd hebben voor de kosten van broeikasgassen.

7.4 Waarderingskennallen

De gehanteerde waarderingstallen voor emissies van de broeikasgassen tijdens de elektriciteitsproductie zijn gelijk aan de waarderingstallen gehanteerd in Hoofdstuk 5. Voor luchtvervuilende emissies maken we voor NO_x en SO₂ gebruik van de waarderingstallen voor emissies uitgestoten in de landelijke omgeving. Elektriciteitscentrales en raffinaderijen zijn doorgaans immers niet in dichtbevolkte gebieden gesitueerd. Voor PM emissies zijn de schadelijke effecten daarnaast ook nog afhankelijk van de hoogte waarop ze worden uitgestoten (vanwege de mate waarin de fijnstofemissies zich dan verspreiden). Vandaar dat we voor fijnstof gebruikmaken van waarderingstallen die gelden voor emissies van bronnen met een schoorsteen hoger dan 100 meter.

De resulterende waarderingstallen zijn weergegeven in Tabel 43.

Tabel 43 - Waarderingskennallen emissies brandstof- en elektriciteitsproductie (€/ton voor CO₂ en €/kg voor de overige emissies)

CO ₂	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}
16/65/107	19	12	38

⁵⁶ Energieverbruik en CO₂-emissies zijn direct aan elkaar gerelateerd. Daardoor kunnen de totale CO₂-emissies eenvoudig worden omgerekend naar het totale energieverbruik met behulp van de CO₂-inhoud van een eenheid brandstof.

⁵⁷ Een (klein) deel van de in Nederland verbruikte elektriciteit wordt geproduceerd met kernenergie (voornamelijk elektriciteit geïmporteerd vanuit onder andere Frankrijk). Zoals hierboven aangegeven nemen we de externe kosten die samenhangen met de risico's van kernenergie niet mee in dit onderzoek. Dit zou betekenen dat we bij de bepaling van de externe kosten van elektriciteitsproductie alleen rekening zouden houden met de positieve effecten van kernenergie (lage emissies), terwijl de negatieve effecten buiten beschouwing blijven. Om dit te voorkomen is er in het onderzoek uitgegaan van een elektriciteitsmix zonder kernenergie.



7.5 Resultaten

7.5.1 Totale kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

De totale externe kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie zijn weergegeven in Tabel 44. Het grootste aandeel in deze kosten is er voor personenauto's, wat het gevolg is van het grote aandeel van deze vervoerswijze in de totale vervoersprestatie in Nederland. Vanwege dezelfde reden hebben ook vervoerswijzen als de vrachtauto en de bestelauto een significant aandeel in de totale kosten hebben. De relatief hoge kosten van de lucht- en zeevaart zijn (gedeeltelijk) te verklaren door de lange afstanden waarover dit vervoer gemiddeld plaats vindt, waar veel energie voor nodig is.

Tabel 44 - Totale externe kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie in mln. €

Voertuigcategorie	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Personenauto totaal	802	1.097	1.352
– <i>Personenauto benzine</i>	614	821	999
– <i>Personenauto diesel</i>	164	241	307
– <i>Personenauto LPG</i>	7,3	8,9	10
– <i>Personenauto elektrisch</i>	2,0	4,9	7,4
– <i>Personenauto PHEV</i>	14	22	28
Motorfiets	802	1.097	1.352
Bromfiets	8,4	11	14
– <i>Ov-bus totaal</i>	18	27	35
– <i>Ov-bus diesel</i>	14	21	26
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,65	1,6	2,4
Touringcar	3,5	5,1	6,5
Fiets totaal	0,45	0,68	0,45
– <i>Reguliere fiets</i>	-	-	-
– <i>Elektrische fiets</i>	0,45	0,68	0,45
Personentrein totaal	27	63	94
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	1,4	3,4	5,1
– <i>Personentrein diesel</i>	1,4	2,1	2,6
– <i>Personentrein elektrisch</i>	24	57	86
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)			
Bestelauto totaal	127	186	237
– <i>Bestelauto diesel</i>	127	186	237
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,092	0,22	0,33
Vrachtauto totaal	236	343	436
– <i>Trekker voor oplegger</i>	149	219	279
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	2,9	4,3	5,5
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	12	17	22
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	50	73	94
Goederentrein totaal	3,0	6,2	9,0
– <i>Goederentrein diesel</i>	1,04	1,52	1,9
– <i>Goederentrein elektrisch</i>	2,0	4,7	7,1
Binnenvaart	60	89	113
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)			
Zeevaart	303	424	529
Luchtvaart personenvervoer	309	427	530
Luchtvaart goederenvervoer	106	147	183

7.5.2 Gemiddelde kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

De gemiddelde kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie op Nederlands grondgebied zijn weergegeven in Tabel 45. De kosten zijn gerelateerd aan het energieverbruik, dus de verhoudingen zijn grotendeels vergelijkbaar met de gemiddelde kosten van broeikasgasemissies. Uitzondering hierop zijn de elektrisch aangedreven voertuigen, waarvoor er immers geen kosten van broeikasgasemissies waren. Deze voertuigen hebben wel te maken met de kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie. Bij personenauto's zijn deze kosten voor een plug-in hybride bijvoorbeeld hoger dan voor een benzine- of dieselauto. Zou je echter ook de kosten van directe emissies meenemen, dan scoort de plug-in hybride personenauto beter dan de benzine- of dieselvariant. Wat verder bij de elektrische personentreinen opvalt is dat de kosten voor de hoge snelheidstrein relatief minder emissies veroorzaakt. Dit komt omdat de bezetting op de hoge snelheidstrein lager zijn dan voor de reguliere elektrische trein. De reden hiervoor is de hogere bezettingsgraad van hoge snelheidstreinen, waardoor per reizigerskilometer de emissies en kosten lager zijn.

Bij goederenvervoer zijn de resultaten sterk gerelateerd aan het laadvermogen van de voertuigen. De voertuigen met een hoger laadvermogen gaan efficiënter met energie (per tonkilometer) om. Hierdoor hebben grote voertuigen als goederentreinen en binnenvaartschepen per tonkilometer lagere gemiddelde kosten dan vrachtwagens.

Tabel 45 - Gemiddelde externe kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto gemiddeld	5,5	7,6	9,3
– Personenauto benzine	6,3	8,4	10
– Personenauto diesel	4,0	5,9	7,5
– Personenauto LPG	2,9	3,5	4,0
– Personenauto elektrisch	2,6	6,2	9,4
– Personenauto PHEV	4,7	7	9
Motorfiets	4,7	6,3	7,7
Bromfiets	3,0	4,0	4,8
Ov-bus gemiddeld	3,8	5,8	7,5
– Ov-bus diesel	3,8	5,6	7,1
– Ov-bus elektrisch	4,3	10,4	15,7
Touringcar	0,4	0,6	0,8
Fiets totaal	0,01	0,03	0,04
– Reguliere fiets	-	-	-
– Elektrische fiets	0,08	0,20	0,30
Personentrein gemiddeld	0,1	0,2	0,3
– Hoge snelheidstrein	1,4	3,2	4,8
– Personentrein diesel	1,0	2,3	3,5
– Personentrein elektrisch	2,1	3,1	4,0
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto gemiddeld	7,0	10	13
– Bestelauto diesel	7,0	10	13
– Bestelauto elektrisch	6,2	15	23

Voertuigcategorie	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	3,9	5,7	7,2
– Trekker voor oplegger	3,3	4,9	6,2
– Vrachtauto <10 ton	20	29	37
– Vrachtauto 10-20 ton	6,9	10	13
– Vrachtauto >20 ton	3,6	5,3	6,7
Goederentrein gemiddeld	0,43	0,89	1,3
– Goederentrein diesel	0,54	0,79	1,01
– Goederentrein elektrisch	0,39	0,93	1,4
Binnenvaart	1,3	1,9	2,4

De gemiddelde externe kosten door emissies van brandstofproductie voor internationale lucht- en zeevaart zijn weergegeven in Tabel 46.

Tabel 46 - Gemiddelde externe kosten van emissies door brandstofproductie voor internationale lucht- en zeevaart

Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland in mln. €	Eenheid	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,15	0,21	0,26
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	2,8	3,9	4,9
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	15	21	26

7.5.3 Marginale kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

De marginale externe kosten van emissies door brandstof- en elektriciteitsproductie op Nederlands grondgebied zijn weergegeven in Tabel 47. Voor elektrische vervoerswijzen verschillen marginale situaties weinig van gemiddelde situaties. Om deze reden zijn deze vervoerswijzen niet opgenomen in de resultaten.

Tabel 47 - Marginale externe kosten van emissies door brandstofproductie op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Lage prijs			Hoge prijs			2-graden-prijs		
	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 rkm)									
Personenauto benzine	4,7	6,3	8,1	6,4	8,4	11	7,8	10	13
Personenauto diesel	3,1	4,0	9,8	4,6	5,9	12	5,9	7,5	14
Personenauto LPG	2,0	2,9	5,8	2,5	3,5	6,6	2,9	4,0	7,3
Motorfiets	3,8	4,7	10	5,1	6,3	12	6,3	7,7	13
Bromfiets	2,4	3,0	6,8	3,3	4,0	8,0	4,0	4,8	9,0
Ov-bus diesel	2,4	3,8	10	3,6	5,6	12	4,6	7,1	15
Touringcar	0,39	0,43	1,5	0,58	0,63	1,8	0,74	0,81	2,1
Personentrein diesel	1,6	2,1	5,2	2,3	3,1	6,4	3,0	4,0	7,5
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€/1.000 vkm)									
Bestelauto diesel	4,3	7,0	21	6,5	10	26	8,3	13	30

Voertuigcategorie	Lage prijs			Hoge prijs			2-graden-prijs		
	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€/1.000 tkm)									
Trekker voor oplegger	2,7	3,3	8,1	4,0	4,9	10	5,1	6,2	12
Vrachtauto <10 ton	9,8	20	52	15	29	64	19	37	74
Vrachtauto 10-20 ton	5,6	6,9	24	8,4	10	30	11	13	34
Vrachtauto >20 ton	1,8	3,6	13	2,7	5,3	16	3,4	6,7	19
Goederentrein diesel	0,39	0,54	1,5	0,58	0,79	1,8	0,74	1,0	2,1
Binnenvaart	0,41	1,3	2,9	0,60	1,9	3,5	0,77	2,4	4,1

De marginale kosten van emissies van brandstofproductie voor lucht- en zeevaart zijn weergegeven in Tabel 48.

Tabel 48 - Marginale externe kosten van emissies door brandstofproductie voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Lage prijs			Hoge prijs			2-graden-prijs		
		Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht	Goed	Middel	Slecht
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,053	0,15	2,4	0,075	0,21	2,89	0,094	0,26	3,3
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	2,5	2,8	7,4	3,5	3,9	8,9	4,3	4,9	10
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	14	15	75	19	21	89	24	26	102

7.6 Robuustheid resultaten

De kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie hangen af van het energieverbruik, de emissies die daarbij vrijkomen en de waardering van die emissies. Het energieverbruik van fossiele brandstoffen baseren we op de CO₂-emissies. In Paragraaf 5.6 hebben we besproken dat de CO₂-emissies vrij robuust worden ingeschat. Het energieverbruik van elektrische wegvoertuigen is bepaald op basis van bottom-up-berekeningen uit de Klimaat- en energieverkenning. Ook deze inschattingen worden als vrij robuust beoordeeld. Voor elektrische treinen geldt tenslotte dat het totale (daadwerkelijke) energieverbruik bekend is uit verschillende bronnen en daarom als robuust kan worden beoordeeld.

Om van energieverbruik naar emissies te komen gebruiken we data uit (CE Delft, 2020d). De klimaatemissies die vrijkomen bij de productie van brandstoffen en elektriciteit zijn goed onderzocht en worden regelmatig geüpdatet. Zo worden de CO₂-emissies van elektriciteitsproductie in Nederland jaarlijks bijgewerkt voor de Klimaat- en energieverkenning. De uitstoot van luchtvervuilende emissies is minder zeker, omdat deze niet specifiek voor Nederland beschikbaar zijn en er minder onderzoek naar gedaan wordt. Op dit moment koppelen we de globaal gemiddelde emissies per productiemethode, bijvoorbeeld kolen of gas, aan de Nederlandse productiemix. Als de Nederlandse centrales relatief schoon zijn dan komt dat niet terug in onze cijfers.

Tot slot, de waardering van de emissies is gedaan met behulp van dezelfde of vergelijkbare waarderingskentallen als bij de waardering van de directe emissies. De onzekerheden in deze kentallen zijn besproken in Hoofdstuk 5 en 6.

8 Kosten van geluid

8.1 Inleiding

Verkeer is één van de belangrijkste bronnen van omgevingsgeluid in Nederland. Het geluid kan mensen hinderen in hun activiteiten en/of leiden tot gezondheidsschade. De externe kosten van verkeersgeluid staan centraal in dit hoofdstuk. Daartoe definiëren we in Paragraaf 8.2 allereerst de externe kosten die met geluid samenhangen. In Paragraaf 8.3 gaan we vervolgens in op de methodiek voor het bepalen van deze externe kosten. De daarbij te hanteren waarderingskentallen worden besproken in Paragraaf 8.4. In Paragraaf 8.5 presenteren we de resultaten van de analyse naar de externe geluidskosten, waarna we in Paragraaf 8.6 de robuustheid van deze resultaten kort bespreken.

8.2 Definitie van kosten

De externe geluidskosten kunnen worden gedefinieerd als de kosten voor derden (bijv. omwonenden) van verkeersgeluid⁵⁸ dat leidt tot fysieke of psychische klachten bij deze mensen. Er kunnen hierbij twee elementen onderscheiden worden:

- Overlastkosten: sociale en/of economische kosten van een belemmering van ontspanningsactiviteiten, ongenoegen, overlast (pijn, lijden), etc.
- Gezondheidskosten: verkeersgeluid kan ook fysieke gezondheidsschade veroorzaken, zoals hartziekten en hoge bloeddruk. In Tekstbox 11 is meer informatie weergegeven over de gezondheidseffecten die wel en niet zijn meegenomen in deze studie.

Tekstbox 11 - Gezondheidseffecten van geluid

Door CE Delft et al. (2019b) is een uitgebreid literatuuronderzoek gedaan naar de gezondheidseffecten van geluid, waarbij onder andere verschillende door de WHO geïnitieerde recente meta-studies zijn bestudeerd. Uit deze review kwam naar voren dat er voldoende wetenschappelijk bewijs is voor de relatie tussen geluid en de volgende ziekten: ischemische hartziekten, beroertes, hoge bloeddruk en dementie. Deze gezondheidseffecten nemen we dan ook mee in ons onderzoek. Ook voor de invloed van geluid op een verslechterde nachtrust wordt in de literatuur veel empirisch bewijs gevonden, maar om mogelijke dubbeltellingen met de waardering van overlastkosten te voorkomen hebben we dit gezondheidseffect niet meegenomen.

In aanvulling op de bovenstaande gezondheidseffecten, zijn er ook studies die een relatie tussen (verkeers)geluid en de kans op borstkanker, depressies, diabetes en tinnitus (waarbij mensen een toon/geluid horen dat niet bestaat) vinden. De WHO concludeert echter dat er maar (zeer) weinig bewijs is voor deze relaties. Vanwege die reden hebben we deze gezondheidseffecten niet meegenomen bij de bepaling van de externe geluidskosten in deze studie.

⁵⁸ Als maat voor geluidbelasting hanteren we in deze studie de A-gewogen decibelwaarde dB(A). De decibel is een maat voor het geluidsniveau, terwijl de A-weging hierop wordt toegepast om te corrigeren voor de gevoeligheid van het menselijk oor voor de toonhoogte van het geluid. Naast geluidsniveau en toonhoogte spelen ook het tijdstip en de duur van het geluid een belangrijke rol. Deze factoren worden meegenomen in de geluidsmaat. In deze studie gaan we uit van de geluidsmaat L_{den} (Level day, evening, night), de huidige wettelijke geluidsmaat voor verkeersgeluid. Deze maat geeft een gewogen gemiddelde geluidsniveau over de dag, waarbij er voor de avond en nacht een straffactor van 5 en 10 dB(A) geldt. Deze maat gaat er dus vanuit dat geluid 's avonds en vooral 's nachts hinderlijker is dan overdag.



Naast de overlast- en gezondheidskosten kunnen er ook nog drie andere schadelijke effecten van geluid onderscheiden worden (CE Delft, 2017):

1. Productiviteitsverlies; geluid kan leiden tot verminderde prestaties van werknemers, bijvoorbeeld door concentratieproblemen of vermoeidheid door geluidsgelateerde slaapproblemen. Deze effecten zijn in de literatuur echter zeer beperkt onderzocht en worden daarom niet meegenomen in deze studie.
2. Verstoring rustige gebieden; omgevingsgeluid kan ertoe leiden dat mensen de voordelen van rustige gebieden (stadsparken, bossen) minder ervaren. Het onderzoek naar de kosten die daarmee samenhangen is echter nog zeer beperkt. Vandaar dat we ook deze effecten in deze studie buiten beschouwing laten.
3. Effecten op ecosystemen; geluid kan ook schadelijke effecten voor dieren hebben, bijvoorbeeld in de vorm van verstoring van broedperiodes. Betrouwbare waarderingskennntallen voor deze effecten ontbreken echter en daarom laten we ze in deze studie buiten beschouwing.

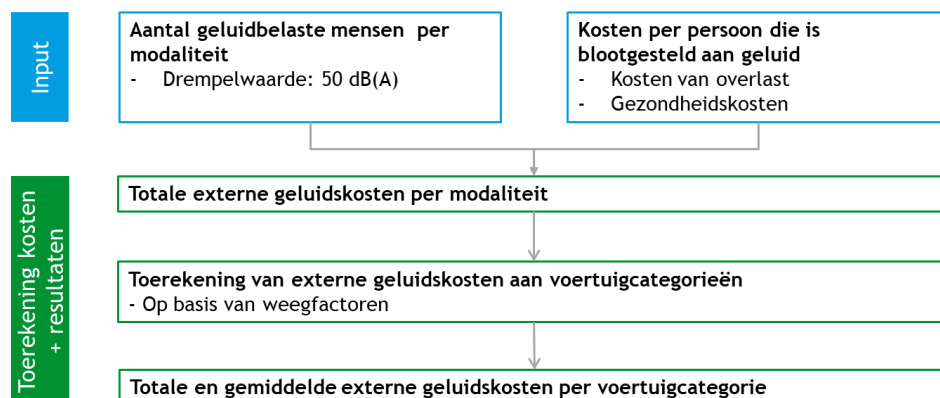
In deze studie bepalen we de geluidskosten voor het wegvervoer en de luchtvaart. Voor de binnen- en zeevaart nemen we aan dat de geluidskosten verwaarloosbaar zijn, aangezien bij deze vormen van transport de afstand van de geluidsbron tot omwonenden vaak relatief groot is, het vervoer veelal in relatief dunbevolkte gebieden plaats vindt en de geluiduitstoot van schepen meestal relatief beperkt zijn.

8.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

8.3.1 Totale en gemiddelde geluidskosten

De gevolgde methodiek voor het bepalen van de totale en gemiddelde externe kosten van geluid is op hoofdlijnen weergegeven in Figuur 6.

Figuur 6 - Methodiek bepaling totale en gemiddelde externe kosten van geluidhinder



De berekening van de externe kosten van geluid bestaat uit vier stappen:

1. *Bepaal het aantal geluidbelaste mensen per modaliteit.* Op basis van data van het RIVM is een inschatting gemaakt van het aantal geluidbelaste mensen in Nederland in 2018 (zie Bijlage C.6). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen wegverkeer en luchtvaart. Voor beide modaliteiten is gerekend met een drempelwaarde van 50 dB(A). Hoewel verkeersgeluid onder de 50 dB(A) ook kan leiden tot overlast (EEA, 2010, WHO, 2011) zijn deze kosten in deze studie niet meegenomen vanwege een gebrek aan betrouwbare waarderingskentalen voor deze geluidsniveaus.
2. *Bepaal de totale externe kosten van geluid per modaliteit.* Door het aantal geluidbelaste mensen te vermenigvuldigen met een relevant waarderingskental (in €/persoon/dB(A)), kunnen de totale externe kosten van geluid bepaald worden. De waarderingskentalen voor geluid worden nader toegelicht in Paragraaf 8.4.
3. *Bepaal de totale externe kosten van geluid per vervoerswijze.* Voor het weg- en spoorverkeer worden de totale externe geluidskosten toegewezen aan de verschillende voertuigcategorieën op basis van voertuigkilometers, die worden gewogen met behulp van zogenaamde geluidweegfactoren (zie Bijlage A.2). Deze weegfactoren reflecteren de verschillen in de geluidsproductie van verschillende voertuigcategorieën en daarmee aan de bijdrage die deze voertuigcategorieën (per kilometer) leveren aan het totale geluidsniveau van het wegverkeer. Voor de luchtvaart zijn de totale externe geluidskosten naar vrachtluchten en passagiersvluchten toegewezen op basis van het AEOLUS-model. Daarnaast is een gedeelte van de geluidsoverlast van belly-freight-vliegtuigen toegewezen aan vrachtluchten. De basis van de toewijzing is uitgelegd in Bijlage F.4.
4. *Bepaal de gemiddelde externe kosten van geluid per vervoerswijze.* Door de totale kosten per voertuigcategorie te delen door het totaal aantal reizigers- of tonkilometers van de desbetreffende categorie, worden de gemiddelde externe geluidskosten verkregen.

8.3.2 Marginale geluidskosten

De marginale geluidskosten zijn sterk afhankelijk van lokale factoren. Drie belangrijke ‘*cost drivers*’ zijn:

1. *Tijdstip (dag en nacht);* epidemiologische studies laten zien dat de ervaren overlast en gezondheidseffecten van geluid hoger zijn in de nacht dan overdag. Vandaar dat we deze differentiatie toepassen bij de bepaling van de marginale geluidskosten.
2. *Gebiedstype (grootstedelijk, stedelijk en landelijk);* gebiedstype is een ruwe indicator voor de bevolkingsdichtheid in de nabijheid van de geluidsbron, wat een belangrijke ‘*cost driver*’ is voor de hoogte van de marginale geluidskosten.
3. *Verkeerssituatie (druk, rustig);* de verkeerssituatie is, samen met het gebiedstype en het tijdstip, een indicatie van het bestaande geluidsniveau. Vanwege het logaritmische karakter van geluid geldt dat de marginale geluidsbijdrage afneemt als het bestaande geluidsniveau hoger is. De marginale geluidskosten zijn daarom ook hoger in rustige situaties dan in drukke situaties.

Voor weg- en spoorvervoer baseren we de marginale kosten van geluid (gedifferentieerd naar gebiedstype, verkeerssituatie, tijdstip en vervoerswijze) op de aanbevolen waarden door CE Delft et al. (2019). Deze waarden zijn gebaseerd op specifieke casestudies zoals die

zijn uitgevoerd in INFRAS & IWW (2004) en vormen nog steeds de meest gedetailleerde beschikbare inschattingen van marginale geluidskosten voor het weg- en spoorvervoer. Wel hebben we deze marginale kosten gecorrigeerd voor de nieuwste inzichten op het vlak van de waardering van geluid (zie Paragraaf 8.4). Hiervoor hebben we de marginale kosten geschaald op basis van de ontwikkeling in de waardering van geluid tussen INFRAS & IWW (2004) en de huidige studie.

Voor de bepaling van de marginale kosten van geluid van de luchtvaart hebben we de schattingen zoals die gepresenteerd worden in CE Delft (2003) als uitgangspunt genomen. Evenals voor het weg- en spoorvervoer, hebben we de marginale kosten schattingen uit deze studie geschaald op basis van de verhouding in de waarderingskentalen voor geluid.

8.4 Waarderingskentalen

Voor de bepaling van de externe geluidskosten maken we gebruik van afzonderlijke waarderingskentalen voor overlast en gezondheidseffecten.

Waarderingskentalen voor overlastkosten

Voor het bepalen van de waardering voor geluidsoverlast kunnen drie verschillende methoden gebruikt worden (CE Delft, 2017):

1. *Revealed preference* (RP) methoden, waarbij de waarde voor de effecten van geluid worden afgeleid uit daadwerkelijk waargenomen markteffecten. Veruit de meest gebruikte RP-methode om de overlastkosten van geluid te waarderen is de hedonische prijzenmethode, waarbij de waardering wordt afgeleid van variaties in huizenprijzen.
2. *Stated preference* (SP) methoden, waarbij mensen door middel van enquêtes of experimenten (indirect) gevraagd wordt om hun *willingness-to-pay* (WTP) en *willingness-to-accept* (WTA) voor geluidsreductie te geven.
3. *Environmental burden of Disease* (EBD), waarbij de invloed van geluid op ervaren overlast wordt uitgedrukt in 'Disability Adjusted Life Years' (DALY's), die vervolgens gewaardeerd kunnen worden met behulp van een VOLY ('Value of a Life Year Lost').

Op basis van een uitgebreide review van studies die door middel van één van bovenstaande methoden een waardering voor geluidsoverlast hebben vastgesteld, beveelt CE Delft (CE Delft, 2017) aan om gebruik te maken van de waarderingskentalen zoals die door Bristow et al. (2015) worden gevonden. Deze waarderingskentalen zijn gebaseerd op SP-onderzoek. Een belangrijk voordeel van deze waarderingskentalen is dat ze stijgen naarmate het geluidsniveau toeneemt, waarmee ze in lijn zijn met inzichten op dit vlak in de literatuur (onder andere DEFRA (2014); Theebe (2004); Udo et al. (2006)). In vergelijking met RP-resultaten zijn deze waarderingskentalen ook eenvoudiger toepasbaar binnen deze studie, omdat ze reeds zijn uitgedrukt in € per dB per persoon⁵⁹.

⁵⁹ RP-resultaten zijn over het algemeen uitgedrukt als relatieve veranderingen in huizenprijzen ten opzichte van een extra dB geluid. Om deze kentalen toe te passen in deze studie zou dan ook data beschikbaar moeten zijn over de woningprijzen in de gebieden waar er sprake is van geluidsoverlast door verkeer. Dit is echter niet het geval. Overigens geven indicatieve berekeningen in CE Delft, (2017) wel aan dat de resultaten zoals die worden gevonden door RP-onderzoeken gemiddeld genomen in lijn liggen met de SP-resultaten van Bristow et al. (2015).

Tot slot, ten opzicht van de EBD-resultaten hebben de SP-resultaten van Bristow et al. (2015) het voordeel dat ze een groter deel van de overlast meenemen⁶⁰ en ook gebaseerd zijn op betrouwbaardere methoden.

Waarderingskentalen voor gezondheidskosten

Bij de gezondheidskosten van geluid kan onderscheid gemaakt worden tussen de effecten voor de persoon zelf (pijn, ongemak, etc.) en de effecten voor de rest van de maatschappij. Het eerste type kosten kan worden gewaardeerd met behulp van *VOLY's* of *DALY's*, terwijl voor de waardering van het tweede type effecten gebruikgemaakt kan worden van de 'Cost of Illness' (COI)-methode. Bij laatstgenoemde methode wordt de waardering gebaseerd op marktprijzen⁶¹.

In lijn met CE Delft (2017) en CE Delft et al. (2019) hanteren we voor de waardering van de gezondheidskosten waarden zoals die gepresenteerd worden door Defra, (2014). Alle relevante gezondheidseffecten zoals benoemd in Paragraaf 8.2 worden in deze studie meegenomen⁶². Wel neemt Defra, (2014) alleen de kosten voor de persoon zelf mee. De gezondheidskosten voor de rest van de maatschappij ontbreken. Vandaar dat CE Delft et al. (2019) deze ontbrekende kosten heeft ingeschat op basis van de vuistregel dat die gelijk zijn aan 8% van de kosten voor de persoon zelf.

Overzicht van gehanteerde waarderingskentalen

In Tabel 49 zijn de waarderingskentalen weergegeven zoals die op basis van bovenstaande bronnen zijn vastgesteld voor deze studie. Deze tabel laat zien dat de waarderingskentalen voor overlast bij luchtvaart hoger liggen dan bij het wegverkeer. Dit geeft uiting aan het feit dat mensen geluid van vliegtuigen over het algemeen storender vinden dan geluid van wegverkeer (zie Miedema, H. M. & Oudshoorn, C. G. M., (2001)).

Tabel 49 - Waarderingskentalen voor verkeersgeluid in Nederland (in € per dB(A) per persoon per jaar)

Lden dB(A)	Wegverkeer			Spoorvervoer			Luchtvaart		
	Overlast	Gezondheid	Totaal	Overlast	Gezondheid	Totaal	Overlast	Gezondheid	Totaal
50-54	16	4	20	16	5	21	39	8	47
55-59	33	4	37	33	6	39	78	8	86
60-64	33	8	41	33	10	43	78	12	90
65-69	62	12	74	62	15	77	149	16	165
70-74	62	17	79	62	20	82	149	21	170
≥ 75	62	21	83	62	27	89	149	26	175

⁶⁰ In EBD-onderzoeken (bijvoorbeeld (Defra, 2014); (Bruitparif et al., 2013)) worden alleen ernstige gevallen van overlast meegenomen ('*highly annoyed people*').

⁶¹ Zo kan bijvoorbeeld ingeschat worden hoeveel dagen iemand door een ziekte als gevolg van geluid gemiddeld in het ziekenhuis ligt, wat vervolgens wordt vermenigvuldigd met de kosten van een dag ziekenhuisopname om de economische kosten te bepalen.

⁶² Defra (2014) neemt ook de gezondheidskosten van slaapverstoringen mee. Echter, zoals aangegeven in Paragraaf 8.2 bestaat hierbij de kans dat er een dubbeltelling ontstaat met de overlastkosten. Vandaar dat we dit deel van de gezondheidskosten hier buiten beschouwing hebben gelaten.

8.5 Resultaten

In deze paragraaf presenteren wij de totale, gemiddelde en marginale kosten van brandstof- en elektriciteitsproductie per voertuigcategorie. Gedetailleerde uitsplitsingen naar wegtype zijn opgenomen in Bijlage B.5.

8.5.1 Totale kosten van geluid

De totale externe kosten van geluid zijn weergegeven in Tabel 50. De belangrijkste veroorzakers van deze kosten zijn personenauto's, bromfietsen en vrachtauto's. Bij personen- en vrachtauto's is dit grote aandeel in de totale geluidkosten voor een belangrijk deel te verklaren door hun significante aandeel in de totale vervoersprestatie in Nederland. Bij de bromfiets is daarentegen vooral de grote geluidsproductie de belangrijkste verklarende factor. Treinen veroorzaken in verhouding tot wegverkeer relatief weinig geluidsoverlast. De kosten in luchtvaart vallen in absolute zin mee, hoewel het wel belangrijk is om te melden dat deze kosten terecht komen bij een relatief kleine groep.

Tabel 50 - Totale externe kosten van geluidbelasting in mln. €

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Personenauto totaal	683
– <i>Personenauto benzine</i>	508
– <i>Personenauto diesel</i>	154
– <i>Personenauto LPG</i>	10
– <i>Personenauto elektrisch</i>	1,9
– <i>Personenauto PHEV</i>	8,6
Motorfiets	134
Bromfiets	411
Ov-bus totaal	75
– <i>Ov-bus diesel</i>	74
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,91
Touringcar	7,0
Personentrein totaal	24
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,18
– <i>Personentrein diesel</i>	2,4
– <i>Personentrein elektrisch</i>	22
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)	
Bestelauto totaal	116
– <i>Bestelauto diesel</i>	116
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,056
Vrachtauto totaal	315
– <i>Trekker voor oplegger</i>	174
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	12
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	74
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	55
Goederentrein totaal	5,9
– <i>Goederentrein diesel</i>	1,7
– <i>Goederentrein elektrisch</i>	4,3
Binnenvaart	na*
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)	
Zeevaart	na*
Luchtvaart personenvervoer	39
Luchtvaart goederenvervoer	5,7

* Voor deze vervoerswijze is geen informatie beschikbaar over de totale geluidbelasting.

8.5.2 Gemiddelde kosten van geluid

De gemiddelde externe kosten van geluidsbelasting op Nederlands grondgebied zijn weer-gegeven in Tabel 51. Geluidsbelasting in stedelijke omgeving leidt tot meer kosten aan-gezien meer mensen er last van hebben. Met name ov-bussen en bromfietsen rijden een groot deel van hun kilometers in stedelijke omgevingen. Daarnaast zijn de geluidsniveaus die deze voertuigen veroorzaken relatief hoog, wat ook bijdraagt aan hoge gemiddelde geluidskosten. Bij de personenauto's valt op dat de gemiddelde geluidskosten hoger zijn voor een benzineauto dan voor een dieselauto. De reden hiervoor is dat benzineauto's gemiddeld meer kilometers in een stedelijke omgeving rijden. Voor elektrische auto's (en bussen) zijn de geluidskosten relatief laag, maar niet geheel 0. Boven de 30 km/h is immers het banden-geluid dominant, waardoor er bij die snelheden slechts beperkte voordelen zijn ten opzichte van voertuigen met verbrandingsmotoren.

Bij vrachtwagens zijn duidelijke verschillen te zien naar grootteklasse. De vrachtwagens met een hoog laadvermogen presteren per tonkilometer een stuk beter. Enerzijds komt dit doordat de geluidskosten gedeeld kunnen worden door meer tonkilometers, waardoor de gemiddelde kosten lager uitvallen. Daarnaast rijden grotere vrachtauto's naar verhouding minder kilometers in een stedelijke omgeving, waardoor er minder mensen worden blootgesteld aan hun geluid.

Tot slot, de gemiddelde geluidskosten van treinen zijn relatief laag, wat vooral het gevolg is van het feit dat relatief minder mensen worden blootgesteld aan treingeluid dan geluid van wegverkeer.

Tabel 51 - Gemiddelde externe kosten van geluidbelasting op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Kosten
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)	
Personenauto gemiddeld	4,7
– <i>Personenauto benzine</i>	5,2
– <i>Personenauto diesel</i>	3,8
– <i>Personenauto LPG</i>	4,0
– <i>Personenauto elektrisch</i>	2,4
– <i>Personenauto PHEV</i>	2,8
Motorfiets	47
Bromfiets	145
Ov-bus gemiddeld	19,7
– <i>Ov-bus diesel</i>	20,3
– <i>Ov-bus elektrisch</i>	6,0
Touringcar	0,86
Personentrein gemiddeld	1,2
– <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,13
– <i>Personentrein diesel</i>	3,6
– <i>Personentrein elektrisch</i>	1,2
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)	
Bestelauto gemiddeld	6,4
– <i>Bestelauto diesel</i>	6,4
– <i>Bestelauto elektrisch</i>	3,8
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)	
Vrachtauto gemiddeld	5,2
– <i>Trekker voor oplegger</i>	3,9

Voertuigcategorie	Kosten
– Vrachtauto <10 ton	79
– Vrachtauto 10-20 ton	43
– Vrachtauto >20 ton	3,9
Goederentrein gemiddeld	0,85
– Goederentrein diesel	0,87
– Goederentrein elektrisch	0,84
Binnenvaart	na*

* Voor deze vervoerswijze is geen informatie beschikbaar over geluidbelasting.

De gemiddelde externe kosten van geluid door internationale luchtvaart zijn zichtbaar in Tabel 52. De nadelige effecten van vliegtuiggeluid treden voornamelijk op bij het landen en stijgen. Aangezien de kosten over de gehele vlucht worden verdeeld vallen de gemiddelde kosten relatief laag uit ten opzichte van andere externe kostenposten.

Tabel 52 - Gemiddelde externe kosten van geluidbelasting voor internationale lucht- en zeevaart

Voertuigcategorie	Eenheid	Kosten
Zeevaart	€/1.000 tkm	na*
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	0,36
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	0,81

* Voor deze vervoerswijze is geen informatie beschikbaar over geluidbelasting.

8.5.3 Marginale kosten van geluid

De marginale externe kosten van geluid door transport op Nederlands grondgebied zijn weergegeven in Tabel 53. Er zitten grote verschillen in de kosten afhankelijk van de situatie en het voertuig. Op rustig momenten zijn de kosten hoger omdat een extra voertuig dan een grotere impact heeft. In stedelijke gebieden hebben meer mensen last van het geluid waardoor de kosten daar hoger zijn.

