

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling met

Titel: Voordelen voor het milieu van intermodaal transport

Richting: 3de jaar handelsingenieur - major operationeel management en logistiek

Jaar: 2008

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Ik ga akkoord,

BRAEKERS, Kris

Datum: 5.11.2008

Voordelen voor het milieu van intermodaal transport

Kris Braekers

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. Ik heb het onderwerp van deze eindverhandeling gekozen omdat het verband houdt met een zeer actueel thema, namelijk de milieuproblematiek. Verder sluit het onderwerp perfect aan op mijn afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek.

Graag zou ik de verschillende mensen die hebben bijgedragen tot de totstandkoming van deze eindverhandeling, in welke vorm dan ook, willen bedanken. Allereerst gaat mijn dank uit naar mijn promotor, Prof. dr. G. Janssens, voor zijn deskundige begeleiding, advies en kritiek die hij mij gedurende het academiejaar heeft gegeven. Daarnaast wil ik Mevr. A. Caris bedanken voor haar nuttige ideeën en raadgevingen. Ten slotte zou ik mijn vriendin, ouders, vrienden en kotgenoten willen bedanken voor hun morele steun, niet enkel tijdens het voorbije jaar, maar gedurende mijn hele studentenloopbaan.

Samenvatting

Goedertransport kent al enkele decennia een spectaculaire toename in Europa. Deze toename brengt enkele nadelen met zich mee. De opwarming van de aarde en de toenemende luchtvervuiling zijn voor een groot deel toe te schrijven aan de transportsector. Verder neemt de congestie op het wegennet steeds grotere proporties aan. Ten slotte veroorzaakt de transportsector elk jaar vele ongevallen met soms een tragische afloop. Bedrijven houden met deze negatieve effecten echter geen rekening bij het maken van transportbeslissingen, waardoor externe kosten ontstaan.

Een mogelijke oplossing om de druk op het milieu van transport te verlagen, is het overschakelen van wegtransport naar meer milieuvriendelijke transportmodi zoals spoorvervoer en binnenvaart. Spoorvervoer en binnenvaart bieden echter niet de flexibiliteit van wegtransport. Het aanbieden van deur-tot-deur transportdiensten via deze milieuvriendelijkere modi is daarom moeilijk. Intermodaal transport, een transportvorm waarbij verschillende modi met elkaar gecombineerd worden, kan wel een oplossing bieden. Via intermodaal transport kan de flexibiliteit van het wegtransport gecombineerd worden met de lagere externe kosten van spoorvervoer en binnenvaart.

In deze eindverhandeling wordt nagegaan op welke manier de externe kosten van intermodaal transport vergeleken kunnen worden met de externe kosten van unimodaal wegtransport. In eerste instantie worden de verschillende externe kosten die transport veroorzaakt toegelicht. Hierbij worden niet enkel de externe kosten met betrekking tot het milieu bekeken, maar worden eveneens de externe kosten van congestie en ongevallen beschreven. Vervolgens wordt nagegaan op welke manier de verschillende externe kosten berekend kunnen worden. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling aan de hand van de Impact Pathway Approach. Verder wordt aandacht besteed aan de talrijke moeilijkheden en onzekerheden die gepaard gaan met de berekening van externe kosten van transport. Deze berekeningen blijken immers allesbehalve een eenvoudige opgave en leiden tot uiteenlopende resultaten.

Het vervolg van de eindverhandeling handelt over de vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport met die van unimodaal wegtransport. Deze vergelijking gebeurt eerst op basis van de externe kosten veroorzaakt over een bepaald traject. De resultaten van enkele vergelijkende studies worden besproken. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor de onderzochte trajecten de externe kosten van intermodaal transport in de meeste gevallen lager liggen dan de externe kosten van unimodaal wegtransport. Enkel indien een cumulatie van meerdere negatieve factoren optreedt, zijn de externe kosten van intermodaal transport

groter dan die van unimodaal wegtransport. Vervolgens wordt dieper ingegaan op RECORDIT¹, een project in opdracht van de Europese Commissie. In dit project werden de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport berekend voor drie Europese corridors. Volgens deze berekeningen bedragen de externe kosten van intermodaal transport voor de drie corridors minder dan de helft dan de externe kosten van unimodaal wegtransport. Omwille van de situatie-afhankelijkheid van externe kosten kunnen deze resultaten echter niet veralgemeend worden.

