

De externe- en infrastructuurkosten van lucht- en zeevaart

Arno Schroten
CE Delft
schroten@ce.nl

Sanne Aarnink
CE Delft
aarnink@ce.nl

Huib van Essen
CE Delft
essen@ce.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
20 en 21 november 2014, Eindhoven**

Samenvatting

De externe en infrastructuurkosten van lucht- en zeevaart

Verkeer en vervoer leveren een belangrijke bijdrage aan onze welvaart. Echter, tegenover deze baten staan ook kosten. Een groot deel van deze kosten is intern van aard en wordt door de gebruiker meegenomen in mobiliteitsbeslissingen. Daarnaast zijn er echter ook externe kosten van verkeer en vervoer, die als kenmerk hebben dat ze door gebruikers niet meegenomen worden in hun mobiliteitsbeslissingen en daardoor leiden tot een inefficiënte omvang en samenstelling van de mobiliteit. Eenzelfde redenering gaat ook op voor infrastructuurkosten, zolang er tegenover deze kosten geen directe gebruikersheffingen staan.

Voor de externe en doorgaans ook de infrastructuurkosten komen er op de markt geen prijzen tot stand. Deze kosten dienen op een alternatieve wijze ingeschat te worden. Deze analyse is, in opdracht van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid van het ministerie van I&M, door CE Delft en de Vrije Universiteit uitgevoerd en vastgelegd in de rapportage 'Externe en infrastructuurkosten van verkeer' (CE Delft en VU, 2014). Deze studie is een actualisatie en verbreding van "De prijs van een reis" (CE Delft en VU, 2004). In deze actualisatie is voor het eerst ook aandacht besteed aan de lucht- en zeevaart. In deze paper presenteren we de belangrijkste resultaten voor deze twee vervoerswijzen.

Een belangrijk punt waarop de lucht- en zeevaart zich onderscheiden van andere vervoerswijzen is dat een deel van de externe kosten die ze veroorzaken neerslaan in niet-territoriale gebieden (bijv. de CO₂-emissies die door de zeevaart worden uitgestoten op volle zee). Vanuit beleidsmatig oogpunt is het echter gewenst dat deze kosten worden toegewezen aan een land, om te voorkomen dat er niemand verantwoordelijk kan worden gehouden voor deze effecten. Een toewijzingsmethodiek waarbij de helft van de effecten die samenhangen met de reis van en naar Nederlandse (lucht)havens worden toegewezen aan Nederland lijkt hiervoor het meest geschikt.

Zowel voor de lucht- als zeevaart geldt dat de kosten van broeikasgasemissies een belangrijk onderdeel vormen van de totale externe kosten. Voor de zeevaart geldt wel dat op de korte termijn de verwarmende effecten van de broeikasgasemissies gecompenseerd kunnen worden door het verkoelende effect van de uitstoot van SO₂ en NO_x. Op de langere termijn draagt echter ook de zeevaart netto bij aan de opwarming van de aarde, zeker als de SO₂-inhoud van de door de zeevaart gebruikte stookolie onder druk van luchtkwaliteitsbeleid wordt teruggebracht.

Voor zowel de lucht- als zeevaart geldt tenslotte dat ze aanzienlijke infrastructuurkosten kennen, die echter nagenoeg volledig gedekt worden door de opbrengsten van de gehanteerde gebruikersheffingen (havengelden en luchthavengelden).

1. Inleiding

Verkeer en vervoer leveren een belangrijke bijdrage aan onze welvaart. Tegenover deze baten staan echter ook kosten. Een groot deel van deze kosten zijn intern van aard, wat wil zeggen dat ze worden gedragen door degenen die ze veroorzaken (o.a. brandstofkosten, aanschafkosten vervoermiddel, onderhoudskosten) en daardoor ook worden meegenomen in mobiliteitsbeslissingen.

Naast deze interne kosten is verkeer en vervoer ook verantwoordelijk voor externe kosten. Deze kosten worden niet, of alleen in het geval er gebruiksheffingen van kracht zijn, meegenomen in de mobiliteitsbeslissingen van individuen en bedrijven. Dit leidt tot een inefficiënte omvang/samenstelling van de mobiliteit. Voorbeelden van externe kosten zijn de kosten van luchtvervuilende emissies en geluidsoverlast. 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. Het gevolg is dat ook deze kosten meestal niet of onvoldoende worden meegenomen in mobiliteitsbeslissingen.

Omdat er voor de externe en infrastructuurkosten geen waarde tot stand komt op de markt dienen deze kostenposten op een alternatieve wijze ingeschat te worden. Om een volledig (macro-economisch) beeld te krijgen van de kosten van verkeer en vervoer in Nederland dienen daarnaast ook de betaalde belastingen en (gebruiks)heffingen (en ontvangen subsidies) door verkeersdeelnemers in kaart te worden gebracht. Dit alles is gedaan in de studie 'Externe en infrastructuurkosten van verkeer' die CE Delft en de Vrije Universiteit in opdracht van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid van het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben opgeleverd (CE Delft en VU, 2014). Deze studie is een actualisatie en verbreding van 'De Prijs van een Reis' uit 2004 (CE Delft en VU, 2004). In onderstaande tekstbox wordt de nieuwe studie nader toegelicht.

In deze paper gaan we op basis van de resultaten van CE Delft en VU (2014) specifiek in op de (totale) externe en infrastructuurkosten van lucht- en zeevaart in 2010¹. Hiervoor hebben we verschillende redenen; allereerst is CE Delft en VU (2014) één van de eerste studies die op een integrale wijze alle externe en infrastructuurkosten voor deze vervoerswijzen in beeld brengt. Daarnaast spelen er bij deze vervoerswijzen enkele interessante methodologische uitdagingen, waarvoor in de bovengenoemde studie een aanpak is ontwikkeld.