Tabel 53 - Marginale externe kosten van geluidbelasting op Nederlands grondgebied

Voertuigcategorie	Tijdstip	Verkeerssituatie	Grootstedelijk	Stedelijk	Landelijk
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)					
Personenauto gemiddeld	Dag	Druk	8,5	0,47	0,19
		Rustig	21	1,3	0,094
	Nacht	Druk	16	0,85	0,094
		Rustig	38	2,5	0,38
Motorfiets	Dag	Druk	19	1,2	0,11
		Rustig	47	3,0	0,43
	Nacht	Druk	35	2,0	0,22
		Rustig	86	5,6	0,65
Bus/touringcar	Dag	Druk	5,3	0,29	0,019
		Rustig	13	0,82	0,037
	Nacht	Druk	9,6	0,54	0,033
		Rustig	23	1,5	0,070
Personentrein gemiddeld	Dag	Druk	2,7	0,12	0,15
		Rustig	5,3	0,24	0,29
	Nacht	Rustig	8,9	0,39	0,49

Voertuigcategorie	Tijdstip	Verkeerssituatie	Grootstedelijk	Stedelijk	Landelijk
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)					
Bestelauto gemiddeld	Dag	Druk	55,9	3,1	0,50
		Rustig	136	8,7	0,99
	Nacht	Druk	102	5,7	0,87
		Rustig	247	16,1	1,9
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)					
Vrachtauto gemiddeld	Dag	Druk	16	0,86	0,10
		Rustig	38	2,4	0,22
	Nacht	Druk	28	1,6	0,19
		Rustig	69	0,45	0,40
Goederentrein gemiddeld	Dag	Druk	0,81	0,040	0,050
		Rustig	2,0	0,08	0,10
	Nacht	Rustig	3,3	0,13	0,16

De marginale kosten van de luchtvaart staan in Tabel 54. De goede situatie gaat uit een situatie overdag, terwijl de slechte situatie uitgaat van een vliegtuig wat in de nacht vertrekt. De middenwaarde voor de marginale kosten van geluid is gebaseerd op een gewogen gemiddelde voor dag- en nachtwaarden

Tabel 54 - Marginale externe kosten van geluidbelasting door vliegtuigen

Voertuigcategorie	Eenheid	Goed	Midden	Slecht
Personenvliegtuig	€ per rkm	0,097	0,16	2,47
Goederenvliegtuig	€ per tkm	0,29	0,37	24

8.6 Robuustheid resultaten

De inschatting van de externe kosten van geluid kent verschillende onzekerheden. Een belangrijke onzekerheid zit in de bepaling van het aantal geluidgehinderde personen (per dB-klasse) als gevolg van verkeersgeluid. Zoals wordt uitgelegd in Bijlage C.6 zijn deze aantallen bepaald op basis van zogenaamde geluidsbelastingkaarten. Deze kaarten worden gemaakt op basis van verkeerstromen en geluidsproductieprofielen. Niet alle relevante aspecten van verkeersgeluid worden meegenomen bij het opstellen van deze kaarten. Zo wordt voor treinen geluidsoverlast door piepende rails bijvoorbeeld niet meegenomen. Daarnaast brengen de modellen die worden gebruikt voor het opstellen van de geluidskaarten incidenteel geluid, zoals een scooter met een illegale uitlaat, niet/beperkt in beeld. Ondanks dit soort beperkingen vormen de geluidsbelastingkaarten een goede basis voor de inschatting van het aantal geluidgehinderde personen als gevolg van verkeersgeluid.

Bij de waardering van de schadelijke effecten van geluid (op gezondheid en overlast) is vooral het gebrek aan betrouwbare waarderingskentalen beneden de 50 dB een belangrijke bron van onzekerheid. De gepresenteerde externe kosten van geluid dienen dan ook opgevat te worden als een ondergrens van de daadwerkelijke kosten.

Tot slot, bij de bepaling van de totale en gemiddelde geluidskosten vormt de toedeling van de kosten per modaliteit aan de verschillende categorieën vervoerswijzen een bron van onzekerheid. De voor deze toedeling gehanteerde geluidweegfactoren zijn gebaseerd op relatief oude onderzoeken en zouden bij voorkeur gevalideerd (en evt. geactualiseerd) worden in nieuw onderzoek.

9 Kosten van congestie

9.1 Inleiding

Congestie vormt een belangrijke maatschappelijke kostenpost van verkeer. De dagelijkse files op de Nederlandse snelwegen zijn wellicht het bekendste voorbeeld van congestie op het Nederlandse wegennetwerk, maar zeker zo belangrijk zijn de vertragingen die optreden door verkeersdruk in de stedelijke omgeving. In dit hoofdstuk staan we stil bij de kosten die beide vormen van congestie veroorzaken.

In het vervolg van dit hoofdstuk bespreken we in Paragraaf 9.2 de definitie van (externe) congestiekosten. In deze paragraaf staan we ook kort stil bij de congestiekosten voor de niet-wegmodaliteiten. In Paragraaf 9.3 gaan we vervolgens in op de methodiek voor de bepaling van de totale, gemiddelde congestiekosten en marginale congestiekosten. De waarderingskennetallen die gehanteerd zijn bij de bepaling van de congestiekosten komen aan bod in Paragraaf 9.4. De resulterende congestiekosten worden gepresenteerd in Paragraaf 9.5, terwijl de robuustheid van deze resultaten wordt besproken in Paragraaf 9.6.

9.2 Definitie van kosten

9.2.1 Definitie van congestiekosten

Congestiekosten kunnen worden gedefinieerd als de toename in de gegeneraliseerde gebruikerskosten wanneer de wegcapaciteit schaarser wordt (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b) (Goodwin, P., 2004). Met gegeneraliseerde gebruikerskosten worden niet enkel de financiële, maar ook de niet-financiële kosten bedoeld, zoals veranderingen in reistijd.

Congestiekosten treden op als de verkeersstroom de maximale wegcapaciteit nadert. Ook wanneer dit nog niet het geval is kan het zo zijn dat weggebruikers elkaar op dusdanige wijze beïnvloeden dat dit resulteert in lagere snelheden. De relatie tussen de omvang van de verkeersstroom en de snelheid varieert tussen verschillende type wegen en zelfs tussen wegvakken, maar is ook afhankelijk van het tijdstip, de samenstelling van de verkeersstroom, het weer, het rijgedrag van mensen, etc. De omvang van congestiekosten kan dus sterk variëren per locatie en tijdstip, wat maakt dat fluctuatie in de marginale congestiekosten sterk (en vaak sterk niet-lineair) kan zijn. Hierdoor verschillen de marginale congestiekosten ook vaak sterk van de gemiddelde congestiekosten. In belangrijke mate geldt dan ook dat de bepaling van de gemiddelde congestiekosten interessant kan zijn om inzicht te krijgen in de omvang van de maatschappelijke effecten van congestie, maar waarschijnlijk een uitkomst oplevert die slechts voor een beperkt deel van de feitelijke verplaatsingen relevant is. Bij de interpretatie en gebruik van de resultaten van de analyse van de gemiddelde congestiekosten dient hier rekening mee te worden gehouden.

In deze studie zijn slechts de congestiekosten voor het wegverkeer op stadswegen en hoofdwegen gekwantificeerd. De congestiekosten op buitenwegen en voor het niet-wegverkeer zijn vanwege gebrek aan data niet berekend.

9.2.2 Componenten van congestiekosten

Bij de congestiekosten zoals die hierboven zijn gedefinieerd kunnen vier kostencomponenten onderscheiden worden (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b, KiM, 2019):

1. *Kosten van reistijdverliezen*: het reistijdverlies dat een weggebruiker oploopt doordat deze in de file staat of langzaam rijdt leidt tot kosten voor deze persoon. Hij of zij had in die verloren tijd immers ook iets anders kunnen doen, waaraan men nut had ontleend. Dit misgelopen nut (of extra productiekosten in het geval van zakelijk vervoer) vormen de kosten van reistijdverlies.
2. *Kosten van onbetrouwbare reistijden*: hierbij gaat het om het disnut dat samenhangt met onbetrouwbaarheid oftewel variabiliteit rondom reistijden.
3. *Plankosten*: deze kosten treden op doordat automobilisten anticiperen op files en/of vertragingen, waardoor ze eerder of later vertrekken, kiezen voor een andere route of helemaal afzien van de reis (bijvoorbeeld door thuis te gaan werken). Door dit anticiperende gedrag kiezen mensen niet voor de opties die ze het liefst zouden willen en dit leidt dus tot welvaartskosten.
4. *Indirecte kosten*: congestie op het wegennetwerk kan ook leiden tot effecten op andere markten, wat resulteert in indirecte effecten. Congestie op de weg kan via uitwijkgedrag bijvoorbeeld leiden tot meer ov-reizigers in de spits, waardoor meer investeringen in het ov nodig zijn en wat een effect kan hebben op het exploitatiesaldo van ov-bedrijven.

Ook de extra brandstof- en voertuigkosten die optreden als gevolg van files en vertraging worden soms meegenomen bij de bepaling van de congestiekosten. De omvang van deze kostenpost is echter vaak dermate klein dat we die hier buiten beschouwing laten.

9.2.3 Welk deel van de congestiekosten is extern?

Verkeersdeelnemers die met hun voertuig de weg opgaan houden bij deze beslissing rekening met de verschillende componenten van congestiekosten zoals ze die zelf (verwachten te gaan) ervaren. Dit zijn voor hen dus interne kosten. Echter, ze houden geen rekening met de vertraging en bijbehorende kosten die ze veroorzaken voor andere weggebruikers. Door de weg op te gaan beïnvloeden ze immers ook de doorstroming voor andere weggebruikers. De daarmee gepaard gaande kosten zijn extern van aard.

Vanuit een marginaal perspectief is de scheiding tussen externe en interne congestiekosten dus duidelijk. Vanuit een gemiddeld en totaal kostenperspectief is dit echter minder het geval. Evenals bij een deel van de ongevalskosten geldt namelijk dat de kosten van congestie neerslaan binnen de transportsector. De congestiekosten worden dus door dezelfde groep ervaren als die ze veroorzaakt. Echter, er blijft staan dat de individuele verkeersdeelnemers binnen deze groep geen rekening houden met de congestiekosten die ze veroorzaken voor anderen en daarmee kunnen deze kosten nog steeds worden gezien als extern, ook al worden ze gedragen door mensen binnen dezelfde groep van verkeersdeelnemers.



9.2.4 Verschillende concepten voor totale/gemiddelde congestiekosten

Er zijn verschillende concepten die kunnen worden gebruikt voor de bepaling van de totale en gemiddelde congestiekosten. Twee veel gebruikte concepten zijn (CE Delft, INFRAS, et al., 2019) (Ricardo & TRT, 2016):

1. *Totale 'deadweight loss' kosten*: in dit concept wordt allereerst een optimaal niveau van congestie vastgesteld, dat wil zeggen de mate van congestie waarbij de marginale maatschappelijke congestiekosten even groot zijn als de marginale kosten van de reductie van congestie⁶³. De kosten van de extra congestie die optreedt ten opzichte van dit optimale congestieniveau zijn de zogenaamde '*deadweight loss*' kosten.
2. *Totale vertragingkosten*: in dit concept worden de kosten die samenhangen met alle vertragingen die weggebruikers ondervinden (ten opzichte van een situatie met een vrije doorstroming of een bepaalde referentiesnelheid) meegenomen als congestiekosten.

Beide concepten van congestiekosten hebben hun eigen voor- en nadelen. De totale '*deadweight loss*' kosten geven de congestiekosten die optreden ten opzichte van de economisch optimale situatie en vormen daarmee een waardevolle input voor beleidsmakers (bijvoorbeeld voor de vormgeving van prijsbeleid). Echter, de scope van deze congestiekosten wijkt af van de scope die voor de overige externe kosten wordt gehanteerd. Immers, voor alle andere externe kostenposten nemen we in de berekeningen alle externe kosten mee (en niet enkel de kosten die additioneel zijn ten opzichte van de economisch optimale situatie). Om inzicht te krijgen in de totale externe kosten van verkeer leidt het gebruik van de '*deadweight loss*' kosten dus tot een onderschatting. De scope van de vertragingkosten sluit daarentegen wel goed aan bij de scope zoals gehanteerd voor de andere externe kostenposten, aangezien binnen dit concept de kosten van alle vertragingen worden meegenomen. Het nadeel van het gebruik van de vertragingkosten is echter dat een deel daarvan ook intern van aard is, waardoor de totale vertragingkosten een overschatting van de totale externe congestiekosten vormen.

Gezien de voor- en nadelen van zowel de '*deadweight loss*' en vertragingkosten, hebben we besloten om de totale en gemiddelde congestiekosten volgens beide concepten te berekenen in deze studie (in lijn met eerdere studies zoals (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b, Ricardo & TRT, 2016, CE Delft et al., 2011)). Daarbij kunnen de '*deadweight loss*' kosten worden opgevat als een ondergrens voor de totale externe congestiekosten en de totale vertragingkosten als een absolute bovengrens daarvan. Voor de synthese hoofdstukken presenteren we alleen de totale vertragingkosten, omdat deze qua definitie beter aansluiten bij de andere kostenposten.

⁶³ Dit congestieniveau wordt als economisch optimaal gezien, omdat bij een lager congestieniveau de maatschappelijke kosten van congestie lager zijn dan de marginale kosten van congestiereductie en een hoger congestieniveau dus leidt tot meer welvaart. Bij een hoger congestieniveau dan het optimale congestieniveau geldt dat de marginale kosten van congestie hoger zijn dan de kosten van het reduceren ervan, zodat extra reductie van congestie leidt tot welvaartsbaten.



9.2.5 Congestiekosten voor niet-wegverkeer

In de voorgaande paragrafen hebben we ons gericht op de congestiekosten voor het wegverkeer. Voor de andere vervoerswijzen kan er ook sprake zijn van congestiekosten, maar hierover is in de literatuur relatief weinig bekend (CE Delft, INFRAS, et al., 2019)

De aard van spoorvervoer en luchtvaart verschilt sterk van die van het wegverkeer, omdat beiden een zeer planmatig karakter hebben (ze volgen een dienstregeling). Voor deze twee vervoerswijzen kunnen verschillende vormen van kosten onderscheiden worden (CE Delft, INFRAS, et al., 2019, CE Delft & VU Amsterdam, 2014b):

- *Schaarstekosten* verwijzen naar de kosten die optreden doordat vervoerders niet gebruik kunnen maken van de geprefereerde slots. Schaarstekosten bestaan dus uit de opportuniteitskosten van de niet-beschikbaarheid van de gewenste vertrek- of aankomsttijden.
- *Congestiekosten* verwijzen naar de kosten (bijvoorbeeld in de vorm van extra wachttijd op het station of een luchthaven) die optreden als de ene geplande rit/vlucht een andere geplande rit/vlucht vertraagt.
- *Crowdingkosten* verwijzen naar de kosten van discomfort die optreden als er sprake is van drukte binnen voertuigen (of op stations/luchthavens), waardoor er voor mensen bijvoorbeeld geen zitplaats meer is.

In de literatuur is er weinig bekend over de omvang van deze verschillende vormen van congestiekosten voor het spoorverkeer en de luchtvaart. Door een gebrek aan data is het ook lastig om deze kosten in te schatten. Vandaar dat deze kosten in deze studie buiten beschouwing blijven.

Bij de scheepvaart kan er sprake zijn over congestie in havens en bij sluiscomplexen. Door een gebrek aan data (bijvoorbeeld over wachttijden bij sluisen of over reistijdverliezen in havens) is het echter niet mogelijk om deze vorm van congestie binnen deze studie te kwantificeren.

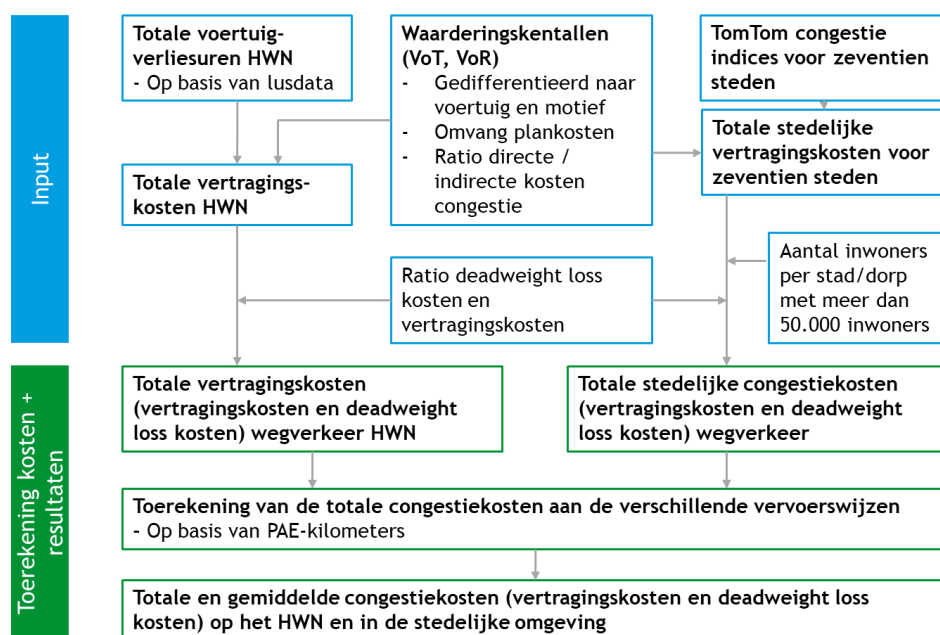
9.3 Methodiek voor het bepalen van de kosten

9.3.1 Totale en gemiddelde congestiekosten

De gevolgde methodiek voor het bepalen van de totale en gemiddelde congestiekosten is op hoofdlijnen weergegeven in Figuur 7. Daarbij maken we onderscheid tussen enerzijds de congestiekosten op het hoofdwegennet en anderzijds stedelijke congestiekosten.

De congestiekosten op het niet-stedelijke onderliggend wegennet blijft vanwege een gebrek aan data buiten beschouwing.

Figuur 7 - Methodiek bepaling totale en gemiddelde externe congestiekosten



Congestiekosten op het hoofdwegennet

De schatting van de totale en gemiddelde congestiekosten op het hoofdwegennet (HWN) bestaat uit vier stappen:

1. *Bepalen van de totale verpagingskosten voor het wegverkeer in 2018.* Deze kosten zijn gebaseerd op de schattingen zoals die worden gepresenteerd in het Mobiliteitsbeeld 2019 (KiM, 2019). Deze studie biedt schattingen van de totale verpagingskosten op het HWN gebaseerd op meetgegevens (data van meetlussen in het wegdek) en geeft daarmee de meest betrouwbare schattingen voor de situatie in Nederland.

De schattingen in KiM, (2019) omvatten dezelfde componenten als benoemd in Paragraaf 9.2.2, namelijk: reistijdverlies, betrouwbaarheid van de reistijd, plankosten (oftewel uitwijkgedrag) en indirecte effecten. Een gedetailleerde toelichting op de methodiek zoals die in KiM, (2019) is toegepast voor de kwantificering van deze vijf componenten kan worden gevonden in Tekstbox 12.

Tekstbox 12 - Toelichting methodiek toegepast in KiM, (2019) voor de bepaling van de verpagingskosten op het HWN

Door KiM, (2019) zijn bij de bepaling van de verpagingskosten op het HWN de volgende vijf componenten meegenomen:

1. *Reistijdverlies*: de kosten van het reistijdverlies zijn berekend door het reistijdverlies (uitgedrukt in aantal voertuigverliesuren) te vermenigvuldigen met de reistijdwaardering (zie Paragraaf 9.4). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen lichte (personenauto's, bestelauto's) en zware voertuigen (vrachtauto's, bussen). De voertuigverliesuren zijn berekend door rijden in files (tot 50 km/uur) en vertraagde afwikkeling (tussen 50 en 100 km/uur) af te zetten tegen een referentiesnelheid van 100 km/uur. Deze referentiesnelheid is een benadering van de gemiddelde snelheid bij vrije afwikkeling van het verkeer. De verkeersvolumes en bijbehorende daadwerkelijke snelheden zijn gebaseerd op meetgegevens (lusdata).
2. *Plankosten reistijdverliezen*: voor de bepaling van de plankosten door reistijdverliezen wordt, op basis van (Koopmans, C. C. & Kroes, E. P., 2004) aangenomen dat die 89% van de kosten van reistijdverlies bedragen.
3. *Betrouwbaarheid van reistijden*: de kosten van onbetrouwbaardere reistijden zijn berekend door de reistijdvariatie (uitgedrukt in uren standaardafwijking van de reistijd) te vermenigvuldigen met de relevante waarderingskentallen, dat wil zeggen 'value of reliability' (zie Paragraaf 9.4). Voor de bepaling van de reistijdvariatie is wederom gebruikgemaakt van de beschikbare lusdata, waarbij ook weer onderscheid is gemaakt tussen lichte en zware voertuigen.
4. *Plankosten onbetrouwbaarheid*: de mate waarin onbetrouwbaarheid leidt tot uitwijkgedrag is onzeker, maar door KiM wordt ingeschat dat de maatschappelijke kosten hiervan 50% lager zijn dan die van de mate van uitwijkgedrag bij reistijdverlies. Deze aanname impliceert dat de plankosten door onbetrouwbaarheid ingeschat worden op 44,5% van de kosten door onbetrouwbare reistijden.
5. *Indirecte kosten*: op basis van (Ministerie V&W & Ministerie EZ, 2004) wordt aangenomen dat de indirecte effecten gelijk zijn aan 15% van de directe verpagingskosten (het gemiddelde van een hoog (30%) en laag (0%) scenario voor de indirecte kosten).

2. *Bepalen van de totale 'deadweight loss' kosten voor het wegverkeer in 2018*. De bepaling van deze kosten vereist een modelberekening, die binnen de scope van deze studie niet uitgevoerd kon worden. Vandaar dat we voor een meer pragmatische aanpak kiezen, waarbij we op basis van een literatuuronderzoek de verhouding tussen de totale verpagingskosten en de totale 'deadweight loss' kosten hebben bepaald, waarna we met behulp van die verhouding en de totale verpagingskosten de totale 'deadweight loss' kosten hebben bepaald. De ratio van 'deadweight loss' kosten baseren we in deze studie op CE Delft et al. (2019), die op basis van uitgebreide modelberekeningen inschatten dat de 'deadweight loss' kosten circa 22% van de verpagingskosten bedragen⁶⁴.
3. *Toedelen van de totale congestiekosten aan de verschillende vervoerswijzen*. De totale congestiekosten (zowel verpagingskosten als 'deadweight loss' kosten) zijn toegedeeld aan de verschillende vervoerswijzen op basis van PAE-kilometers. Deze aanpak is in lijn met CE Delft & VU (2014b) en CE Delft et al. De gehanteerde PAE-kilometers zijn terug te vinden in Bijlage A.2.

⁶⁴ CE Delft et al. (2011) berekenen m.b.v. modelberekeningen (gebruikmakend van een ander model dan CE Delft et al. (2019) ook zowel de totale 'deadweight loss' kosten als de totale verpagingskosten. In tegenstelling tot CE Delft et al. (2019) presenteren ze geen specifieke resultaten voor snelwegen, maar enkel resultaten voor het gehele netwerk. Deze resultaten zijn echter wel in lijn met de resultaten zoals CE Delft et al. (2019) die vindt voor het gehele netwerk. CE Delft et al. (2011) komt tot een verhouding van 'deadweight loss' kosten en verpagingskosten van 16%, terwijl CE Delft et al. (2019) tot een verhouding van 17 à 18% komt.



4. *Bepalen van de gemiddelde congestiekosten per vervoerswijze.* De gemiddelde congestiekosten per vervoerswijze worden tenslotte bepaald door de totale congestiekosten per vervoerswijzen te delen door de relevante aantallen reizigers-, ton-of voertuigkilometers. Deze werkwijze is hetzelfde voor de verdragingskosten en de 'deadweight loss' kosten.

Stedelijke congestiekosten

De schatting van de totale en gemiddelde stedelijke congestiekosten bestaat uit zes stappen:

5. *Bepalen van de totale verdragingskosten van personenauto's in zeventien grote Nederlandse steden in 2018.* In CE Delft et al. (2019) zijn op basis van TomTom congestie indices-inschattingen gemaakt van de reistijdverlieskosten van personenauto's voor een selectie van Europese steden. Voor Nederland ging het daarbij om een selectie van zeventien steden⁶⁵. De gehanteerde methodiek in CE Delft et al. (2019) voor deze analyse wordt kort toegelicht in Tekstbox 13.

Tekstbox 13 - Toelichting methodiek toegepast in CE Delft et al. (2019) voor de bepaling van de reistijdverlieskosten van congestie in een selectie van Europese steden

De gehanteerde methodiek bestaat uit een tweetal stappen:

- *Schatting van de gemiddelde reistijdverlieskosten voor een personenauto in de stad per werkdag.* Op basis van de TomTom congestie indices zijn de gemiddelde reistijdverliezen op een gemiddelde werkdag per auto bepaald. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen stedelijke snelwegen en overige stadswegen. Met behulp van relevante waarden voor de Value of Time zijn vervolgens de gemiddelde reistijdverlieskosten voor een personenauto bepaald. Hierbij is rekening gehouden met verschillende reismotieven en de invloed die dit heeft op de waardering van reistijd.
- *Schatting van de totale reistijdverlieskosten van personenauto's in de stad per jaar.* met behulp van aannames over het aantal inwoners in de stad, het autoaandeel bij deze inwoners en het gemiddelde aantal werkdagen per jaar zijn de totale reistijdverlieskosten van personenauto's per jaar bepaald voor elk van de zeventien steden.

Voor deze studie hebben we een aantal correcties op de berekeningen uit 2019 laten uitvoeren door TRT (die ook verantwoordelijk waren voor de berekening van de congestiekosten in CE Delft et al. (2019)). Het gaat hierbij onder andere om een update van de TomTom congestie indices (van 2016 naar 2018), de waardering van reistijden (zie voor de toegepaste waarderingskentallen Paragraaf 9.4) en de gemiddelde bezettingsgraden van personenauto's⁶⁶. In aanvulling op de totale reistijdverlieskosten die we op deze manier voor de verschillende steden hebben gevonden hebben we ook een inschatting gemaakt voor de andere componenten van congestiekosten (betrouwbaarheid van reistijden, plankosten en indirecte kosten). Voor betrouwbaarheid van reistijden en indirecte kosten zijn we daarbij uitgegaan van dezelfde ratio ten opzichte van de reistijdverlieskosten als voor het wegverkeer op het HWN. Voor de plankosten is het zeer onduidelijk of deze ratio ook voor stedelijke congestie gebruikt kan worden, aangezien die in Koopmans & Kroes (2004) expliciet voor het HWN is bepaald. Vandaar dat

⁶⁵ Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Eindhoven, Tilburg, Almere, Groningen, Breda, Nijmegen, Apeldoorn, Haarlem, Arnhem, Amersfoort, 's Hertogenbosch, Zwolle, Leiden.

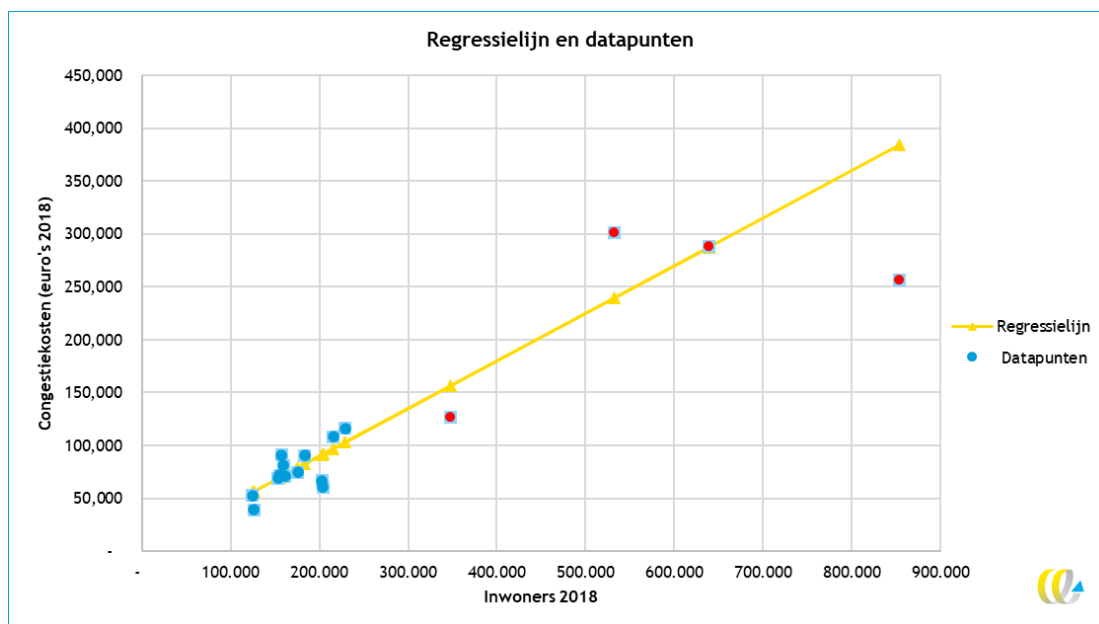
⁶⁶ Op basis van Nederlandse data kon een betrouwbaardere inschatting gemaakt worden van de bezettingsgraden van personenauto's dan is gedaan in CE Delft, INFRAS, et al., (2019)



we in de hoofdanalyse de plankosten niet hebben meegenomen voor de stedelijke congestie (conservatieve schatting). Wanneer de plankosten volgens de ratio in Koopmans & Kroes (2004) zouden zijn meegenomen, waren de stedelijke congestiekosten 82% hoger uitgekomen dan de resultaten die in deze studie zijn gepresenteerd.

6. *Extrapolatie van de totale verpagingskosten naar alle steden met meer dan 50.000 inwoners.* Wanneer we de totale verpagingskosten van personenauto's (bestaande uit alleen de reistijdverlieskosten) zoals bepaald in de eerste stap uitzetten tegen het aantal inwoners van de betreffende steden, dan vinden we een redelijk lineair verband (zie Figuur 8), waarbij we de grootste afwijkingen zien voor (een aantal van) de vier grote steden (de rode punten). We hebben daarom het verband tussen verpagingskosten en aantal inwoners geschat voor de overige dertien steden en hebben dit verband gebruikt om de verpagingskosten van personenauto's voor alle andere steden in Nederland met een inwoneraantal boven de 50.000 te bepalen. Daarbij hebben we gebruikgemaakt van CBS-cijfers over het aantal inwoners voor de verschillende steden/dorpen. Deze aanpak brengt uiteraard aanzienlijke onzekerheden met zich mee, vooral ook omdat het onduidelijk is of deze dertien steden een representatieve steekproef vormen voor alle overige 63 Nederlandse steden met meer dan 50.000 inwoners. In de resultaten zullen we daarom ook onderscheid maken tussen de stedelijke congestiekosten zoals geschat voor de zeventien steden waarvoor data beschikbaar was en voor de overige steden. Daarnaast brengen we via een gevoeligheidsanalyse in beeld hoe hoog de totale stedelijke congestiekosten zouden worden ingeschat als bij de bovenstaande extrapolatie alle steden met meer dan 100.000 inwoners waren meegenomen.

Figuur 8 - Relatie totale verpagingskosten (alleen reistijdverlies) van personenauto's en aantal inwoners voor zeventien grote Nederlandse steden in Nederland in 2018



7. *Bepalen van de totale verpagingskosten voor andere voertuigen;* in de bovenstaande stappen zijn enkel de verpagingskosten voor personenauto's bepaald. De reden hiervoor is dat er in de TomTom congestie indices geen data over de verpagingen die andere voertuigen dan personenauto's ondervinden in de stad zijn opgenomen. Hiervoor hebben we, in lijn met CE Delft et al. (2019) en Ricardo & TRT (2016) een aanvullende inschatting gemaakt, waarbij is aangenomen dat de gemiddelde verpagingskosten per voertuig voor

elke vervoerswijze hetzelfde is. Met behulp van informatie over de reistijdwaardering per vervoerswijze en de omvang van het aantal voertuigkilometers van de verschillende vervoerswijzen in een stedelijke omgeving kan op deze wijze een eerste orde inschatting van de totale verpagingskosten voor deze vervoerswijzen verkregen worden.

8. *Bepalen van de totale 'deadweight loss' kosten voor stedelijke mobiliteit in 2018.* Hierbij hanteren we eenzelfde aanpak als voor de congestiekosten op het HWN: op basis van een literatuurstudie hebben we de verhouding tussen de totale verpagingskosten en de totale 'deadweight loss' kosten bepaald en die verhouding hebben we gebruikt om de totale 'deadweight loss' kosten te bepalen op basis van de totale verpagingskosten. Op basis van CE Delft et al. (2019) schatten we de verhouding tussen 'deadweight loss' en verpagingskosten voor stedelijke congestie in op 17,5%.⁶⁷
9. *Toedelen van de totale stedelijke congestiekosten aan de verschillende vervoerswijzen.* Deze toedeling vindt evenals bij de congestiekosten op het HWN plaats op basis van PAE-kilometers, waarbij we wel gebruikmaken van specifieke PAE's voor de stad. Deze zijn terug te vinden in Bijlage A.2.
10. *Bepalen van de gemiddelde congestiekosten per vervoerswijze.* Hierbij hanteren we dezelfde aanpak als bij de congestiekosten op het HWV, waarbij we de totale congestiekosten delen door de relevante aantallen reizigers-, ton- of voertuigkilometers.

9.3.2 Marginale congestiekosten

Voor de marginale externe congestiekosten sluiten we in deze studie aan bij de analyses zoals die in CE Delft et al. (2019) voor Nederland zijn uitgevoerd. In CE Delft et al. (2019) worden de marginale externe congestiekosten bepaald voor een negental situaties die variëren in de mate waarin er sprake is van congestie (uitgedrukt in I/C-verhoudingen⁶⁸ van 0,8, 1,0 en 1,2) en het type weg (hoofdstadswegen, overige stadswegen en snelwegen). Voor deze negen situaties zijn de marginale reistijdverlieskosten bepaald. Voor deze studie hebben we in aanvulling daarop ook de kosten van onbetrouwbare reistijden en de indirecte effecten bepaald. Hierbij zijn we uitgegaan van dezelfde verhouding tussen deze kostencomponenten en de reistijdverlieskosten als bij de bepaling van de totale/gemiddelde kosten. Voor de plankosten hanteren we dezelfde aanpak als bij de bepaling van de totale/gemiddelde kosten voor de stedelijke wegen, dat wil zeggen dat we deze kostencomponent niet meenemen.

De marginale congestiekosten voor personenauto's worden op basis van de hierboven geschetste methodiek berekend op basis van de resultaten uit CE Delft et al. (2019). Voor de overige vervoerswijzen hebben we de marginale congestiekosten bepaald door de waarden voor de personenauto te schalen op de basis van de verhouding in PAE's tussen die voertuigen en de personenauto.

⁶⁷ Ricardo & TRT (2016) bepalen op basis van soortgelijke modelberekeningen als CE Delft et al. (2019) de verpagingskosten en 'deadweight loss' kosten voor stedelijke congestie in de EU28 lidstaten. Zij komen daarbij uit op een ratio van 11%. Dit is iets lager, maar nog steeds in dezelfde ordegrrootte als de ratio zoals die wordt gevonden door CE Delft et al. (2019). Aangezien laatstgenoemde studie qua congestiekosten een update vormt van Ricardo & TRT (2016) is er voor gekozen om voor de ratio van 'deadweight loss' en verpagingskosten in deze studie aan te sluiten bij CE Delft et al. (2019).

⁶⁸ Hierbij gaat het om de verhouding tussen de capaciteit van een weg en de intensiteit van het verkeer op die weg. Bij een I/C-verhouding van 1 wordt de capaciteit volledig benut, terwijl er bij 0,8 nog wat capaciteit onbenut is en er bij 1,2 te weinig capaciteit is. In alle gevallen is er sprake van congestie, maar de mate waarin verschilt wel.

9.4 Waarderingskentallen

De gehanteerde waarderingskentallen voor de reistijdverlieskosten ('Value of Time' - VoT) en onbetrouwbare reistijden ('Value of Reliability' - VoR) zijn weergegeven in Tabel 55.

Tabel 55 - Waardering reistijdverlieskosten en onbetrouwbare reistijden in 2018

Vervoerswijze	Eenheid	Waardering van reistijdverlies - VoT (€/uur)	Waardering van onbetrouwbaarheid reistijden - VoR (€/uur standaarddeviatie v.d. reistijd)
Personen (excl. bus)	Per persoon	10,38	6,63
Personen (bus)	Per persoon	7,68	4,25
Goederen (excl. bestelauto)	Per voertuig	51,36	19,23
Bestelauto	Per voertuig	13,18 ^a	8,42 ^a

^a Door KiM (2019) worden geen specifieke waarderingskentallen voor bestelauto's gepresenteerd. Vandaar dat we voor bestelauto's dezelfde waardering (per voertuig) hebben verondersteld als voor een personenauto.

Bron: KiM (2019)

9.5 Resultaten

In deze paragraaf presenteren we de totale en gemiddelde congestiekosten en de marginale externe congestiekosten voor het wegverkeer op het hoofdwegennet en stadswegen. Zoals in Paragraaf 9.2.4 is uitgelegd hebben wij zowel de verdragingskosten als de 'deadweight loss' kosten gekwantificeerd. De gepresenteerde getallen voor stadswegen zijn exclusief plankosten, terwijl de gepresenteerde getallen voor hoofdwegen incl. plankosten zijn.