Om de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport op een meer algemeen niveau te vergelijken, worden in de eindverhandeling twee modellen besproken. Het eerste model analyseert op een grafische manier hoe groot het voor- en natransport van intermodaal transport mag zijn opdat het milieuvriendelijker is dan unimodaal wegtransport. Hiervoor worden cijfers gebruikt die enkel de externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering omvatten. In de eindverhandeling wordt de analyse overgedaan op basis van cijfers die alle externe kosten omvatten. Verder wordt nagegaan wat het effect is van de opname van meer soorten externe kosten.

Het tweede model maakt een vergelijking van intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van de interne en totale (interne en externe) kosten. De analytische uitdrukkingen waarmee de externe kosten worden berekend worden vermeld maar gedetailleerde berekeningen en resultaten ontbreken. In de eindverhandeling worden de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport aan de hand van deze uitdrukkingen berekend voor verschillende deur-tot-deur afstanden. Verder wordt op het model een sensitiviteitsanalyse toegepast. Op basis van resultaten blijkt dat intermodaal transport pas lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport vanaf een deur-tot-deur afstand van 1901 kilometer. Het feit dat deze afstand zo groot is, wordt echter veroorzaakt door het gebruik van cijfers voor de externe kosten van wegtransport die afhankelijk zijn van de afgelegde afstand. Verder blijken de beladingsgraad, afstand en externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport gevoelige parameters te zijn. De beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport heeft eveneens een grote invloed.

Op basis het volledige onderzoek kan geconcludeerd worden dat het maken van een vergelijking tussen de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport moeilijk is. De berekening van de externe kosten van transport gaan gepaard met grote onzekerheden waardoor de resultaten van de verschillende studies zeer uiteenlopend zijn. Bovendien zijn de externe kosten van transport zeer situatie-afhankelijk. Het tweede model zou voor dit laatste probleem mogelijk een gedeeltelijke oplossing kunnen bieden.

¹ REal COst Reduction of Door-to-door Intermodal Transport

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF

SAMENVATTING

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

HOOFDSTUK 1: PROBLEEMSTELLING EN DEFINIËRING	- 10 -
1.1 PRAKTIJKPROBLEEM	- 10 -
1.2 CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG	- 11 -
1.3 DEELVRAGEN	- 12 -
1.4 DEFINITIE VAN INTERMODAAL TRANSPORT	- 12 -
1.5 INTERMODAAL TEN OPZICHT VAN MULTIMODAAL EN GECOMBINEERD TRANSPORT	- 13 -
HOOFDSTUK 2: EXTERNE KOSTEN VAN TRANSPORT	- 14 -
2.1 DEFINITIE VAN EXTERNE KOSTEN	- 14 -
2.2 OVERZICHT VAN DE EXTERNE KOSTEN VAN TRANSPORT	- 15 -
2.2.1 <i>Externe kosten van luchtvervuiling</i>	- 15 -
2.2.2 <i>Externe kosten van klimaatsverandering</i>	- 16 -
2.2.3 <i>Externe kosten van geluidshinder</i>	- 16 -
2.2.4 <i>Externe congestiekosten</i>	- 17 -
2.2.5 <i>Externe infrastructuurkosten</i>	- 18 -
2.2.6 <i>Externe ongevalkosten</i>	- 18 -
2.2.7 <i>Externe kosten van stroomop- en stroomafwaartse processen</i>	- 19 -
2.2.8 <i>Andere externe kosten</i>	- 19 -
HOOFDSTUK 3: DE BEREKENING VAN DE EXTERNE KOSTEN VAN TRANSPORT	- 20 -
3.1 DE BOTTOM-UP EN TOP-DOWN BENADERING	- 20 -
3.2 DE 'RESOURCE APPROACH' EN DE 'PREVENTION APPROACH' VAN INFRAS EN IWW	- 21 -
3.3 DE BEREKENING VAN EXTERNE KOSTEN VAN LUCHTVERVUILING	- 22 -
3.3.1 <i>Het ExternE project</i>	- 23 -
3.3.2 <i>De Impact Pathway Approach</i>	- 23 -
3.3.3 <i>De verschillende stappen van de Impact Pathway Approach</i>	- 25 -
3.3.4 <i>Het belang van de Impact Pathway Approach</i>	- 31 -
3.4 DE BEREKENING VAN ANDERE SOORTEN EXTERNE KOSTEN	- 32 -
3.5 MOEILIKHEDEN EN ONZEKERHEDEN BIJ DE BEREKENING VAN EXTERNE KOSTEN	- 33 -
3.5.1 <i>Moeilijkheden bij de berekening en de vergelijking van de resultaten</i>	- 33 -