Externe en infrastructuurkosten van verkeer in Nederland

In de studie 'Externe en infrastructuurkosten van verkeer in Nederland' (2014) worden voor een breed scala aan vervoersmiddelen (zowel personen als goederenvervoer) de externe kosten, infrastructuurkosten, betaalde belastingen en heffingen en uitgekeerde subsidies in 2010 in kaart gebracht. Ten opzichte van haar voorganger, 'De Prijs van een Reis' (2004), is de insteek van deze studie breder. Zo worden er meer vervoerswijzen meegenomen (nieuw zijn: metro, tram, fiets, trein, vliegtuig) en ook meer externe kostenposten (nieuw zijn: kosten van aantasting van natuur en landschap, grond- en

¹ De resultaten in CE Delft en VU (2014) zijn specifiek bepaald voor 2010 en kunnen niet zomaar vertaald worden naar kosten/baten voor andere jaren. De omvang van externe effecten kan namelijk sterk fluctueren tussen jaren (bijv. doordat voertuigen schoner worden waardoor de kosten van luchtvervuilende emissies afnemen) en een doorvertaling van de effecten voor 2010 naar toekomstige jaren dient dan ook met de nodige zorg gedaan te worden.

watervervuiling en de externe gezondheidsbaten van fietsen). Ook wordt er gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten m.b.t. het waarderen van externe effecten, een onderzoeksgebied dat zich sinds 2004 sterk ontwikkeld heeft. De studie is gebaseerd op beschikbare wetenschappelijke literatuur en onafhankelijke databronnen. Het opstellen van de studie is begeleid door een klankbordgroep met vertegenwoordigers van onder andere brancheorganisaties van de verschillende vervoerwijzen. De resultaten van deze studie kunnen in vele beleidstrajecten gebruikt worden. Daarnaast kunnen ze ook toegepast worden in maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's) van infrastructurele en verkeer gerelateerde projecten.

In het vervolg van deze paper bespreken we allereerst in algemene termen de methodiek voor het waarderen van externe effecten van verkeer (paragraaf 2). Tevens gaan we daarbij in op enkele algemene methodologische uitgangspunten die vooral voor de lucht- en zeevaart van belang zijn. Vervolgens gaan we in paragraaf 3 en 4 in op de externe en infrastructuurkosten van de lucht- en zeevaart. Tot slot presenteren we in paragraaf 5 de belangrijkste conclusies.

2. Het waarderen van externe effecten van verkeer

Het waarderen van externe effecten in een notendop

Voor het waarderen van de externe effecten van verkeer hebben we in CE Delft en VU (2014) gebruik gemaakt van een top-down methode²; d.w.z. dat we eerst de totale externe kosten voor een verkeerscategorie hebben bepaald (bijvoorbeeld wegverkeer), om die vervolgens onder te verdelen naar de verschillende vervoerswijzen (bijv. personenauto, bestelauto, bus, etc.). Op hoofdlijnen onderscheiden we bij deze methodiek een drietal stappen:

1. *Bepalen van de fysieke effecten*; hierbij gaat het om het bepalen van de totale emissies, aantal verkeersslachtoffers, aantal geluidgehinderde personen, etc. Voor het bepalen van de fysieke effecten is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van nationale CBS-statistieken, waar nodig gecombineerd met aanvullende statistieken/inschattingen.
2. *Waarderen van de fysieke effecten*; door de fysieke effecten te vermenigvuldigen met relevante schaduw prijzen (waardering per eenheid fysiek effect, bijv. €/slachtoffer, € per ton emissie) worden de totale externe kosten bepaald. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van twee methoden. Allereerst is daar de schadekostenmethode, waarbij er wordt uitgegaan van de kosten van de schade die optreedt als gevolg van het externe effect. Een alternatieve waarderingstechniek is het gebruik van preventiekosten. Daarbij wordt de waardering voor een extern effect gebaseerd op de kosten van (mogelijke) maatregelen die ingezet kunnen worden om vastgestelde beleidsdoelen op een kostenefficiënte wijze te realiseren. Theoretisch gezien verdient de schadekostenmethode de voorkeur, omdat die direct aansluit bij de kosten die veroorzaakt worden door het optreden van een extern effect. Echter, er zijn twee situaties waarin het gebruik van de preventiekostenmethode meer voor de hand ligt (CE Delft, 2007):
 - Er bestaan (internationaal) afgesproken beleidsdoelstellingen voor het betreffende externe effect; de kosten om deze doelstelling te halen kunnen dan gehanteerd worden als waardering voor het effect.
 - Het is niet mogelijk om (alle) schade van een extern effect op een betrouwbare wijze te kwantificeren en waarderen (voor broeikasgasemissies is het bijvoorbeeld

² Uiteraard is het ook mogelijk om gebruik te maken van een bottom-up benadering, waarbij de externe kosten eerst op voertuigniveau worden bepaald en vervolgens worden opgeschaald naar vlootniveau. Echter, om de consistentie in de bepaling van externe kosten tussen de verschillende vervoerswijzen te verbeteren is ervoor gekozen om voor alle vervoerswijzen een top-down methode toe te passen; het was vanwege een gebrek aan data niet mogelijk om voor alle vervoerswijzen/kostenposten een bottom-up benadering toe te passen.

erg lastig om de aard en omvang van alle verschillende mogelijke directe en indirecte effecten van opwarming van de aarde te bepalen).

3. *Toedelen van de totale kosten aan de verschillende vervoerswijzen*; voor de toedeling van de totale kosten aan de verschillende vervoerswijzen wordt gebruik gemaakt van specifieke 'cost drivers', d.w.z. kenmerken van voertuigen die een belangrijke verklarende factor vormen voor de hoogte van de kosten. Voor de kosten van geluid zijn bijvoorbeeld het aantal afgelegde voertuigkilometers en de geluidproductie van een voertuig belangrijke cost drivers voor de toedeling van de totale geluidskosten. Bij de luchtvaart dienen de totale kosten toegedeeld te worden aan de personen- en vrachtluchtvaart. Bij de zeevaart spelen toedelingsvraagstukken vooral bij de infrastructuurkosten en kosten van ruimtebeslag; deze kosten dienen verdeeld te worden over de zee- en binnenvaart (zie ook paragraaf 4).

Geografische afbakening

Bij de bepaling van de externe kosten van verkeer en vervoer in Nederland worden normaliter enkel de externe effecten die plaatsvinden op Nederlands grondgebied meegenomen. Voor de internationale vervoerswijzen lucht- en zeevaart is dit echter problematisch, omdat dan voor bepaalde externe effecten (kosten van broeikasgasemissies, ongevalskosten) een groot deel van de kosten aan geen enkel land toegedeeld zouden worden. Dit vervoer vindt namelijk vaak plaats in niet-territoriale gebieden (luchtruim/wateren), waardoor bij toepassing van bovenstaande methodiek slechts een deel van de externe kosten (het deel dat betrekking heeft op de kilometers afgelegd in territoriaal gebied) wordt toegewezen aan een bepaald land.