Voor de stedelijke congestiekosten zijn de berekeningen gebaseerd op data voor de voertuigverliesuren in zeventien grote steden. Aangezien deze steden maar een beperkt aandeel in het totale stedelijke verkeer in Nederland bevatten zijn de resultaten sterk afhankelijk van de aannames voor de extrapolatie naar overige steden. Zoals in Paragraaf 9.3.1 is uitgelegd gaan de resultaten die in deze Paragraaf worden gepresenteerd uit van een extrapolatie naar alle gemeenten met meer dan 50.000 inwoners. Tabel 44 laat zien hoe de totale congestiekosten voor het wegverkeer zouden veranderen als andere aannames voor de extrapolatie waren gemaakt⁶⁹.

Tabel 56 - Gevoeligheidsanalyse voor verschillende extrapolaties naar overige gemeenten

Aannames extrapolatie	Totale kosten reistijdverliezen wegverkeer (mln. € 2018)	Procentueel ten opzichte van gehanteerde aannames
Geen extrapolatie (17 grote gemeenten)	1.964	46%
Alle gemeenten groter dan 100.000 inwoners	2.728	64%
Alle gemeenten groter dan 50.000 inwoners	4.237	100%

⁶⁹ De resultaten voor de totale, gemiddelde en marginale congestiekosten conform deze afwijkende aannames kunnen worden berekend door de resultaten in Paragrafen 9.5.1, 0 en 9.5.3 te vermenigvuldigen met de procentuele factor uit de derde kolom van Tabel 44.

9.5.1 Totale congestiekosten

Tabel 57 geeft de totale congestiekosten van het wegverkeer op stads- en hoofdwegen weer. De totale verpagingskosten voor het wegverkeer bedragen afgerond 7,5 miljoen euro op stadswegen en 3,8 miljoen euro op hoofdwegen. De totale 'deadweight loss' kosten zijn afgerond 1,3 miljoen euro op stadswegen en 0,8 miljoen euro op hoofdwegen. Het is goed om hierbij op te merken dat de onzekerheid in met name de congestiekosten op het stedelijk wegennetwerk groot is en moet worden gezien als een ruwe eerste inschatting.

Op stadswegen zijn personenauto's verantwoordelijk voor 78% van de totale (externe) congestiekosten. Bestelauto's zijn met 10% de tweede belangrijkste veroorzaker van congestie. Vrachtauto's zorgen voor 4% van de stedelijke congestie, terwijl bromfietsen verantwoordelijk zijn voor 3%, ov-bussen voor 2%, motorfietsen voor 0,7% en touringcars voor slechts voor 0,2% van de totale stedelijke congestiekosten.

Op hoofdwegen veroorzaken personenauto's 58%, vrachtauto's 27% en bestelauto's 14% van de congestie. De overige modaliteiten zijn slechts beperkt verantwoordelijk: motorfietsen veroorzaken 0,6% van de congestie, touringcars 0,2% en ov-bussen 0,03%. Aangezien bromfietsen niet op hoofdwegen rijden zijn de congestiekosten van deze categorie niet gekwantificeerd voor hoofdwegen.

Tabel 57 - Totale kosten van congestie van wegverkeer in mln. €

Voertuigcategorie	Verpagingskosten		'Deadweight loss' kosten	
	Stadswegen	Snelwegen	Stadswegen	Snelwegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Personenauto totaal	5.888	2.218	1030	488
– Personenauto benzine	4.457	1.363	780	300
– Personenauto diesel	1.175	762	206	168
– Personenauto LPG	80	38	14	8,5
– Personenauto elektrisch	36	11	6,3	2,4
– Personenauto PHEV	141	43	25	9,5
Motorfiets	50	24	8,7	5,2
Bromfiets	235	-	41	-
Ov-bus totaal	176	1,3	31	0,30
– Ov-bus diesel	169	1,3	30	0,28
– Ov-bus elektrisch	7,0	0,05	1,2	0,01
Touringcar	14	6,7	2,5	1,5
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Bestelauto totaal	768	515	134	113
– Bestelauto diesel	768	515	134	113
– Bestelauto elektrisch	0,62	0,42	0,11	0,09
Vrachtauto totaal	331	1.036	58	228
– Trekker voor oplegger	193	842	34	185
– Vrachtauto <10 ton	13	7,2	2,3	1,6
– Vrachtauto 10-20 ton	72	57	13	12
– Vrachtauto >20 ton	52	131	9,2	29

9.5.2 Gemiddelde congestiekosten

De gemiddelde congestiekosten zijn gepresenteerd in Tabel 58. Merk hierbij op dat het (op de bestelauto na) gaat om kosten uitgedrukt in € per 1.000 rkm of € per 1.000 tkm. Dit verklaart bijvoorbeeld waarom de gemiddelde congestiekosten voor de bus lager uitvallen dan voor de personenauto.

Tabel 58 - Gemiddelde kosten van congestie wegverkeer voor stadswegen en snelwegen

Voertuigcategorie	Vertragskosten		'Deadweight loss' kosten	
	Stadswegen	Snelwegen	Stadswegen	Snelwegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto	200	35	35	7,6
Motorfiets	114	20	20	4,3
Bromfiets	119	-	21	-
Ov-bus	69	12	12	2,6
Touringcar	11	12	1,9	2,6
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto	262	54	46	12
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto totaal	67	24	12	5,2
- Trekker voor oplegger	70	25	12	5,5
- Vrachtauto <10 ton	328	97	58	21
- Vrachtauto 10-20 ton	159	59	28	13
- Vrachtauto >20 ton	32	15	5,6	3,2

9.5.3 Marginale congestiekosten

In Tabel 59, Tabel 60 en Tabel 61 zijn de marginale congestiekosten weergegeven voor drie verschillende niveaus van congestie (uitgedrukt in verschillende I/C-verhoudingen).

De marginale congestiekosten zijn sterk afhankelijk van de drukte op de weg: als de weg veel rustiger is dan de maximale capaciteit, dan zorgt een extra voertuig niet voor congestie (de marginale congestiekosten zijn dan gelijk aan nul). Wanneer de maximale capaciteit van de weg wordt benaderd, nemen de marginale congestiekosten echter toe. Dit wordt ook duidelijk zichtbaar uit een vergelijking van de onderstaande drie tabellen. De marginale congestiekosten zijn bij een I/C-verhouding groter dan 1,2 ruim hoger dan bij een I/C-verhouding die ligt tussen de 0,8 en 1,0.

Tabel 59 - Marginale congestiekosten (I/C-verhouding tussen 0,8 en 1,0)

Voertuigcategorie	Overige stadswegen	Hoofdstadswegen	Snelwegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto	224	605	364
Motorfiets	128	345	207
Bromfiets	133	361	-
Ov-bus	77	208	125
Touringcar	12	33	20
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto	293	793	572

Voertuigcategorie	Overige stadswegen	Hoofdstadswegen	Snelwegen
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	61	165	254
– <i>Trekker voor oplegger</i>	76	205	263
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	367	994	1.015
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	176	477	622
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	36	98	153

Tabel 60 - Marginale congestiekosten (I/C-verhouding tussen 1,0 en 1,2)

Voertuigcategorie	Overige stadswegen	Hoofdstadswegen	Snelwegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto	318	747	517
Motorfiets	181	426	295
Bromfiets	189	445	-
Ov-bus	109	257	178
Touringcar	17	41	28
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto	417	979	813
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	86	203	362
– <i>Trekker voor oplegger</i>	107	252	373
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	522	1.226	1.443
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	251	589	884
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	51	121	217

Tabel 61 - Marginale congestiekosten (I/C-verhouding hoger dan 1,2)

Voertuigcategorie	Overige stadswegen	Hoofdstadswegen	Snelwegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)			
Personenauto	412	850	670
Motorfiets	235	485	382
Bromfiets	245	507	-
Ov-bus	141	292	230
Touringcar	22	46	36
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)			
Bestelauto	540	1.115	1.055
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)			
Vrachtauto gemiddeld	112	232	469
– <i>Trekker voor oplegger</i>	139	288	484
– <i>Vrachtauto <10 ton</i>	676	1.397	1.872
– <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	325	671	1.146
– <i>Vrachtauto >20 ton</i>	67	138	282

9.6 Robuustheid resultaten

In deze paragraaf staan wij kort stil bij de onzekerheden van de hierboven gepresenteerde resultaten. De voertuigverliesuren op het hoofdwegennet zijn relatief goed bekend en gebaseerd op daadwerkelijk gemeten (lus)data. Voor het onderliggend wegennet was dergelijke data echter niet beschikbaar en is gebruikgemaakt van zogenoemde *'floating car data'* van TomTom voor 17 Nederlandse steden. Het belangrijkste nadeel van het gebruik van *'floating car data'* is dat het maar beschikbaar is voor een deel van het verkeer en dus geen informatie geeft over de reistijdverliezen voor het totale verkeer. Deze opschaling moet daarom uitgevoerd worden op basis van andere indicatoren, wat de nodige onzekerheid met zich meebrengt. Verder zijn in deze studie de resultaten voor de 17 Nederlandse steden geëxtrapoleerd naar alle steden met meer dan 50.000 inwoners. Ook deze extrapolatie kent een grote mate van onzekerheid. Vanwege deze onzekerheden dient de inschatting van de congestiekosten op het stedelijk wegennet gezien te worden als een eerste globale verkenning.

Voor de waardering van reistijden hebben wij ons gebaseerd op gangbare en robuuste kentallen. Daarnaast zijn de plankosten, kosten van onbetrouwbare reistijden en indirecte kosten afgeleid van de kosten van reistijdverlies, gebaseerd op specifiek voor Nederland bepaalde ratio's. De onzekerheid in deze resultaten is echter aanzienlijk (zeker voor stedelijke congestie).

Een bijkomende complicatie bij de resultaten is dat het onduidelijk is welk gedeelte van de totale kosten extern is: de externe congestiekosten liggen in het midden tussen de *'deadweight loss'* kosten en de totale verdragingskosten. Deze onzekerheid bemoeilijkt de vergelijking met overige kostenposten.

10 Gezondheidsbaten van fietsen

10.1 Inleiding

Actieve vervoerswijzen als fietsen en lopen hebben voordelen ten opzichte van andere vervoerswijzen doordat ze resulteren in gezondheidsbaten. Deze baten zijn er niet alleen voor de fietsers (en wandelaars) zelf, maar ook voor de maatschappij als geheel. Doordat mensen die regelmatig fietsen bijvoorbeeld fitter zijn, vallen de totale gezondheidskosten in Nederland lager uit dan wanneer iedereen gebruik zou maken van gemotoriseerde vervoerswijzen. In dit geval is er dus geen sprake van externe kosten, maar van externe baten van mobiliteit.

In het vervolg van het hoofdstuk bespreken we in Paragraaf 10.2 allereerst waar de gezondheidsbaten van fietsen uit bestaan. De methodiek voor het bepalen van de gezondheidsbaten bespreken we in Paragraaf 10.3. De waarderingskentallen die binnen die methodiek worden toegepast laten we zien in Paragraaf 10.4. In Paragraaf 10.5 presenteren we de resultaten, waarvan we de robuustheid bespreken in Paragraaf 10.6.

10.2 Definitie van externe gezondheidsbaten van fietsen

Actieve vervoerswijzen (fietsen en lopen) veroorzaken vrijwel geen negatieve externe effecten, maar kunnen wel externe baten met zich mee brengen in de vorm van gezondheidseffecten. Vanwege de afbakening van deze studie richten we ons in dit hoofdstuk alleen op de externe gezondheidsbaten van fietsen.

De belangrijkste positieve effecten van fietsen voor de gezondheid zijn:

- *Minder ziektelast/gewonnen levensjaren.* Mensen die regelmatig fietsen zijn fitter en weerbaarder tegen ziektes. Bovendien hebben deze mensen minder kans op serieuze medische aandoeningen, zoals een hartaanval. Deze baten zijn gedeeltelijk geïnternaliseerd doordat een deel van de fietsers rekening houdt met de positieve gezondheidseffecten bij de beslissing om te gaan fietsen. In Paragraaf 10.4 bespreken we welk deel van deze baten als extern kunnen worden beschouwd.
- *Besparingen in de gezondheidszorg/sociale zekerheid.* Een betere gezondheid zal netto besparingen opleveren in de uitgaven aan gezondheidszorg. Bovendien zullen de uitgaven aan ziekte uitkeringen dalen. Deze baten zijn volledig extern van aard.
- *Hogere productiviteit door minder ziekte en grotere fitheid.* Indien het absentieïsme daalt zullen werkgevers minder geld kwijt zijn aan het opvangen van de afwezigheid van een werknemer, zoals de kosten van vervangend personeel. Ook kunnen productivitedalingen voorkomen worden. Daarnaast draagt een goede gezondheid van de werknemer bij aan een dagelijks hogere arbeidsproductiviteit. Ook deze baten zijn volledig extern van aard.



10.3 Methodiek voor bepalen van gezondheidsbaten

10.3.1 Totale en gemiddelde gezondheidsbaten

De gezondheidsbaten van fietsen zijn het gevolg van regelmatige beweging. Mensen die incidenteel op de fiets zitten ondervinden beperkte/minder gezondheidsvoordelen. Om die reden zorgt niet elke fietskilometer voor dezelfde hoeveelheid gezondheidsbaten. Zo hebben mensen die weinig beweging ervaring juist meer baten van fietsen. Rijkswaterstaat en W2Economics (2015) bespreekt dat de totale inspanning van het gebruik van elektrische fietsen per rit vergelijkbaar is met het gebruik van normale fietsen, wat het gevolg is van het feit dat ritten met de elektrische fiets gemiddeld langer zijn. Per kilometer vallen de baten voor de elektrische fiets dan echter wel lager uit. Daarom maken we een afzonderlijke inschatting van de externe gezondheidsbaten van de elektrische fiets (naast de inschatting voor de 'gewone' fiets).

De bepaling van de totale en gemiddelde externe gezondheidsbaten van fietsen bestaat uit de volgende drie stappen:

1. *Bepaal het aantal kilometers dat met de fiets wordt afgelegd*; op basis van CBS-data maken we een inschatting van het aantal kilometers dat wordt afgelegd met reguliere en elektrische fietsen.
2. *Bepaal de totale externe gezondheidsbaten van fietsen*; door de externe gezondheidsbaten per fietskilometer te vermenigvuldigen met het totale aantal kilometers bepalen we de totale externe gezondheidsbaten van fietsen.
3. *Bepaal de gemiddelde gezondheidsbaten van fietsen*; door de totale externe gezondheidsbaten van fietsen te delen door het totale aantal reizigerskilometers met de fiets worden de gemiddelde externe baten van fietsen bepaald.

10.3.2 Marginale gezondheidsbaten

Volgens onder andere TML (2016) en KiM (2018a) nemen de marginale gezondheidsbaten van fietsen af wanneer mensen meer gaan fietsen. Vooral mensen die nooit fietsen (te weinig bewegen) ondervinden positieve gezondheidsbaten als ze regelmatig gaan fietsen. Dit suggereert dat de marginale gezondheidsbaten van fietsen lager zijn dan de gemiddelde gezondheidsbaten voor mensen die regelmatig fietsen, terwijl ze voor mensen die zelden fietsen juist hoger zijn. Bij de bepaling van de marginale gezondheidsbaten is het dus van belang om onderscheid te maken tussen mensen die (zeer) weinig bewegen en mensen die al redelijk actief zijn.

Daarom kunnen we vier relevante marginale situaties onderscheiden:

- gemiddeld persoon gaat meer gebruikmaken van een reguliere fiets;
- gemiddeld persoon gaat meer gebruikmaken van een elektrische fiets;
- persoon met bewegingsachterstand gaat meer (regelmatig) gebruikmaken van een reguliere fiets;
- persoon met bewegingsachterstand gaat meer (regelmatig) gebruikmaken van een elektrische fiets.



10.4 Waarderingskentallen

De afgelopen jaren zijn er verschillende studies uitgekomen die de baten van fietsen bespreken. Er zijn echter weinig studies die de baten ook vertalen naar bruikbare kentallen. Decisio (2017) presenteert MBKA kentallen voor fietsgebruik inclusief de waardering van gezondheidseffecten van fietsen. De resultaten, zichtbaar in Tabel 62, zijn goed toepasbaar voor deze studie.

Decisio neemt de verschillende type gezondheidsbaten, zoals benoemd in Paragraaf 10.2, mee en onderscheidt het gedeelte wat geïnternaliseerd wordt door fietsers. Toenemende arbeidsproductiviteit en lagere zorgkosten zijn in zijn geheel externe baten. Voor het effect van fietsen op de ziektelast en levensduur wordt ervan uitgegaan dat de baten gemiddeld voor 62,5 % zijn geïnternaliseerd⁷⁰. Een gedeelte van deze baten is extern, omdat fietsers niet geheel bewust zijn van de omvang van deze externe baten. Gemiddeld gezien resulteert dit in baten van ca. 13 eurocent per gefietste kilometer. Wanneer we specifiek kijken naar mensen die eerst niet/zeer weinig bewogen, dan vallen de baten hoger uit. Voor deze mensen liggen de baten op ca. 24 eurocent per gefietste kilometer.

Tabel 62 - Gezondheidsbaten (Eurocent per vkm) van fietsen

Type effect	Gemiddeld persoon	Waarvan geïnternaliseerd	Persoon die weinig beweegt	Waarvan geïnternaliseerd
Hogere arbeidsproductiviteit	4	0%	8	0%
Besparingen gezondheidszorg	3	0%	5	0%
Minder ziektelast/gewonnen levensjaren	15	62,5%	29	62,5%

Bron: Decisio (2017).

Decisio (2017) doet geen uitspraken voor gebruikers van elektrische fietsen, omdat volgens hen meer onderzoek nodig is om de effecten van het gebruik van een elektrische fiets op de gezondheid te waarderen. De elektrische ondersteuning vermindert de inspanning waardoor het de vraag is in welke mate er baten optreden. Wel valt reizen met de e-fiets onder matig intensieve beweging waardoor gezondheidsbaten wel te verwachten zijn. Zeker omdat ook ouderen kunnen fietsen wat zonder elektrische ondersteuning minder goed mogelijk zou zijn. Het is momenteel nog onduidelijk hoe de baten van elektrische fietsen zich verhouden tot normale fietsen. Rijkswaterstaat en W2Economics geven aan dat de totale inspanning over de rit vergelijkbaar is, maar dat vanwege de trapondersteuning de gemiddelde inspanning lager ligt (RWS & W2Economics, 2015). Ook Fietsberaad Vlaanderen (2018) gaat ervan uit dat de jaarlijkse baten per rit vergelijkbaar zijn, waardoor per km een elektrische fiets 40% minder baten heeft (de gemiddelde rit met een elektrische fiets is 40% langer dan een rit met een gewone fiets).

De relevantie van elektrische fietsen is de afgelopen jaren toegenomen. Er bestaat consensus dat de inspanning ten op zichte van een normale fiets lager is maar wel voldoende op tot gezondheidsbaten te leiden. Er is echter nog onderzoek nodig hoe hoog de baten precies zijn. Voor deze studie gaan we op basis van Fietsberaad Vlaanderen (2018) uit van 40% lagere baten per kilometer voor elektrische fietsen. Deze inschatting is onzeker, maar betere inzichten zijn momenteel niet beschikbaar.

⁷⁰ Decisio gaat uit van een range tussen de 50% en 75%.

De resulterende waarderingskentalen voor de externe gezondheidsbaten van fietsen zijn weergegeven in Tabel 63.

Tabel 63 - Waarderingskentalen externe gezondheidsbaten fietsen (€ct per vkm)

Type fiets	Gemiddeld persoon	Persoon die weinig beweegt
Regulier fiets	13	24
Elektrische fiets	8	14

10.5 Resultaten

De totale externe gezondheidsbaten van fietsen zijn weergegeven in Tabel 64. In 2018 had de reguliere fiets een significant hoger aandeel in de vervoersprestatie, zodat de totale externe baten vooral komen door het gebruik van reguliere fietsen. De resultaten, zoals gepresenteerd in Tabel 64, zijn waarschijnlijk een onderschatting van de daadwerkelijke externe gezondheidsbaten, omdat enkel de baten van het gebruik van de fiets in het woon-werk en schoolverkeer is meegenomen in de berekeningen. Ook regelmatig fietsgebruik voor andere doeleinden kan leiden tot externe gezondheidsbaten, maar die konden binnen deze studie niet worden gekwantificeerd. Daarnaast is het goed om op te merken dat het hier gaat om de externe gezondheidsbaten. De totale gezondheidsbaten van fietsen liggen aanmerkelijk hoger, maar zijn gedeeltelijk geïnternaliseerd (zie Paragraaf 10.2).

Tabel 64 - Totale externe gezondheidsbaten van fietsen

Vervoerswijze	mln. €
Fiets totaal	2.200
– <i>Fiets regulier</i>	2.030
– <i>Elektrische fiets</i>	170

Bij de gemiddelde kosten zijn de externe baten voor de reguliere fiets aanmerkelijk hoger dan voor de elektrische fiets. Bij de elektrische fiets is per kilometer minder inspanning nodig, waardoor de gezondheidsbaten lager uitvallen.

Tabel 65 - Gemiddelde externe gezondheidsbaten van fietsen 2018

Vervoerswijze	(€/1.000 rkm)
Fiets gemiddelde	120
– <i>Fiets regulier</i>	126
– <i>Elektrische fiets</i>	76

Voor de marginale kosten geldt dat mensen met een slechte gezondheid meer gezondheidsbaten ervaren van een kilometer extra fietsen dan mensen met een gemiddelde gezondheid.

Tabel 66 - Marginale externe gezondheidsbaten van fietsen 2018 (€/1.000 rkm)

Vervoerswijze	Gemiddeld persoon	Persoon die weinig beweegt
Fiets regulier	126	239
Elektrische fiets	76	143



10.6 Robuustheid resultaten

De externe baten van fietsen zijn recentelijk goed onderzocht door Decisio (2017), waardoor er goede waarderingskennallen beschikbaar zijn voor de bepaling van deze externe baten. Dat geldt dan wel vooral voor het gebruik van gewone fietsen; voor elektrische fietsen is er minder goed inzicht in de gezondheidsbaten die behaald kunnen worden. In deze studie zijn we, bij gebrek aan betere informatie, uitgegaan van een inschatting van Fietsberaad Vlaanderen (2018) dat baten per kilometer voor elektrische fietsen 40% lager uitvallen dan voor gewone fietsen. De onzekerheid in deze aanname is echter aanzienlijk.

Naast de onzekerheid in de waardering van de gezondheidsbaten van het gebruik van elektrische fietsen, bestaat er ook onzekerheid over het aantal mensen dat regelmatig gebruik maakt van de fiets (en dus ook daadwerkelijk gezondheidsbaten ervaart). Voor deze studie hebben we de conservatieve inschatting gemaakt dat dit alleen geldt voor het gebruik van de fiets in het woon-werk en schoolverkeer, waardoor de totale externe baten naar alle waarschijnlijkheid onderschat worden. De omvang van deze onderschatting is onduidelijk.

Tot slot bestaat er onzekerheid hoe de marginale baten zich verhouden tot de gemiddelde baten van fietsen. Bij gebrek aan een beter inzicht zijn we er voor de gemiddelde persoon van uitgegaan dat de marginale baten gelijk zijn aan de gemiddelde baten, maar deze aanname is zeer onzeker. Nader onderzoek op dit punt is dus gewenst.

11 Synthese

11.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we een overzicht van de totale, gemiddelde en marginale externe en infrastructuurkosten per vervoerswijze. De resultaten in dit hoofdstuk zijn bedoeld om een hoofdbeeld te schetsen; hoe verhouden kostenposten zich tot elkaar en wat zijn de verschillen per vervoerswijze.

Dit hoofdstuk is niet bedoeld om de prestaties van voertuigen te vergelijken. Zo is de vergelijking van de gemiddelde kosten van een fiets en een vliegtuig bijvoorbeeld weinig zinvol, omdat deze vervoerswijzen voor heel andere doeleinden wordt gehanteerd. Maar ook de gemiddelde kosten voor een auto kunnen niet rechtstreeks vergeleken worden met de gemiddelde kosten voor een passagiersvliegtuig; immers, in de gemiddelde kosten voor een personenauto zijn ook de kosten die een auto maakt voor stadsverkeer verdisconteerd. Voor een eerlijke vergelijking van de gemiddelde externe kosten van een auto en het vliegtuig zouden deze vervoerswijzen moeten worden vergeleken op een specifieke route, zoals bijvoorbeeld is gedaan in CE Delft, (2019a). Ook zouden bij een dergelijke vergelijking de betaalde belastingen en heffingen betrokken moeten worden, aangezien de mate waarin de externe en infrastructuurkosten op die manier worden geïnternaliseerd sterk verschilt per vervoerswijze.

De resultaten die in dit hoofdstuk gepresenteerd worden voor de kosten van broeikasgasemissies gaan uit van de CO₂-prijs die aansluit bij WLO-Hoog⁷¹, aangezien dit de middenwaarde is van de berekende kosten. Deze CO₂-prijs komt overeen met beleid wat resulteert in een temperatuurverhoging van 2,5 tot 3 graden, wat hoger is dan het door Nederland ondertekende Parijsakkoord nastreeft. In Hoofdstuk 5 zijn ook de kosten ingeschat voor beleid wat in lijn is met 2-gradendoelstelling. Voor congestie wordt in dit hoofdstuk uitgegaan van de verdragingskosten, aangezien deze definitie van congestiekosten het best aansluit bij de definitie van de overige externe kosten (zie Paragraaf 9.2.4 voor een nadere toelichting). Echter let wel, deze congestiekosten zijn gedeeltelijk intern van aard en overschatten in zekere mate de totale externe congestiekosten

11.2 Overzicht infrastructuurkosten en externe kosten en baten

De totale externe en infrastructuurkosten (en baten) van de belangrijkste voertuigcategorieën zijn weergegeven in Tabel 67. De totale externe en infrastructuurkosten van verkeer in Nederland in 2018 worden ingeschat op ca. 60 miljard euro. Het grootste deel van deze kosten zijn het gevolg van wegverkeer (ca. 75%), wat te verklaren is door het grote aandeel van deze modaliteit in de totale vervoersprestaties. Binnen het wegverkeer zijn het personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's die de grootste bijdrage leveren aan deze kosten. Na het wegverkeer draagt de zeevaart het meeste bij aan de totale externe en infrastructuurkosten (ca. 8%), gevolgd door het spoorvervoer (7%), de luchtvaart (5%) en de binnenvaart (3%)

⁷¹ In Paragraaf 6.4 is een uitgebreide toelichting van de CO₂-prijzen gegeven.

Wanneer we kijken naar het aandeel van de verschillende kostenposten in de totale kosten, dan zien we dat bij het wegverkeer de infrastructuurkosten en de externe kosten van ongevallen en congestie het belangrijkste aandeel in het totaal hebben. Infrastructuurkosten vormen ook de belangrijkste kostenpost bij het spoorvervoer en de binnenvaart. Bij laatstgenoemde categorie hebben ook de externe kosten van luchtvervuilende emissies een belangrijk aandeel in de totale kosten. Bij de zeevaart bestaan de kosten vooral uit de externe kosten van broeikasgas- en luchtvervuilende emissies. Ook bij de luchtvaart zijn de klimaatkosten relatief hoog, evenals de infrastructuurkosten.



Tabel 67 - Totale externe en infrastructuurkosten (en baten), uitgesplitst per post (mln. €)

Voertuigtype	Infrastructuur	Ongevallen	Broeikasgas-emissies	Lucht- vervuilende stoffen	Brandstof- en elektriciteits- productie	Geluid	Congestie		Gezondheids- baten fietsen	Totaal
							HWN	Stad		
Personenvervoer op Nederlands grondgebied in mln. €										
Personenauto totaal	6.775	10.000	1.234	846	1.097	683	2.218	5.888	-	28.741
Motorfiets	57	314	19	25	18	134	24	50	-	640
Bromfiets	122	1.127	13	28	11	411	-	235	-	1.948
Ov-bus totaal	699	192	28	39	22	75	1,3	176	-	1.232
Touringcar	227	26	6,9	10	5,1	7	6,7	14	-	303
Fiets totaal	403	3.239	-	-	0,45	-	-	-	-2.200	1.436
Personentrein totaal	3.318	28	2,7	37	63	24	-	-	-	3.477
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied in mln. €										
Bestelauto totaal	1.124	1.649	248	479	186	116	515	768	-	5.086
Vrachtauto totaal	2.544	887	421	691	343	315	1.036	331	-	6.568
Goederentrein totaal	608	1,2	2,0	20	6,2	5,9	-	-	-	645
Binnenvaart	1.096	19	118	679	89	-	-	-	-	2.001
Internationale vervoerswijzen van/naar Nederland in mln. €										
Zeevaart	512	24	688	2.838	424	-	-	-	-	4.486
Luchtvaart personen	954	11	962	119	427	40	-	-	-	2.513
Luchtvaart goederen	100	0,65	332	35	147	5,1	-	-	-	621

11.3 Gedetailleerde resultaten voor totale en gemiddelde kosten

11.3.1 Personenauto

In Tabel 68 staan de totale externe en infrastructuurkosten van personenauto's, uitgesplitst naar kostenpost. De totale kosten voor personenauto's worden voor 2018 ingeschat op ca. 29 miljard euro. Op dit moment rijden er nog veel auto's rond die door fossiele brandstoffen worden aangedreven. Als gevolg hiervan zijn benzine- en dieselauto's dominant in de totale externe en infrastructuurkosten.

Wanneer we inzoomen op de verschillende kostenposten, dan zien we dat de hoogste kosten zichtbaar zijn bij ongevallen, infrastructuur en congestie. De grootste verschillen tussen aandrijfliijnen zijn zichtbaar voor de kosten van broeikasgasemissies en luchtvervuilende emissies. Elektrische auto's stoten geen (of beperkt in geval van plug-in hybrides) directe broeikasgasemissies uit en alleen luchtvervuilende emissies door slijtage van banden en remmen. De bijbehorende kosten zijn voor deze voertuigen in relatieve zin dan ook aanmerkelijk lager dan voor de fossiel aangedreven auto's.

Tabel 68 - Totale kosten personenauto's per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende emissies	Emissies door productie brandstof & elektriciteit	Geluid	Congestie		Totaal
							HWN	Stad	
Personenauto totaal	6.775	10.000	1.234	846	1.097	683	2.218	5.888	28.754
- Benzine	4.796	7.354	875	385	821	508	1.363	4.457	20.558
- Diesel	1.679	2.204	321	442	241	154	762	1.175	6.979
- LPG	110	151	20	16	8,9	10	38	80	435
- Elektrisch	39	59	-	0,38	4,9	1,9	11	36	152
- PHEV	151	232	17	2,9	22	8,6	43	141	630

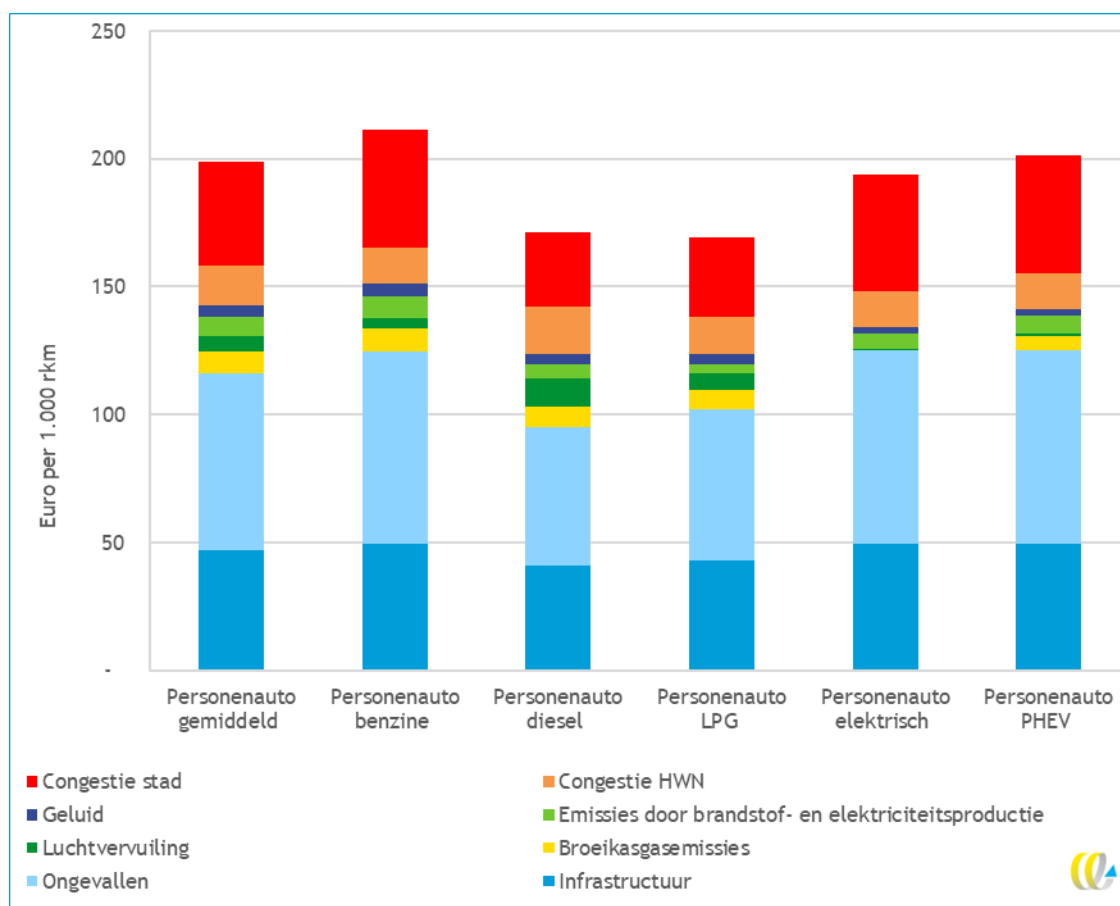
De gemiddelde kosten van personenauto's zijn zichtbaar in Figuur 9. De verschillen tussen de verschillende aandrijfliijnen komen hier beter naar voren. Wat opvalt is dat auto's op diesel en LPG lagere infrastructuurkosten, kosten van ongevallen en congestiekosten hebben. Dit komt omdat deze vervoerswijzen relatief weinig in de stad rijden en relatief veel op buiten- en snelwegen. Aangezien de gemiddelde infrastructuurkosten (per reizigerskilometer) lager zijn op buiten- en snelwegen in vergelijking met stadswegen (zie Bijlage B.1) leidt dit tot lagere gemiddelde infrastructuurkosten voor diesel- en LPG-auto's. Voor ongevallen geldt dat het risico op ongevallen op stadswegen een stuk hoger zijn, doordat er meer interacties met andere, en zwakkere, verkeersdeelnemers zijn. Tot slot, voor de congestiekosten geldt dat het lage aandeel kilometers of stadswegen leidt tot relatief lage gemiddelde kosten van stedelijke congestie voor diesel- en LPG-auto's. Diesel- en LPG-auto's stoten gemiddeld gezien wel meer emissies van luchtvervuilende stoffen uit⁷².

Overigens maakt de vergelijking tussen benzineauto's enerzijds en diesel/LPG-auto's anderzijds meteen duidelijk dat je de resultaten zorgvuldig moet interpreteren. Op het

⁷² In Paragraaf 7.5 is te zien dat voor nieuwere modellen de verschillen t.o.v. benzineauto's aanzienlijk kleiner zijn.

eerste gezicht zou je op basis van Figuur 9 wellicht de conclusie trekken dat de externe en infrastructuurkosten van een dieselauto lager zijn dan van een benzineauto. Echter, zoals hierboven uitgelegd, wordt een benzine- en dieselauto gemiddeld genomen anders gebruikt (dieselauto vooral voor langere ritten veelal over de snelweg en de benzineauto juist ook voor meer kortere ritten in de stad), wat de verklaring vormt voor de lagere gemiddelde kosten van een dieselauto. Zou je beide typen auto's daarentegen vergelijken op eenzelfde route, dan zullen de externe kosten van een dieselauto waarschijnlijk (iets) hoger uitvallen dan voor een benzineauto.