3.5.2 Onzekerheden bij de berekening van externe kosten.....	- 34 -
3.6 CONCLUSIE	- 35 -
HOOFDSTUK 4: DE VERGELIJKING VAN INTERMODAAL TRANSPORT EN UNIMODAAL WEGTRANSPORT	- 37 -
4.1 RESULTATEN VAN VERGELIJKENDE STUDIES	- 37 -
4.2 RECORDIT	- 39 -
4.2.1 De drie corridors besproken in RECORDIT.....	- 40 -
4.2.2 Resultaten van RECORDIT	- 42 -
4.2.3 RECORDIT DSS	- 43 -
4.3 VERGELIJKING VOLGENS HET MODEL VAN MACHARIS EN VAN MIERLO (2006)	- 44 -
4.3.1 Onderscheid tussen algemene en specifieke gegevens.....	- 44 -
4.3.2 Beschrijving van het model.....	- 45 -
4.3.3 Resultaten	- 46 -
4.3.4 Uitbreiding met andere soorten externe kosten	- 48 -
4.3.5 Conclusies	- 51 -
4.4 VERGELIJKING VOLGENS HET MODEL VAN JANIC (2007)	- 52 -
4.4.1 Beschrijving van het netwerk	- 52 -
4.4.2 Veronderstellingen.....	- 53 -
4.4.3 Berekening	- 54 -
4.4.4 Resultaten	- 55 -
4.4.5 Uitbreiding van het model van Janic (2007)	- 56 -
4.4.6 Conclusies	- 62 -
4.5 SENSIVITEITSANALYSE OP HET MODEL VAN JANIC (2007)	- 63 -
4.5.1 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport	- 64 -
4.5.2 Een wijziging van de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport	- 66 -
4.5.3 Een wijziging van de afstand van het voor- en natransport	- 67 -
4.5.4 Een wijziging van het aantal treinen per week	- 68 -
4.5.5 Een wijziging van het aantal goederenwagens per trein.....	- 70 -
4.5.6 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport	- 72 -
4.5.7 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport.....	- 73 -
4.5.8 Conclusies van de sensitiviteitsanalyse.....	- 75 -
HOOFDSTUK 5: ALGEMENE CONCLUSIES	- 77 -
LITERATUURLIJST	
BIJLAGEN	