Om bovenstaande problematiek het hoofd te bieden maken we voor de internationale vervoerswijzen lucht- en zeevaart onderscheid tussen 'lokale' en 'mondiale' externe effecten. Voor de 'lokale' effecten (luchtvervuilende emissies³, geluid, maar ook infrastructuurkosten en kosten van ruimtebeslag) hoeft enkel rekening te worden gehouden met de effecten op Nederlands grondgebied (voor zeevaart: Nederlands Continentaal Plat; voor luchtvaart effecten die optreden op de luchthavens of gedurende de Landing and Take-off (LTO) fase). Voor de mondiale externe effecten wordt er daarentegen gerekend met de effecten die samenhangen met de helft van de reis van al het verkeer van en naar Nederlandse (lucht)havens; de andere helft wordt toegedeeld aan de vertreklocatie of bestemming van de reis⁴.

Uiteraard was het ook mogelijk geweest om gebruik te maken van een alternatieve toewijzingsmethodiek voor de mondiale effecten van lucht- en zeevaart. Enkele alternatieven zijn:

- Alle externe effecten van de reis van vertrekkende vliegtuigen/schepen uit Nederland worden toegewezen aan Nederland; dit levert (ongeveer) dezelfde resultaten op als de 50% toedeling.
- Alle externe effecten van de reis van aankomende vliegtuigen/schepen in Nederland worden toegewezen aan Nederland; dit levert (ongeveer) dezelfde resultaten op als de 50% toedeling.
- De externe effecten worden toegewezen op basis van de nationaliteit van de luchtvaartmaatschappij en de reder (of de vlag waaronder het schip vaart). Deze todelingsmethodiek leidt tot verwarrende uitkomsten, omdat er geen enkel verband meer is met het land van herkomst/bestemming van de reis.
- De externe effecten worden toegewezen aan het land dat de uiteindelijke bestemming is van de persoon of het goed dat wordt vervoerd. De externe kosten die samenhangen met een container die via de Rotterdamse haven vervoerd wordt

³ Uiteraard stoten schepen en vliegtuigen ook in niet-territoriale gebieden luchtvervuilende emissies uit. Dit is echter dermate ver verwijderd van bewoond gebied dat is aangenomen dat de schade van deze emissies voor de menselijke gezondheid verwaarloosbaar zijn. Eenzelfde soort redenering geldt voor de kosten van geluid.

⁴ Deze toewijzingsmethodiek wordt vaak (evt. in aangepaste vorm) toegepast bij mondiale effecten van internationaal vervoer, bijvoorbeeld bij het EU ETS voor de luchtvaart.

naar Duitsland worden dan aan Duitsland toegewezen. Deze methodiek sluit echter niet aan bij de toewijzingsmethodiek die wordt gehanteerd voor andere vervoerswijzen en vraagt om zeer gedetailleerde data over de eindbestemmingen van personen/goederen, data die vaak niet voor handen is.

De bovenstaande alternatieve methodieken leiden ofwel tot vergelijkbare resultaten, ofwel sluiten niet aan bij de gehanteerde aanpak voor de overige vervoerswijzen (en kunnen leiden tot verwarrende uitkomsten). De methodiek om 50% van de mondiale effecten van al het verkeer van en naar Nederlandse (lucht)havens toe te wijzen aan Nederland verdient daarom volgens ons de voorkeur.

Onzekerheden

Het bepalen van externe en infrastructuurkosten voor verkeer wordt gekenmerkt door onzekerheden. Dit is o.a. het gevolg van onzekerheden in de gehanteerde waarderingmethoden, beperkingen in de gehanteerde inputdata en onzekerheden in de aannames die voor de berekeningen (soms) gemaakt moeten worden. Om deze onzekerheden in beeld te brengen presenteren we voor alle kostenschattingen een bandbreedte. Waar de onzekerheden substantieel zijn lichten we dit ook op een transparante wijze toe (incl. een toelichting op wat de belangrijkste redenen zijn voor deze onzekerheden). Daarnaast hebben we in CE Delft en VU (2014) soms ook gevoeligheidsanalyses toegepast om de gevolgen van fundamenteel andere methodologische uitgangspunten voor de resultaten in beeld te brengen.

3. Luchtvaart

Een overzicht van de totale externe en infrastructuurkosten en betaalde belastingen en heffingen is voor de luchtvaart weergegeven in Tabel 1 (personenluchtvaart) en Tabel 2 (vrachtluchtvaart). Voor de bepaling van deze kosten is het vaak nodig om een toedeling te maken van kosten naar personen- en vrachtluchtvaart. Voor de 'lokale' externe effecten hebben we dat gedaan op basis van de aandelen van deze twee vormen van luchtvaart in de totale LTO's, terwijl we het voor de 'mondiale effecten' hebben gedaan op basis van de aandelen in het totale brandstofverbruik (zodat er o.a. rekening gehouden kan worden met verschillende gemiddelde vluchtlengten van personen- en vrachtluchtvaart).

De belangrijkste kostenposten voor de luchtvaart zijn de kosten van broeikasgasemissies, de infrastructuurkosten en de kosten van brandstofproductie. Tegenover de infrastructuurkosten staan echter ook aanzienlijke infrastructuurheffingen (luchthavengelden en geluidsgelden), die het overgrote deel van deze kosten dekken. Daarmee zijn deze kosten dus grotendeels geïnternaliseerd. De congestiekosten/schaarstekosten van de luchtvaart zijn vanwege het ontbreken van data niet gekwantificeerd.

Zoals duidelijk wordt uit Tabel 1 en Tabel 2 worden de schattingen van de externe kosten van luchtvaart gekenmerkt door een hoge mate van onzekerheid. Met name de hoogte van de kosten van emissies en geluid zijn erg onzeker, wat vooral het gevolg is van onzekerheid in de te gebruiken schaduw prijzen. Doordat de kostenposten verschillen in de mate van onzekerheid dient optelling van de verschillende kostenposten ook met zorg gedaan te worden; nadere bestudering van de onzekerheden per kostenpost is daarvoor nodig. In het vervolg van deze paragraaf bespreken we de verschillende posten in meer detail en gaan daarbij ook dieper in op de onzekerheden.