Figuur 9 - Gemiddelde kosten personenauto's per kostenpost (€ per 1.000 rkm)



11.3.2 Tweewielers

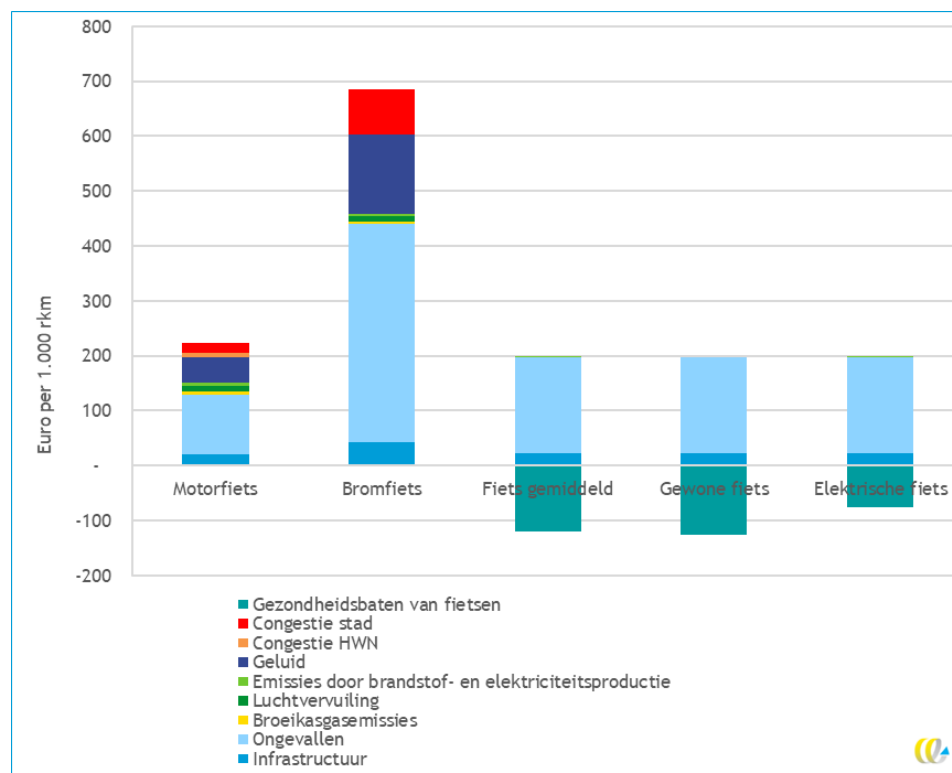
In deze studie hebben we drie typen tweewielers meegenomen: motorfietsen, bromfietsen en fietsen. De totale kosten voor deze tweewielers zijn weergegeven in Tabel 69. De hoogste totale externe en infrastructuurkosten worden gevonden voor de bromfiets (1,95 miljard euro), gevolgd door de fiets (1,44 miljard euro) en de motorfiets (0,64 miljard euro). Bij de fiets is een onderverdeling gemaakt van de kosten naar de gewone fiets en de elektrische fiets. Hoewel de laatste variant in opkomst is, was het aandeel ervan in de totale fietskilometers in 2018 nog beperkt en daarmee ook het aandeel van de elektrische fiets in de totale externe en infrastructuurkosten van fietsen.

Tabel 69 - Totale kosten tweewielers per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Ongevallen	Broeikas- gasemissies	Lucht- vervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Geluid	Congestie		Gezond- heids- baten fietsen	Totaal
							HWN	Stad		
Motorfiets	57	314	19	25	18	134	24	50	-	640
Bromfiets	122	1.127	13	28	11	411	-	235	-	1.948
Fiets totaal	403	3.239	-	-	0,45	-	-	-	-2.206	1.436
- Gewone fiets	354	2.844	-	-	-	-	-	-	-2.036	1.162
- Elektrische fiets	49	394	-	-	0,45	-	-	-	-169	274

In Figuur 10 zijn de gemiddelde kosten van tweewielers te zien. In verhouding tot andere wegvoertuigen zijn de gemiddelde infrastructuurkosten relatief laag, wat vooral komt door de lage gewichten van deze voertuigen, waardoor ze relatief weinig schade toebrengen aan de weg. Voor alle tweewielers geldt dat ongevallen veruit de belangrijkste externe kostenpost is. Deze vervoerswijzen zijn relatief vaak betrokken bij ongevallen en in het geval van bromfietzers en fietsers ook bij ongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers (andere fietsers, voetgangers). Daardoor zijn deze vervoerswijzen impliciet verantwoordelijk voor een aanzienlijk aantal verkeersslachtoffers, wat zich uit in relatief hoge externe ongevals-kosten. De externe kosten van geluid zijn zeer significant bij motor- en bromfietsen, terwijl ze ook bijdragen aan de kosten van (stedelijke) congestie. De kosten van emissies door deze voertuigen zijn een klein onderdeel ten opzichte van de totale kosten die zij veroorzaken. Tot slot geldt dat fietsen ook leidt tot significante externe gezondheidsbaten.

Figuur 10 - Gemiddelde kosten tweewielers per kostenpost (€ per 1.000 rkm)



11.3.3 Ov-bus en touringcar

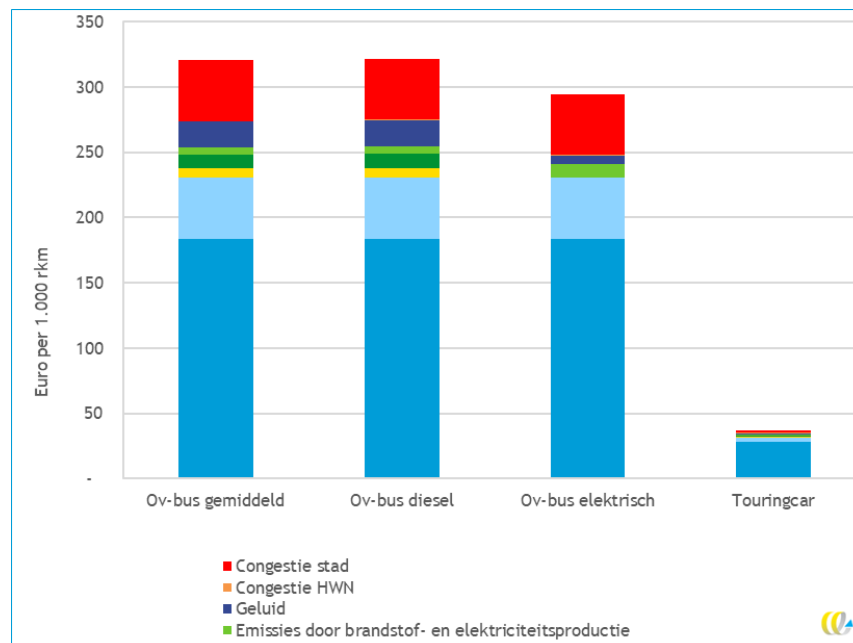
De totale externe en infrastructuurkosten van ov-bussen en touringcars zijn weergegeven in Tabel 70. De belangrijkste kostenpost is de infrastructuurkosten, wat te verklaren valt door de hoge aslasten van deze voertuigen waardoor ze relatief veel schade toebrengen aan de weg. Daarnaast zijn de kosten van ongevallen en congestie belangrijke onderdelen. Hierbij geldt wel dat ov-bussen een veel groter aandeel van hun kilometers in stedelijke omgeving rijden, waardoor de kosten van ongevallen (groter risico op verkeersslachtoffers in de stad), geluid en stedelijke congestie hoger uitvallen voor ov-bussen. In 2018 was het aandeel elektrische bussen nog klein, waardoor ook de bijdrage van deze bussen in de totale kosten beperkt is.

Tabel 70 - Totale kosten bussen per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Emissieproductie brandstof & elektriciteit	Geluid	Congestie		Totaal
							HWN	Stad	
Ov-bus totaal	699	192	28	39	22	75	1,3	176	1.232
- Diesel	671	184	28	39	21	74	1,3	169	1.188
- Elektrisch	28	7,6	-	0,05	1,6	0,9	0,05	7	45
Touringcar	227	26	6,9	10	5,1	7,0	6,7	14	303

De gemiddelde externe en infrastructuurkosten van ov-bussen en touringcars zijn te zien in Figuur 11. Er zitten significante verschillen tussen de bezetting van ov-bussen en touringcars. Doordat touringcars geen vaste lijndiensten rijden is de bezetting van touringcars veel hoger dan ov-bussen. De kosten per reizigerskilometer vallen daardoor veel lager uit. De kosten van elektrische ov-bussen vallen iets lager uit dan voor de dieselvarianten, vanwege het ontbreken van de kosten van broeikasemissies en de lagere kosten van luchtvervuilende emissies en geluid.

Figuur 11 - Gemiddelde kosten bussen per kostenpost (€ per 1.000 rkm)



11.3.4 Bestelauto

De totale externe en infrastructuurkosten van bestelauto's worden weergegeven in Tabel 71, waarbij er onderscheidt wordt gemaakt tussen diesel en elektrische varianten. Deze kosten worden voor 2018 ingeschat op ca. 5 miljard euro. Het aandeel elektrische bestelauto's in deze kosten is klein, aangezien deze voertuigen een zeer beperkt deel uitmaakten van het bestelautopark in 2018.

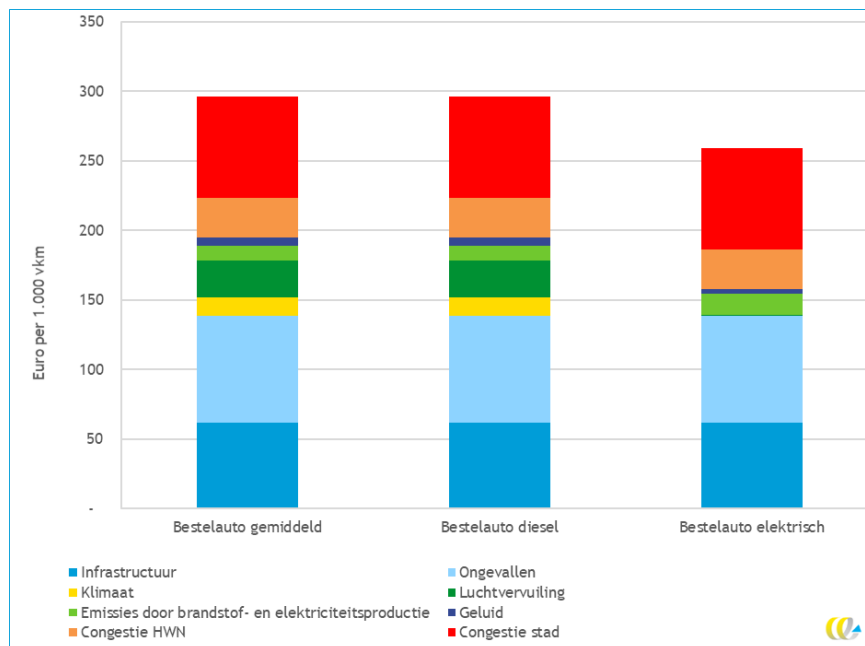
De belangrijkste kostenposten bij bestelauto's zijn infrastructuurkosten, kosten van ongevallen en congestiekosten. Bij bestelauto's zijn de kosten van luchtvervuilende emissies relatief hoog (bijv. in vergelijking tot personenauto's). Dit komt doordat bestelauto's meestal op diesel rijden, die per kilometer meer luchtvervuilende emissies uitstoten dan benzinevoertuigen. Daarnaast zijn de (historische) emissiestandaarden voor bestelauto's minder streng dan voor personenauto's.

Tabel 71 - Totale kosten bestelauto's per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Onge- vallen	Broeikas- gasemissies	Lucht- vervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Geluid	Congestie		Totaal
							HWN	Stad	
Bestelauto totaal	1.124	1.649	248	479	186	116	515	768	5.086
- Diesel	1.123	1.647	248	479	186	116	515	768	5.082
- Elektrisch	0,91	1,34	-	0,01	0,22	0,06	0,42	0,62	4

In Figuur 12 zijn de gemiddelde kosten van bestelauto's weergegeven. De kosten van elektrische bestelauto's zijn gemiddeld lager door het ontbreken van verbrandingsemissies. Hierdoor zijn de klimaatkosten afwezig en de kosten van luchtvervuilende emissies beperkt. Ook de kosten van geluid zijn gemiddeld lager dan bij dieselbestelauto's. De emissies door brandstof- en elektriciteitsproductie zijn echter licht hoger voor elektrische bestelauto's. Voor de overige kostenposten zijn er geen verschillen, omdat is aangenomen dat een elektrische bestelauto op eenzelfde wijze wordt ingezet als een dieselvariant.

Figuur 12 - Gemiddelde kosten bestelauto's per kostenpost (€ per 1.000 vkm)



11.3.5 Vrachtauto

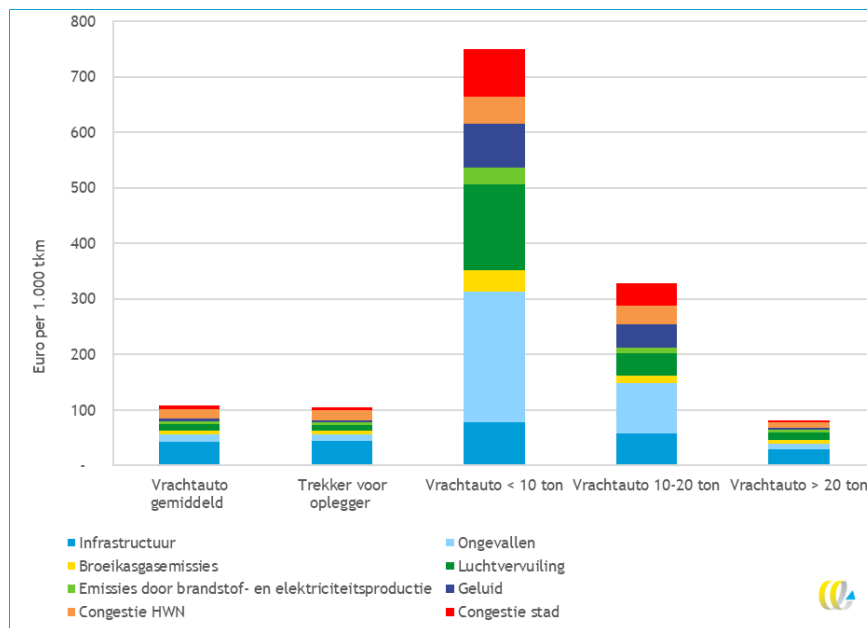
De totale externe en infrastructuurkosten van vrachtauto's worden gepresenteerd in Tabel 72. De belangrijkste kostenposten qua omvang zijn infrastructuurkosten en congestie-kosten. Omdat vrachtwagens met name op snelwegen rijden zijn de congestiekosten op het hoofdnetwerk dominant. Net als bij bestelauto's zijn luchtvervuilende emissies een grotere kostenpost dan broeikasgasemissies (bij de gehanteerde CO₂-prijs voor het WLO-hoog-scenario). Veruit de meeste kilometers worden gereden door de grotere typen vrachtwagen: trekkers voor opleggers en vrachtauto's zwaarder dan 20 ton. Het is dan ook logisch dat deze typen vrachtauto's het meeste bijdragen aan de totale kosten.

Tabel 72 - Totale kosten vrachtauto's per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Ongevallen	Broeikas-gasemissies	Lucht- vervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Geluid	Congestie		Totaal
							HWN	Stad	
Vrachtauto totaal	2.544	887	421	691	343	315	1.036	331	6.568
- Trekker voor oplegger	2.026	526	294	420	219	174	842	193	4.694
- Vrachtauto <10 ton	12	38	6	23	4	12	7	13	115
- Vrachtauto 10-20 ton	100	168	23	69	17	74	57	72	581
- Vrachtauto >20 ton	406	155	99	180	73	55	131	52	1.150

De gemiddelde kosten van vrachtauto's per kostenpost zijn zichtbaar in Figuur 13. Er zitten significante verschillen tussen de verschillende gewichtscategorieën. Ten eerste kunnen de lichtere vrachtwagens (<20 ton) minder gewicht vervoeren waardoor ze gemiddeld (per tkm) hogere kosten hebben. Tegelijkertijd zijn deze vrachtwagens lichter, waardoor ze relatief minder schade aan de weg aanbrengen. In combinatie met de lagere belading leidt dit ertoe dat de infrastructuurkosten per tonkilometer voor de verschillende typen vrachtwagens relatief dicht bij elkaar liggen. Tot slot, de kleinere vrachtwagens rijden een wat deel van hun kilometers in de stad, wat leidt tot relatief hogere kosten van ongevallen, infrastructuur, geluid en stedelijke congestie.

Figuur 13 - Gemiddelde kosten vrachtauto's per kostenpost (€ per 1.000 tkm)



11.3.6 Spoorvervoer

De totale externe en infrastructuurkosten van het spoorvervoer staat in Tabel 73. Voor 2018 worden deze kosten ingeschat op ca. 4,1 miljard euro. Reguliere elektrische personentreinen hebben veruit het grootste aandeel in deze kosten, gevolgd door hoge snelheidstreinen en elektrische goederentreinen.

Veruit de belangrijkste kostenpost voor treinen zijn de infrastructuurkosten. Het grootste gedeelte van de treinen wordt in Nederland door elektriciteit aangedreven, waardoor de externe kosten van emissies relatief laag zijn. In verhouding tot wegvervoer zijn vooral ook de kosten van ongevallen relatief laag. Treinen zijn slechts af en toe betrokken bij ongevallen, wat leidt tot relatief lage ongevalskosten.

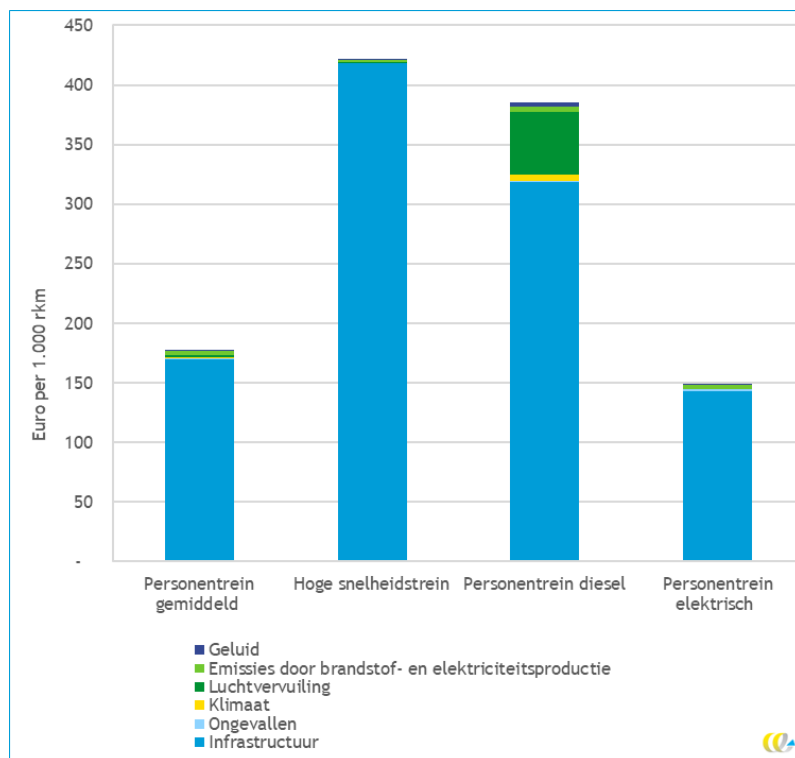
Tabel 73 - Totale kosten spoorvervoer per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Emissieproductie brandstof & elektriciteit	Geluid	Totaal
Personentrein totaal	3.318	28	2,7	37	63	24	3.477
- Hoge snelheidstrein	609	0,10	-	0,52	3,4	0,18	613
- Personentrein diesel	211	1,0	2,7	27	2,1	2,4	247
- Personentrein elektrisch	2.498	27	-	8,7	57	22	2.616
Goederentrein totaal	608	1,2	2,0	20	6,2	5,9	645
- Goederentrein diesel	132	0,34	2,0	20	1,52	1,7	158
- Goederentrein elektrisch	476	0,90	-	0,85	4,7	4,3	487

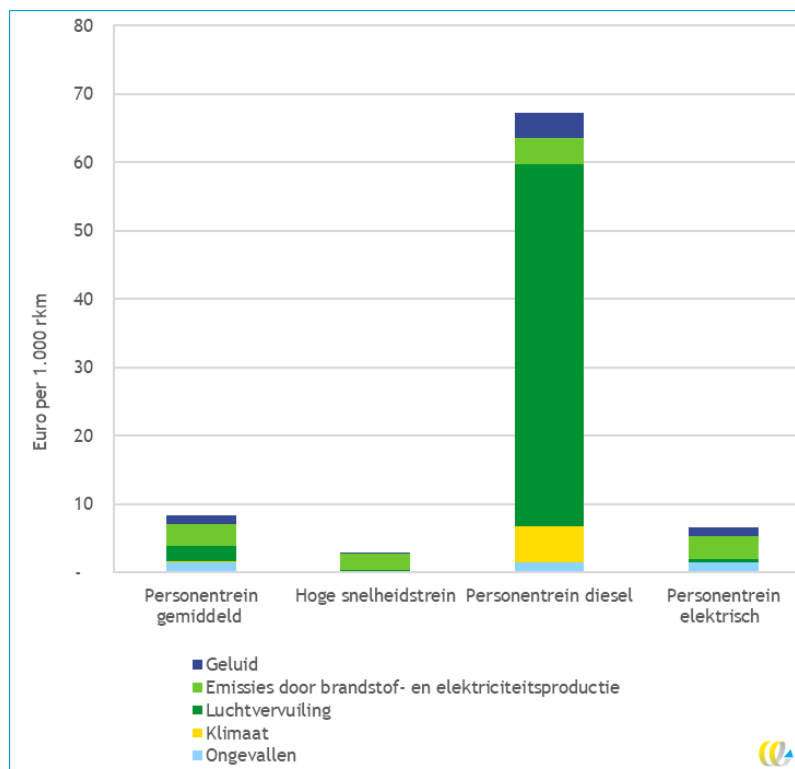
In Figuur 14 worden de gemiddelde externe en infrastructuurkosten van personentreinen weergegeven. Deze figuur laat duidelijk zien dat deze kosten voor het grootste deel bepaald worden door de infrastructuurkosten. Deze kosten zijn gemiddeld het hoogst voor de HSL- en de dieselpersonentreinen. Bij de HSL is dit vooral het gevolg van het feit dat het HSL-spoor minder intensief wordt gebruikt dan het gemengde net, waardoor de (vaste) kosten over een kleiner aantal reizigerskilometers moet worden verdeeld. Voor dieseltreinen geldt dat het vooral om regionale stoptreinen gaat, waarvan de bezetting relatief laag is en daarmee de gemiddelde kosten relatief hoog.

Wanneer we verder inzoomen op de gemiddelde externe kosten van personentreinen (zie Figuur 15), dan zien we dat bij dieselpersonentreinen vooral de kosten van luchtvervuilende emissies aanzienlijk zijn. In Paragraaf 6.6 bespraken we echter dat de verklaring gedeeltelijk kan liggen in de methodiek waarmee deze emissies zijn berekend. Deze is inmiddels 20 jaar oud en er wordt geen rekening gehouden met verschoning van de dieseltreinen. Deze kosten worden dus waarschijnlijk overschat. Bij de elektrische treinen bestaan de externe kosten voor het grootste deel uit de kosten van emissies die vrijkomen bij de elektriciteitsproductie.

Figuur 14 - Gemiddelde kosten persontreinen per kostenpost (€ per 1.000 rkm)

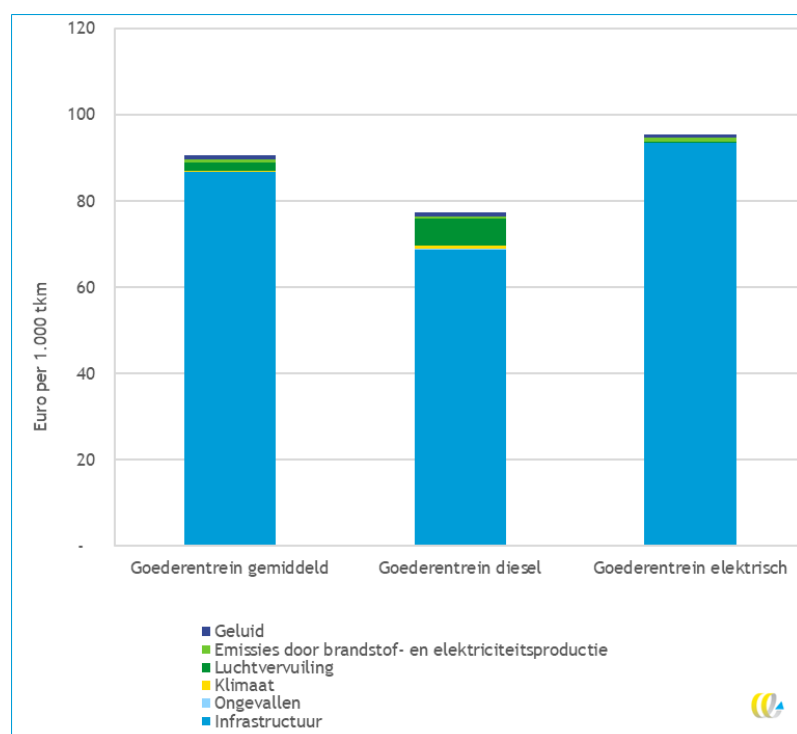


Figuur 15 - Gemiddelde kosten excl. infrastructuur persontreinen per kostenpost (€ per 1.000 rkm)

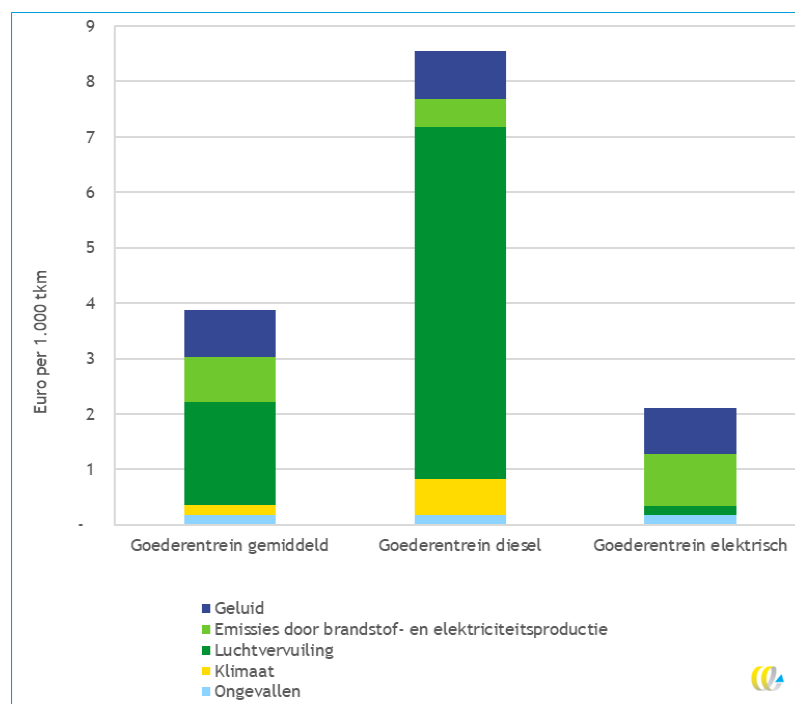


De gemiddelde externe en infrastructuur kosten van goederentreinen zijn zichtbaar in Figuur 16 en Figuur 17. In tegenstelling tot persontreinen zijn de gemiddelde infrastructuurkosten van elektrische treinen hoger dan van dieseltreinen. Een belangrijke verklaring hiervoor zijn de relatief hoge aanlegkosten van de Betuwelijn in combinatie met de relatief lage benutting van die lijn, waardoor de elektrische goederentreinen die gebruikmaken van de Betuwelijn een relatief groot deel van de vaste infrastructuurkosten krijgen toegerekend. Wanneer we de infrastructuurkosten buiten beschouwing laten, dan valt op dat elektrische treinen tot minder kosten leiden. Dit komt vooral door de relatief hoge kosten van luchtvervuiling van dieseltreinen.

Figuur 16 - Gemiddelde kosten goederentreinen per kostenpost (€ per 1.000 tkm)



Figuur 17 - Gemiddelde kosten goederentreinen per kostenpost (€ per 1.000 tkm)



11.3.7 Binnenvaart

De externe en infrastructuurkosten van de binnenvaart in 2018 bedragen ca. 2 miljard euro en bestaan vooral uit infrastructuurkosten en externe kosten door luchtvervuilende stoffen. Binnenvaartschepen hebben gemiddeld genomen relatief oude motoren met weinig emissie reducerende technieken aan boord, waardoor ze relatief veel luchtvervuilende emissies uitstoten. De kosten van ongevallen zijn laag doordat er, ten opzichte van wegverkeer, weinig ongevallen plaatsvinden in de binnenvaart.

Tabel 74 - Totale en gemiddelde kosten binnenvaart per kostenpost

Type kosten	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Totaal
Totale kosten (mln. €)	1.096	19	118	679	89	2.001
Gemiddelde kosten (€ per tkm)	23	0,41	2,5	14	1,9	42

11.3.8 Zeevaart

De kosten van de zeevaart zijn weergegeven in Tabel 75. We zijn uitgegaan van de kosten van alle reizen van vrachtschepen van en naar Nederland, waarbij we 50% van deze kosten toewijzen aan Nederland. Voor zeevaart geldt dat de kosten van infrastructuur in verhouding tot andere vervoerswijzen lager zijn. Schepen varen namelijk het grootste gedeelte van de tijd op open zee waar geen infrastructuurinvesteringen voor nodig zijn. De kosten van luchtvervuilende emissies zijn dominant. Motoren van zeeschepen bevatten weinig technologie om emissies te reduceren en stoten daardoor relatief veel emissies uit.

Tabel 75 - Totale en gemiddelde kosten zeevaart goederen per kostenpost (mln. €)

Type kosten	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Totaal
Totale kosten (mln. €)	512	24	688	2.838	424	4.486
Gemiddelde kosten (€ per 1.000 tkm)	0,25	0,01	0,34	1,40	0,21	2,2

11.3.9 Luchtvaart

De totale externe en infrastructuurkosten van de luchtvaart zijn weergegeven in Tabel 76. Voor 2018 worden deze kosten ingeschat op ca. 2,5 miljard euro voor de personenluchtvaart en 0,6 miljard euro voor de goederenluchtvaart. We zijn bij de bepaling van de externe en infrastructuurkosten voor de luchtvaart in Nederland uitgegaan van de kosten van alle reizen van vliegreizen van en naar Nederland, waarbij we 50% van de kosten toewijzen aan Nederland. De kosten van infrastructuur en broeikasgasemissies zijn dominant. De totale externe kosten van geluid zijn relatief laag, omdat er voornamelijk bij het dalen en landen geluidsoverlast plaatsvindt. Echter, op lokale basis kunnen deze kosten voor omwonenden uiteraard aanzienlijk zijn.

Tabel 76 - Totale kosten luchtvaart per kostenpost (mln. €)

Voertuigtype	Type kosten	Infra	Ongevallen	Broeikasgasemissies	Luchtvervuilende stoffen	Emissies productie brandstof & elektriciteit	Geluid	Totaal
Luchtvaart personen	Totale kosten (mln. €)	954	11	962	119	427	39	2.513
	Gemiddelde kosten (€ per 1.000 rkm)	8,8	0,10	8,8	1,1	3,9	0,36	8,8
Luchtvaart goederen	Totale kosten (mln. €)	100	0,7	332	35	147	5,7	621
	Gemiddelde kosten (€ per 1.000 tkm)	14	0,093	48	5,0	21	0,81	14

11.4 Marginale situaties

Naast totale en gemiddelde externe en infrastructuurkosten hebben we in deze studie ook gekeken naar marginale externe en infrastructuurkosten. Zoals aangegeven in Paragraaf 2.2 is de omvang van deze kosten vaak sterk afhankelijk van de kenmerken van het voertuig, de locatie en andere omstandigheden. De belangrijkste parameters waar de hoogte van de marginale kosten van afhangt verschilt per kostenpost. Voor bijvoorbeeld geluidsoverlast geldt dat de marginale externe kosten het hoogst zijn wanneer er weinig verkeer is.

Vanwege het logaritmische karakter van geluid is de bijdrage van een extra auto aan het geluidsniveau op een rustige weg veel groter dan op een drukke weg. Voor congestie geldt echter vaak het tegenovergestelde. Daar zijn de marginale kosten op een drukke weg hoger dan op een weg met weinig verkeer. Dit voorbeeld laat zien hoe de invloed van de context op de hoogte van de marginale kosten verschilt per kostenpost. Hierdoor is het niet mogelijk is om een algemene optelling te maken van de verschillende kostenposten zoals bij gemiddelde kosten is gedaan. In plaats daarvan is het noodzakelijk om specifieke cases te definiëren (bijv. een kleine Euro 6-auto, die in de spits rijdt op een drukke stadsweg), waarvoor vervolgens voor elk extern effect afzonderlijk de marginale kosten bepaald kunnen worden, om die tenslotte op te tellen tot een totaal. Deze aanpak valt echter buiten de scope van deze studie. In plaats daarvan presenteren we de marginale kosten enkel voor de verschillende externe effecten afzonderlijk (zie de voorgaande hoofdstukken).



Referenties

- Algemene Rekenkamer, 2011. *Besteding van spoorbudgetten door ProRail*, Den Haag: Algemene Rekenkamer
- Batavus. 2020. *Het gewicht van een e-bike* [Online] <https://www.batavus.nl/elektrische-fietsen/informatie/hoeveel-weegt-elektrische-fiets>. 2022
- BEIS, 2020. *2020 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting*, London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS)
- Bennett, M., Christie, S. M., Graham, A., Thomas, B. S., Vishnyakov, V., Morris, K. & Peters, D. M., 2011. Composition of Smoke Generated by Landing Aircraft. *Environmental Science & Technology*, 45, 3533-3538.
- Boeing, 2009. *AERO QTR 02 09*, Seattle: Boeing
- Bristow, A. L., Wardman, M. & Chintakayala, V. P. K., 2015. International meta-analysis of stated preference studies of transportation noise nuisance. *Transportation*, 42, 71-100.
- Bruinsma, F. R., Koetse, M., Rietveld, P. & Vreeker, R., 2000. *Raming maatschappelijke kosten van ruimtegebruik door het verkeer : efficiënte prijzen voor het verkeer*, Amsterdam Vrije Universiteit van Amsterdam (VU)
- Bruitparif, L'ORS Ile-de-France & WHO, 2013, *Health impact of noise in the Paris agglomeration: assessment of healthy life years lost*, Internoise 15-18 September Innsbruck
- CBS. 2018. *Statline: Gemeenterekeningen, baten en lasten naar regio en grootteklasse 2004-2016* [Online] <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83572NED/table?ts=1645445717551>.
- CBS. 2020. *Begrippenlijst* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen?tab=v#id=verkeersdode>. juni/2020
- CBS, lopend-a. *Historische data CBS kosten aanleg infrastructuur*: CBS
- CBS, lopend-b. *Statline* : - CBS Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer ; - CBS Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer ; - Wegvervoer bestelauto's; vervoerd gewicht, ladington- en voertuigkilometers ; - kilometers vrachtverkeer uitgesplitst per gewicht ; - Verkeersprestaties bussen; kilometers, leeftijdsklasse, grondgebied ; - Verkeersprestaties bussen; kilometers, leeftijdsklasse, grondgebied ; - Verkeersprestaties vrachtvoertuigen naar gewicht en grondgebied 2001-2017 [Online]



<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?fromstatweb> ;
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82836NED/table?ts=1591254555185> ;
<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80379NED&D1=0&D2=a&D3=0&D4=l&HDR=G2,T&STB=G3,G1&VW=T> ;
<https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83077NED/table?ts=1592303190877>.

CBS. lopend-c. *Statline ; Spoorvervoer; ladinggewicht, ladingtonkilometer, treinkilometers* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/80429ned?q=doorvoer>.

CBS. lopend-d. *Statline: Gemeenterekeningen, baten en lasten naar regio en grootteklasse 2017-2018* [Online] <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83641NED/table?dl=9AFA>.

CBS. lopend-e. *Statline: Grond-, weg- en waterbouw (GWW); inputprijsindex 2015=100* [Online] <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84538NED/table>.

CBS. lopend-f. *Statline: Jaarmutatatie consumentenprijsindex; vanaf 1963* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/70936ned>. 2022

CBS. lopend-g. *Statline: Reizigerskilometers personenauto's* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2022/onderweg-in-nederland--odin---2018-2020/3-reizigerskilometers>. 2022

CBS. lopend-h. *Statline: Reizigerskilometers spoorvervoer* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2021/onderweg-in-nederland--odin---2020-plausibiliteitsrapportage/3-reizigerskilometers>.

CBS. lopend-i. *Statline: Zeevaart; overgeslagen gewicht, zeehaven, vervoerstrom, soort lading, 2018* [Online] <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82850NED/table?dl=21A40>.