Lijst van figuren

Figuur 1: Overzicht van een intermodaal transport	- 13 -
Figuur 2: Overzicht van de Impact Pathway Approach.....	- 26 -
Figuur 3: Voorbeelden van dosis-respons functies	- 28 -
Figuur 4: Een intermodale transportketen in het achterland van een haven	- 45 -
Figuur 5: Vergelijking van de milieuvriendelijkheid inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering van intermodaal transport via binnenvaart ten opzichte van unimodaal wegtransport	- 47 -
Figuur 6: Vergelijking van de milieuvriendelijkheid inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering van intermodaal transport via spoorvervoer ten opzichte van unimodaal wegtransport	- 47 -
Figuur 7: Vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport via binnenvaart ten opzichte van unimodaal wegtransport.....	- 50 -
Figuur 8: Vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport via spoorvervoer ten opzichte van unimodaal wegtransport.....	- 50 -
Figuur 9: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende beladingsgraden tijdens het voor- en natransport	- 65 -
Figuur 10: De break-even afstanden voor verschillende beladingsgraden tijdens het voor- en natransport	- 65 -
Figuur 11: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport.....	- 66 -
Figuur 12: De break-even afstanden voor verschillende externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport	- 67 -
Figuur 13: De externe kosten van intermodaal transport bij verschillende afstanden van het voor- en natransport	- 68 -
Figuur 14: De break-even afstanden bij verschillende afstanden van het voor- en natransport.	- 68 -
Figuur 15: De externe kosten van intermodaal transport bij een verschillend aantal treinen per week	- 69 -
Figuur 16: De break-even afstanden bij een verschillend aantal treinen	- 70 -
Figuur 17: De externe kosten van intermodaal transport bij een verschillend aantal goederenwagons per trein.....	- 71 -
Figuur 18: De break-even afstanden voor een verschillend aantal goederenwagons per trein...	- 71 -
Figuur 19: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende beladingsgraad tijdens het hoofdtransport.....	- 72 -

Figuur 20: De break-even afstanden voor verschillende beladingsgraden tijdens het hoofdtransport.....	- 73 -
Figuur 21: De externe kosten van unimodaal wegtransport bij verschillende beladingsgraden ..	- 74 -
Figuur 22: De break-even afstanden bij verschillende beladingsgraden voor unimodaal wegtransport.....	- 74 -

Lijst van tabellen

Tabel 1: De marginale externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering in euro per 1000 tkm.....	- 47 -
Tabel 2: De marginale externe kosten per transportmodus in euro per 1000 tkm	- 49 -
Tabel 3: Overzicht van de resultaten	- 59 -
Tabel 4: Overzicht van de parameters bij de sensitiviteitsanalyse.....	- 64 -

Hoofdstuk 1: Probleemstelling en definiëring

1.1 Praktijkprobleem

De vraag naar goederentransport kent al enkele decennia een spectaculaire toename. Zo steeg het goederentransport in de Europese Unie tussen 1995 en 2005 met 31%, terwijl het bruto binnenlands product van de lidstaten slechts met 25% steeg. Het grootst is de stijging bij het wegtransport en de zeevaart, respectievelijk 38% en 35%. (Europese Commissie, 2007)

Redenen voor deze toename zijn de economische veranderingen in Europa gedurende de laatste twintig jaren. Meer bepaald is de economie geëvolueerd van een 'voorraadeconomie' naar een 'economie van goederenstromen'. Het openstellen van de grenzen heeft geleid tot het invoeren van een 'just in time' productiesysteem. Verder vestigen steeds meer bedrijven zich in Oost-Europa of Azië, waar de loonkosten veel lager liggen dan in West-Europa. Hierdoor bevindt de productie zich verder van de eindassemblage of eindconsument en stijgt de nood aan transport. (Europese Commissie, 2001)

De toename van het goederentransport brengt echter nadelen met zich mee, zowel voor individuen als voor de economie en de maatschappij in zijn geheel. De toenemende congestieproblemen op onze wegen zorgen voor steeds meer ergernissen en resulteren in een dalende flexibiliteit van het wegtransport. Verder betekent meer verkeer ook meer kans op ongevallen. Ten slotte neemt de druk op het milieu toe. Steeds meer onderzoekers zijn het eens dat dringend acties nodig zijn om de opwarming van de aarde tegen te gaan. (Europese Commissie, 2001 en MIRA, 2006a) De transportsector en hoofdzakelijk het wegtransport wordt dikwijls met de vinger gewezen. In de Europese Unie zijn immers 28% van de totale CO₂-emissies afkomstig uit de transportsector. Het wegtransport is goed voor 84% hiervan. (PACT, 2003b)