Tabel 1 Totale infrastructuur- en externe kosten, belastingen en heffingen voor de personenluchtvaart in Nederland in 2010 (mld €)

	Infrastructuurkosten	Externe kosten	Belastingen	Gebruiksheffingen
Infrastructuurkosten vast	671 (609 - 746)			
Infrastructuurkosten variabel	60			

	(58 - 62)			
Kosten van ruimtebeslag		12 (8 - 24)		
Ongevaskosten		12 (10 - 14)		
Kosten van broeikasgasemissies		1.039 (133 - 1.944)		
Kosten van luchtvervuiling		33 (17 - 66)		
Kosten van emissies van brandstofproductie		284 (111 - 558)		
Geluidkosten		16 (1 - 21)		
Congestiekosten/ schaarstekosten		PM		
Overige externe kosten		17 (7 - 17)		
Brandstofaccijns			1	
Infrastructuurheffing				706
Totaal	731 (667 - 808)	1.413 (287 - 2.644)	1	706

Tabel 2 Totale infrastructuur- en externe kosten, belastingen en heffingen voor de vrachtluchtvaart in Nederland in 2010 (mld €)

	Infrastructuurkosten	Externe kosten	Belastingen	Gebruiksheffingen
Infrastructuurkosten vast	66 (60 - 74)			
Infrastructuurkosten variabel	5,9 (5,7 - 6,1)			
Kosten van ruimtebeslag		1,2 (0,8 - 2,4)		
Ongevaskosten		3,9 (3,3 - 4,4)		
Kosten van emissies van broeikasgasemissies		323 (41 - 605)		
Kosten van luchtvervuiling		3 (2 - 7)		
Kosten van brandstofproductie		89 (34 - 174)		
Geluidkosten		2 (0,1 - 2)		
Congestiekosten/ schaarstekosten		PM		
Overige externe kosten		1,6 (0,7 - 1,6)		
Brandstofaccijns			-	
Infrastructuurheffing				20
Totaal	72 (66 - 80)	424 (82 - 796)	1	20

Infrastructuurkosten

De infrastructuurkosten voor de luchtvaart in Nederland zijn gebaseerd op de infrastructuurkosten voor de luchthavens van nationale betekenis: Schiphol, Eindhoven Airport, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport en Rotterdam-The Hague Airport. Daarbij zijn de operationele kosten, afschrijvingen en vermogenskosten van luchtvaartactiviteiten (incl. beveiliging van passagiers en bagage) meegenomen.

Kosten van ruimtebeslag

De kosten van ruimtebeslag bestaan uit de opportuniteitskosten van het gebruik van schaarse grond; de grond die nu gebruikt wordt voor de luchtvaart had ook gebruikt kunnen worden voor andere renderende activiteiten. Hierbij zijn zowel het directe als indirecte ruimtebeslag door de luchtvaart van belang. Bij direct ruimtebeslag gaat het om

de oppervlakte van de terreinen van de verschillende luchthavens in Nederland⁵, wat gelijk is aan ca. 36,7 km². Onder indirect ruimtebeslag worden (wettelijk) beperkende gebruiksmogelijkheden van gronden in de nabijheid van luchthavens verstaan, waarbij het vooral gaat om het ruimtebeslag als gevolg van de geluidzonering rondom luchthavens⁶. Er is aangenomen dat ca. 10% van deze grond potentieel bruikbaar is voor commerciële bebouwing (d.w.z. 18,5 km²). De totale kosten van ruimtebeslag worden tenslotte verkregen door het ruimtebeslag te vermenigvuldigen met de waarde van de ruimte.

Externe ongevalskosten

De totale externe ongevalskosten van de luchtvaart zijn bepaald door het aantal slachtoffers (dodelijk, zwaar gewond en lichtgewond) te vermenigvuldigen met de kosten per slachtoffer. Het gemiddelde jaarlijkse aantal slachtoffers op vluchten van een naar Nederland is gebaseerd op ongevallenstatistieken voor de periode 2000-2010. Deze methodiek is gehanteerd om te kunnen corrigeren voor sterke schommelingen over de jaren van het aantal slachtoffers.

De kosten per slachtoffer bestaan uit verschillende elementen, waarbij de immateriële kosten voor het slachtoffer en hun naasten (de kosten van leed, pijn, verdriet en levensvreugde) veruit de belangrijkste zijn. Deze kosten kunnen gewaardeerd worden met behulp van de waarde van een statistisch mensenleven (value of a statistical life, VOSL). De VOSL is gebaseerd op het bedrag dat mensen overhebben voor een risico-reductie ('willingness to pay', WTP) en vormt daarmee een goed waarderingskental voor de immateriële kosten van verkeersongevallen. Bij de VOSL gaat het dus expliciet niet om de waardering van een leven; die waardering zal immers oneindig hoog zijn. Voor Nederland is de VOSL vastgesteld op € 2,8 ± 0,4 miljoen (gebaseerd op SWOV, 2005). Deze waarde is door ons ook voor de luchtvaart gehanteerd. Echter, in de literatuur bestaat er wel veel discussie over de vraag of deze 'algemene' VOSL geschikt is om te gebruiken voor de luchtvaart (zie bijvoorbeeld GRACE, 2006; HGL, 1999; SWOV, 2005). Twee effecten zijn hierbij van belang: het schaaffect en het contexteffect. Het schaaffect verwijst naar de invloed die het aantal (mogelijke) slachtoffers heeft op de VOSL. Sommige experts zijn van mening dat de VOSL voor ongevallen met veel slachtoffers (zoals in de luchtvaart) hoger ligt dan voor ongevallen met relatief weinig slachtoffers (zoals vaak het geval is in het wegverkeer). Er zijn echter ook onderzoeken die juist precies het tegenovergestelde resultaat vinden. Bij het contexteffect gaat het om de mate van vrijwilligheid waarmee een risico gelopen wordt. Als de mate van vrijwilligheid groter is, dan is de VOSL over het algemeen lager. Dit kan ertoe leiden dat de VOSL voor collectieve vormen van transport (zoals de luchtvaart) hoger zijn dan voor individuele vormen van transport. Hoewel er dus aanwijzingen zijn dat de VOSL voor de luchtvaart afwijkt van de 'algemene' VOSL is er te weinig kennis beschikbaar om met een luchtvaart specifieke VOSL te rekenen. Nader onderzoek op dit vlak is nodig.