CBS & RIVM/Emissieregistratie. 2020. *Uitstoot broeikasgassen naar sector* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/hoofdcategorieen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit-#:~:text=In%202020%20werd%20van%20de,het%20stoken%20van%20aardgas%20voor>. 2022

CE Delft, 2003. *External Costs of Aviation*, Berlin: German Environment Agency (Umweltbundesamt)

CE Delft, 2008. *Infrastructuurkosten van het vrachtverkeer over de weg*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2017. *Handboek Milieuprijzen 2017*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2018. *Handbook Environmental Prices - EU28 version*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2019a. *De prijs van een vliegticket : Een onderzoek naar de kosten van en voor de luchtvaart in Nederland*, Delft: CE Delft



- CE Delft, 2019b.*Handbook of External Costs of Transport*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2020a.*Emissiekentallen elektriciteit*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2020b.*Review of Dutch rail diesel emissions calculation methodology*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2020c.*Social costs and benefits of advanced aviation fuels*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2020d.*STREAM goederenvervoer 2020*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021.*Toelichting gebruik milieuprijzen in tool Schone Luchtakkoord*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2022.*Prijs van een reis : Toekomstverkenning*, CE Delft: Delft
- CE Delft, INFRAS & Fraunhofer ISI, 2011.*External costs of transport in Europe*, Delft: CE Delft
- CE Delft, INFRAS, TRT & Ricardo, 2019.*Handbook on the External Costs of Transport - Version 2019*, Delft: CE Delft
- CE Delft, TRT, INFRAS, Planco, ISL, Ricardo & PMR, 2019.*Overview of transport infrastructure expenditures and costs*, Delft: CE Delft
- CE Delft & VU Amsterdam, 2004a.*De prijs van een reis*, Delft: CE Delft ; Vrije universiteit van Amsterdam
- CE Delft & VU Amsterdam, 2004b.*The Price of transport: Overview of the social costs of transport*, Delft: CE Delft
- CE Delft & VU Amsterdam, 2014a.*De prijs van een reis*, Delft: CE Delft ; Vrije universiteit van Amsterdam
- CE Delft & VU Amsterdam, 2014b.*Externe en infrastructuurkosten van verkeer : Een overzicht voor Nederland in 2010*, Delft: CE Delft
- CE Delft et al, 2020.*Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, IMO GHG Study 2020 - Full report and annexes*, London: International Maritime Organization (IMO)
- CPB & PBL, 2013.*Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- CPB & PBL, 2016.*WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO2-uitstoot in MKBA's*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- CROW-KpVV, 2020.*Staat van het regionale openbaar vervoer 2019*, Ede: CROW
- CROW, 2006.*Van parkeerbeheer naar mobiliteitsmanagement*, Ede: CROW



- De Wit, M. & Methorst, R., 2012. *Kosten verkeersongevallen in Nederland - Ontwikkelingen 2003 - 2009*, Delft: Rijkswaterstaat
- Decisio, 2017. *Waarderingskengetallen MKBA Fiets : state-of-the-art*, Amsterdam: Decisio BV
- Defra, 2014. *Environmental noise : Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet*, London: Department for Environment Food & Rural Affairs (Defra)
- Delhaye, E., Ceuster, G., Vanhove, F. & Maerivoet, S., 2016. *Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen: actualisering 2016*, Leuven: Transport & Mobility Leuven (TML)
- EC, 2006. Richtlijn 2006/38/EG van het Europees Parlement en de Raad van 17 mei 2006 tot wijziging van richtlijn 1999/62/EG betreffende het in rekening brengen van het gebruik van bepaalde infrastructuurvoorzieningen aan zware vrachtvoertuigen. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L347, 1-118.
- EC, 2013. *Impact Assessment - Part 2 Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport and amending Regulation (EU) n° 525/2013*, Brussels: European Commission (EC)
- EC, 2014. *Commission SWD Impact assesment Accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament and of the Council, the EESC and the Committee of the Regions A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030 / * SWD/2014/015 final* Brussels: European Commission (EC)
- Ecorys & CE Delft, 2006. *Infrastructure expenditures and costs. Practical guidelines to calculate total infrastructure costs for five modes of transport*, Rotterdam ; Delft: Ecorys ; CE Delft
- EEA, 2010. *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*, Copenhagen: European Environment Agency (EEA)
- EEA. 2019. 1.A.3.a *Aviation 1 Master emissions calculator 2019* [Online] <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-1/view>. juni/2020
- Eindhoven Airport. 2019. *Jaarverslag 2018* [Online] <https://www.eindhovenairport.nl/nl/jaarverslagen>.
- Emissieregistratie. 2020. *Emissieregistratie* [Online] <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/export/bron.aspx>. 12/10/2020
- EU, 1972. Richtlijn 72/245/EEG van de Raad van 20 juni 1972 inzake de onderlinge aanpassing van de wetgevingen der Lid- Staten betreffende de onderdrukking van radiostoringen veroorzaakt door motoren met elektrische ontsteking van



- motorvoertuigen (no longer in force). *Official Journal of the European Union*, L 152, 15-24.
- EU, 1997. Richtlijn 97/24/EG van het Europees Parlement en de Raad van 17 juni 1997 betreffende bepaalde onderdelen of eigenschappen van motorvoertuigen op twee of drie wielen. *Official Journal of the European Union*, L226, 1-454.
- EUROCONTROL. 2020. *Small emitters tool* [Online]
<https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>. juni/2020
- European Road Safety Observatory, 2018. *Vehicle Safety 2018*, Brussels: European Road Safety Observatory
- ExternE, 2005. *Externalities of Energy, Methodology 2005 update*, Luxembourg: European Commission
- Fietsberaad Vlaanderen, 2018. *Fietsbeleid brengt op*, Brussel: Fietsberaad Vlaanderen
- Forster, P., Shine, K. & Stuber, N., 2007. Corrigendum to “It is premature to include non-CO2 effects of aviation in emission trading schemes”: [Atmos. Environ. 40 (2006) 1117-1121]. *Atmospheric Environment*, 41, 3941.
- Fraunhofer ISI & CE Delft, 2008. *Road infrastructure cost and revenue in Europe. Deliverable 2 of the study Internalisation Measures and Policies for all external cost of Transport (IMPACT)*, Karlsruhe/Delft: Fraunhofer ISS/CE Delft
- Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A. & Skeie, R. B., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate : Metrics. *Atmospheric Environment*, 44, 4648-4677.
- Geilenkirchen, G. & Hoen, M. t., 2019. *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, The Hague: Task Force on Transportation
- Goodwin, P., 2004. *The economic costs of road traffic congestion*, London: University College London (UCL), The Rail Freight Group
- GRACE, 2006. *Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation - Deliverable D3: Marginal costs case studies for road and rail transport*, Leeds: University of Leeds
- Groningen Airport Eelde. 2019. *Jaarverslag 2018* [Online]
<https://www.groningenairport.nl/en/about-groningen-airport-eelde/about-us/information-for-airtraffic/jaarverslagen-strategisch-plan>.
- HEATCO, 2006. *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO). Deliverable D5: Proposal for harmonised guidelines*, Stuttgart: IER University of Stuttgart
- Henderson, J., Boorman, E., Gregson, S. & Cliff, K., 2016. *3.2 degrees Slightly Steeper Approach Trial Report*, London: Trax International



- Hulskotte, J., Bolt, E. & Broekhuizen, D., 2003. *EMS-protocol Emissies door Verbrandingsmotoren van Zeeschepen op het Nederlands Continentaal Plat*, Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer
- IATA. 2014. Recommended practice 1678 - CO2 measurement methodology. Available: <https://www.iata.org/contentassets/34f5341668f14157ac55896f364e3451/rp-carbon-calculation.pdf> [Accessed March 9].
- ICAO, 2017. *Carbon Emissions Calculator Methodology*, Montreal: ICAO
- ICCT, 2019. *CO2 emissions from commercial aviation 2018*, Berlin: International Council on Clean Transportation (ICCT)
- IFEU, INFRAS & IVE, 2019. *EcoTransIT Ecological Information Tool for Worldwide Transport Methodology and Data Update 2019*, IFEU, INFRAS, IVE: Berne - Hannover - Heidelberg
- IIASA, 2014. *A flexibility mechanism for complying with national emission ceilings for air pollutants. TSAP report #15*, Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)
- INFRAS & IWW, 2004. *External costs of transport: Update study*, Karlsruhe & Zürich: INFRAS & IWW
- IPCC 2007. Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis : 2.10.2 Direct Global Warming Potentials. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, K. B., Averyt, M., Tignor, M. & Miller, H. L. (eds.). Plaats: Cambridge University Press
- IPCC, 2013. *Fifth Assessment Report: Working Group 1*, Cambridge: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
- Jabben, J., Verheijen, E. & Potma, C. Noise reduction by electric vehicles in the Netherlands. 2012 New York.
- Jochem, P., Doll, C. & Fichtner, W., 2016. External costs of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 60-76.
- KiM, 2018a. *Fietsfeiten*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
- KiM, 2018b. *Sturen in parkeren*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
- KiM, 2019. *Mobiliteitsbeeld 2019*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
- Koopmans, C. C. & Kroes, E. P., 2004. Werkelijke kosten van files tweemaal zo hoog. *ESB*, 89.
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestvedt, J., et al., 2021. The contribution of



global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.

Ligtermoet, D., 2010. *Overheidsuitgaven aan fietsverkeer - inventarisatie van hoogte en verdeling van budgetten van fietsbeleid*, Gouda: Ligtermoet & Partners

Lindberg, G., 1999. *Calculating transport infrastructure costs. Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging*, Berlin/Zürich: High Level Group, working group 1 (HLG)

Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B. & Bak, M., 2008. *Handbook on estimation of external cost in the transport sector*, Delft, CE Delft

INFRAS.

Masiol, M. & Harrison, R. M., 2014. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409-455.

Miedema, H. M. & Oudshoorn, C. G. M., 2001. Annoyance from transportation noise : relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*, 109, 409-416.

Ministerie V&W & Ministerie EZ, 2004. *Indirecte effecten infrastructuur. Aanvulling op de Leidraad OEI*, Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) en Ministerie van Economische Zaken (EZ)

Ministerie van Financiën, 2015. *Rapport Werkgroep Discontovoet 2015*, Den Haag: Ministerie van Financiën

Ministerie van I&W. 2021. *Kamerbrief van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat d.d. 26 november 2021 : Verzamelbrief commissiedebat verkeersveiligheid 2* [Online]
<https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/moties/detail?id=2020Z19173&did=2020D41361>.

Ministerie van infrastructuur en Milieu, 2017. *Geluidbelastingskaarten luchthaven Schiphol voor het gebruiksjaar 2016*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M)

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018. *Actieplan drukbereden spoorwegen 2018-2023*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M)

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019. *Voortgangsrapportage 42 Hogesnelheidslijn Zuid*: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directie Openbaar Vervoer en Spoor

Moller Iversen, L., Marbjerg, G. & Bendtsen, H. Noise from electric vehicles - 'State-of-the-art' literature survey. 2013 Innsbruck. Internoise.



- NEEDS**, 2006. *NEEDS deliverable 6.7: Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution*, Brussels: European Commission
- NEEDS**, 2007. *Final report on casual links between pollutants and health impacts. Deliverable RS 1b D 3.7. : A set of concentration-response functions. (...), Sub-priority 6.1.3.2.5: Socio-economic tools and concepts for energy strategy*, Brussels: European Commission
- NEEDS**, 2008. *NEEDS deliverable No 1.1.-RS 3a Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data. Priority 6.1 (...) Sub-priority 6.1.3.2.5: Socio-economic tools and concepts for energy strategy*, Brussels: European Commission
- Pallas, M. A., Kennedy, J., Walker, I., Chatagnon, R., Berengier, M. & Lelong, J.**, 2015. *Noise emission of electric and hybrid electric vehicles: Deliverable FOREVER*, Marne-la-Vallée: IFSTTAR
- Panteia**, 2021. *Kerncijfers van het touringcarvervoer van Nederlandse touringcarondernemingen 2020*, Zoetermeer: Panteia
- ProgTrans & IWW**, 2007. *Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstraßen in Deutschland: Endbericht*, Basel; Karlsruhe: ProgTrans; IWW
- Ricardo & TRT**, 2016. *Study on urban mobility - Assessing and improving the accessibility of urban areas. Task 2 report - Estimation of European urban road congestion costs*: Ricardo
- RIVM**, 2010. *Effect of electric cars on traffic noise and safety*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
- Rotterdam The Hague Airport**. 2019. *Feiten & Cijfers 2018* [Online] <https://www.rotterdamthehagueairport.nl/wp-content/uploads/Feiten-en-Cijfers-2018.pdf>.
- Royal Schiphol Group**. 2019. *Jaarverslag 2018* [Online] <https://2018.jaarverslagschiphol.nl/>.
- RVO**, 2014. *Facsheet EV's en veiligheid*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
- RWS**, 2007. *Basisonderhoudsniveau 2007 - Hoofdwegennet*, Delft: Rijkswaterstaat (RWS) Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS)
- RWS**, 2008. *Verzameldocument PxQ van Cost Drivers HWN, t.b.v. 2009*, Delft: Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart (VDS)
- RWS**, 2020. *RBO 2019*, Den Haag: Rijkswaterstaat (RWS)
- RWS & W2Economics**, 2015. *Verkenning gezondheid en tweewielerbeleid*: Rijkswaterstaat (RWS)



- Schoeters, A., Large, M., Koning, M., Carnis, L., Daniels, S., Mignot, D., Urmeew, R., Wijnen, W., Bijleveld, F. & Horst, M. v. d., 2021. *125 Monetary valuation of the prevention of road fatalities and serious road injuries; Results of the VALOR project*, Brussels: VIAS institute
- Stelling-Kończak, A., Hagenzieker, M. & Wee, B. V., 2015. Traffic Sounds and Cycling Safety: The Use of Electronic Devices by Cyclists and the Quietness of Hybrid and Electric Cars. *Transport Reviews*, 35, 422-444.
- SWOV, 2019a. *Ernstig verkeersgewonden in Nederland*, Den Haag: Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)
- SWOV, 2019b. *Monitor Verkeersveiligheid 2019 : Achtergrondinformatie en onderzoeksverantwoording*, Den Haag: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)
- SWOV, 2020a. *Kosten van verkeersongevallen: SWOV-factsheet*, Den Haag: Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)
- SWOV, 2020b. *Verkeersdoden in Nederland: SWOV-factsheet*, Den Haag: Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)
- The Verge. 2019. *Tesla's Model 3 scores the company's first top safety award from IIHS* [Online] <https://www.theverge.com/2019/9/19/20873510/tesla-model-3-iihs-crash-test-safety-award-video>. juni/2020
- Theebe, M. A. J., 2004. Planes, Trains, and Automobiles: The Impact of Traffic Noise on House Prices. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 28, 2009-2234.
- TNO, 2013. *Plattegrond veiligheid elektrische voertuigen 2020*. Delft: TNO.
- TNO, 2014. *Factsheet feitenmateriaal elektrische voertuigen en veiligheid*, Delft: TNO
- Ubbels, B. & Knockaert, J., 2008. *Pay as you Drive Insurance: Issues affecting charge desin* Amsterdam: Vrije Universiteit (VU)
- Udo, J., Janssen, L. H. J. M. & Kruitwagen, S., 2006. *Stilte heeft zijn 'prijs'*. *ESB*, 14-16.
- UNITE, 2000. *The accounts approach : UNITE (Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency) Deliverable 2*, Leeds: University of Leeds
- Van den Bergh, J. & Botzen, W., 2012. *Waardering van de maatschappelijke kosten van CO2-emissies*, Amsterdam: Vrije Universiteit (VU)
- van den Bijgaart, I., Gerlagh, R. & Liski, M., 2016. A simple formula for the social cost of carbon. *Journal of Environmental Economics and Management*, 77, 75-94.
- W2Economics & CE Delft, 2016. *The cost of road traffic accidents in the Netherlands*, Delft: CE Delft



- WHO, 2011. *Burden of disease from environmental noise : Quantification of healthy life years lost in Europe*, Copenhagen: World Health Organization (WHO)
- WHO, 2012. *Health effects of black carbon*, Geneva: World Health Organization (WHO)
- WHO, 2013. *Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*, Geneva: World Health Organization (WHO)
- WHO, 2014. *WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level, meeting report 12-13 May* Bonn: World Health Organization (WHO)
- Wijnen, W., Schoeters, A., Bijleveld, F., Daniels, S. & Horst, M. v. d., 2022. Huidige kengetallen onderschatten waarde vermeden verkeersslachtoffers. *ESB*, 107, 156-159.
- Wijnen, W., Weijermars, W., Vanden Berghe, W., Schoeters, A., Bauer, R., Carnis, L., Elvik, R., Theofilatos, A., Filtness, A., Reed, S., et al., 2017. *Crash cost estimates for European countries: Deliverable 3.2 of the H2020 project SafetyCube*, Loughborough: Loughborough University



A Verkeersgegevens

A.1 Verkeersprestaties

Voor de bepaling van de externe- en infrastructuurkosten van verkeer is gebruikgemaakt van data over de reizigers- voertuig- en tonkilometers van de verschillende vervoerswijzen op Nederlands grondgebied in 2018. Bij de lucht- en zeevaart gaat het om de helft van de kilometers van alle vluchten/vaarten van/naar Nederland. De gegevens over de verkeersprestaties zijn samengevat in Tabel 77, Tabel 78 en Tabel 79.

De data voor de voertuigkilometers van het wegverkeer is verkregen via CBS StatLine (CBS, lopend-b). De voertuigkilometers van het spoorverkeer zijn gebaseerd op aangeleverde informatie door ProRail. De voertuigkilometers van de luchtvaart zijn berekend op door Schiphol aangeleverde data over het aantal vluchten en de onderlinge afstanden tussen Schiphol en andere luchthavens. Voor de overige luchthavens is een analyse uitgevoerd op basis van data van Eurostat⁷³. Door deze data te combineren met data uit een afstands-matrix⁷⁴ kan de totale omvang aan voertuigkilometers voor vluchten vanaf/naar Nederland bepaald worden. Voor zeevaart zijn de voertuigkilometers gebaseerd op basis van de EU-MRV THETIS-dataset. In Bijlage G staat hiervoor een nadere toelichting.

Tabel 77 - Voertuigkilometers(mln.) voor alle vervoerswijzen in 2018

Voertuigcategorie	Wegen binnen bebouwde kom	Overige wegen buiten bebouwde kom	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied				
Personenauto benzine	16.996	27.278	30.030	74.303
Personenauto diesel	4.482	9.873	16.798	31.153
Personenauto LPG	304	807	848	1.958
Personenauto elektrisch	137	219	242	598
Personenauto PHEV	536	861	947	2.344
Motorfiets	380	1.069	1.046	2.495
Bromfiets	1.793	791	-	2.585
Ov-bus diesel	323	143	14	480
Ov-bus elektrisch	13	6	1	20
Touringcar	27	67	74	168
Gewone fiets	13.466	2.694	-	16.160
Elektrische fiets	1.867	373	-	2.240
HSL	0,3	0,9	-	1,2
Personentrein diesel	3,7	11	-	15
Personentrein elektrisch	34	103	-	137
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied				
Bestelauto diesel	2.927	5.822	9.453	18.202
Bestelauto elektrisch	2	5	8	15
Trekker voor oplegger	335	983	3.945	5.260
Vrachtauto <10 ton	49	44	94	187

⁷³ Air passenger transport between the main airports of the Netherlands and their main partner airports (routes data) (avia_par_nl).

⁷⁴ Distances_Airpor_NUTS-2013.csv.

Voertuigcategorie	Wegen binnen bebouwde kom	Overige wegen buiten bebouwde kom	Snelwegen	Totaal
Vrachtauto 10-20 ton	228	157	481	866
Vrachtauto >20 ton	133	280	739	1.148
Goederentrein diesel	0,7	2,0	-	2,6
Goederentrein elektrisch	1,7	5,0	-	6,7
Binnenvaart	-	-	-	n/a
Internationale vervoerswijzen				
Zeevaart	-	-	-	45
Luchtvaart personen	-	-	-	472
Luchtvaart goederen	-	-	-	99

Het totaal aantal reizigerskilometers voor personenauto's is gebaseerd op CBS Statline (CBS, lopend-g). Voor bussen en touringcars zijn de reizigerskilometers berekend op basis van een gemiddelde bezettingsgraad en data over de voertuigkilometers. De gemiddelde bezettingsgraden zijn daarbij overgenomen uit de kerncijfers voor het Nederlandse touringcarvervoer voor de touringcar (Panteia, 2021). De gemiddelde bezetting van ov-bussen is bepaald op basis van Mobiliteitsbeeld 2019 (KiM, 2019), waar de reizigerskilometers voor bus/tram/metro worden gerapporteerd. Deze hebben we gecorrigeerd met behulp van data over de reizigerskilometers voor de tram en metro op basis van data van de verschillende tram- en metrovervoerders. Voor de onderverdeling naar brandstofsoort (personenauto's en bussen) en wegtypen (alle wegmodaliteiten) is aangenomen dat de bezettingsgraad per voertuigcategorie constant is, waardoor deze verdelingen in relatieve zin gelijk is aan die bij voertuigkilometers.

De reizigerskilometers van het spoorvervoer zijn als volgt bepaald:

- de totale reizigerskilometers van spoorvervoer in Nederland worden gerapporteerd op CBS Statline (CBS, lopend-h);
- de reizigers kilometers van de HSL Zuid zijn gebaseerd op de 'Voortgangsrapportage 42 HSL zuid' (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019);
- de reizigerskilometers van dieselpersonentreinen zijn berekend op basis van (CROW-KpVV, 2020);
- de reizigerskilometers van elektrische personentreinen zijn verkregen door de bovenstaande bronnen te combineren.

De reizigerskilometers van de luchtvaart zijn tenslotte gebaseerd op dezelfde databronnen als de voertuigkilometers, waarbij we ook gebruik hebben gemaakt van het aantal reizigers dat vanaf/naar Nederlandse luchthavens vliegt en hun herkomst/bestemmingsluchthaven.

Tabel 78 - Reizigerskilometers (mln.) voor het personenvervoer in 2018

Voertuigcategorie	Wegen binnen bebouwde kom	Overige wegen buiten bebouwde kom	Snelwegen	Totaal
Personenauto benzine	22.285	35.768	39.375	97.428
Personenauto diesel	5.876	12.946	22.025	40.848
Personenauto LPG	398	1.058	1.111	2.567
Personenauto elektrisch	179	288	317	784
Personenauto PHEV	703	1.128	1.242	3.074
Motorfiets	437	1.229	1.203	2.869
Bromfiets	1.973	870		2.843
Ov-bus diesel	2.465	1.087	109	3.661



Voertuigcategorie	Wegen binnen bebouwde kom	Overige wegen buiten bebouwde kom	Snelwegen	Totaal
Ov-bus elektrisch	101	45	4	150
Touringcar	1.295	3.219	3.585	8.100
Fiets	13.466	2.694	-	16.160
Elektrische fiets	1.867	373	-	2.240
Hoge snelheidstrein	364	1.091	-	1.455
Personentrein diesel	166	497	-	662
Personentrein elektrisch	4.371	13.112	-	17.483
Luchtvaart personen	-	-	-	108.995

Het totaal aantal tonkilometers van het vrachtverkeer is gebaseerd op KiM (2019). De onderverdeling per gewichtscategorie bij vrachtauto's is gebaseerd op de aannames voor het gemiddelde gewicht binnen de verscheidene gewichtsklassen (zie Bijlage A.2).

De tonkilometers van spoorvervoer als volgt bepaald:

- De totale netto tonkilometers (exclusief gewicht van de trein) worden gerapporteerd op CBS Statline (CBS, lopend-c).
- De bruto tonkilometers van de verschillende categorieën goederentreinen zijn gebaseerd op (CBS, lopend-c).
- De netto tonkilometers van de verschillende typen goederentreinen zijn berekend op basis van de bovenstaande twee bronnen. Hierbij is aangenomen dat de verhouding tussen treingewicht en ladinggewicht gelijk is voor de verschillende treintypen.

De tonkilometers van de luchtvaart zijn gebaseerd op door Schiphol aangeleverde data over de vervoerde tonnen tussen Schiphol en andere luchthavens, alsmede soortgelijke data voor de andere Nederlandse luchthavens van Eurostat⁷⁵. Door middel van een afstandsmatrix⁷⁶ is wederom de afgelegde vluchtafstand tussen de verschillende luchthaven paren bepaald, waarna vervolgens de tonkilometers konden worden berekend. Voor zeevaart zijn de tonkilometers gebaseerd op basis van de 'EU-MRV THETIS' dataset. In Bijlage G staat een nadere toelichting.

Tabel 79 - Tonkilometers in het goederenvervoer in 2018 (mln.)

Voertuigcategorie	Wegen binnen bebouwde kom	Overige wegen buiten bebouwde kom	Snelwegen	Totaal
Trekker voor oplegger ^a	2.779	8.485	33.607	44.871
Vrachtauto <10 ton ^a	39	35	75	149
Vrachtauto 10-20 ton ^a	454	314	960	1.727
Vrachtauto >20 ton ^a	1.647	3.336	8.970	13.953
Goederentrein diesel	481	1.444	-	1.926
Goederentrein elektrisch	1.275	3.825	-	5.100
Binnenvaart	-	-	-	47.200
Zeevaart	-	-	-	2.025.347
Luchtvaart goederen	-	-	-	6.989

⁷⁵ Air passenger transport between the main airports of the Netherlands and their main partner airports (routes data) (avia_par_nl).

⁷⁶ Distances_Airpor_NUTS-2013.csv.



Het aantal LTO's van vliegtuigen en het aantal calls van zeeschepen in Nederland is weergegeven in Tabel 80. Deze data is voor vliegtuigen afkomstig van Schiphol en Eurostat⁷⁷ (overige luchthavens). Voor 'belly-freight'-vluchten heeft een onderverdeling plaatsgevonden naar personen en goederen op basis van het vervoerde gewicht. Voor reizigers is conform 'recommended practice 1678' van IATA, (2014) een gewicht van 150 kg per reiziger aangehouden. Het aantal calls voor de zeehavens is gebaseerd op CBS-data.

Tabel 80 - Aantal LTO's en calls in lucht- en zeehavens in 2018

Voertuigcategorie	Aantal LTO's	Aantal calls
Luchtvaart personen	518.357	-
Luchtvaart goederen	30.638	-
Zeevaart goederen	-	35.742

A.2 Voertuig- en ritkenmerken

In deze paragraaf worden de relevante voertuig- en ritkenmerken, zoals aangenomen in deze studie, toegelicht. Ten eerste is in Tabel 81 een overzicht opgenomen van de aannames voor voertuiggewicht, aantal assen en as-configuratie. Voor de voertuigcategorieën die in CE Delft & VU (2014b) waren gedefinieerd zijn dezelfde aannames gemaakt als destijds. Er is in detail gekeken naar de aannames voor het gemiddelde gewicht van de verschillende vrachtautocategorieën; deze lijken op basis van de beschikbare gegevens nog goed toepasbaar te zijn voor de situatie in 2018. Voor elektrische personenauto's is de aanname gemaakt dat die gemiddeld 250 kg zwaarder is dan een conventionele auto, terwijl een hybrideauto gemiddeld 200 kg zwaarder is dan een conventionele auto. Op basis van Batavus (2020) is aangenomen dat een elektrische fiets gemiddeld 5 kg zwaarder is dan een gewone fiets.

Tabel 81 - Gewicht, assen en as-configuraties van voertuigen

Voertuigcategorie	Bruto gewicht (ton)	Aantal assen	As-configuratie
Personenauto			
Niet elektrisch	1,15	2	N.v.t.
Plug-in hybride	1,35	2	N.v.t.
Elektrisch	1,4	2	N.v.t.
Motorfiets en bromfiets			
Motorfiets	0,6	2	N.v.t.
Bromfiets	0,2	2	N.v.t.
Bus en touringcar			
Ov-bus diesel	13,0	2	N.v.t.
Ov-bus elektrisch	13,0	2	N.v.t.
Touringcar	16,8	2,5	N.v.t.
Fiets			
Gewone fiets	0,09	2	N.v.t.
Elektrisch	0,095	2	N.v.t.
Bestelauto			
Diesel	1,9	2	N.v.t.
Elektrisch	2,1	2	N.v.t.

⁷⁷ Freight and mail air transport between the main airports of the Netherlands and their main partner airports (routes data) (avia_gor_nl).

Voertuigcategorie	Bruto gewicht (ton)	Aantal assen	As-configuratie
Vrachtauto <10 ton vol			
2.5-5.5	2,6	2	Enkel
5.5-9	4,7	2	Enkel
9.0-10	6,2	2	Enkel
Vrachtauto <10 ton leeg			
2.5-5.5	1,8	2	Enkel
5.5-9	3,3	2	Enkel
9.0-10	3,8	2	Enkel
Vrachtauto 10-20 ton vol			
10.0-12	8,4	2	Enkel
12-16	8,9	3	Enkel
16-20	10,4	3	Enkel
Vrachtauto 10-20 ton leeg			
10.0-12	4,3	2	Enkel
12-16	6,0	3	Enkel
16-20	6,5	3	Enkel
Vrachtauto >20 ton vol			
20-22	10,6	3	Enkel
22-30	13,5	3,5	Enkel
30-35	20,4	4	Enkel
35-45	26,4	4,5	Enkel
45-50	30,4	5	Enkel
Vrachtauto >20 ton leeg			
20-22	7,0	3	Enkel
22-30	8,5	3,5	Enkel
30-35	11,0	4	Enkel
35-45	13,0	4,5	Enkel
45-50	15,0	5	Enkel
Vracht combinatie (>12 ton) vol			
12-16	6,8	3	Enkel
16-22	10,7	3	Enkel
22-33	15,0	3,5	Enkel
33-40	19,8	4	Enkel
40-45	24,5	4a5	Tandem/tridem
45-50	28,8	6	Tridem
Vracht combinatie (>12 ton) leeg			
12-16	5	3	Enkel
16-22	7,0	3	Enkel
22-33	11	3,5	Enkel
33-40	14	4	Enkel
40-45	16	4a5	Tandem/tridem
45-50	17	6	Tridem
Trekker met oplegger (>12 ton) vol			
12-16	7,9	3	Enkel
16-22	11,3	3	Enkel
22-32	15,1	4	Tandem
32-38	18,1	4	Tandem
38-45	22,1	5	Tridem
45-50	26,8	6	Tridem



Voertuigcategorie	Bruto gewicht (ton)	Aantal assen	As-configuratie
Trekker met oplegger (>12 ton) leeg			
12-16	6	3	Enkel
16-22	8	3	Enkel
22-32	11	4	Tandem
32-38	12,5	4	Tandem
38-45	13,5	5	Tridem
45-50	14,5	6	Tridem

In Tabel 82 staan de aangenomen personenauto-equivalenten (PAE's) voor de verschillende voertuigcategorieën. Dezelfde aannames als in CE Delft & VU (2014b) zijn hierbij gehanteerd voor de gemiddelde PAE's. Specifiek voor de stad rekenen we met lagere PAE's, omdat de snelheidsverschillen tussen voertuigen daar beperkter zijn en daarmee ook de verschillen in PAE's. Op basis van Maibach, M. et al., (2008) is ingeschat dat de PAE's in de stad circa 56% lager liggen, waarbij uiteraard geldt dat de PAE's voor bestelauto's, bussen en vrachtauto's nooit kleiner dan 1 kunnen zijn.

Tabel 82 - Personenauto-equivalenten van de vervoerswijzen

Voertuigcategorie	PAE gemiddelde	PAE stad
Personenauto	1,0	1,0
Motorfiets	0,5	0,5
Bromfiets	0,5	0,5
Ov-bus	2,0	2,0
Touringcar	2,0	2,0
Fiets	0,25	0,25
Bestelauto	1,2	1,0
Trekker voor oplegger	4,7	2,6
Vrachtauto <10 ton	1,7	1,0
Vrachtauto 10-20 ton	2,6	1,5
Vrachtauto >20 ton	3,9	2,2

In Tabel 83 staan tenslotte de aannames voor de geluidweegfactoren voor de verschillende voertuigcategorieën (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b). Vanuit CE Delft & VU (2014b) zijn geen geluidweegfactoren voor elektrische en plug-in hybride personenauto's beschikbaar. Voor deze auto's is aangenomen dat deze binnen de bebouwde kom gemiddeld respectievelijk 5,5 dB(A) en 4dB(A) lager geluidsniveau hebben dan conventionele auto's (RIVM, 2010, Jabben, J. et al., 2012). Voor elektrische bestelauto's en bussen is voor binnen de bebouwde kom eenzelfde geluidsreductie aangenomen als voor een elektrische personenauto, dat wil zeggen 5,5 dB(A). Daarnaast is voor alle vormen van elektrisch rijden aangenomen dat er buiten de bebouwde kom geen significant verschil in geluidsniveau is ten opzichte van conventionele auto's (aangezien bij hogere snelheden het geluid van de banden dominant wordt en daarbij geen verschil bestaat tussen elektrische en conventionele voertuigen). Op basis van deze aannames zijn de geluidweegfactoren, zoals in Tabel 83 opgenomen, bepaald.