Ondernemingen staan voor een mobiliteitsparadox. Enerzijds eisen klanten flexibele en korte leveringstijden waardoor de vraag naar mobiliteit stijgt. Anderzijds stijgt de druk van stakeholders en overheden om milieu- en maatschappijvriendelijke beslissingen te nemen (Haezendonck en Coeck, 2006). Een evenwicht vinden tussen transport en milieu is daarom een van de belangrijkste uitdagingen van de komende jaren.

Een mogelijke oplossing is de vervanging van het milieubelastende wegtransport door meer milieuvriendelijke transportmodi zoals het spoorvervoer en de binnenvaart. Verschillende studies tonen immers aan dat de externe kosten die voortvloeien uit het goederentransport

verlaagd kunnen worden door het relatieve aandeel van spoorvervoer en binnenvaart te verhogen (Haezendonck en Coeck, 2006). Een belangrijk nadeel bij het gebruik van dergelijke transportmodi is echter dat zij minder flexibel zijn en meestal geen deur-tot-deur goederentransport kunnen aanbieden. Hierdoor daalt hun concurrentiepositie aanzienlijk. (Europese Commissie, 2001)

Intermodaal transport zou hiervoor een oplossing kunnen bieden. Bij deze transportvorm wordt gebruik gemaakt van verschillende transportmodi (meestal wegtransport in combinatie met milieuvriendelijkere modi zoals spoorvervoer of binnenvaart). Doorgaans wordt verondersteld dat intermodaal transport milieuvriendelijker is dan wegtransport en dat het een (gedeeltelijke) oplossing kan bieden voor de huidige milieuproblematiek (Ricci, 2003 en Europese Commissie, 2006). Zo beschouwt de Europese Commissie de aanmoediging van intermodaal transport als een belangrijk middel om de CO₂-emissies van transport te verminderen (PACT, 2003a).

Macharis en Van Mierlo (2006) waarschuwen echter dat het niet gemakkelijk is om de milieueffecten van intermodaal transport te berekenen omdat rekening moet worden gehouden met elke schakel in de keten, ook het voor- en natransport en de overslag. Verder zijn volgens dezelfde auteurs de externe kosten van intermodaal transport en wegtransport moeilijk te vergelijken. Bij vergelijkende studies worden niet steeds alle externe kosten meegerekend en bestaan verschillen bij het omzetten van de externe effecten in externe kosten.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

In deze eindverhandeling zal eerst worden onderzocht op welke manier de effecten van (intermodaal) transport op het milieu het best berekend kunnen worden. 'Het milieu' wordt in brede zin geïnterpreteerd zodat naast luchtvervuiling en klimaatsverandering ook andere externe effecten, zoals ongevallen en congestie aan bod komen. Om verwarring te vermijden wordt in het vervolg van deze eindverhandeling gebruik gemaakt van de algemene termen 'externe kosten' en 'externe effecten'. De term 'milieuvriendelijker' betekent in deze context dat de externe kosten lager zijn. Het uiteindelijke doel van de eindverhandeling is te onderzoeken op welke manier de externe kosten van intermodaal transport vergeleken kunnen worden met de externe kosten van unimodaal wegtransport. De volgende centrale onderzoeksvraag vormt daarom het uitgangspunt van deze eindverhandeling:

"Aan de hand van welk model kunnen de externe kosten van intermodaal transport met die van unimodaal wegtransport vergeleken worden?"