Kosten van broeikasgasemissies

Voor de bepaling van de kosten van broeikasemissies van de luchtvaart is uitgegaan van 50% van de CO₂ emissies van alle vluchten van en naar Nederland (zie paragraaf 2). Naast CO₂ hebben ook tal van andere emissies die worden uitgestoten op grote hoogten een sterk verwarmend effect. Om ook de klimaateffecten van deze emissies mee te kunnen nemen wordt er een correctiefactor van 2 toegepast op de CO₂-emissies (Lee et al., 2009). Hoewel deze correctiefactor op grote schaal wordt gebruikt in de literatuur,

⁵ Een klein deel van de luchthaventerreinen (ca. 3%) worden gebruikt voor niet-luchtvaart gebonden activiteiten (bijv. winkels, kantoren). Dit ruimtebeslag wordt dan ook niet meegenomen. Merk bovendien op dat deze gronden worden verhuurd, waardoor er een prijs voor tot stand komt op de markt. Met andere woorden, het gaat hier om interne kosten en niet meer om externe kosten.

⁶ Ook de risicocontouren voor externe veiligheid leggen beperkingen op aan de gebruiksmogelijkheden van gronden rondom luchthavens. Echter, deze risicocontouren vallen binnen de geluidszonering en zorgen dus niet voor additioneel ruimtebeslag.

wordt er ook aangegeven dat deze factor erg onzeker is. Met name de klimaateffecten van cirrusbewolking veroorzaakt door de uitstoot van emissies op grote hoogten is erg onzeker. Wanneer dit effect niet wordt meegenomen dan dient er te worden uitgegaan van een correctiefactor van 1,3 (Lee et al., 2009). Laatstgenoemde factor is gehanteerd bij de bepaling van de ondergrens van de kosten van broeikasgasemissies van de luchtvaart. De onzekerheid over de klimaateffecten van emissies uitgestoten op grote hoogten vormt dus één van de verklaringen voor de relatief grote onzekerheid in de kosten van broeikasgasemissies voor deze vervoerswijze.

Een tweede belangrijke bron voor de onzekerheid in de kosten van broeikasgasemissies van de luchtvaart is de te hanteren schaduwprijs voor CO₂. De schaduwprijs voor CO₂ is gebaseerd op de preventiekostenmethode, vanwege de redenen zoals die zijn genoemd in paragraaf 2. Allereerst bestaat er nog zeer veel onzekerheid over de effecten van klimaatverandering en hun omvang alsmede over de wijze waarop deze effecten moeten worden gekwantificeerd (zie ook VU, 2012). Daarnaast zijn er voor CO₂-reductie verschillende beleidsdoelstellingen geformuleerd, zodat de preventiekostenmethode een betere schatting oplevert van de CO₂-prijs dan de schadekostenmethode. Maar ook toepassing van de preventiekostenmethode resulteert in een brede bandbreedte voor de schaduwprijs voor CO₂. Dit is vooral het gevolg van de verschillende beleidsdoelstellingen die er bestaan voor CO₂-reductie, doelstellingen die niet allemaal in lijn liggen met elkaar.

Voor de ondergrens van de bandbreedte voor de CO₂-prijs wordt uitgegaan van de korte termijn klimaatdoelstellingen van de Europese Commissie voor 2020 (20% CO₂-reductie t.o.v. 1990). De kosten voor het realiseren van deze doelstelling ligt waarschijnlijk in de orde grootte van € 10 tot € 25 per ton. Vandaar dat als ondergrens voor de CO₂-prijs is gekozen voor € 10 per ton. De bovengrens is gebaseerd op de kosten voor het realiseren van de 2°C-doelstelling in 2050 (stabilisatie van broeikasgassen op 450 ppm). Deze doelstelling is aanmerkelijk scherper dan de 20%-reductiedoelstelling voor 2020 en daarmee uitermate geschikt om toe te passen bij de bepaling van de bovengrens van de CO₂-schaduwprijs. Op basis van Kuik et al. (2009) schatten we in dat de kosten voor het realiseren van deze doelstelling in 2010 in de range van € 44 tot € 146 per ton CO₂ ligt, met een middenwaarde van € 78 per ton. De bovengrens van deze range is gehanteerd voor de bepaling van de bovengrens van de kosten van broeikasgasemissies van luchtvaart (en zeevaart). Voor het bepalen van de middenwaarde van deze kosten is uitgegaan van een schaduwprijs van € 78 per ton.

Kosten van luchtvervuilende emissies

Bij de kosten van luchtvervuilende emissies (fijn stof, NO_x, SO₂) wordt enkel rekening gehouden met de emissies die worden uitgestoten gedurende de LTO (Landing and Take-Off) fase. De achterliggende aanname daarbij is dat de uitstoot van luchtvervuilende emissies op hogere hoogten geen schadelijke effecten veroorzaken. Deze LTO-emissies zijn gewaardeerd met behulp van relevante schaduwrijzen uit de literatuur om de totale kosten van luchtvervuilende emissies te vinden. Deze schaduwrijzen geven een waardering voor de schade die luchtvervuilende emissies toebrengen aan de menselijke gezondheid (veruit de grootste kostenpost), maar ook voor de schade die wordt aangericht aan gebouwen en materialen, landbouwgewassen en biodiversiteit en ecosystemen.

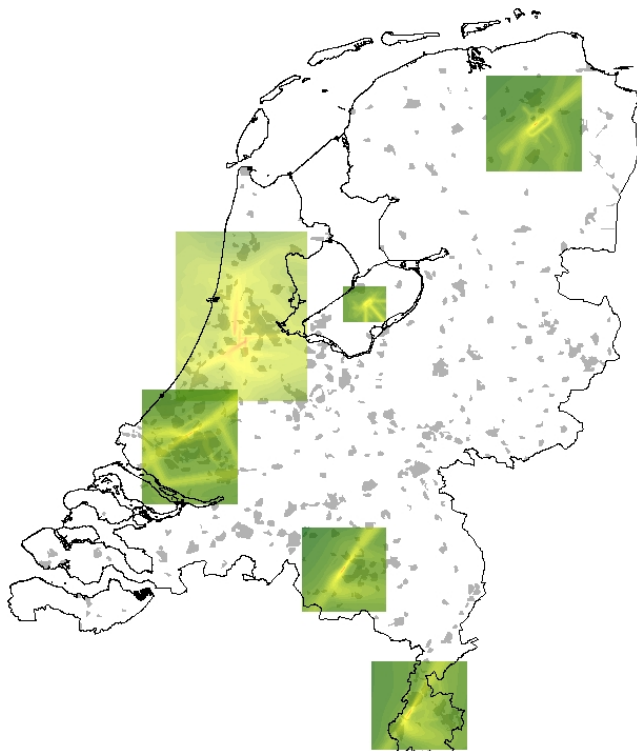
Kosten van emissies van brandstofproductie

Bij de productie van kerosine komen zowel luchtvervuilende als broeikasemissies vrij. Zoals hierboven besproken leiden deze emissies tot verschillende schadelijke effecten en daarmee tot externe kosten. De methodiek voor het bepalen van deze externe kosten is hierboven besproken (bij de kosten van broeikasgasemissies en de kosten van luchtvervuilende emissies).