Tabel 83 - Geluidweefactoren voor de verschillende voertuigcategorieën

Voertuigcategorie	Binnen bebouwde kom	Buiten bebouwde kom
Personenauto benzine	1,0	1,0
Personenauto diesel	1,0	1,0
Personenauto LPG	1,0	1,0
Personenauto elektrisch	0,3	1,0
Personenauto PHEV	0,4	1,0
Motorfiets	13,2	4,2
Bromfiets	9,8	3,0
Ov-bus diesel	9,8	3,3
Ov-bus elektrisch	2,8	3,3
Touringcar	9,8	3,3
Bestelauto diesel	1,2	1,2
Bestelauto elektrisch	0,5	1,2
Trekker voor oplegger	16,6	5,5
Vrachtauto <10 ton	9,8	3,0
Vrachtauto 10-20 ton	13,2	4,2
Vrachtauto >20 ton	14,9	4,8

B Uitgebreide resultaten wegverkeer

B.1 Infrastructuurkosten

Tabel 84 - Totale infrastructuurkosten wegverkeer (mln. €)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom				Buitenwegen				Rijkswegen				Totaal			
	Aanleg + vernieuwing		B&O		Aanleg + vernieuwing		B&O		Aanleg + vernieuwing		B&O		Aanleg + vernieuwing		B&O	
	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel	Vast	Variabel
Personenvervoer op Nederlands grondgebied																
Personenauto totaal	1672	97	1.693	13	1.239	113	273	17	1.348	70	224	15	4.259	280	2.191	45
- Personenauto benzine	1265	73	1.282	9,5	865	79	191	12	829	43	138	9,4	2.959	195	1.611	31
- Personenauto diesel	334	19	338	2,5	313	29	69	4,3	464	24	77	5,2	1.111	72	484	12
- Personenauto LPG	23	1,3	23	0,17	26	2,3	5,6	0,36	23	1,2	3,9	0,26	72	4,9	32	0,79
- Personenauto elektrisch	10	0,60	10	0,08	7,0	0,6	1,5	0,10	6,7	0,35	1,1	0,08	24	1,6	13	0,25
- Personenauto PHEV	40	2,3	40	0,30	27	2,5	6,0	0,38	26	1,4	4,4	0,30	93	6,2	51	0,98
Motorfiets	6,1	1,6	2,9	0,21	18	3,0	4,7	0,46	15	1,5	3,3	0,32	39	6,1	11	1,0
Bromfiets	29	7,4	14	0,98	54	5,2	11	1,6	-	-	-	-	82	13	25	2,6
Ov-bus totaal	253	260	7,7	17	168	142	2,6	10	37	26	0,66	1,8	457	429	11	29
- Ov-bus diesel	218	224	6,9	14	99	83	1,7	6,1	8,9	9,4	0,11	0,21	326	316	8,7	21
- Ov-bus elektrisch	8,9	9,2	0,28	0,59	4,1	3,4	0,07	0,25	0,36	0,39	0	0,01	13	13	0,36	0,85
Touringcar	26	27	0,57	1,7	65	56	0,81	4,1	28	16	0,55	1,6	118	99	1,9	7,3
Fiets totaal	169	8,9	19	3,2	158	11	29	4,9	-	-	-	-	326	20	48	8,1
- Gewone fiets	148	7,8	17	2,8	138	10	26	4,3	-	-	-	-	286	18	42	7,1
- Elektrische fiets	21	1,1	2,3	0,39	19	1,4	3,6	0,60	-	-	-	-	40	2,5	5,9	1,0
Goederenvervoer																
Bestelauto totaal	219	14	221	1,7	221	19	47	2,7	312	14	49	3,0	753	47	317	7,5
- Bestelauto diesel	219	14	221	1,7	221	19	47	2,7	312	14	49	3,0	752	47	316	7,5
- Bestelauto elektrisch	0,18	0,012	0,18	0,00	0,18	0,02	0,04	0,00	0,25	0,01	0,04	0,00	0,61	0,04	0,26	0,01
Vrachtauto totaal	175	161	13,8	10,0	554	346	35	25	841	267	84	33	1.569	774	133	68
- Trekker voor oplegger	120	114	7,8	7,0	433	277	26	20	659	267	68	28	1.212	658	101	55
- Vrachtauto <10 ton	1,7	0,53	0,60	0,05	2,6	0,4	0,46	0,038	4,5	0,00	0,62	0,04	8,8	0,91	1,7	0,13
- Vrachtauto 10-20 ton	15	9,4	3,2	0,7	18	5,7	2,4	0,44	39	0,00	5,2	1	73	15	11	1,7
- Vrachtauto >20 ton	37	36	2,2	2,3	100	63	6,2	4,6	138	0,00	11	4,34	276	99	19	11

Tabel 85 - Gemiddelde infrastructuurkosten wegverkeer (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto totaal	118	32	26	47
- <i>Personenauto benzine</i>	118	32	26	49
- <i>Personenauto diesel</i>	118	32	26	41
- <i>Personenauto LPG</i>	118	32	26	43
- <i>Personenauto elektrisch</i>	118	32	26	49
- <i>Personenauto PHEV</i>	118	32	26	49
Motorfiets	25	21	17	20
Bromfiets	26	82	-	43
Ov-bus totaal	139	74	18	78
- <i>Ov-bus diesel</i>	188	174	171	183
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	188	174	171	183
Touringcar	43	39	13	28
Fiets totaal	13	66	-	22
- <i>Gewone fiets</i>	13	66	-	22
- <i>Elektrische fiets</i>	13	66	-	22
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto totaal	156	50	40	62
- <i>Bestelauto diesel</i>	156	50	40	62
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	156	50	40	62
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto totaal	73	79	28	42
- <i>Trekker voor oplegger</i>	90	89	30	45
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	74	99	69	77
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	63	84	47	58
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	48	52	17	29

Tabel 86 - Marginale infrastructuurkosten wegverkeer (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto totaal	3,7	2,5	1,3	2,2
- <i>Personenauto benzine</i>	3,7	2,5	1,3	2,3
- <i>Personenauto diesel</i>	3,7	2,6	1,3	2,1
- <i>Personenauto LPG</i>	3,8	2,5	1,3	2,2
- <i>Personenauto elektrisch</i>	3,8	2,6	1,3	2,4
- <i>Personenauto PHEV</i>	3,8	2,6	1,3	2,4
Motorfiets	4,1	2,8	1,5	2,5
Bromfiets	4,2	7,8	-	5,3
Bus totaal	71,7	35,1	7,5	38,4
- <i>Ov-bus diesel</i>	96,7	81,9	88,8	92,1
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	96,7	81,9	88,8	92,1
Touringcar	22,4	18,6	4,9	13,1
Fiets totaal	0,8	5,3	-	1,5
- <i>Gewone fiets</i>	0,8	5,3	-	1,5
- <i>Elektrische fiets</i>	0,8	5,3	-	1,5
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto totaal	5,4	3,7	1,8	3,0
- <i>Bestelauto diesel</i>	5,4	3,7	1,8	3,0
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	5,4	3,7	1,8	3,0
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto totaal	34,7	30,5	6,9	13,9
- <i>Trekker voor oplegger</i>	43,7	35,0	8,8	15,9
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	14,8	11,9	0,6	7,0
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	22,2	19,4	0,6	9,7
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	23,5	20,3	0,5	7,9

B.2 Kosten van verkeersongevallen

Tabel 87 - Totale kosten van verkeersongevallen wegverkeer (mln. €)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Personenauto totaal	7.401	1.841	758	10.000
- <i>Personenauto benzine</i>	5.602	1.287	466	7.354
- <i>Personenauto diesel</i>	1.477	466	261	2.204
- <i>Personenauto LPG</i>	100	38	13	151
- <i>Personenauto elektrisch</i>	45	10	4	59
- <i>Personenauto PHEV</i>	177	41	15	232
Motorfiets	192	99	22	314
Bromfiets	1.019	107	-	1.127
Ov-bus totaal	167	24	-	192
- <i>Ov-bus diesel</i>	161	23	-	184
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	7	1	-	8
Touringcar	14	11	1	26
Fiets totaal	2.747	491	-	3.239
- <i>Gewone fiets</i>	2.413	431	-	2.844
- <i>Elektrische fiets</i>	334	60	-	394
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Bestelauto totaal	1.059	460	130	1.649
- <i>Bestelauto diesel</i>	1.058	460	130	1.647
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,86	0,37	0,11	1,34
Vrachtauto totaal	384	305	199	887
- <i>Trekker voor oplegger</i>	172	205	149	526
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	25	9	4	38
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	117	33	18	168
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	69	58	28	155

Tabel 88 - Gemiddelde kosten van verkeersongevallen wegverkeer (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto totaal	251	36	12	69
- <i>Personenauto benzine</i>	251	36	12	75
- <i>Personenauto diesel</i>	251	36	12	54
- <i>Personenauto LPG</i>	251	36	12	59
- <i>Personenauto elektrisch</i>	251	36	12	75
- <i>Personenauto PHEV</i>	251	36	12	75
Motorfiets	440	81	18	109
Bromfiets	517	123	-	396
Ov-bus totaal	65	21	1,8	50
- <i>Ov-bus diesel</i>	65	21	1,8	50
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	65	21	1,8	50
Touringcar	10	3,5	0,3	3,2
Fiets totaal	179	160	-	176
- <i>Gewone fiets</i>	179	160	-	176
- <i>Elektrische fiets</i>	179	160	-	176
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto totaal	361	79	14	91
- <i>Bestelauto diesel</i>	361	79	14	91
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	361	79	14	91
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto totaal	78	25	4,6	15
- <i>Trekker voor oplegger</i>	62	24	4,4	12
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	644	261	47	254
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	259	104	19	97
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	42	17	3,1	11

Tabel 89 - Totale kosten van verkeersongevallen wegverkeer (mln. €)

Voertuigcategorie	Dodelijke ongevallen	Zwaargewonden	Lichtgewonden	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Personenauto totaal	1.439	6.361	2.201	10.000
- <i>Personenauto benzine</i>	1.030	4.697	1.627	7.354
- <i>Personenauto diesel</i>	344	1.383	477	2.204
- <i>Personenauto LPG</i>	23	95	33	151
- <i>Personenauto elektrisch</i>	8,3	38	13	59
- <i>Personenauto PHEV</i>	33	148	51	232
Motorfiets	123	140	51	314
Bromfiets	49	767	311	1.127
Ov-bus totaal	81	81	30	192
- <i>Ov-bus diesel</i>	77	77	29	184
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	3,2	3,2	1,2	7,6
Touringcar	12	10,1	4,2	26
Fiets totaal	23	4,0	0,55	28
- <i>Gewone fiets</i>	0,088	0,015	0,0021	0,10
- <i>Elektrische fiets</i>	0,85	0,14	0,020	1,0
Personentrein totaal	22	3,8	0,53	27
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	1.439	6.361	2.201	10.000
- <i>Personentrein diesel</i>	1.030	4.697	1.627	7.354
- <i>Personentrein elektrisch</i>	344	1.383	477	2.204
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Bestelauto totaal	281	1.039	329	1.649
- <i>Bestelauto diesel</i>	281	1.038	329	1.647
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,23	0,84	0,27	1,3
Vrachtauto totaal	487	309	91	887
- <i>Trekker voor oplegger</i>	288	185	54	526
- <i>Vrachtauto <10 t</i>	21	13	4,0	38
- <i>Vrachtauto 10-20 t</i>	92	58	18	168
- <i>Vrachtauto >20 t</i>	86	53	15	155
Goederentrein totaal	1,0	0,18	0,025	1,2
- <i>Goederentrein diesel</i>	0,29	0,049	0,007	0,34
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	0,76	0,13	0,018	0,90
Binnenvaart	16	3,0	0,55	19
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)				
Zeevaart	18	5,2	0,98	24
Luchtvaart personenvervoer	10	0,64	0,026	11
Luchtvaart goederenvervoer	0,61	0,038	0,0015	0,65

B.3 Kosten van broeikasgasemissies

Tabel 90 - Totale kosten van broeikasgasemissies wegverkeer (mln. €)

CO ₂ -prijs	Stadswegen			Buitenwegen			Snelwegen			Totaal		
	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)												
Personenauto totaal	84	336	554	90	359	590	135	539	887	308	1.234	2.030
- <i>Personenauto benzine</i>	67	266	438	65	259	427	87	349	575	219	875	1.439
- <i>Personenauto diesel</i>	15	61	100	22	88	145	43	173	284	80	321	529
- <i>Personenauto LPG</i>	1,1	4,5	7,4	1,6	6,4	11	2,3	9,3	15	5,1	20	33
- <i>Personenauto elektrisch</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- <i>Personenauto PHEV</i>	1,3	5,0	8,3	1,3	5,1	8,4	1,8	7,3	12	4,4	17	29
Motorfiets	0,82	3,3	5,4	1,8	7,2	12	2,2	8,9	15	4,8	19	32
Bromfiets	2,2	8,8	15	1,0	3,9	6,5				3,2	13	21
Ov-bus totaal	5,3	21	35	1,5	6,0	10	0,11	0,45	0,7	6,9	28	45
- <i>Ov-bus diesel</i>	5,3	21	35	1,5	6,0	10	0,11	0,45	0,7	6,9	28	45
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Touringcar	0,40	1,6	2,6	0,69	2,7	4,5	0,63	2,5	4,2	1,7	6,9	11
Bestelauto op Nederlands grondgebied (mln. €)												
Bestelauto totaal	12	48	79	16	64	106	34	136	223	62	248	408
- <i>Bestelauto diesel</i>	12	48	79	16	64	106	34	136	223	62	248	408
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)												
Vrachtauto totaal	15	60	99	24	97	160	66	264	434	105	421	693
Trekker voor oplegger	7,9	32	52	16	66	108	49	196	323	73	294	483
- <i>Vrachtauto < 10 ton</i>	0,50	2,0	3,3	0,33	1,3	2,2	0,62	2,5	4,1	1,4	5,8	10
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	2,1	8,6	14	1,1	4,2	7,0	2,6	11	17	5,8	23	38
- <i>Vrachtauto > 20 ton</i>	4,6	18	30	6,4	26	42	14	54	90	25	99	162

Tabel 91 - Gemiddelde kosten van broeikasgassen wegverkeer (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

CO ₂ -prijs	Stadswegen			Buitenwegen			Snelwegen			Totaal		
	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden	Hoog	Laag	2-graden
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)												
Personenauto gemiddeld	2,9	11	19	1,8	7,0	12	2,1	8,4	14	2,1	8,5	14
- <i>Personenauto benzine</i>	3,0	12	20	1,8	7,2	12	2,2	8,9	15	2,2	9,0	15
- <i>Personenauto diesel</i>	2,6	10	17	1,7	6,8	11	2,0	7,8	13	2,0	7,9	13
- <i>Personenauto LPG</i>	2,8	11	19	1,5	6,1	10	2,1	8,4	14	2,0	7,9	13
- <i>Personenauto elektrisch</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- <i>Personenauto PHEV</i>	1,8	7,2	12	1,1	4,5	7,4	1,5	5,9	9,7	1,4	5,7	9,3
Motorfiets	1,9	7,5	12	1,5	5,8	9,6	1,9	7,4	12,2	1,7	6,8	11
Bromfiets	1,1	4,5	7,4	1,1	4,5	7,4	0,0	0,0	0,0	1,1	4,5	7,4
Ov-bus gemiddeld	1,5	5,9	9,7	0,5	2,0	3,3	0,2	0,8	1,3	0,7	2,9	4,8
- <i>Ov-bus diesel</i>	2,1	8,2	14	1,3	5,3	8,7	1,0	3,9	6,5	1,8	7,2	12
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	2,1	8,6	14	1,4	5,5	9,1	1,0	4,1	6,7	1,9	7,5	12
Touringcar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)												
Bestelauto gemiddeld	4,1	16	27	2,8	11	18	3,6	14	24	3,4	14	22
- <i>Bestelauto diesel</i>	4,1	16	27	2,8	11	18	3,6	14	24	3,4	14	22
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)												
Vrachtauto gemiddeld	3,1	12	20	2,0	8,0	13	1,5	6,1	10	1,7	6,9	11
- <i>Trekker voor oplegger</i>	2,8	11	19	1,9	7,7	13	1,5	5,8	10	1,6	6,5	11
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	13	51	84	9,4	37,5	62	8,2	33	54	9,7	39	64
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	4,7	19	31	3,4	13,5	22	2,8	11	18	3,4	14	22
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	2,8	11	18	1,9	7,7	13	1,5	6,1	10	1,8	7,1	12

B.4 Kosten van luchtvervuilende emissies

Tabel 92 - Totale kosten van luchtvervuilende emissies door wegverkeer (mln. €)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Personenauto totaal	188	254	404	846
- <i>Personenauto benzine</i>	108	130	147	385
- <i>Personenauto diesel</i>	75	118	250	442
- <i>Personenauto LPG</i>	3,8	5,3	6,8	16
- <i>Personenauto elektrisch</i>	0,10	0,13	0,15	0,38
- <i>Personenauto PHEV</i>	0,92	0,88	1,1	2,9
Motorfiets	2,3	8,1	14	25
Bromfiets	21	6,8	0,00	28
Ov-bus totaal	31	7,8	0,48	39
- <i>Ov-bus diesel</i>	31	7,7	0,48	39
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,03	0,01	0,00	0,05
Touringcar	2,7	4,2	3,3	10
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Bestelauto totaal	96	128	255	479
- <i>Bestelauto diesel</i>	96	128	255	479
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,00	0,00	0,01	0,01
Vrachtauto totaal	118	174	399	691
- <i>Trekker voor oplegger</i>	51	103	266	420
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	8,1	5,1	10	23
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	26	12	31	69
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	33	54	92	180

Tabel 93 - Gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies wegverkeer (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto gemiddeld	6,4	5,0	6,3	5,8
- <i>Personenauto benzine</i>	4,8	3,6	3,7	3,9
- <i>Personenauto diesel</i>	12,8	9,1	11,3	11
- <i>Personenauto LPG</i>	9,6	5,0	6,1	6,2
- <i>Personenauto elektrisch</i>	0,56	0,45	0,48	0,49
- <i>Personenauto PHEV</i>	1,3	0,78	0,90	0,95
Motorfiets	5,3	6,6	11,8	8,6
Bromfiets	10,9	7,8	-	9,9
Ov-bus gemiddeld	8,8	2,7	1,0	4,2
- <i>Ov-bus diesel</i>	12,2	6,9	4,3	10,3
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	12,6	7,1	4,4	11
Touringcar	0,34	0,28	0,30	0,32
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto gemiddeld	33	22	27	26
- <i>Bestelauto diesel</i>	33	22	27	26
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,80	0,64	0,69	0,69

Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Buitenwegen	Snelwegen	Totaal
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto gemiddeld	24	14	9,2	11
- <i>Trekker voor oplegger</i>	18	12	7,9	9,4
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	207	147	132,4	156
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	57	39	32	40
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	20	16	10	13

B.5 Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

Tabel 94 - Totale externe kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie in mln. €

Voertuigcategorie	Broeikasgasemissies			Luchtvervuilende emissies
	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs	
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Personenauto totaal	98	394	648	704
- <i>Personenauto benzine</i>	69	276	454	545
- <i>Personenauto diesel</i>	26	102	169	138
- <i>Personenauto LPG</i>	0,52	2,1	3,4	6,8
- <i>Personenauto elektrisch</i>	1,0	3,8	6,3	1,1
- <i>Personenauto PHEV</i>	2,4	9,5	16	12
Motorfiets	1,5	6,1	10	12
Bromfiets	0,95	3,8	6	7,5
Ov-bus totaal	2,5	10	16	12
- <i>Ov-bus diesel</i>	2,2	8,7	14	12
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,30	1,2	2,0	0,35
Touringcar	0,55	2,2	3,6	3,0
Fiets totaal	0,088	0,35	0,58	0,10
- <i>Fiets regulier</i>	-	-	-	-
- <i>Fiets elektrisch</i>	0,088	0,35	0,58	0,10
Personentrein totaal	12	48	79	15
<i>Hoge snelheidstrein</i>	0,66	2,7	4,4	0,76
- <i>Personentrein diesel</i>	0,22	0,9	1,4	1,2
- <i>Personentrein elektrisch</i>	11	45	73	13
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. €)				
Bestelauto totaal	20	79	130	107
- <i>Bestelauto diesel</i>	20	79	130	107
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,043	0,17	0,28	0,049
Vrachtauto totaal	36	143	236	200
- <i>Trekker voor oplegger</i>	23	93	153	126
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	0,46	1,8	3,0	2,5
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	1,9	7,4	12	10
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	7,8	31	51	42
Goederentrein totaal	1,1	4,3	7,1	1,9
- <i>Goederentrein diesel</i>	0,16	0,65	1,06	0,87
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	0,92	3,7	6,0	1,0
Binnenvaart	9,4	38	62	51
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. €)				
Zeevaart	40	162	266	262
Luchtvaart personenvervoer	40	158	260	269
Luchtvaart goederenvervoer	14	55	90	93

Tabel 95 - Gemiddelde externe kosten door emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm, tkm of vkm)

Voertuigcategorie	Broeikasgassen			Luchtvervuilende stoffen
	Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs	
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 rkm)				
Personenauto gemiddeld	0,68	2,7	4,5	4,9
- <i>Personenauto benzine</i>	0,71	2,8	4,7	5,6
- <i>Personenauto diesel</i>	0,63	2,5	4,1	3,4
- <i>Personenauto LPG</i>	0,20	0,81	1,3	2,7
- <i>Personenauto elektrisch</i>	1,2	4,9	8,0	1,4
- <i>Personenauto PHEV</i>	0,77	3,1	5,1	3,9
Motorfiets	0,53	2,1	3,5	4,2
Bromfiets	0,33	1,3	2,2	2,6
Ov-bus gemiddeld	0,25	1,0	1,7	1,3
- <i>Ov-bus diesel</i>	0,65	2,6	4,3	3,2
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,60	2,4	3,9	3,2
Touringcar	2,0	8,1	13,3	2,3
Fiets gemiddeld	0,07	0,27	0,4	0,36
- <i>Fiets regulier</i>	0,0048	0,019	0,032	0,0055
- <i>Fiets elektrisch</i>	-	-	-	-
Personentrein gemiddeld	0,039	0,16	0,26	0,045
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,61	2,5	4,0	0,75
- <i>Personentrein diesel</i>	0,46	1,8	3,0	0,52
- <i>Personentrein elektrisch</i>	0,33	1,3	2,2	1,8
Bestelauto op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 vkm)				
Bestelauto gemiddeld	1,1	4,4	7,2	5,9
- <i>Bestelauto diesel</i>	1,1	4,3	7,2	5,9
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	2,9	12	19	3,3
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (€ per 1.000 tkm)				
Vrachtauto gemiddeld	0,59	2,4	3,9	3,3
- <i>Trekker voor oplegger</i>	0,52	2,1	3,4	2,8
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	3,1	12	20	17
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	1,1	4,3	7,1	5,8
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	0,56	2,2	3,7	3,0
Goederentrein gemiddeld	0,15	0,61	1,01	0,27
- <i>Goederentrein diesel</i>	0,084	0,34	0,55	0,45
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	0,18	0,72	1,2	0,21
Binnenvaart	0,20	0,80	1,3	1,1

Tabel 96 - Gemiddelde externe kosten door emissies van brandstofproductie voor internationale lucht- en zeevaart

Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland in mln. €	Eenheid	Klimaatemissies			Luchtvervuilende stoffen
		Lage CO ₂ -prijs	Hoge CO ₂ -prijs	2-graden CO ₂ -prijs	
Zeevaart	€/1.000 tkm	0,020	0,080	0,13	0,13
Luchtvaart personenvervoer	€/1.000 rkm	0,36	1,5	2,4	2,5
Luchtvaart goederenvervoer	€/1.000 tkm	2,0	7,8	12,9	13,3

C Overzicht fysieke effecten

C.1 Inleiding

In deze bijlage presenteren we de data over de fysieke effecten die ten grondslag liggen aan de externe kosten berekeningen zoals die in de verschillende hoofdstukken zijn gepresenteerd. We doen dit achtereenvolgens voor ongevallen, luchtvervuilende emissies, broeikasgasemissies, emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie en geluid.

C.2 Ongevallen

Voor de bepaling van de daadwerkelijke slachtoffers (dodelijk, ernstig gewond en lichtgewond) van verkeersongevallen is voor het wegverkeer gebruikgemaakt van gedetailleerde ongevallenstatistieken van Rijkswaterstaat. Hierbij hebben we allereerst een correctie uitgevoerd voor het feit dat niet alle verkeersslachtoffers worden geregistreerd. Vooral bij de licht- en zwaargewonde slachtoffers is er sprake van onderregistratie, doordat er niet altijd politie aanwezig is geweest bij de ongevallen waar deze slachtoffers vallen. Met behulp van specifieke correctiefactoren is hiervoor gecorrigeerd. De correctiefactoren zijn bepaald op basis van de werkelijke aantallen die SWOV presenteert.

Vervolgens is voor de verschillende wegtypen het aantal slachtoffers bepaald dat kan worden toegewezen aan de verschillende vervoerswijzen (volgens de toedelingsmethodiek op basis van intrinsiek risico, zie Paragraaf 4.3.1). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen meerzijdige ongevallen (tussen twee of meer voertuigen) en enkelzijdige ongevallen (botsing met een object). In de ongevallenstatistieken wordt geen onderscheid gemaakt naar de aandrijving van een voertuig. Zo wordt er bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt tussen benzine, diesel en elektrische auto's. Deze onderverdeling hebben we daarom gemaakt op basis van voertuigkilometers, waarmee we impliciet aannemen dat het ongevalsrisico niet afhankelijk is van het type aandrijving van een voertuig. Zoals blijkt uit volgende tekstbox lijkt deze aanname ook voor elektrische auto's plausibel.

Tekstbox 14 - Ongevalsrisico van elektrische auto's

Er zijn mogelijk twee verschillen tussen elektrische en conventionele auto's die relevant zijn met betrekking tot de kosten van verkeersongevallen:

- elektrische auto's zouden veiliger of onveiliger gebouwd kunnen zijn, waardoor het risico of letsel bij ongevallen waarbij een elektrische auto betrokken is kleiner dan wel groter zou kunnen zijn;
- een elektromotor produceert minder geluid, waardoor elektrische auto's slechter waar te nemen zijn door voetgangers en andere kwetsbare verkeersdeelnemers.

Volgens onderzoek van TNO hebben elektrische en hybride voertuigen een zeer hoog veiligheidsniveau dat vergelijkbaar is met conventionele brandstofvoertuigen (TNO, 2013). De risico's die de elektrificatie van de aandrijflijn met zich meebrengt, zoals kortsluiting, hoge spanning op delen van het voertuig en de botsbestendigheid van het accupakket zijn onderzocht, ingedamd en gekeurd (TNO, 2013). Daarnaast zijn er strenge veiligheidseisen voor elektrische voertuigen (TNO, 2014, RVO, 2014), zoals:

- uniforme voorschriften voor de goedkeuring (VN/ECE reglement nr. 1.000);
- testen en eisen met betrekking tot de elektromagnetische compatibiliteit (EMC, richtlijn 72/245/EEG en 97/24/EG) (EU, 1972, 1997);
- testen en eisen met betrekking tot het weggedrag;
- eisen aan de bekabeling, voorziening uitschakeling hoogspanning en plaatsing van het accupakket.

Meerdere (hybride-)elektrische voertuigen hebben aanvullend op de minimum eisen de ‘New Car Assessment Program’ (NCAP) doorlopen. De NCAP is een gezamenlijk initiatief van Europese consumenten organisaties, waarbij een voertuig verschillende type botsingen (bijvoorbeeld frontaal/zijkant/lantaarnpaal) van verschillende snelheden meemaakt (onder anderen 29 km/h, 50 km/h en 64 km/h). Daarbij zijn geen problemen opgetreden in de elektrische systemen of bij de accu (European Road Safety Observatory, 2018). Ook hebben verschillende elektrische personenauto’s de hoogst mogelijke veiligheidsonderscheiding (“Top Safety Pick +”) in de VS ontvangen (The Verge, 2019). Er lijkt daarom geen bewijs te zijn dat elektrische voertuigen onveilig(er) (of veiliger) gebouwd zijn dan conventionele voertuigen.

Wat betreft het geluid van de motor is er geen eenduidige conclusie te trekken uit de literatuur. Aan de ene kant beargumenteren sommige auteurs dat het aantal ongelukken met een lage snelheid (<25 km/h) toe zou kunnen nemen doordat elektrische voertuigen met deze lage snelheden stiller zijn dan voertuigen met een verbrandingsmotor (Stelling-Kończak, A. et al., 2015). Bij hogere snelheden (>25 km/h) is het geluid van de banden echter dominant, waardoor elektrische voertuigen bij hogere snelheden niet stiller zijn dan voertuigen met een verbrandingsmotor (Moller Iversen, L. et al., 2013, Pallas, M. A. et al., 2015). Aan de andere kant beargumenteren andere auteurs dat elektrische voertuigen gemiddeld met een lagere maximum snelheid rijden dan voertuigen met een verbrandingsmotor (om de accu te sparen), wat de ernst van ongelukken met hoge snelheden vermindert (Jochem, P. et al., 2016).

In deze studie gaan we er daarom vanuit dat elektrisch personenauto’s niet onveilig(er) zijn dan personenauto’s met een verbrandingsmotor. Dit is ook de lijn die aangehouden wordt in (Jochem, P. et al., 2016).

Voor spoorvervoer, binnenvaart, zeevaart en de luchtvaart zijn er door het relatief lage aantal slachtoffers grote verschillen in het aantal verkeersslachtoffers tussen verschillende jaren. Daarom is ervoor gekozen om het aantal slachtoffers te modelleren op basis van een gemiddeld ongevalsrisico (gebaseerd op een reeks van jaren). Ook zorgt deze methode ervoor dat ongevallen op het internationale deel van de lucht- en zeevaart kunnen worden meegenomen. De ongevallen van spoorvervoer zijn verkregen door de gemiddelde ongevalsrisico te bepalen uit jaarlijkse rapportages Spoorveiligheid (2015 tot 2019) die ILT uitbrengt. Hierbij zijn de ongevallen op overgangen niet meegenomen omdat deze ongevallen worden toegewezen aan de wegvoertuigen. Voor de binnenvaart is de ongevalsrisico bepaald met behulp van data van 2014 tot 2018 die is verkregen via persoonlijke communicatie met Rijkswaterstaat. De ongevalsrisico voor zeevaart is bepaald op basis van een dataset aangeleverd door de EMSA. De ongevalsrisico voor de luchtvaart is tenslotte gebaseerd op het aantal slachtoffers gerapporteerd door Eurostat. Het totale aantal slachtoffers per vervoerswijze is weergegeven in Tabel 97.

Tabel 97 - Aantal verkeersslachtoffers toegewezen aan vervoerswijzen in 2018

Voertuigcategorie	Dodelijk	Zwaargewond	lichtgewond
Personenvervoer op Nederlands grondgebied			
Personenauto totaal	353	8.929	80.821
- Personenauto benzine	252	6.562	59.544
- Personenauto diesel	85	1.971	17.705
- Personenauto LPG	6	136	1.215
- Personenauto elektrisch	2	53	479
- Personenauto PHEV	8	207	1.878
Motorfiets	33	610	3.646
Bromfiets	26	2.643	18.433
Ov-bus totaal	13	107	1.097
- Ov-bus diesel	13	103	1.054

Voertuigcategorie	Dodelijk	Zwaargewond	lichtgewicht
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	0,5	4,2	43
Touringcar	2	17	206
Fiets totaal	46	7.484	28.006
- <i>Gewone fiets</i>	40	6.573	24.597
- <i>Elektrische fiets</i>	6	911	3.409
Personentrein totaal	3,8	5,1	19
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	0,014	0,019	0,07
- <i>Personentrein diesel</i>	0,14	0,19	0,69
- <i>Personentrein elektrisch</i>	3,7	4,9	18
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied			
Bestelauto totaal	54	1.401	11.651
- <i>Bestelauto diesel</i>	54	1.400	11.641
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	0,04	1,14	9
Vrachtauto totaal	82	416	3.218
- <i>Trekker voor oplegger</i>	49	248	1.891
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	3,5	18	140
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	15	79	646
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	15	72	541
Goederentrein totaal	0,17	0,23	0,84
- <i>Goederentrein diesel</i>	0,05	0,06	0,23
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	0,12	0,17	0,61
Binnenvaart	2,6	3,8	19
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland			
Zeevaart	2,9	6,7	33
Luchtvaart personenvervoer	1,7	0,81	0,89
Luchtvaart goederenvervoer	0,10	0,048	0,052

C.3 Broeikasgasemissies

In Tabel 98 is een overzicht gegeven van de omvang van de broeikasgasemissies voor de verschillende vervoerswijzen in 2018.

Tabel 98 - Omvang broeikasgasemissies in 2018 (mln. kg)

Voertuigcategorie	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq.
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Personenauto totaal	18.863	1,6	0,3	18.991
- <i>Personenauto benzine</i>	13.381	1,6	0,15	13.464
- <i>Personenauto diesel</i>	4.905	0,025	0,16	4.947
- <i>Personenauto LPG</i>	311	0,014	0,0047	312
- <i>Personenauto elektrisch</i>	-	-	-	-
- <i>Personenauto PHEV</i>	267	0,032	0,003	268
Motorfiets	294	0,11	0,005	298
Bromfiets	183	0,43	0,003	196
Ov-bus totaal	418	0,074	0,015	424
- <i>Ov-bus diesel</i>	418	0,074	0,015	424
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	-	-	-	-
Touringcar	105	0,002	0,005	106

Voertuigcategorie	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq.
Personentrein totaal	42	0,003	0,0003	42
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	-	-	-	-
- <i>Personentrein diesel</i>	42	0,0025	0,0003	42
- <i>Personentrein elektrisch</i>	-	-	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Bestelauto totaal	3.788	0,044	0,094	3.814
- <i>Bestelauto diesel</i>	3.788	0,044	0,094	3.814
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	-	-	-	-
Vrachtauto totaal	6.388	0,037	0,364	6.486
- <i>Trekker voor oplegger</i>	4.451	0,025	0,258	4.520
- <i>Vrachtauto <10 t</i>	88	0,0006	0,0045	89
- <i>Vrachtauto 10-20 t</i>	355	0,0024	0,0182	360
- <i>Vrachtauto >20 t</i>	1.495	0,0091	0,0835	1.517
Goederentrein totaal	31	0,0005	0,0002	31
- <i>Goederentrein diesel</i>	31	0,0005	0,0002	31
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	-	-	-	-
Binnenvaart	1.807	0,050	0,046	1.820
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. kg)				
Zeevaart	10.460	2,2	0,26	10.592
Luchtvaart personenvervoer	8.710	0,15	0,0000	8.714
Luchtvaart goederenvervoer	3.005	0,05	0,0000	3.007

Bronnen: Emissieregistratie, EU-MRV en Eurocontrol SET. Voor spoorvervoer, luchtvaart en zeevaart zie Bijlagen E, E en G voor een nadere toelichting.

C.4 Luchtvervuilende emissies

In Tabel 99 is een overzicht gegeven van de omvang van de luchtvervuilende emissies voor de verschillende vervoerswijzen in 2018.

Tabel 99 - Omvang luchtvervuilende emissies per vervoerswijze 2018 (mln. kg)

Voertuigcategorie	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Personenauto totaal	29	0,12	0,4	2,9
- <i>Personenauto benzine</i>	13	0,08	0,17	1,9
- <i>Personenauto diesel</i>	16	0,03	0,26	0,8
- <i>Personenauto LPG</i>	0,5	-	0,010	0,05
- <i>Personenauto elektrisch</i>	-	-	-	0,02
- <i>Personenauto PHEV</i>	0,03	0,0017	0,005	0,06
Motorfiets	0,76	0,004	0,04	0,026
Bromfiets	0,33	0,0025	0,150	0,008
Ov-bus totaal	-	-	-	-
- <i>Ov-bus diesel</i>	1,4	0,002	0,023	0,044
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	-	-	-	0,0018
Touringcar	0,36	0,0007	0,0084	0,015
Personentrein totaal	0,99	0,0003	0,13	0,26
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	-	-	0,005	0,014

Voertuigcategorie	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Bestelauto totaal	17	0,026	0,399	0,51
- <i>Bestelauto diesel</i>	17	0,026	0,399	0,51
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	-	-	-	0,0004
Vrachtauto totaal	26	0,037	0,21	0,85
- <i>Trekker voor oplegger</i>	16	0,026	0,11	0,58
- <i>Vrachtauto <10 t</i>	0,9	0,0005	0,009	0,023
- <i>Vrachtauto 10-20 t</i>	2,5	0,0020	0,030	0,11
- <i>Vrachtauto >20 t</i>	6,8	0,009	0,06	0,14
Goederentrein totaal	0,7	0,0002	0,02	0,03
- <i>Goederentrein diesel</i>	0,7	0,0002	0,01	0,01
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	-	-	0,01	0,02
Binnenvaart	24	0,01	0,68	-
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. kg)				
Zeevaart	240	275	6,2	-
Luchtvaart personenvervoer	42	2,2	0,33	0,046
Luchtvaart goederenvervoer	14	0,79	0,11	0,0027

Bronnen: Emissieregistratie en EEA 'Aviation emissions calculator'; Voor spoorvervoer, luchtvaart en zeevaart zie Bijlagen E, F en G voor een nadere toelichting.

C.5 Emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

De emissiefactoren van de productie van de verschillende brandstoffen en elektriciteit zijn weergegeven in Tabel 100. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 7 zijn de emissiefactoren van de productie van elektriciteit gebaseerd op een brandstofmix exclusief kernenergie.

Tabel 100 - Emissiefactoren voor de productie van de verschillende brandstoffen en elektriciteit(kg/kg brandstof; kg/kWh voor elektriciteit)

	CO ₂	NO _x	PM _{2,5}	SO ₂
Benzine	0,9211	0,0021	0,0003	0,0055
Diesel	0,9489	0,0014	0,0002	0,0040
LPG	0,3112	0,0020	0,0001	0,0018
Mix HFO/MGO (50/50)	0,7606	0,0013	0,0001	0,0040
Kerosine	0,8700	0,0018	0,0002	0,0043
Elektriciteit	0,486	0,00034	0,00002	0,00015

Bron: CE Delft (2020d) en CE Delft (2020a).

Het totale energieverbruik per vervoerwijze is in deze studie bepaald door totale CO₂-emissies per vervoerwijze terug te rekenen naar energieverbruik per vervoerwijze met behulp van kentallen voor de gemiddelde CO₂-inhoud van brandstoffen/elektriciteit. Het resulterende totale energiegebruik per vervoerwijze is weergegeven in Tabel 101.

Tabel 101 - Totaal energieverbruik in 2018 voor de verschillende vervoerswijzen

Voertuigcategorie	mln. kg brandstof	mln. kWh elektriciteit
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)		
Personenauto totaal	6.467	247
Personenauto benzine	4.610	-
Personenauto diesel	1.662	-
Personenauto LPG	103	-
Personenauto elektrisch	-	121
Personenauto PHEV	92	127
Motorfiets	101	-
Bromfiets	63	-
Ov-bus totaal	141	39
Ov-bus diesel	141	-
Ov-bus elektrisch	-	39
Touringcar	35	-
Fiets totaal	-	11
Gewone fiets	-	-
Elektrische fiets	-	11
Personentrein totaal	14	1.495
Hoge snelheidstrein	-	84
Personentrein diesel	14	-
Personentrein elektrisch	-	1.411
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)		
Bestelauto totaal	1.283	5,5
Bestelauto diesel	1.283	-
Bestelauto elektrisch	-	5,5
Vrachtauto totaal	2.164	-
Trekker voor oplegger	1.508	-
Vrachtauto <10 ton	30	-
Vrachtauto 10-20 ton	120	-
Vrachtauto >20 ton	506	-
Goederentrein totaal	10	116
Goederentrein diesel	10	-
Goederentrein elektrisch	-	116
Binnenvaart	612	-
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. kg)		
Zeevaart	3.277	-
Luchtvaart personenvervoer	2.800	-
Luchtvaart goederenvervoer	966	-

Bronnen elektriciteit: Aangeleverde data door PBL, NS jaarverslag 2018, CROW/KPVV (2020) en (2020b).

Door de data over het totale energieverbruik en de emissiefactoren per brandstoftype te combineren vinden we de omvang van de emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie.