1.3 Deelvragen

Het beantwoorden van deze centrale onderzoeksvraag wordt vereenvoudigd door het formuleren van enkele deelvragen. Deze deelvragen spelen in op enkele specifieke aspecten van de centrale onderzoeksvraag en helpen zo om de centrale onderzoeksvraag op een structurele manier te onderzoeken. De volgende deelvragen worden geformuleerd:

- Welke externe kosten worden veroorzaakt door transport?
- Hoe wordt de grootte van een extern effect bepaald?
- Hoe worden externe effecten gewaardeerd in geldeenheden?
- Welke modellen om de externe kosten van intermodaal transport met die van unimodaal wegtransport te vergelijken bestaan reeds?

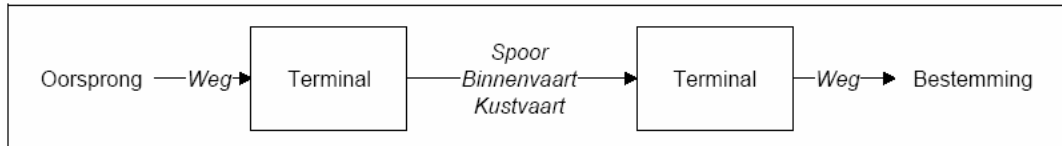
In de onderstaande paragrafen volgt een definiëring van intermodaal transport. In het tweede hoofdstuk van deze eindverhandeling wordt vervolgens de eerste deelvraag behandeld. De twee volgende deelvragen worden behandeld in hoofdstuk drie en de laatste deelvraag komt aan bod in hoofdstuk vier. Aan de hand van de antwoorden op deze deelvragen wordt vervolgens getracht de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden. In hoofdstuk vijf volgen ten slotte de conclusies van deze eindverhandeling.

1.4 Definitie van intermodaal transport

Intermodaal transport is een transportvorm waarbij gebruik wordt gemaakt van verschillende transportmodi om deur-tot-deur transportdiensten aan te bieden. Eenheidsladingen zoals containers en wissellaadbakken worden gebruikt om de overslag zo efficiënt mogelijk uit te voeren. In de literatuur wordt meestal de volgende definitie van intermodaal transport van de Conferentie van Europese Ministers van Transport (ECMT) gebruikt: "het vervoer van geunitiseerde vracht via meer dan één vervoersmodaliteit, waarbij de goederen zelf tijdens de overslag niet worden behandeld." (ECMT, 1998; vertaald door Macharis en Verbeke, 1999: p.26) Een andere definitie is die van de Task Force Transport Intermodality van de Europese Unie, namelijk: "een transportsysteem dat verschillende transportmodi combineert en integreert teneinde gebruikersgerichte deur-tot-deur diensten aan te bieden." (Macharis en Verbeke, 1999: p.28)

Door gebruik te maken van meerdere modi worden de schaalvoordelen en milieuvriendelijkheid van binnenvaart en spoorvervoer gecombineerd met de flexibiliteit van wegtransport (MIRA, 2006b). Op onderstaande figuur is een eenvoudig voorbeeld van een intermodaal transport weergegeven.

Figuur 1: Overzicht van een intermodaal transport



(Bron: Macharis en Van Mierlo, 2006: p.2)

1.5 Intermodaal ten opzicht van multimodaal en gecombineerd transport

De term 'intermodaal transport' moet worden onderscheiden van de term 'multimodaal transport'. Het verschil tussen beide termen heeft betrekking op de transportintegratie. Bij intermodaal transport wordt de hele transportketen opgevat als één transportdienst. Bij multimodaal transport wordt de transportketen opgevat als een opeenvolgende verschaffing van op zichzelf staande transportdiensten. Door de opkomst van de eenheidslading is het verschil tussen deze twee termen echter sterk vervaagd. Intermodaal transport is een synoniem geworden voor multimodaal transport van eenheidsladingen, een deelverzameling van multimodaal transport. (Witlox, 2006)

Verder wordt in de literatuur vaak de term 'gecombineerd transport' gebruikt. De ECMT spreekt van gecombineerd transport wanneer "het grootste deel van het traject afgelegd wordt per spoor, kust- of binnenvaart en waarbij het aanvullende voor- of natransport over de weg zo kort mogelijk is." (ECMT, 1998; vertaald door Macharis en Verbeke, 1999: p26) Gecombineerd transport is bijgevolg een deelverzameling van intermodaal transport. Vaak worden de termen intermodaal transport en gecombineerd transport echter door elkaar gebruikt. In het vervolg van deze eindverhandeling zal geen onderscheid gemaakt worden tussen deze twee termen en zal enkel de term 'intermodaal transport' gebruikt worden.