Kosten van geluid

Voor de bepaling van de kosten van geluid is allereerst een schatting gemaakt van het aantal geluidbelaste mensen in Nederland in 2010 als gevolg van de luchtvaart. Hiervoor is door PBL een modelberekening uitgevoerd. Hierbij was het helaas enkel mogelijk om het aantal geluidbelaste mensen in een ruime regio rondom de luchthavens te bepalen (zie Figuur 1), waarmee het aantal daadwerkelijk geluidbelaste mensen wordt onderschat. Bij de bepaling van het aantal geluidbelaste mensen is gebruik gemaakt van een (in de literatuur veel gebruikte) drempelwaarde van 50 dB(A). Dit betekent echter niet dat een geluidsbelasting onder de 50 dB(A) geen enkele overlast oplevert voor mensen (zie bijvoorbeeld Miedema en Oudshoorn, 2001). Echter, de beschikbare waarderingskennallen staan de waardering van overlastkosten beneden de 50 dB(A) niet toe. Vanwege deze twee redenen dienen de geluidskosten van de luchtvaart opgevat te worden als een conservatieve inschatting.

Figuur 1 Gebieden waarvoor het aantal geluidbelaste personen rondom luchthavens is bepaald



Bron: PBL

Bij de waardering van de geluidskosten is gebruik gemaakt van schaduwrijzen die rekening houden met overlastkosten van geluid (sociale en/of economische kosten van een belemmering van ontspanningsactiviteiten, ongenoegen, overlast, etc.) en gezondheidskosten (verhoogde bloeddruk, hartritme stoornissen, hormonale veranderingen, etc.). De onzekerheid in deze schaduwrijzen zijn relatief groot en verklaren ook de relatief grote bandbreedte in de geluidskosten voor de luchtvaart.

Overige kosten

Bij de overige externe kosten gaat het om de kosten als gevolg van de aantasting van natuur en landschap door de aanleg van luchthavens. Op basis van een kennallenmethodiek is inschatting van deze kosten gemaakt. Hoewel het hierbij om een zeer grove inschatting gaat wordt wel duidelijk dat deze kosten niet verwaarloosbaar zijn.

Belastingen en heffingen

Tot slot zijn ook de belastingen en heffingen in kaart gebracht. Bij belastingen gaat het om verplichte betalingen aan de overheid zonder dat daar een direct aanwijsbare tegenprestatie tegenover staat. Belastingen zijn dan ook niet (primair) bedoeld om de externe kosten te internaliseren. Bij heffingen gaat het daarentegen om betalingen aan de overheid of mobiliteitsaanbieders waar een directe tegenprestatie tegenover staat. Hierbij is er dus wel sprake van internalisatie van het externe effect.

De heffingen voor de luchtvaart bestaan uit de geluidsheffing (ter financiering van geluidsisolatie maatregelen) en de luchthavengelden en zijn overgenomen uit de jaarverslagen van de verschillende luchthavens. Deze heffingen worden gebruikt als dekking voor de infrastructuurkosten van de luchthavens. Zoals we eerder zagen worden het grootste deel van de infrastructuurkosten gedekt door deze gebruiksheffingen. Belastingen worden door de luchtvaart nauwelijks betaald; enkel voor de binnenlandse vluchten geldt een brandstofaccijns.

4. Zeevaart

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de externe en infrastructuurkosten (en baten) en de betaalde heffingen door de zeevaart in 2010. De belangrijkste kostenposten voor de zeevaart zijn de kosten van luchtvervuiling, de kosten van broeikasgasemissies, de kosten van emissies van brandstofproductie en de infrastructuurkosten. Evenals bij de luchtvaart staan er tegenover de infrastructuurkosten wel heffingsopbrengsten in de vorm van havengelden, die deze kosten bij benadering dekken. De infrastructuurkosten van de zeevaart zijn dus (grotendeels) geïnternaliseerd.

Ook bij de zeevaart is de spreiding in de schattingen voor de verschillende externe kostenposten relatief groot. Dit weerspiegelt vooral de onzekerheid in de schaduw prijzen die zijn toegepast voor de bepaling van deze externe kosten. Doordat de mate van onzekerheid sterk verschilt tussen de verschillende posten, dient de sommatie van de verschillende kosten/batenposten met zorg gemaakt te worden. Inzicht in de achterliggende onzekerheden is daarvoor cruciaal. In het vervolg van deze paragraaf lichten we de onzekerheden bij de bespreking van de verschillende kostenposten nader toe.

Tabel 3 Totale infrastructuur- en externe kosten, belastingen en heffingen voor de zeevaart in Nederland in 2010 (mld €)

	Infrastructuurkosten	Externe kosten	Externe baten	Gebruiksheffingen
Infrastructuurkosten vast	301 (259 - 357)			
Infrastructuurkosten variabel	16			
Kosten van ruimtebeslag		15 (11 - 25)		
Ongevaskosten		2,6 (2,1 - 3,0)		
Kosten/baten van broeikasgasemissies		882 (113 - 1.652)	940 (677 -1.202)	
Kosten van luchtvervuiling		1.162 (581 - 2.323)		
Kosten van emissies van brandstofproductie		437 (172 - 858)		
Geluidkosten		0		
Congestiekosten/ Schaarste-kosten		PM		
Overige externe kosten		0		
Infrastructuurheffing				342
Totaal	317 (274 - 373)	2.499 (878 - 4860)	940 (677 - 1.202)	342

Infrastructuurkosten

De bepaling van de infrastructuurkosten voor de zeevaart was tot nu toe nog een onontgonnen terrein. In CE Delft en VU (2014) is een eerste inschatting gemaakt van deze kosten voor Nederland op basis van een casestudie voor de Rotterdamse haven (uitgevoerd in nauw overleg met het Havenbedrijf Rotterdam), die vervolgens geëxtrapoleerd is naar de acht grootste Nederlandse zeehavens op basis van gegevens over het aantal overgeslagen tonnen in 2010. Deze werkwijze kent uiteraard de nodige onzekerheid, maar biedt wel een goede eerste aanzet voor het bepalen van de ordegrrootte van de infrastructuurkosten van de zeevaart in Nederland.