Tabel 102 - Omvang emissies van brandstof en elektriciteitsproductie (x1.000 kg)

Voertuigcategorie	CO ₂	NO _x	PM _{2,5}	SO ₂
Personenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Personenauto totaal	6.059.985	12.339	1.469	32.956
- <i>Personenauto benzine</i>	4.246.345	9.511	1.173	25.513
- <i>Personenauto diesel</i>	1.576.722	2.344	254	6.716
- <i>Personenauto LPG</i>	32.130	209	15	182
- <i>Personenauto elektrisch</i>	58.640	42	2,0	18
- <i>Personenauto PHEV</i>	146.149	233	25	527
Motorfiets	93.326	209	26	561
Bromfiets	58.193	130	16	350
Ov-bus totaal	153.014	213	22	577
- <i>Ov-bus diesel</i>	134.247	200	22	572
- <i>Ov-bus elektrisch</i>	18.768	13	0,64	5,6
Touringcar	33.598	50	5,4	143
Fiets totaal	5.440	3,9	0,18	1,6
- <i>Gewone fiets</i>	-	-	-	-
- <i>Elektrische fiets</i>	5.440	3,9	0,18	1,6
Personentrein totaal	739.555	534	27	275
- <i>Hoge snelheidstrein</i>	40.898	29	1,4	12
- <i>Personentrein diesel</i>	13.501	20	2,2	58
- <i>Personentrein elektrisch</i>	685.156	485	23	205
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied (mln. kg)				
Bestelauto totaal	1.220.228	1.812	196	5.187
- <i>Bestelauto diesel</i>	1.217.573	1.810	196	5.186
- <i>Bestelauto elektrisch</i>	2.655	1,9	0,090	0,79
Vrachtauto totaal	2.205.067	3.392	373	9.657
- <i>Trekker voor oplegger</i>	1.430.812	2.127	231	6.095
- <i>Vrachtauto <10 ton</i>	28.175	42	4,5	120
- <i>Vrachtauto 10-20 ton</i>	114.091	170	18	486
- <i>Vrachtauto >20 ton</i>	480.472	714	77	2.047
Goederentrein totaal	66.447	55	3,5	59
- <i>Goederentrein diesel</i>	9.955	15	1,6	42
- <i>Goederentrein elektrisch</i>	56.492	40	1,9	17
Binnenvaart	580.775	863	94	2.474
Internationale lucht- en zeevaart toegewezen aan Nederland (mln. kg)				
Zeevaart	2.492.550	4.297	438	13.071
Luchtvaart personenvervoer	2.436.379	4.946	627	12.052
Luchtvaart goederenvervoer	840.573	1.706	216	4.158

C.6 Geluid

Voor de bepaling van de totale en gemiddelde kosten van geluid is een inschatting gemaakt van het aantal geluidbelaste mensen per vervoerswijze. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen zes geluidsklassen: 50-54 dB, 55-59 dB, 60-64 dB, 65-69 dB, 70-74 dB en \geq 75 dB.

Voor het wegverkeer is gebruikgemaakt van GIS-bestanden van de geluidskarten zoals die door RIVM in de Atlas Leefomgeving worden getoond. Deze karten geven de hoeveelheid geluid weer, gemiddeld over een jaar, op een resolutie van 10x10 meter. Daarbij zijn er karten voor gemeentelijke, provinciale, rijks- en alle wegen. Door de informatie uit deze

GIS-bestanden te combineren met GIS-bestanden van het CBS over de verdeling van het aantal woningen over Nederland (wederom op een resolutie van 10x10 meter) kan voor elk wegtype het aantal woningen per geluidsklasse bepaald worden. Tot slot is op basis van CBS gegevens het gemiddeld aantal bewoners per woning in Nederland bepaald, met behulp waarvan vervolgens het aantal geluidbelaste mensen per geluidsklasse is berekend.

Bij toepassing van de bovenstaande methodiek leidt de som van het aantal geluidbelaste mensen per wegtype niet tot hetzelfde totaal als het totale aantal geluidbelaste mensen dat is berekend op basis van de data voor alle wegen. De reden hiervoor is dat op sommige plekken in Nederland er geluid is van verschillende typen wegen. Om deze dubbeltellingen uit de berekeningen te halen, zijn we voor de totalen uitgegaan van de data voor alle wegen. Vervolgens hebben we deze totalen ‘verdeeld’ over de verschillende wegtypen op basis van het aandeel van elk specifiek wegtype in de som van het aantal geluidbelaste mensen voor alle wegtypen (bepaald op basis van de data die per wegtype beschikbaar was).

De aantallen geluidbelaste mensen als gevolg van het wegverkeer zijn weergegeven in Tabel 103.

Tabel 103 - Aantal geluidbelaste mensen als gevolg van het wegverkeer in 2018

Geluidsklasse (Lden)	Gemeentelijke wegen	Provinciale wegen	Rijkswegen	Alle wegen
50-54 dB	4.400.927	648.689	393.946	5.443.562
55-59 dB	2.522.321	254.470	222.574	2.999.366
60-64 dB	1.638.964	85.629	175.500	1.900.093
65-69 dB	365.903	15.158	45.903	426.964
70-74 dB	44.834	3.876	8.506	57.216
≥ 75 dB	1.106	75	77	1.258

Bron: Atlas Leefomgeving , bewerking door CE Delft.

Voor spoorvervoer is het aantal geluidbelaste mensen bepaald op basis van I&M (2018), waarin het aantal geluidbelaste mensen boven de 55 dB worden gegeven voor 2016. Het aantal geluidbelaste mensen in de categorie 50-54 dB hebben we ingeschat door aan te nemen dat het aandeel van deze categorie in het totale aantal geluidbelaste mensen gelijk is als in CE Delft & VU (2014b). In Tabel 104 staan de resultaten voor spoorvervoer.

Tabel 104 - Aantal geluidbelaste mensen als gevolg van het spoorvervoer in 2018

Geluidsklasse (Lden)	Totaal spoorvervoer
50-54 dB	94.924
55-59 dB	52.300
60-64 dB	28.400
65-69 dB	9.000
70-74 dB	800
≥ 75 dB	-

Voor de luchtvaart is het aantal geluidbelaste mensen rondom Schiphol bepaald op basis van I&M (2017), waarin het aantal geluidbelaste mensen boven de 55 dB worden gegeven voor 2016. Het aantal geluidbelaste mensen in de categorie 50-54 dB hebben we ingeschat door aan te nemen dat het aandeel van deze categorie in het totale aantal geluidbelaste mensen

gelijk is als in CE Delft & VU (2014b). Tot slot is een kleine correctie gemaakt voor de veranderingen tussen 2016 en 2018. Voor de regionale luchthavens was ten opzichte van CE Delft & VU (2014b) geen nieuwe data beschikbaar over de geluidbelasting voor de omgeving. We hebben daarom de getallen uit de 2014 studie geschaald op basis van de ontwikkelingen op Schiphol en de ontwikkelingen in het aantal vluchten op de regionale luchthavens.

De resultaten van bovenstaande analyses zijn weergegeven in Tabel 105.

Tabel 105 - Aantal geluidbelaste mensen als gevolg van het vliegverkeer in 2018

Geluidsklasse (Lden)	Schiphol	Regionale luchthavens	Totaal
50-54 dB	238.050	20.466	258.516
55-59 dB	44.914	4.350	49.264
60-64 dB	3.331	43	3.374
65-69 dB	505	13	518
70-74 dB	-	-	-
≥ 75 dB	-	-	-

Bronnen: I&M (2017), CE Delft & VU (2014b) ; bewerking door CE Delft.

D Alternatieve presentatievarianten gemiddelde kosten

D.1 Gemiddelde kosten per voertuigkilometer

In de hoofdresultaten worden de gemiddelde kosten gepresenteerd ten opzichte van de reizigers- of tonkilometers (bestelauto's uitgezonderd). De gemiddelde kosten ten opzichte van de voertuigkilometers zijn echter ook relevant. Tabel 106 geeft voor alle kostenposten behalve de congestiekosten en de gezondheidsbaten van fietsen een overzicht van de gemiddelde kosten per duizend voertuigkilometers.

De binnenvaart is niet meegenomen in deze tabel, omdat het aantal voertuigkilometers van de binnenvaart op Nederlands grondgebied in 2018 niet bekend is. Ook is de voertuigcategorie fiets is niet meegenomen in deze tabel, aangezien de gemiddelde kosten per reizigerskilometer in het geval van fietsen gelijk zijn aan de gemiddelde kosten per voertuigkilometer.

De gemiddelde kosten per voertuigkilometer van congestie op hoofdwegen en op stads-wegen is weergegeven in Tabel 112. In deze tabel is het onderscheid tussen de brandstof-typen niet opgenomen, omdat dit geen invloed heeft op de gemiddelde congestiekosten.

Tabel 106 - Gemiddelde kosten per voertuigkilometer (€/1.000 vkm)

Voertuigcategorie	Infra	Ongevallen	Klimaat			Lucht- vervuiling	Brandstof- & elektriciteitsproductie			Geluid
			Laag	Hoog	2-graden		Laag	Hoog	2-graden	
Personenvervoer op Nederlands grondgebied										
Personenauto gemiddeld	61	91	2,8	11	18	7,7	7,3	10	12	6,2
- Personenauto benzine	65	99	2,9	12	19	5,2	8,3	11	13	6,8
- Personenauto diesel	54	71	2,6	10	17	14	5	7,7	10	4,9
- Personenauto LPG	56	77	2,6	10	17	8,1	3,75	4,5	5,2	5,3
- Personenauto elektrisch	65	99	-	-	-	0,64	3,4	8,2	12	3,1
- Personenauto PHEV	65	99	1,9	7,4	12	1,2	6,1	9,2	12	3,7
Motorfiets	23	126	1,9	7,8	13	10	5,4	7,2	8,8	54
Bromfiets	47	436	1,2	4,9	8,1	11	3,3	4,4	5,3	159
Ov-bus gemiddeld	1.399	383	14	55	91	79	29	44	57	150
- Ov-bus diesel	1.399	383	14	57	94	82	29	43	54	155
- Ov-bus elektrisch	1.399	383	-	-	-	2,5	33	80	120	46
Touringcar	1.351	155	10	41	67	61	21	31	39	42
Personentrein gemiddeld	21.731	176	4,5	18	30	240	175	411	614	160
- Hoge snelheidstrein	526.371	176	-	-	-	447	1.230	2.952	4.435	160
- Personentrein diesel	14.197	176	46	185	304	1.847	95	139	177	160
- Personentrein elektrisch	18.277	183	-	-	-	63	174	419	629	160

Voertuigcategorie	Infra	Ongevallen	Klimaat			Lucht- vervuiling	Brandstof- & elektriciteitsproductie			Geluid
			Laag	Hoog	2-graden		Laag	Hoog	2-graden	
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied										
Bestelauto gemiddeld	62	91	3,4	14	22	26	7	10,2	13	6,4
- Bestelauto diesel	62	91	3,4	14	22	26	7,0	10	13	6,4
- Bestelauto elektrisch	62	91	-	-	-	0,69	6,2	15	23	3,8
Vrachtauto gemiddeld	341	119	14	56	93	93	32	46	58	42
- Trekker-oplegger	385	100	14	56	92	80	28	42	53	33
- Vrachtauto <10 ton	62	203	7,7	31	51	124	16	23	29	63
- Vrachtauto 10-20 ton	116	194	6,7	27	44	79	14	20	26	86
- Vrachtauto >20 ton	353	135	21	86	141	157	44	64	82	48
Goederentrein gemiddeld	65.419	134	54	217	357	2.199	323	671	971	639
- Goederentrein diesel	50.496	130	192	769	1.266	7.477	395	580	740	639
- Goederentrein elektrisch	71.276	135	-	-	-	127	294	706	1.061	639
Internationale vervoerswijzen van en naar Nederland										
Zeevaart	11.338	531	3.810	15.242	25.085	62.865	6.707	9.397	11.713	na*
Luchtvaart personen	2.020	23	509	2.037	3.352	252	653	904	1.121	84
luchtvaart goederen	1.008	6,6	836	3.343	5.503	352	1.072	1.485	1.840	52

* Voor deze vervoerswijze is geen informatie beschikbaar over de totale geluidbelasting.

Tabel 107 - Gemiddelde congestiekosten per voertuigkilometer voor hoofdwegen en stadswegen(€/1.000 vkm)

Voertuigcategorie	Congestie hoofdwegen	Congestie stadswegen
Personenvervoer op Nederlands grondgebied		
Personenauto	45	284
Motorfiets	23	81
Bromfiets		516
Ov-bus	91	2.063
Touringcar	91	366
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied		
Bestelauto	54	229
Vrachtauto gemiddeld	197	392
Trekker-oplegger	213	341
Vrachtauto <10 ton	77	510
Vrachtauto 10-20 ton	118	797
Vrachtauto >20 ton	177	326

D.2 Gemiddelde kosten lucht- en zeevaart per LTO en call

De gemiddelde externe en infrastructuurkosten voor per LTO (luchtvaart) en per call (zeevaart) zijn weergegeven in Tabel 108.

Tabel 108 - Gemiddelde externe en infrastructuurkosten voor de luchtvaart (in €/LTO) en de zeevaart (in €/call)

Voertuigcategorie	Infra	Klimaat	Lucht-	Brandstof- en	Geluid
-------------------	-------	---------	--------	---------------	--------



		Onge- vallen				vervuiling	elektriciteitsproductie			
			Laag	Hoog	2-graden		Laag	Hoog	2-graden	
Zeevaart	14.320	670	4.813	19.251	31.682	79.398	8.471	11.869	14.794	na*
Luchtvaart personen	1.841	21	464	1.857	3.055	230	595	824	1.022	77
luchtvaart goederen	3.266	21	2.709	10.837	17.835	1.140	3.475	4.812	5.963	168

D.3 Gemiddelde kosten per liter/kWh

Tabel 109 geeft de gemiddelde externe en infrastructuurkosten per liter brandstof of per kWh elektriciteit weer voor de verschillende vervoerswijzen.

Tabel 109 - Gemiddelde externe en infrastructuurkosten per liter brandstof of kWh elektriciteit

Voertuigcategorie	Infra-structuur	Onge-vallen	Klimaat			Lucht-vervuiling	Brandstof- en elektriciteitsproductie			Geluid	Congestie		Baten van fietsen
			Laag	Hoog	2-graden		Laag	Hoog	2-graden		HWN	Stad	
Personenvervoer op Nederlands grondgebied													
Personenauto benzine	1,0	1,6	0,047	0,19	0,31	0,083	0,13	0,18	0,22	0,11	0,30	1,7	-
Personenauto diesel	1,0	1,3	0,048	0,19	0,32	0,27	0,10	0,14	0,18	0,093	0,46	1,2	-
Personenauto LPG	1,1	1,5	0,049	0,20	0,32	0,15	0,071	0,086	0,10	0,10	0,37	1,3	-
Personenauto elektrisch	0,32	0,49	-	-	-	0,0032	0,017	0,041	0,061	0,016	0,091	0,52	-
Motorfiets	0,56	3,1	0,048	0,19	0,31	0,24	0,13	0,18	0,22	1,3	0,23	0,85	-
Bromfiets	1,9	18	0,050	0,20	0,33	0,45	0,13	0,18	0,22	6,5	-	6,5	-
Ov-Bus diesel	4,7	1,3	0,049	0,19	0,32	0,28	0,10	0,14	0,18	0,52	0,009	2,08	-
Ov-bus elektrisch	0,71	0,20	-	-	-	0,0013	0,017	0,041	0,061	0,024	0,0014	0,31	-
Touringcar	6,4	0,73	0,049	0,19	0,32	0,29	0,10	0,14	0,18	0,198	0,19	0,69	-
Elektrische fiets	4,4	35	-	-	-	-	0,017	0,041	0,061	-	-	-	-5,50
Hoge snelheidstrein	7,2	0,0012	-	-	-	0,0061	0,017	0,041	0,061	0,002	-	-	-
Personentrein diesel	14,8	0,071	0,048	0,19	0,32	1,92	0,10	0,14	0,18	0,17	-	-	-
Personentrein elektrisch	1,8	0,019	-	-	-	0,0061	0,017	0,041	0,061	0,015	-	-	-
Goederenvervoer op Nederlands grondgebied													
Bestelauto diesel	0,88	1,3	0,048	0,19	0,32	0,37	0,10	0,14	0,18	0,090	0,40	1,0	-
Bestelauto elektrisch	0,17	0,25	-	-	-	0,0019	0,017	0,041	0,061	0,010	0,077	0,20	-
Vrachtauto totaal	1,2	0,41	0,049	0,19	0,32	0,32	0,11	0,16	0,20	0,15	0,48	0,27	-
Trekker-oplegger	1,3	0,35	0,049	0,19	0,32	0,28	0,10	0,14	0,18	0,12	0,56	0,22	-
Vrachtauto <10 ton	0,39	1,3	0,049	0,19	0,32	0,78	0,10	0,14	0,18	0,40	0,24	0,75	-
Vrachtauto 10-20 ton	0,83	1,4	0,049	0,19	0,32	0,57	0,10	0,14	0,18	0,62	0,47	1,0	-
Vrachtauto >20 ton	0,80	0,31	0,049	0,19	0,32	0,36	0,10	0,14	0,18	0,11	0,26	0,18	-

Voertuigcategorie	Infra-structuur	Onge-vallen	Klimaat			Lucht-vervuiling	Brandstof- en elektriciteitsproductie			Geluid	Congestie		Baten van fietsen
			Laag	Hoog	2-graden		Laag	Hoog	2-graden		HWN	Stad	
Goederentrein diesel	13	0,033	0,048	0,19	0,32	1,87	0,10	0,14	0,18	0,16	-	-	-
Goederentrein elektrisch	4,1	0,0078	-	-	-	0,0073	0,017	0,041	0,061	0,037	-	-	-
Binnenvaart	1,8	0,032	0,048	0,19	0,32	1,11	0,10	0,14	0,18	na*	-	-	-
Internationale vervoerswijzen van en naar Nederland													
Zeevaart	0,16	0,0073	0,052	0,21	0,35	0,87	0,09	0,13	0,16	na*	-	-	-
Luchtvaart personen	0,34	0,0039	0,086	0,34	0,57	0,043	0,11	0,15	0,19	0,014	-	-	-
luchtvaart goederen	0,10	0,00068	0,086	0,34	0,57	0,036	0,11	0,15	0,19	0,0053	-	-	-

* Voor deze vervoerswijze is geen informatie beschikbaar over de totale geluidbelasting.

E Emissies van spoorvervoer

E.1 Inleiding

Voor het brandstofverbruik en de emissies van diesel spoorvervoer gaan we, in tegenstelling tot wegvervoer, niet uit van de waardes die op Emissieregistratie staan. In dit hoofdstuk lichten we deze beslissing toe en presenteren we de waardes die we in deze studie hanteren.

E.2 Emissieregistratie

De emissies van spoor in emissieregistratie worden bepaald door een combinatie van bottom-up- (vanuit vervoersprestatie) en top-down- (vanuit totale brandstofverkoop uit VIVENS) berekeningen. In totaal wordt in 2018 69 kton CO₂ uitgestoten op basis van de verkochte brandstof. De methodiek om emissies van personentreinen te bepalen is inmiddels 20 jaar oud. CE Delft (2020b) heeft een review gedaan en de belangrijkste kanttekeningen op een rij gezet:

- De toedeling van brandstofverbruik in Emissieregistratie is gebaseerd op een schatting die inmiddels verouderd lijkt te zijn. Waar uitgegaan wordt van 35% van het brandstofverbruik door passagierstreinen lijkt 55-60% realistischer.
- De methodiek om luchtvervuilende emissies van personentreinen te bepalen houdt geen rekening met de vernieuwing van het wagenpark wat heeft plaatsgevonden. Daardoor wordt gerekend met te hoge emissiefactoren voor verbranding.
- Niet alle type slijtage-emissies worden meegenomen. Slijtage van remmen en rails zijn niet meegenomen.
- De methodiek om luchtvervuilende emissies voor goederentreinen in te schatten is recentelijk herzien. De kwaliteit van die berekeningen is goed.

E.3 Overige bronnen

Naast emissieregistratie zijn er andere bronnen die uitspraken doen over de CO₂-emissies van spoorvervoer. Het totale brandstofverbruik van spoorvervoer wordt bijvoorbeeld gerapporteerd door CBS op basis van de daadwerkelijk verkochte brandstof. Daarnaast heeft het CROW-KpVV (2020) recentelijk onderzoek gedaan naar de emissies van dieselpersonentreinen. Op basis van bottom-up-berekeningen op basis van de samenstelling van het wagenpark en de vervoersprestatie komen zij op basis van een WTW-aanpak uit op totale CO₂-emissies van 54 kton. Dit komt overeen met een energieverbruik van 0,61 PJ en directe CO₂-emissies van 42 kton. Dit is significant hoger dan de emissies die Emissieregistratie rapporteert (directe CO₂-emissies van 26 kton).

In CE Delft (2020d) worden gemiddelde CO₂-emissies gepresenteerd voor goederentreinen. De gepresenteerde CO₂-emissies voor relevante treinen liggen in een range van 12 en 15 g/tkm. Wanneer we uitgaan van de voor personentreinen berekende CO₂-emissies uit CROW-KpVV (2020) dan valt 27 (= 69 - 42) kton CO₂ toe te schrijven aan goederentreinen. In combinatie met 1.930 mln tkm resulteert dat in gemiddelde emissies van 13,9 g CO₂ per tkm. Dit valt dus goed in de range die gepresenteerd wordt in CE Delft (2020d).

E.4 Conclusies

In de vorige paragrafen is besproken dat de voor Emissieregistratie toegepaste methodiek voor emissies van spoorvervoer gedeeltelijk verouderd is. Daarom kiezen we ervoor om er gedeeltelijk van af te wijken. We volgen de volgende aanpak:

- Het totale brandstofverbruik en de CO₂-emissies voor spoorvervoer baseren we op CBS.
- Op basis van CROW-KpVV (2020) maken we een verdeling van brandstofverbruik CO₂-emissies naar personen- en goederentreinen.
- Luchtvervuilende verbrandingsemissies baseren we op Emissieregistratie, waarbij we wel een correctie uitvoeren voor aanpassing in de toewijzing van het brandstofverbruik. Voor personentreinen worden luchtvervuilende emissies wel overschat doordat Emissieregistratie een verouderde methodiek gebruikt. Er zijn momenteel echter geen betere cijfers voorhanden.
- Op basis van CE Delft (2020d) voegen we ook slijtage-emissies van remmen en rails toe.

In Bijlage C zijn het berekende brandstofverbruik en de daaraan verwante emissies te vinden.

F Bepaling en waardering emissies van luchtvaart

F.1 Inleiding

In deze bijlage gaan we dieper in op de wijze waarin we in deze studie de broeikasgas- en luchtvervuilende emissies van de luchtvaart van en naar Nederland hebben ingeschat. Dit lichten we stapsgewijs toe in Bijlage F.2 tot en met F.6. Daarnaast gaan we in Bijlage F.7 ook nog kort in op de wijze waarop we de waarderingskennallen voor de luchtvervuilende emissies van de luchtvaart hebben vastgesteld.

F.2 Vluchtdata Schiphol

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

F.3 CO₂-emissieberekeningen

De emissies van Schiphol zijn bepaald op basis van de vluchtdata met behulp van de Small Emitters Tool (SET), die wordt beheerd door EUROCONTROL. De SET is een rekentool die het brandstofverbruik van een vlucht en daaraan gelieerde CO₂-emissies gedurende de hele vlucht inzichtelijk maakt. De tool is ontwikkeld om de luchtvaartemissies te berekenen voor (kleinere) maatschappijen die voor hun intra-Europese vluchten binnen het EU ETS-emissierechten moeten overhandigen.

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

De meest recente (2019) versie van de SET is gebruikt in de berekeningen. Om de vluchtdata van Schiphol te kunnen gebruiken in de SET moesten de IATA-toesteltypen omgezet worden naar ICAO-toesteltypen. Daarnaast moest er gecorrigeerd worden voor het feit dat vliegtuigen vrijwel nooit de kortste route tussen twee steden mogen vliegen. Dit kan standaard in de SET door rekening te houden met een omvliegafstand van 95 km. Met de



SET zijn vluchtdata naar toesteltype en afstand omgezet naar brandstofverbruik en CO₂-emissies per toesteltype en afstandscombinatie.

F.4 Toewijzing combi-toestellen

Gecombineerde toestellen vervoeren zowel reizigers als vracht en de emissies van deze voertuigen dienen te worden verdeeld over reizigers en vracht. De door ons toegepaste methodiek gaat uit van de *'recommended practice 1678'* van IATA (2014) en wordt onder andere gebruikt in de ICAO *'Carbon Emissions Calculator Methodology'* (ICAO, 2017) en door ICCT (2019). Deze methodiek gaat ervan uit dat een gemiddelde reiziger (incl. bagage) 100 kg weegt, en dat daarnaast ook 50 kilo per stoel aan boord wordt toegewezen aan reizigers. Het maakt daarbij niet uit of deze stoel bezet is door een reiziger of niet. Deze 50 kg per stoel dekt het gewicht van de faciliteiten die benodigd zijn om de reizigers te verzorgen, zoals stoelen, wc's, keukens en het personeel aan boord. Het energieverbruik van combivluchten per reizigerskilometers en tonkilometers is berekend uit het gemiddeld aantal reizigers per vlucht (Pax), het aantal stoelen per vlucht (stoelen) en het gewicht van de goederen per vlucht (Goederen) en ook de vluchtdata.

F.5 Luchtvervuilende emissies

De luchtvervuilende emissies van de luchtvaart zijn niet direct gelinkt aan het brandstofverbruik van het toestel, maar zijn afhankelijk van het motortype en de stuwkracht (in het Engels *'thrust'*). Bij hogere *'thrust-settings'*, zoals gebruikelijk bij het opstijgen, komen veel meer luchtvervuilende emissies vrij dan bij lagere *'thrust-settings'*, zoals tijdens de cruise of het dalen. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen vliegtuigmotortypen te vinden. Om de luchtvervuilende emissies van vliegtuigen te kunnen berekenen is gebruikgemaakt van de *'Aviation Emissions Calculator'* van de European Environment Agency (EEA, 2019). Verder is ook hier gebruikgemaakt van de verdeelsleutel tussen vracht- en reizigersemissies, zoals eerder toegelicht in Paragraaf F.4.

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

De *'Aviation Emissions Calculator'* berekent de uitstoot van luchtvervuilende emissies onderverdeeld naar LTO-emissies en CCD-emissies. LTO-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens het landen en opstijgen (*'Landing and Take-Off'*). CCD-emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens de klimfase, cruise fase en daalfase van een vlucht (*'Climb, Cruise and Descent'*). De LTO-emissies worden uitgestoten tot 3.000 voet, terwijl de CCD-emissies daarboven worden uitgestoten. De output van de *Aviation Emissions Calculator* zijn de hoeveelheden luchtvervuilende emissies (in kilogrammen), onderverdeeld naar het LTO-deel en het CCD-deel. De LTO-emissies zijn bepaald volgens een LTO-cyclus die typisch is qua tijdsduur voor een drukke Europese luchthaven in 2015.

In de *Aviation Emissions Calculator* zijn alle toesteltypen begrensd wat betreft de maximale afstand die ermee gevlogen kan worden. Uit de data die wij van Schiphol hebben ontvangen blijkt echter dat een zeer beperkt aantal toestellen ingezet wordt om vanaf

Schiphol langere afstanden te vliegen dan dat mogelijk zou zijn volgens de *Aviation Emissions Calculator*⁷⁸. Voor die vluchten is de uitstoot berekend door een de marginale uitstoot van luchtvervuilende stoffen per kilometer te berekenen, en dat op te tellen bij de uitstoot tijdens de maximumlimiet van het toestel.

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

F.6 Ophoging andere luchthavens

De hierboven besproken emissieberekeningen resulteerden in klimaat- en luchtvervuilende emissies voor het merendeel van de vluchten van en naar Schiphol in 2018. De informatie was beschikbaar per vlucht met daarbij een onderverdeling naar vracht en reizigers en naar afstand. Om de totale emissies voor Nederland te berekenen is er gebruikgemaakt van een ophoging van de berekende emissies van de vluchten naar/van Schiphol naar de vluchten van/naar alle luchthavens in Nederland.

Voor de overige luchthavens is een analyse uitgevoerd op basis van data van Eurostat⁷⁸. Door deze data te combineren met data uit een afstandsmatrix⁷⁹ kan de totale omvang aan voertuigkilometers voor vluchten vanaf/naar Nederland bepaald worden. De bekende emissies van de vluchten van Schiphol⁸⁰ zijn opgehoogd naar Nederlandse totalen op basis van de reizigers- en tonkilometers. Hiervoor zijn de vluchten opgedeeld in drie afstandsklassen⁸¹ om rekening te houden met verschillen in gemiddelde uitstoot. Schiphol is namelijk de enige Nederlandse luchthaven die grote aantallen middellange en lange vluchten uitvoert.

Tabel 110 laat zien waar de ophoging van de tonkilometers en reizigerskilometers in resulteren. De voertuigkilometers van combitoestellen zijn onderverdeeld naar vracht en reizigers volgens de in Paragraaf F.4 besproken methode.

Tabel 110 - Voertuiggegevens van alle vluchten van/naar Nederland

	mln. vkm	mln. tkm/rkm	mln. ton/pass
Vracht	199	13.978	2.273
Reizigers	945	217.990	78

Op basis van de voertuiggegevens uit Tabel 110 zijn de totale emissies van vluchten van en naar Nederland bepaald. Tabel 111 laat de totale emissies zien van alle vluchten van en naar Nederland. Tabel 112 laat het gedeelte van de emissies zien dat tijdens de LTO-fase

⁷⁸ Air passenger transport between the main airports of the Netherlands and their main partner airports (routes data) (avia_par_nl) and Freight and mail air transport between the main airports of the Netherlands and their main partner airports (routes data) (avia_gor_nl).

⁷⁹ Distances_Airpor_NUTS-2013.csv.

⁸⁰ Voor 5% van de vluchtdata van Schiphol was het niet mogelijk om emissies te bepalen.

⁸¹ Korte vluchten (<1.500 km), middellange vluchten (tussen 1.500 en 6.000 km) en lange vluchten (>6.000 km).

vrijkomt. Deze zijn relevant omdat ze dicht bij de grond plaatsvinden waardoor de schadelijkheid groter is.

Tabel 111 - Totale emissies (ton) van vluchten van/naar Nederland

	CO ₂	NO _x	PM _{2,5} -verbranding	PM ₁₀ -slijtage
Vracht	6.010.100	28.125	219	5
Reizigers	17.420.108	83.418	665	92

Tabel 112 - Totale LTO-emissies van vluchten van/naar Nederland

	CO ₂	NO _x	PM _{2,5} -verbranding	PM ₁₀ -slijtage
Vracht	235.452	1.242	5	5
Reizigers	1.470.726	7.138	39	92

F.7 Waardering luchtvervuilende emissies

De schade door de uitstoot van luchtvervuilende emissies door de luchtvaart vindt niet alleen in Nederland plaats. Een groot gedeelte van de emissies wordt uitgestoten op grote hoogte boven ander landen en oceanen. Ook is de schadelijkheid afhankelijk van de hoogte waarop de emissies plaatsvinden. Daarom kan er voor de luchtvaart niet met de Nederlandse waarderingskennallen worden gerekend. In CE Delft (2020c) is nader ingegaan op de waardering van luchtvaartemissies. Hierin is een methodiek ontwikkeld die we ook in deze studie toepassen om de emissies van luchtvaart te waarderen.

Een belangrijk uitgangspunt van de methodiek is dat de emissies worden onderscheiden naar uitstoot tijdens de LTO-fase en tijdens de cruisefase. Voor de LTO-emissies worden de emissies gewaardeerd volgens een gemiddelde van de waarderingskennallen voor een landelijke en stedelijke omgeving. Deze keuze is gemaakt omdat luchthavens vaak buiten steden liggen, maar er tegelijkertijd wel veel mensen aanwezig zijn op luchthavens. Voor LTO-emissies die op hoogte worden uitgestoten is de schadelijkheid gecorrigeerd, omdat emissies op hoogte minder schadelijk zijn. Voor CCD-emissies geldt dat deze ook plaatsvinden buiten Nederland en Europa. Daarom gaan we bij de CCD-emissies uit van waarderingskennallen die mondiaal toe te passen zijn. Daarnaast zorgt de hoogte van de emissies ervoor dat de schadelijkheid lager is. De waarderingskennallen voor emissies van de luchtvaart zijn zichtbaar in Tabel 113.

Tabel 113 - Waarderingskennallen luchtvervuilende emissies luchtvaart

€ per kg	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀
LTO (0 -914 meter)	16,21	12,14	71,80	25,2
CCD-fase (>914 meter)	1,65	0,67	0,37	n/a

G Bepaling en waardering emissies van de zeevaart

G.1 Inleiding

In deze bijlage lichten we eerst kort toe hoe de emissies (en vervoersprestaties) van de zeevaart voor deze studie zijn bepaald. Vervolgens gaan we kort in op de wijze waarop de luchtvervuilende emissies van de zeevaart worden gewaardeerd.

G.2 Emissies en transportdata van zeevaart

Het CBS rapporteert emissies van zeevaart die binnengaats plaatsvinden of op het Nederlands Continentaal Plat. Zij rapporteren echter geen scheepsemissies die plaatsvinden buiten het Nederlands grondgebied. De resultaten van CBS leiden dus tot een onderschatting van de emissies van het Nederlands maritieme transport. Daarnaast rapporteert CBS ook geen transportdata horende bij de gerapporteerde emissies. Om deze problemen op te lossen is er gebruikgemaakt van data die wordt gemonitord in het kader van de Europese MRV-richtlijn.

Vanaf 1 januari 2018 moeten grote schepen met een brutotonnage van meer dan 5.000 ton die lading of reizigers laden of lossen in havens in de Europese Economische Ruimte (EER) CO₂-emissies en andere relevante informatie monitoren en rapporteren. Monitoring, rapportage en verificatie (MRV) van informatie gebeurt in overeenstemming met Verordening 2015/757 en Verordening 2016/2071. De resultaten zijn online beschikbaar in de vorm van een dataset. Deze dataset bevat naar schatting 90% van de emissies uitgestoten door schepen die de Europese Unie aandoen (EC, 2013).

De MRV-dataset bevat naast CO₂-emissies van schepen ook bijbehorende kilometers en belading. Omdat er geen tonkilometer data beschikbaar is voor de verschillende landen zijn de emissies toegewezen aan Nederland op basis van overgeslagen tonnen en vervoerde reizigers uit Eurostat. Voor het toewijzen van tonkilometer maken we gebruik van het Nederlandse aandeel (15%) in de totale tonnen die worden overgeslagen in Europa. Voor veerboten, die goederen en reizigers vervoeren, gebruiken we overgeslagen tonnen (in goederen en gewicht passagiers incl. voertuigen) om de CO₂-uitstoot toe te wijzen.

We corrigeren voor kleine schepen met een brutotonnage van minder dan 5.000 ton door op basis van EC, (2013) de CO₂-uitstoot met 10% te verhogen. Op basis van CE Delft, (2020d) zijn ook de tonkilometers en reizigerskilometers opgehoogd. Hierdoor hebben we een goede inschatting van de totale CO₂-emissies en vervoersprestatie van schepen die Nederland hebben aangedaan. Hiervan alloceren we 50% aan Nederland en 50% naar het land van herkomst dan wel bestemming. De emissies van luchtvervuilende emissies zijn geschaald op basis van de resultaten van Nederlands Continentaal Plat zoals deze gerapporteerd worden door CBS. Omdat reizen op Nederlands Continentaal Plat buiten de kustlijn vallen wordt er op operationele snelheid gevaren (Hulskotte, J. et al., 2003). Daarom gaan we ervan uit dat deze scheepsbewegingen representatief zijn voor reizen op de oceaan. Er is echter wel een correctie uitgevoerd voor de emissies van SO₂. Het Nederlands Continentaal Plat valt namelijk binnen een zwavelemissiecontrolegebied (SECA) waar de SO_x-emissies zijn gereguleerd.

Op basis van CE Delft et al, (2020) gaan we ervan uit dat binnen de SECA-zone met MDO (gemiddeld 0.07% m/m) wordt gevaren en buiten de SECA-zone met HFO (gemiddeld 2.6% m/m). Het aandeel van beide brandstoffen is bepaald op basis van de brandstofverkoop op Eurostat. Hieruit blijkt dat 25% van de verkochte brandstof MDO is. Op basis van die verhouding in de brandstofverkoop zijn de buitengaatse SO₂-emissies bepaald.

Tabel 114 - Emissies (mln. kg) zeevaart 2018

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂	PM _v
Zeevaart binnengaats	1.622	0,11	0,041	23,8	1,27	0,60
Zeevaart op Nederlands Continentaal Plat	3.321	0,71	0,083	76,15	3,10	1,97
Zeevaart buitengaats (50% allocatie)	8.838	2,13	0,22	240	275	6,2

G.3 Waardering van emissies

De waardering van klimaatemissies is gelijk aan de andere modaliteiten. Omdat emissies van luchtvervuilende stoffen vooral plaatsvindt in dunbevolkt gebied is er een lagere schadelijkheid. Daarnaast vindt een gedeelte van de emissies plaats in gebieden waar een lagere levensstandaard is, wat ook leidt tot een lagere waardering.