Hoofdstuk 2: Externe kosten van transport

In dit hoofdstuk worden de externe kosten van transport besproken. Eerst wordt het begrip externe kosten gedefinieerd. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de verschillende soorten van externe kosten die veroorzaakt worden door transport.

2.1 Definitie van externe kosten

Wanneer de welvaart van een bepaalde groep mensen of de maatschappij verandert door economische activiteiten van een andere groep, zonder dat dit weerspiegeld wordt in de marktprijs, ontstaan externaliteiten. We kunnen externaliteiten beschouwen als bijproducten van productie- of consumptieactiviteiten, waarvoor geen effectieve markten bestaan. Ze zijn het verschil tussen de maatschappelijke en private kosten of baten van een activiteit en kunnen zowel positief als negatief zijn. (Haezendonck en Coeck, 2006)

Goederentransport veroorzaakt vooral negatieve externaliteiten of externe kosten. INFRAS² en IWW³ (INFRAS en IWW, 1995, 2000 en 2004) definiëren deze externe kosten van transport als de kosten die niet worden gedragen door individuele transportgebruikers en die resulteren in het gebruik van niet-hernieuwbare middelen. Bedrijven die transportbeslissingen nemen, baseren hun keuze hoofdzakelijk op de kostprijs, kwaliteit en flexibiliteit van de verschillende transportalternatieven. Ze houden hierbij geen rekening met de negatieve effecten, zoals luchtvervuiling, bijdrage aan congestie, enzovoort, die hun beslissingen hebben op andere mensen, bedrijven en de maatschappij. Bijgevolg is de transportstroom die volgt uit hun beslissingen groter dan sociaal wenselijk en is de verdeling over de verschillende transportmodi niet optimaal (Mayeres et al., 2001). Verder betalen bedrijven slechts een deel van de gemaakte kosten waardoor een deel, de externe kosten, ten laste van de maatschappij komen (MIRA, 2006b).

In het RECORDIT⁴ project (Weinreich et al., 2000) komen naast externe kosten eveneens externe baten van transport aan bod. Volgens de auteurs wijzen verschillende studies op het bestaan van externe baten van infrastructuurvoorziening. Voorbeelden zijn een betere toegankelijkheid van afgelegen gebieden en economische groei als gevolg van de verhoogde transportmogelijkheden. Deze externe effecten moeten volgens de auteurs echter op

² Een Zwitserse, private en onafhankelijke consultinggroep voor beleidsanalyse en -implementatie

³ Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, verbonden aan de universiteit van Karlsruhe

⁴ REal COst Reduction of Door-to-door Intermodal Transport

projectniveau worden opgenomen in de kosten-baten analyse van mogelijke infrastructuurwijzigingen. Bij de berekeningen in RECORDIT (Weinreich et al., 2000) wordt daarom geen rekening gehouden met de externe effecten van infrastructuurwijzigingen. De studie houdt enkel rekening met de effecten van infrastructuurgebruik, doch hier zijn geen externe baten aan verbonden. Dings en Sevenster (2002) sluiten zich bij het voorgaande aan. Verder vermelden zij nog andere externe baten, namelijk het plezier dat vliegtuig-, trein- en (vracht)autosporters meestal gratis beleven aan andermans mobiliteit. Deze externe baten zijn echter verwaarloosbaar en worden niet behandeld in deze eindverhandeling.