Kosten van ruimtebeslag

Voor de bepaling van de kosten van ruimtebeslag is voor de zeevaart dezelfde methodiek toegepast als voor de luchtvaart. Dat wil zeggen, het ruimtegebruik door de zeevaart is vermenigvuldigd met de waarde van dit ruimtegebruik om de totale kosten van ruimtebeslag te bepalen.

Het directe ruimtegebruik voor de zeevaart bestaat uit de havenbekkens van de zeehavens, waarbij 80% wordt toegerekend aan de zeevaart (de overige 20% wordt toegerekend aan de binnenvaart, die immers ook gebruik maakt van de zeehavens). Het grondgebruik van zeehavens aan de landzijde hoeft niet te worden meegeteld, omdat die ruimte volledig gebruikt wordt voor activiteiten die niet direct gerelateerd zijn aan de zeevaart, maar veel meer aan industriële activiteiten. Bij de zeevaart is er daarnaast geen sprake van indirect ruimtegebruik.

Externe ongevalskosten

De externe ongevalskosten van de zeevaart zijn op eenzelfde wijze bepaald als voor de luchtvaart. Deze kosten zijn relatief laag, wat te danken is aan het feit dat de zeevaart is een zeer veilige vervoerswijze is. Wel dient opgemerkt te worden dat er bij de bepaling van de externe ongevalskosten voor de zeevaart enkel rekening is gehouden met de ongevallen op het Nederlands Continentaal Plat, waardoor dit een (lichte) onderschatting is van de daadwerkelijke externe ongevalskosten.

Kosten van broeikasgasemissies

Voor de bepaling van de kosten van broeikasemissies van de zeevaart is uitgegaan van 50% van de CO₂ emissies (en andere broeikasgassen als lachgas en methaan) van alle vaarten van en naar Nederland (zie paragraaf 2). Deze emissies⁷ zijn vervolgens gewaardeerd met dezelfde CO₂-schaduwprijs als bij luchtvaart, inclusief de brede bandbreedte voor deze schaduwprijs. De brede range in de kosten van broeikasgasemissies van de zeevaart is hier ook het gevolg van.

De zeevaart kent niet alleen kosten van broeikasgasemissies, maar ook significante baten. De uitstoot van NO_x- en vooral SO₂-emissies heeft namelijk een verkoelend effect op het klimaat (Fuglestad et al., 2009; IPCC, 2014). Bij SO₂ is dit te danken aan het feit dat SO₂-deeltjes zonlicht weerkaatsen en bovendien bijdragen aan wolkvorming die bijdraagt aan verkoeling. Het positieve klimaateffect van NO_x is te danken aan het feit dat deze stof de levensduur van methaan (een zeer sterk broeikasgas) in de atmosfeer verkort. Deze verkoelende effecten van vooral SO₂ spelen bij zeevaart een belangrijkere rol dan bij andere vervoerswijzen, omdat de SO₂ inhoud van de in de zeevaart gebruikte stookolie (nog) aanzienlijk hoger ligt dan bij de overige transportbrandstoffen. Waar de klimaatbaten bij andere vervoerswijzen dan ook zeer bescheiden zijn (en volledig in het niet vallen bij de klimaatkosten), daar zijn deze baten bij de zeevaart aanzienlijk. Zo

⁷ Om de verschillende broeikasgassen onder één noemer te brengen (CO₂-equivalenten) waardoor ze allen gewaardeerd kunnen worden m.b.v. dezelfde schaduwprijs wordt gebruik gemaakt van Global Warming Potentials (GWP). GWP's kunnen gezien worden als correctiefactoren voor het verschil in klimaatimpact en levensduur van verschillende broeikasgassen. Er is gebruik gemaakt van GWP's van 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.

aanzienlijk zelfs dat de kans groot is dat ze de klimaatkosten van de zeevaart volledig compenseren.

Bij de vergelijking van de klimaatkosten en -baten van de zeevaart moeten echter een aantal dingen in het achterhoofd gehouden te worden. De verkoelende werking van NO_x en SO₂ is dermate sterk dat de klimaatimpact van deze emissies over een periode van 100 jaar sterker is dan die van CO₂. Echter, de levensduur van NO_x en SO₂ is zeer kort (zeker in vergelijking met CO₂), waardoor ook het verkoelende effect maar kort optreedt. Dus waar het verwarmende effect van CO₂-emissies die in 2010 worden uitgestoten nog decennia lang van kracht blijft, daar is het verkoelende effect van NO_x en SO₂ al binnen enkele dagen verdwenen. Daarnaast treedt het verkoelende effect van met name SO₂ lokaal op, omdat deze stof te kort in de atmosfeer blijft om zich mondiaal te verspreiden. In sommige gebieden treedt dus afkoeling op, terwijl in andere gebieden opwarming plaatsvindt. Met andere woorden, er is geen gelijkmatige compensatie van de verwarmende effecten van de broeikasgassen. Tot slot moet bedacht worden dat de SO₂-inhoud van stookolie voor de zeevaart in de komende jaren, onder druk van luchtkwaliteitsbeleid, waarschijnlijk gaat afnemen, waardoor ook het positieve klimaateffect van deze vervoerswijze gaat verdwijnen.

Kosten van luchtvervuilende emissies

Bij de bepaling van de kosten van luchtvervuilende emissies van de zeevaart is dezelfde methodiek gehanteerd als bij de luchtvaart. Daarbij is enkel uitgegaan van de luchtvervuilende emissies die worden uitgestoten op het Nederlands Continentaal Plat. Achterliggende aanname daarbij is dat de emissies die op volle zee worden uitgestoten niet/nauwelijks schadelijke gevolgen hebben.

Zoals Tabel 3 laat zien vormen de kosten van luchtvervuiling een aanzienlijk deel van de totale externe kosten van de zeevaart. Dit is vooral het gevolg van het feit dat er in de zeevaart gebruik wordt gemaakt van stookolie met een relatief hoge SO₂-inhoud. Bedacht moet echter wel worden dat de kosten per tonkilometer relatief beperkt zijn, aangezien schepen zich het grootste deel van de reis op de oceaan bevinden waar de uitstoot van luchtvervuilende emissies niet/nauwelijks schade veroorzaakt.