De waarderingskentallen zijn gebaseerd op de prijzen voor verschillende zeeën zoals die gepresenteerd worden in CE Delft, (2018). Het is lastig te bepalen op welke zeeën de emissies zijn uitgestoten. Uit onder andere het jaarverslag van de Port of Rotterdam blijkt dat de belangrijkste maritieme handelsrelaties van Nederland liggen binnen Europa (50%), gevolgd door Azië (21%) en Amerika (19%). De continenten van Afrika en Oceanië zijn minder relevante handelspartners. Daarnaast blijkt uit Tabel 114 dat de emissies op het Nederlands continentaal plat ongeveer een derde van de totale Nederlandse emissies bedraagt. Op basis van bovenstaande gaan we ervan uit dat 63% van de emissies op de Atlantische Oceaan (of andere oceaan) plaatsvinden, 23% op de Noordzee en 10% op de Baltische zee en 5% op de Middellandse Zee. Voor SO₂ is rekening gehouden met de lagere emissies in zwavel-emissiecontrolegebieden. Op basis van de brandstofverkoopcijfers van Eurostat gaan we ervan uit dat 1,2% van de SO₂-emissies binnen gereguleerd gebied plaatsvindt. Voor emissies die binnengaats, dus op Nederlandse rivieren, plaatsvinden passen we de waarderingskentallen toe van landelijk gebied. In Tabel 115 zijn de toegepaste waarderingskentallen te zien.

Tabel 115 - Waarderingskentallen zeevaart

	€/kg NO _x	€/kg SO ₂	€/kg PM _{2,5}
Binnengaats	€ 15,78	€ 20,8	€ 104,16
Gemiddelde zeeën Nederlands transport	€ 5,73	€ 3,51	€ 15,33

H Vergelijking met CE Delft & VU (2014)

H.1 Inleiding

Deze studie vormt een update van de studie 'Externe en infrastructuurkosten van verkeer' uit 2014 (CE Delft & VU Amsterdam, 2014b). In deze bijlage maken we een korte vergelijking van de uitkomsten van beide studies. Daarbij worden alleen de vervoerswijzen en de kostenposten meegenomen die in beide studies zijn beschouwd.

In Bijlage H.2 worden eerst de vervoersprestaties zoals die in beide studies zijn meegenomen vergeleken. Vervolgens worden in Bijlagen H.3 tot en met H.10 de resultaten voor de verschillende kostencategorieën vergeleken. Om een eerlijke vergelijking te kunnen maken zijn de resultaten voor 2010 gecorrigeerd voor inflatie (en uitgedrukt in het prijspeil voor 2018).

H.2 Vervoersprestaties

Tabel 116 geeft een vergelijking van de vervoersprestaties zoals die voor 2010 in CE Delft & VU Amsterdam, (2014b) worden gehanteerd en voor 2018 in deze studie.

Tabel 116 - Vergelijking vervoersprestaties

Voertuigcategorie	Voertuigkilometers (mln.)			Reizigers- of tonkilometers (mln.)		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (vkm en rkm)						
Personenauto benzine	65.871	74.303	+13%	87.897	97.428	+11%
Personenauto diesel	31.532	31.153	-1%	42.076	40.848	-3%
Personenauto LPG	3.842	1.958	-49%	5.127	2.567	-50%
Ov-bus diesel	304	480	+58%	3.600	3.661	+2%
Touringcar	351	168	-52%	8.100	8.100	0%
Motorfiets	2.525	2.495	-1%	2.904	2.869	-1%
Bromfiets	1.007	2.585	+157%	1.000	2.843	+184%
Fiets totaal	13.700	18.400	+34%	13700	18.400	+34%
Personentrein elektrisch incl. HSL)	117	138	+18%	13.700	18.938	+38%
Personentrein diesel	17	15	-14%	797	662	-17%
Luchtvaart personen		472		16.502	18.938	+15%
Bestelauto (vkm)						
Bestelauto totaal	17.390	18.217	+5%	-	-	-
Goederenvervoer (vkm en tkm)						
Vrachtauto totaal	6.894	7.460	+8%	52.496	60.700	+16%
Goederentrein elektrisch	5,5	6,7	+22%	3.193	5.100	+60%
Goederentrein diesel	4,9	2,6	-47%	2.732	1.926	-30%
Binnenvaart	43	-	-	40.286	47.200	+17%
Zeevaart	-	45	-	972.360	2.025.347	+108%
Luchtvaart goederen	-	99	-	5.200	6.989	+34%

Voor een deel van de vervoerswijzen zijn de verschillen in vervoersprestaties tussen 2010 en 2018 relatief beperkt en te verklaren door autonome ontwikkelingen in de omvang van het verkeer. Dit geldt bijvoorbeeld voor de personenauto (benzine en diesel), de bestelauto en vrachtauto. Er zijn echter ook een aantal significante verschillen die een nadere verklaring verdienen:

- De vervoersprestaties voor *LPG-personenauto's* vallen voor 2018 veel lager uit dan voor 2010. De reden hiervoor is dat het aantal LPG-auto's in Nederland afneemt. Volgens CBS-gegevens is het aantal LPG-auto's in het park tussen 2010 en 2018 met 40% afgenomen.
- Voor de *bus* en de *touringcar* verschillen de vervoersprestaties aanzienlijk tussen beide studies. In de 2014 studie zijn op basis van KNV-data inschattingen gemaakt van de reizigerskilometers, waarna vervolgens met behulp van gemiddelde bezettingsgraden voor deze voertuigen de voertuigkilometers zijn bepaald. Voor 2018 zijn er echter betrouwbaardere data over voertuigkilometers van het CBS beschikbaar. Ook zijn er betere data over de gemiddelde bezettingsgraad van bussen en touringcars beschikbaar (waaruit blijkt dat we in de 2014 studie een te lage bezettingsgraad voor touringcars en een te hoge bezettingsgraad voor bussen hanteerden). Op basis van deze data zijn voor 2018 dan ook betrouwbaardere inschattingen van de vervoersprestaties van de bus en touringcar gemaakt.
- De vervoersprestaties voor de *bromfiets* vallen voor 2018 veel hoger uit dan voor 2010. De reden hiervoor is dat het CBS, waar de data over vervoersprestaties van de bromfiets vandaan komen, tegenwoordig een andere methodiek gebruikt om de vervoersprestaties van bromfietsen vast te stellen.
- Voor *spoorvervoer* zijn met name de vervoersprestatie voor goederentreinen veranderd. In verhouding tot de vorige studie rijden er aanzienlijk meer elektrische goederentreinen en minder diesel goederentreinen in Nederland.
- De vervoersprestaties voor de *luchtvaart* vallen voor 2018 ruim hoger uit dan voor 2010. Voor het belangrijkste deel is deze ontwikkeling het gevolg van een autonome groei (volgens CBS nam het aantal vliegbewegingen in Nederland in deze periode toe met 30%). Maar ook zijn de vervoersprestaties in beide studies op een andere wijze ingeschat (voor 2010 met behulp van het AERO-model en voor 2018 op basis van daadwerkelijke data van Schiphol en Eurostat), wat het verschil tussen beide jaren ook gedeeltelijk kan verklaren. Doordat in de huidige studie gebruik wordt gemaakt van data over daadwerkelijke vervoersbewegingen, schatten we de betrouwbaarheid van de vervoersprestaties van de luchtvaart hoger in dan in de vorige studie.
- Voor de *zeevaart* worden de vervoersprestaties voor 2018 aanzienlijk hoger ingeschat dan in de vorige studie voor 2010. De reden hiervoor is dat er nu gebruik wordt gemaakt van een andere bron dan in CE Delft & VU Amsterdam, (2014b). In de 2014-studie werden de vervoersprestaties van de zeevaart ingeschat met behulp van data uit het EXTREMIS-model. In deze studie hebben we daarentegen gebruik kunnen maken van data die wordt gemonitord in het kader van de Europe MRV-richtlijn. De betrouwbaarheid van de vervoersprestaties voor de zeevaart is daarmee aanzienlijk groter dan in de vorige studie.

H.3 Infrastructuurkosten

Tabel 117 geeft een vergelijking van de infrastructuurkosten zoals die voor 2010 zijn berekend in CE Delft & VU (2014b) en voor 2018 in deze studie.

Tabel 117 - Vergelijking infrastructuurkosten (prijspeil 2018)

Voertuigcategorie	Gemiddelde infrastructuurkosten			Totale infrastructuurkosten		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	51	49	-4%	4525	4796	+6%
Personenauto diesel	43	41	-5%	1822	1679	-8%
Personenauto LPG	45	43	-4%	229	110	-52%
Ov-bus diesel	140	183	+31%	505	671	+33%
Touringcar	68	28	-59%	548	227	-59%
Motorfiets	23	20	-15%	68	57	-16%
Bromfiets	84	43	-49%	84	122	+45%
Fiets totaal	46	22	-52%	624	403	-35%
Personentrein elektrisch (incl. HSL)	175	143	-18%	2886	2498	-13%
Personentrein diesel	315	318	+1%	251	211	-16%
Luchtvaart personen	10	8,8	-9%	726	954	+31%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	68	62	-9%	1180	1124	-5%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	55	42	-24%	2910	2544	-13%
Goederentrein elektrisch	129	93	-28%	413	476	+15%
Goederentrein diesel	69	69	0%	188	132	-30%
Binnenvaart	31	23	-26%	1257	1096	-13%
Zeevaart	0,54	0,25	-53%	528	512	-3%
Luchtvaart goederen	35	14	-59%	182	100,1	-45%

Voor het wegverkeer zijn de gemiddelde infrastructuurkosten over het algemeen beperkt lager dan in de vorige studie. De belangrijkste uitzonderingen daarop zijn:

- Voor de touringcar vallen de gemiddelde kosten aanzienlijk lager uit. Dit is vooral het gevolg van het feit dat de bezettingsgraad ten opzichte van de vorige studie fors naar boven is bijgesteld, waardoor de gemiddelde infrastructuurkosten (in € per 1.000 rkm) lager uitvallen.
- Voor de ov-bus vallen de gemiddelde kosten juist hoger uit dan in de vorige studie, wat vooral het gevolg is van de lagere bezettingsgraad die wordt verondersteld voor deze voertuigen t.o.v. de vorige studie.
- Voor de fiets vallen de gemiddelde infrastructuurkosten lager uit dan in de vorige studie, omdat er in deze studie voor gekozen is om bij de fiets enkel de kosten van de specifieke fietsinfrastructuur mee te rekenen. In de vorige studie was ook nog een deel van de infrastructuurkosten van de overige wegen toegerekend aan de fiets (aangezien zij ook gebruikmaken van die wegen), maar omdat hiervoor geen goede toerekeningsmethodiek beschikbaar is, is hiervan in deze studie afgezien. De infrastructuurkosten van de fiets dienen dan ook opgevat te worden als een conservatieve inschatting (waar de resultaten uit de vorige studie waarschijnlijk een overschatting vormen).

- Ook voor bromfietsen zijn de gemiddelde infrastructuurkosten lager in vergelijking met de vorige studie. Voor die vervoerswijze zijn buiten de bebouwde kom enkel de kosten van de specifieke fietsinfrastructuur meegerekend (binnen de bebouwde kom maken bromfietsen gebruik van de ‘normale’ weg en krijgen ze ook een deel van die kosten toegerekend). Ook voor de bromfiets dienen de infrastructuurkosten dus als een conservatieve inschatting gezien te worden.

Voor de niet-wegmodaliteiten vallen de volgende dingen op:

- Voor de binnenvaart vallen enerzijds de totale infrastructuurkosten wat lager uit en anderzijds ligt het aantal tonkilometers hoger dan in 2010 (vaarwegen worden dus intensiever gebruikt). Dit resulteert in lagere gemiddelde infrastructuurkosten.
- De lagere gemiddelde infrastructuurkosten voor de zeevaart zijn vooral het gevolg van de stijging in het aantal tonkilometers (zie ook Bijlage H.2), terwijl de totale infrastructuurkosten nagenoeg gelijk blijven.
- Voor de luchtvaart geldt dat de gemiddelde infrastructuurkosten voor met name de vrachtluchtvaart aanzienlijk lager uitvallen. De reden hiervoor is dat er door een verandering in de toedelingmethodiek minder infrastructuurkosten worden toegedeeld aan de vrachtluchtvaart dan in de vorige studie.
- Voor spoorvervoer valt op dat de gemiddelde kosten van elektrische treinen meer dalen in vergelijking tot de gemiddelde kosten van dieseltreinen. Dit komt omdat het gebruik van dieseltreinen is afgenomen tussen 2018 en 2010, maar het aandeel van de infrastructuurkosten dat aan dieseltreinen kan worden toegeschreven minder sterk is gedaald.

De verschillen in de totale infrastructuurkosten kunnen worden verklaard door een combinatie van de ontwikkelingen in de vervoersprestaties (zie Bijlage H.2) en de hierboven besproken verklaringen voor de veranderingen in gemiddelde infrastructuurkosten.

H.4 Kosten van verkeersongevallen

De externe ongevalskosten zoals die voor 2010 zijn berekend in CE Delft & VU Amsterdam, (2014b) zijn in Tabel 118 vergeleken met de kosten zoals die in deze studie zijn berekend voor 2018.

Tabel 118 - Vergelijking externe kosten verkeersongevallen (prijspeil 2018)

Voertuigcategorie	Gemiddelde externe ongevalskosten			Totale externe ongevalskosten		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	48	75	+56%	4.262	7.354	+73%
Personenauto diesel	37	54	+46%	1.557	2.204	+42%
Personenauto LPG	37	59	+57%	192	151	-21%
Ov-bus diesel	28	50	+82%	100	184	+85%
Touringcar	5,7	3	-44%	46	26	-44%
Motorfiets	47	109	+133%	137	314	+130%
Bromfiets	589	396	-33%	589	1.127	+91%
Fiets totaal	77,6	176	+127%	1.064	3.239	+204%
Personentrein elektrisch (incl. HSL)	1,8	1,4	-20%	29	27	-9%

Voertuigcategorie	Gemiddelde externe ongevalskosten			Totale externe ongevalskosten		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personentrein diesel	5,5	1,5	-72%	4,4	1,0	-77%
Luchtvaart personen	0,19	0,10	-47%	15	11	-24%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	55	91	+66%	950	1.649	+74%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	11,3	14,6	+29%	596	887	+49%
Goederentrein elektrisch	0,43	0,18	-59%	1,4	0,9	-35%
Goederentrein diesel	0,46	0,18	-61%	1,3	0,34	-73%
Binnenvaart	0,41	0,41	+1%	16	19	+19%
Zeevaart	0,0029	0,00	-100%	2,8	0	-100%
Luchtvaart goederen	0,70	1,5	+127%	3,6	11,05	+204%

De totale kosten voor de meeste vervoerswijzen voor wegvervoer zijn toegenomen. Dit komt door de hogere waarderingskentalen die voor 2018 worden toegepast. De gemiddelde kosten van met name fietsen en motorfietsen zijn significant toegenomen. De reden hiervoor is dat de waardering is toegenomen. In tegenstelling tot andere vervoerswijzen is de gemiddelde ongevalskans voor tweewielers minder gedaald.

Voor de niet-wegmodaliteiten geldt dat de verschillen in de totale en gemiddelde ongevalskosten ten opzichte van de vorige studie vooral zijn te verklaren door verschillen in de aantallen slachtoffers. Voor spoorvervoer geldt dat er in de afgelopen jaren geen grote ongevallen zijn gebeurd waardoor de ongevalskans daalt. Voor de overige modaliteiten is gebruikgemaakt van andere (en betere) bronnen voor het aantal slachtoffers. Hierdoor is het niet mogelijk om vast te stellen in hoeverre er ook daadwerkelijk een verandering in het aantal slachtoffers optreedt (of dat de verschillen vooral zijn te verklaren door methodologische verschillen). Voor de zeevaart is in ieder geval een deel van de toename in het aantal slachtoffers (en daarmee de ongevalskosten) te verklaren door toepassing van een andere methodiek, aangezien in deze studie slachtoffers voor de gehele reis worden bepaald, terwijl in de vorige studie enkel de slachtoffers op het Nederlands Continentaal Plat werden meegenomen.

H.5 Kosten van broeikasgasemissies

Tabel 119 geeft een vergelijking van de gemiddelde en totale kosten van broeikasgasemissies uit CE Delft & VU Amsterdam, (2014b) en deze studie. In beide studies wordt gewerkt met scenario's die (vooral) variëren in de toegepaste CO₂-prijs, wat de directe vergelijking tussen beide studies compliceert. Hier hebben we een vergelijking gemaakt van de scenario's 'Midden' uit de 2014 studie en 'Huidig beleid-HOOG' uit deze studie, aangezien deze scenario's gezien kunnen worden als het middenscenario. De vergelijking van andere scenario's leidt echter tot andere uitkomsten. Zouden we bijvoorbeeld de scenario's met de laagste CO₂-prijzen met elkaar vergelijken, dan zien we dat de gemiddelde klimaatkosten voor alle vervoerswijzen in 2018 hoger liggen dan in 2010, wat onder anderen het gevolg is van de hogere CO₂-prijs die in deze scenario's voor 2018 ten opzichte van 2010 wordt gehanteerd (€ 16/ton vs. € 10/ton).

Tabel 119 - Vergelijking kosten van broeikasgasemissies voor twee specifieke scenario's: scenario 'Midden' uit 2014 studie (CO₂-prijs van € 78/ton) en scenario 'Huidig beleid-HOOG' (CO₂-prijs van € 65/ton) voor deze studie

Voertuigcategorie	Gemiddelde kosten van broeikasgasemissies			Totale kosten van broeikasgasemissies		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	11	9,0	-20%	982	875	-11%
Personenauto diesel	10	7,9	-21%	419	321	-23%
Personenauto LPG	9,7	7,9	-19%	50	20	-59%
Ov-bus diesel	5,4	7,5	+40%	19	28	+42%
Touringcar	2,4	0,85	-65%	20	6,9	-65%
Motorfiets	7,5	6,8	-10%	22	19	-11%
Bromfiets	3,2	4,5	+41%	3,2	13	+300%
Personentrein diesel	2,4	5,3	+120%	1,9	3,5	+83%
Luchtvaart personen	14	8,8	-36%	1.039	962	-7%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	18	14	-25%	314	248	-21%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	7,5	6,9	-8%	395	421	+7%
Goederentrein diesel	1,3	0,86	-31%	3,4	1,3	-63%
Binnenvaart	2,2	2,5	+14%	88	118	+34%
Zeevaart	-2,4	0,34	N.v.t	-2.362	688	N.v.t
Luchtvaart goederen	62,2	47,5	-24%	323	332	+3%

De lagere CO₂-prijs, zoals die gehanteerd wordt in het scenario 'Huidig beleid-Hoog' in deze studie voor 2018 ten opzichte van het scenario 'Midden' voor 2010 in de vorige studie, leidt tot circa 17% lagere gemiddelde kosten.

Voor de wegvervoerswijzen kunnen afwijkende verschillen in de gemiddelde kosten onder andere verklaard worden doordat voertuigen gemiddeld zuiniger zijn geworden of er een verschuiving tussen wegtypen (en bijbehorend brandstofverbruik) heeft plaatsgevonden:

- Voor bromfietsen zijn de berekende emissies herzien voor Emissieregistratie. Hierdoor vallen de emissies en kosten significant hoger uit.
- Voor de bus en touringcar spelen daarnaast de aangepaste veronderstellingen over de gemiddelde bezettingsgraad (zie Bijlage H.2) een rol.
- Voor de LPG-auto en de bromfiets leiden methodiekwijzigingen bij het CBS/emissieregistratie tot een hogere gemiddelde CO₂-uitstoot en daarmee tot een minder sterke daling in de gemiddelde kosten.
- In Bijlage E is besproken dat de berekeningswijze voor emissies van spoorvervoer zijn aangepast op basis van betere informatie. Hierdoor is de waardering preciezer geworden, wat leidt tot hogere kosten voor een personen dieseltrein en lagere kosten voor een goederentrein op diesel.

- Voor de binnenvaart vinden we gemiddelde klimaatkosten die licht hoger zijn dan in de vorige studie. Dit is te verklaren door een iets hogere gemiddeld brandstofverbruik van binnenvaartschepen in 2018, wat onder andere te wijten was aan de extreem lage waterstand in gedeelten van dat jaar. Bovendien neemt de gemiddelde brandstof-efficiëntie van binnenvaartschepen veel langzamer toe dan bij het wegverkeer.
- Bij de zeevaart worden in deze studie de (onzekere en verminderde) verkoelende effecten van SO₂ en NO_x niet meer meegenomen, waardoor er voor de zeevaart geen netto klimaatbaten meer resulteren (zoals het geval was in de 2014 studie), maar klimaatkosten.
- Voor luchtvaart worden de gemiddelde CO₂-emissies per reizigers/tonkilometer in de huidige studie bepaald op meer recente en op meetgegevens gebaseerde data. Hierdoor zijn de gemiddelde klimaatkosten voor de luchtvaart lastiger te vergelijken met de vorige studie. We zijn er wel van overtuigd dat de robuustheid van deze kostenkennallen is toegenomen ten opzichte van de studie uit 2014.

De verschillen in de totale klimaatkosten kunnen worden verklaard door een combinatie van de ontwikkelingen in de vervoersprestaties (zie Bijlage H.2) en de hierboven besproken verklaringen voor de veranderingen in gemiddelde klimaatkosten.

H.6 Kosten van luchtvervuilende emissies

Tabel 120 geeft een vergelijking van de gemiddelde en totale kosten van luchtvervuilende emissies zoals voor 2010 ingeschat door CE Delft & VU Amsterdam, (2014b) en voor 2018 door deze studie.

Tabel 120 - Vergelijking kosten van luchtvervuilende emissies (prijspeil 2018)

Voertuigcategorie	Gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies			Totale kosten van luchtvervuilende emissies		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	3,8	3,9	+3%	338	385	+14%
Personenauto diesel	11	11	-2%	464	442	-5%
Personenauto LPG	5,2	6,2	+20%	26	16	-40%
Ov-bus diesel	11	11	-4%	40	39	-2%
Touringcar	3,6	1,3	-65%	29	10	-65%
Motorfiets	6,5	8,6	+33%	19	25	+31%
Bromfiets	17	9,9	-41%	17	28	+67%
Personentrein elektrisch (incl. HSL)	5,5	0,68	-88%	92	12,9	-86%
Personentrein diesel	18	43	+137%	14	28	+97%
Luchtvaart personen	0,44	1,09	+150%	33	119	+262%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	23,2	26,3	13%	404	479	+19%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	13,6	11,4	-17%	716	691	-3%
Goederentrein elektrisch	2,4	0,23	-90%	7,7	1,19	-85%
Goederentrein diesel	11,5	10,4	-9%	31	20	-36%
Binnenvaart	9,2	14,4	+56%	372	679	+82%
Zeevaart	1,3	1,4	+4%	1.312	2.838	+116%
Luchtvaart goederen	1,6	5,00	+216%	8,2	35	+324%

Voor enkele vervoerswijzen zien we een stijging in de gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies. Een belangrijke oorzaak hiervan is de hogere milieuprijs voor NO_x , die op basis van nieuwe inzichten van het WHO over de schade van NO_x op menselijke gezondheid voor deze studie is toegepast. Het gaat met name om onomkeerbare effecten op de longfuncties en luchtwegen, vooral bij personen met longziekten. Daarnaast kunnen stikstofdioxide ook bijdragen aan cardiovasculaire ziektes en resulteren in vroegtijdig overlijden. Een uitgebreide toelichting is te vinden in het handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017). De verschoning van het wagenpark, wat vooral bij het wegverkeer te zien is, wordt door deze stijging in de milieuprijs teniet gedaan. Voor de verschillende vervoerswijzen vallen daarnaast de volgende zaken op:

- Voor de touringcar vallen de gemiddelde kosten lager uit dan in de vorige studie, wat te verklaren is door de hogere gemiddelde bezettingsgraad die voor deze voertuigen in deze studie wordt aangenomen.
- De gemiddelde kosten voor de motorfiets vallen relatief hoog uit ten opzichte van de vorige studie. Een belangrijke reden hiervoor is dat de NO_x -uitstoot van deze voertuigen maar zeer beperkt is gedaald, wat in combinatie met de hogere NO_x -prijs zorgt voor een relatief sterke toename in de gemiddelde kosten.
- In Bijlage E is besproken dat de berekeningswijze voor emissies van spoorvervoer zijn aangepast op basis van betere informatie. Daarnaast is er in deze studie rekening gehouden met het onderscheid van PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ in de slijtage-emissies. Hierdoor is de waardering meer precies geworden.
- Voor de luchtvaart worden in deze studie niet enkel de LTO-emissies meegenomen (zoals wel werd gedaan in de vorige studie) maar ook de cruise-emissies, wat ook bijdraagt aan hogere gemiddelde kosten van luchtvervuiling (met een Factor 0,3 tot 0,5). Daarnaast geldt dat de LTO-emissies worden gewaardeerd met een gemiddelde waardering voor landelijk en stedelijk gebied, terwijl in de vorige studie met een waardering voor landelijk gebied werd gerekend (zie ook Bijlage F.7).
- Voor de binnenvaart zijn de gemiddelde kosten van luchtvervuiling relatief hoog ten opzichte van de vorige studie (in vergelijking tot het wegvervoer), wat te verklaren is door het feit dat de binnenvaartvloot nauwelijks verschoond is in de periode 2010-2018 (in tegenstelling tot het wegvervoer). De hogere kosten als gevolg van de hogere milieuprijzen worden in de binnenvaart dus niet/nauwelijks gecompenseerd door lagere emissies per tonkilometer.
- Bij de zeevaart spelen er, in aanvulling op de hogere NO_x -prijs, twee zaken. Enerzijds zijn de SO_2 -emissies op het Nederlands Continentaal Plat sterk gedaald sinds de vorige studie. Omdat de Noordzee tegenwoordig een ‘*Sulphur Emission Control Area*’ (SECA) is, wordt er daar alleen nog zwavelarme brandstof gebruikt door zeeschepen. Dit leidt dus tot een flinke daling in de gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies. Daar staat echter tegenover dat we in deze studie, in tegenstelling tot de vorige studie, ook de schadelijke effecten van emissies die worden uitgestoten buiten het Nederlands Continentaal Plat meenemen. Dit heeft een stijging van de gemiddelde kosten van luchtvervuilende emissies tot gevolg. Per saldo blijken de verschillende effecten elkaar redelijk op te heffen en komen de gemiddelde kosten redelijk overeen met de resultaten uit de vorige studie.

De verschillen in de totale kosten van luchtvervuiling kunnen worden verklaard door een combinatie van de ontwikkelingen in de vervoersprestaties (zie Bijlage H.2) en de hierboven besproken verklaringen voor de veranderingen in gemiddelde kosten van luchtvervuiling.



H.7 Kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie

Tabel 121 presenteert de vergelijking van de gemiddelde en totale kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie. Evenals voor de kosten van klimaatmissies doen we dat voor twee specifieke scenario's voor de CO₂-prijs zoals gehanteerd in beide studies.

Tabel 121 - Vergelijking kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie voor twee specifieke scenario's: scenario 'Midden' uit 2014 studie (CO₂-prijs van € 78/ton) en scenario 'Huidig beleid-HOOG' (CO₂-prijs van € 65/ton) voor deze studie

Voertuigcategorie	Gemiddelde kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie			Totale kosten van emissies van brandstof- en elektriciteitsproductie		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	9,0	8,4	-6%	788	614	-22%
Personenauto diesel	6,3	5,9	-7%	266	164	-38%
Personenauto LPG	5,5	3,5	-37%	28	7,3	-74%
Ov-bus diesel	3,8	5,6	+47%	14	14	+2%
Touringcar	1,7	0,63	-62%	14	3,5	-74%
Motorfiets	6,3	6,3	0%	18	14	-26%
Bromfiets	2,6	4,0	+51%	2,6	8,4	+222%
Personentrein elektrisch (incl. HSL)	4,4	3,2	-28%	73	61	-17%
Personentrein diesel	1,9	3,1	+63%	1,5	2,1	+35%
Luchtvaart personen	4,3	3,9	-8%	321	309	-4%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	12	10	-12%	202	127	-37%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	5,4	5,7	+4%	286	236	-17%
Goederentrein elektrisch	1,9	0,85	-56%	6,2	4,7	-24%
Goederentrein diesel	1,3	0,65	-50%	3,5	1,5	-57%
Binnenvaart	1,8	1,9	+4%	73	60	-17%
Zeevaart	0,51	0,21	-59%	493	303	-39%
Luchtvaart goederen	19	21	+10%	100	106	+6%

De gemiddelde kosten liggen in 2018 voor enkele vervoerswijzen ligt hoger dan in 2010. Dit is vooral het gevolg is van de hogere milieuprijzen voor luchtvervuilende emissies. Voor andere vervoerswijzen zijn de kosten gedaald door lagere emissies. De meest opvallende punten zijn:

- Voor de touringcar zorgt de hogere beladingsgraad ervoor dat er per saldo toch sprake is van lagere gemiddelde kosten.
- In Bijlage E is besproken dat de berekeningswijze voor brandstofverbruik en emissies van spoorvervoer zijn aangepast op basis van betere informatie. Hierdoor is de waardering preciezer geworden.
- Voor de zeevaart wordt het gemiddelde energieverbruik per tonkilometer in de huidige studie lager ingeschat dan in de vorige studie (waardoor ook de gemiddelde kosten lager uitvallen), wat het gevolg is van het gebruik van een meer recente en betrouwbaardere bron.

De verschillen in totale kosten kunnen verklaard worden door een combinatie van de ontwikkelingen in de vervoersprestaties (zie Bijlage H.2) en de hierboven besproken verklaringen voor de veranderingen in gemiddelde kosten.

H.8 Kosten van geluid

Tabel 122 presenteert een vergelijking tussen de gemiddelde en totale geluidskosten in 2010 (zoals ingeschat in de vorige studie) en 2018 (zoals bepaald in deze studie).

Tabel 122 - Vergelijking geluidskosten

Voertuigcategorie	Gemiddelde geluidskosten			Totale geluidskosten		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto benzine	4,4	5,2	18%	390	508	30%
Personenauto diesel	3,6	3,8	4%	152	154	1%
Personenauto LPG	3,2	4,0	26%	16	10	-37%
Ov-bus diesel	11	20	85%	39	74	88%
Touringcar	1,5	1	-44%	13	7,0	-44%
Motorfiets	40	47	16%	117	134	14%
Bromfiets	144	145	0%	144	411	185%
Personentrein elektrisch (incl. HSL)	1,6	1,2	-25%	26	22	-14%
Personentrein diesel	4,8	3,6	-25%	3,8	2,4	-38%
Luchtvaart personen	0,21	0,36	72%	16	39	149%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto totaal	6,4	6,4	0%	111	116	5%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto totaal	4,2	5,2	24%	220	315	43%
Goederentrein elektrisch	1,5	0,84	-45%	4,8	4,3	-11%
Goederentrein diesel	1,6	0,87	-45%	4,4	1,7	-61%
Luchtvaart goederen	0,8	0,81	7%	4	6	44%

Wanneer we kijken naar de gemiddelde geluidskosten voor het wegverkeer, dan zien we dat die voor nagenoeg alle vervoerswijzen toenemen. De recentere en hogere waarderingsskintallen die zijn gebruikt zijn hiervoor de verklaring. Het aantal geluidgehinderde personen is voor het wegverkeer is namelijk wel afgenomen (vooral bij hogere geluidsniveaus)⁸², maar dit effect wordt dus ‘teniet gedaan’ door de toepassing van hogere waarderingsskintallen. Er zijn echter uitzonderingen:

- Dit is niet het geval bij de bromfiets. De bromfiets maakt relatief veel gebruik van wegen binnen de bebouwde kom en daar blijkt de afname van het aantal geluidbelaste mensen (ten opzichte van de vorige studie) hoger te zijn dan buiten de bebouwde kom, waardoor de gemiddelde geluidskosten relatief lager uitvallen dan voor bijvoorbeeld de personenauto.

⁸² Het is onduidelijk wat de oorzaak is van deze afname. Enerzijds kan het gaan om een daadwerkelijke daling in het aantal geluidbelaste mensen (bijvoorbeeld door meer/betere mitigerende maatregelen). Anderzijds kan de afname ook methodologische redenen hebben, aangezien in deze studie een andere bron is gebruikt voor de bepaling van het aantal geluidbelaste mensen als in de vorige studie.

- De daling in gemiddelde geluidkosten van de touringcar is wederom te verklaren door de veel hogere bezettingsgraad dan in de vorige studie.
- De totale geluidsoverlast van spoorvervoer is wel gedaald. Hierdoor vallen de totale en gemiddelde kosten lager uit voor treinen.
- Ook bij de personenluchtvaart is er sprake van een stijging van de gemiddelde geluidkosten. Naast het feit dat ook hier gerekend wordt met een hoger waarderingskental, zijn er volgens onze berekeningen ook meer geluidbelaste mensen als gevolg van de luchtvaart ten opzichte van de vorige studie (vooral bij lagere geluidsniveaus)⁸³. Vandaar ook dat de toename in de gemiddelde kosten hoger is dan bij de wegvervoerswijzen.
- Voor de vrachtluchtvaart vallen de gemiddelde geluidkosten (minimaal) hoger uit, wat te verklaren is door de toepassing van een alternatieve toewijzingsmethodiek, waardoor een kleiner deel van de geluidkosten van de luchtvaart wordt toegewezen aan de vrachtluchtvaart.

Evenals bij de vorige kostenposten geldt dat verschillen in totale kosten kunnen worden verklaard worden door een combinatie van de ontwikkelingen in de vervoersprestaties en de besproken verklaringen voor de veranderingen in gemiddelde kosten.

H.9 Kosten van congestie

In deze studie worden de kosten van congestie zowel voor het hoofdwegennet als voor het stedelijke wegennet berekend. Daarmee is de scope van deze studie aanmerkelijk breder dan die in CE Delft & VU Amsterdam, (2014b), waar immers alleen de congestiekosten op het hoofdwegennet is ingeschat. Om deze reden is slechts voor de congestiekosten op hoofdwegen een vergelijking met de vorige studie opgenomen. Tabel 123 presenteert een vergelijking tussen de gemiddelde en totale congestiekosten in 2010 (zoals ingeschat in de vorige studie) en 2018 (zoals bepaald in deze studie).

Het valt op dat de totale congestiekosten van personenauto's LPG, ov-bussen en touringcars sterk zijn gedaald. Dit komt omdat de vervoersprestatie op hoofdwegen is afgenomen ten opzichte van de situatie in 2010. Voor de overige voertuigcategorieën is juist een licht stijging in de totale congestiekosten berekend.

Bij de gemiddelde congestiekosten valt voornamelijk op dat de kosten van ov-bussen sterk zijn toegenomen terwijl de kosten van touringcars sterk zijn afgenomen. Dit heeft te maken met afwijkende aannames voor de gemiddelde bezetting ten opzichte van de vorige studie⁸⁴.

⁸³ Wederom is onduidelijk of het hier om een daadwerkelijke stijging gaat of dat er een methodologische oorzaak voor deze stijging is.

⁸⁴ De gemiddelde bezetting van touringcars is in de huidige studie gelijk aan 48, terwijl in de vorige studie een bezetting van drieëntwintig werd verondersteld. De gemiddelde bezetting van ov-bussen is in de huidige studie gelijk aan acht, terwijl in de vorige studie een bezetting van twaalf werd verondersteld.

Tabel 123 - Vergelijking congestiekosten op hoofdwegen

Voertuigcategorie	Gemiddelde congestiekosten			Totale congestiekosten		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Personenvervoer (€/1.000 rkm en mln. €)						
Personenauto	31	35	+13%	1028	1363	+33%
Ov-bus	6,9	11,90	+72%	5,3	1,3	-76%
Touringcar	3,5	1,9	-47%	14	6,7	-53%
Motorfiets	18	19,7	+11%	21	24	+12%
Bestelauto (€/1.000 vkm en mln. €)						
Bestelauto	49	54	+11%	441	515	+17%
Goederenvervoer (€/1.000 tkm en mln. €)						
Vrachtauto	22	24	+6%	821	1036	+26%

H.10 Gezondheidsbaten van fietsen

Tabel 124 presenteert een vergelijking tussen de gemiddelde en totale gezondheidsbaten van fietsen in 2010 (zoals ingeschat in de vorige studie) en 2018 (zoals bepaald in deze studie). De baten in de huidige situatie vallen significant hoger uit. Dit komt omdat er in deze studie gebruik wordt gemaakt voor een meer recente bron die specifiek voor Nederland geldt. De vorige studie ging uit van conservatieve waarden op basis van de Belgische situatie.

Tabel 124 - Vergelijking gezondheidsbaten fietsen

Voertuigcategorie	Gemiddelde gezondheidsbaten (€/1.000 rkm)			Totale gezondheidsbaten (mln. €)		
	2010	2018	Relatieve verandering	2010	2018	Relatieve verandering
Gewone fiets	43	120	278%	594	2.205	370%