Kosten van emissies van brandstofproductie

Evenals bij de luchtvaart zijn ook de kosten van de emissies die vrijkomen bij brandstofproductie meegenomen. De daarbij gehanteerde methodiek sluit aan bij de methodiek die is gebruikt voor de bepaling van de kosten van broeikasgasemissies en luchtvervuilende emissies.

Belastingen en heffingen

De zeevaart betaalt heffingen in de vorm van havengelden. De opbrengsten hiervan worden gebruikt voor de dekking van de infrastructuurkosten. Zoals eerder aangegeven worden de infrastructuurkosten (grotendeels) geïnternaliseerd door deze gebruikersheffingen. Er worden door de zeevaart geen belastingen betaald.

5. Conclusies

Naast de grote economische baten die de lucht- en zeevaartsector Nederland brengen veroorzaken deze vervoerswijzen ook belangrijke maatschappelijke kosten. Deze maatschappelijke kosten zijn voor een groot deel intern van aard en wordt door de gebruiker meegenomen in mobiliteitsbeslissingen. Echter, lucht- en zeevaart zijn ook verantwoordelijk voor externe kosten, die als kenmerk hebben dat ze niet meegenomen worden in mobiliteitsbeslissingen en daardoor leiden tot een inefficiënte omvang en samenstelling van de mobiliteit. Bij de luchtvaart gaat het dan voornamelijk om klimaatkosten, terwijl het bij de zeevaart vooral om de kosten van luchtvervuilende emissies gaat. Overigens is de bijdrage van de zeevaart aan de klimaatproblematiek minder eenduidig; op de korte termijn (en op lokaal niveau) kan de zeevaart momenteel

verantwoordelijk zijn voor een verkoelend effect op het klimaat. Op de langere termijn draagt echter ook de zeevaart waarschijnlijk bij aan de opwarming van de aarde, zeker als de SO₂-inhoud van de door de zeevaart gebruikte stookolie onder druk van luchtkwaliteitsbeleid wordt teruggebracht.

Naast de externe kosten komt er ook voor de infrastructuurkosten vaak geen prijs tot stand op de markt. Dit geldt bijvoorbeeld voor het wegvervoer en de binnenvaart (zie CE Delft en VU, 2014). Voor de lucht- en zeevaart is de situatie echter anders. Voor beide modaliteiten bestaan er heffingen die betaald moeten worden voor het gebruik van de infrastructuur (havengelden en luchthavengelden). In deze paper hebben we laten zien dat deze gebruiksheffingen zowel bij de lucht- als bij de zeevaart grotendeels de infrastructuurkosten dekken, waardoor verondersteld kan worden dat gebruikers deze kosten wel meenemen in hun mobiliteitsbeslissingen.

In deze paper hebben we de belangrijkste resultaten gepresenteerd van een eerste integrale analyse van de externe en infrastructuurkosten van de lucht- en zeevaart. Deze analyse wordt op verschillende plaatsen gekenmerkt door onzekerheden, die worden veroorzaakt door onzekerheden in de gehanteerde methodieken, de gebruikte data en de gemaakte aannames. Deze onzekerheden zijn in beeld gebracht door voor de verschillende kostenposten bandbreedtes te presenteren. Vanwege deze onzekerheden kunnen de verschillende kostenposten voor de lucht- of zeevaart niet zomaar bij elkaar opgeteld worden. Dit dient met oog voor de achterliggende onzekerheden gedaan te worden; zo moet er bijvoorbeeld beseft worden dat de inschatting van de geluidskosten van de luchtvaart een (zeer) conservatieve inschatting vormen en dat die dus niet één op één vergeleken kunnen worden met de kosten van luchtvervuiling. Hetzelfde geldt voor een vergelijking van kostenposten (bijv. ongevalskosten) tussen de lucht- en zeevaart.

Ons onderzoek naar de externe en infrastructuurkosten van lucht- en zeevaart heeft ook een aantal onderwerpen voor nader onderzoek opgeleverd. Daarbij dient in de eerste plaats gedacht te worden aan de te hanteren CO₂-prijs (incl. de te gebruiken bandbreedte), maar ook aan de juiste wijze waarop de klimaateffecten van emissies uitgestoten op grote hoogten bij de luchtvaart meegenomen dienen te worden, evenals de verkoelende effecten van NO_x en SO₂. Ook de vraag of dezelfde Value of Statistical Life kan worden gehanteerd voor verschillende vervoerswijzen verdient nadere aandacht. Ook de geluidskosten bij de luchtvaart verdienen nadere aandacht, met name op het gebied van het aantal geluidsbelaste mensen en de wijze waarop geluidsoverlast beneden de 50 dB(A) kan worden gewaardeerd. Tot slot geldt zowel voor de lucht- als zeevaart dat meer gedetailleerd onderzoek naar de infrastructuurkosten de onzekerheid in de schattingen aanzienlijk kan verminderen.

Referenties

CE Delft en VU (2004), *De Prijs van een Reis*, Delft/Amsterdam

CE Delft en VU (2014), *Externe en infrastructuurkosten van verkeer - Een overzicht voor Nederland in 2010*, Delft/Amsterdam

CE Delft (2007), *Leidraad MKBA in het milieubeleid*, Delft

GRACE (2006), *Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation (GRACE) – Deliverable 3: marginal costs case studies for road and rail transport*, Leeds

Fuglestad, J., Bertnsen, T., Eyring, V., Isaksen, I. (2009), *Shipping emissions: from cooling to warming of climate and reducing impacts on health*, in: *Environmental Science & Technology*, vol. 43 (24), p. 9057-9062

HLG (1999), Calculating transport accident costs: Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging (working group 1), High Level group, Brussels

Kuik, O., Brander, L., Tol, R.S.J. (2009), Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: a meta-analysis, *Energy policy*, vol. 37(4), p. 1395-1403

Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L., Owens, B., Sausen, R. (2009), Aviation and global climate change in the 21st century, in: *Atmospheric Environment*, vol. 43, iss. 22-23, p. 384-403

Miedema, H.M.E., Oudshoorn, C.G. (2001), Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environmental Health Perspectives* 109(4), p. 409-416

SWOV (2005), De waardering van bespaarde verkeersdoden: covernota bij 'The Value of a Statistical Life in Road Safety, Leidschendam

VU (2012), Waardering van de maatschappelijke kosten van CO₂-emissies, Amsterdam