2.2 Overzicht van de externe kosten van transport

2.2.1 Externe kosten van luchtvervuiling

Transport veroorzaakt emissies die een belangrijke bron van luchtvervuiling vormen. Deze emissies zijn erg complex door hun variabele samenstelling (Mayeres et al., 2001). Zo zijn de emissies die een voertuig veroorzaakt afhankelijk van het type brandstof, de leeftijd van het voertuig, de rijomstandigheden en het rijgedrag (Thielen, 2004). De luchtvervuiling die het gevolg is van deze emissies, heeft een negatief effect op de volksgezondheid, gebouwen en gewassen. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste pollutanten die meestal beschouwd worden (De Ceuster, 2004 en Hickman et al., 1999):

- Stikstofoxiden (NO_x)
Stikstofoxiden veroorzaken ademhalingsproblemen en verminderen de longfunctie. Tegenwoordig komt de uitstoot vooral van dieselmotoren.
- Niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS)
Niet-methaan vluchtige organische stoffen kunnen de longfunctie schaden en zijn kankerverwekkend. Oude benzinemotoren zijn de belangrijkste uitstoters.
- Zwaveloxiden (SO₂)
Zwaveloxiden zijn bij hoge concentraties schadelijk voor de gezondheid. Ze ontstaan door verbranding van zwaveldeeltjes in brandstof.
- Roetdeeltjes (PM)
Roetdeeltjes verminderen de longfunctie wat leidt tot ademhalingsproblemen en kunnen kanker veroorzaken. Roetdeeltjes komen voornamelijk van dieselmotoren.
- Koolstofmonoxide (CO)
Koolstofmonoxide wordt gevormd bij onvolledige verbranding en veroorzaakt ademhalingsproblemen.
- Ammoniak (NH₃)

- Lood (Pb)
- Andere zware metalen zoals cadmium, zink, koper, chroom en nikkel.

2.2.2 Externe kosten van klimaatsverandering

Wereldwijd vinden klimaatsveranderingen plaats als gevolg van een stijging van de concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer. Zo steeg de gemiddelde temperatuur in de 20^{ste} eeuw met 0,6°C en zijn vele gletsjers buiten de poolgebieden gekrompen (De Ceuster, 2004). De belangrijkste broeikasgassen zijn koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O) en fluorverbindingen (Thielen, 2004).

Menselijke activiteiten die de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer doen stijgen, liggen meer dan waarschijnlijk aan de basis van deze veranderingen (Himanen en Himanen, 2007). Één van deze activiteiten is het gebruik van fossiele brandstoffen (PACT, 2003b). Bijgevolg is de transportsector, door het gebruik van fossiele brandstoffen, mede verantwoordelijk voor de stijgende concentratie aan broeikasgassen en voor de klimaatsveranderingen. Bedrijven houden bij hun transportbeslissingen echter geen rekening met de effecten op het klimaat. De kosten van klimaatsverandering zijn daarom externe kosten. (De Ceuster, 2004)

2.2.3 Externe kosten van geluidshinder

Verkeersgeluid vormt de belangrijkste bron van geluidshinder. Geluid gaat echter niet noodzakelijk samen met geluidshinder. Vele mensen stellen zich immers bewust bloot aan geluid wanneer ze muziek beluisteren of naar autoraces gaan kijken (Wolfgang, 2003). Van geluidshinder wordt pas gesproken wanneer het geluid daadwerkelijk als hinderlijk wordt ervaren. Deze geluidshinder vormt een ernstige bedreiging voor de levenskwaliteit en kan negatieve effecten op de gezondheid hebben. (Dings en Haffmans, 2002)

Het bepalen van geluidshinder is niet eenvoudig. De hinder die veroorzaakt wordt, is niet enkel afhankelijk van de sterkte van het geluid maar eveneens van de gekoppelde angstgevoelens aan het geluid. Zo wordt geluid van vliegtuigen sneller als hinderlijk ervaren dan geluid van wegverkeer. Geluid van spoorvervoer veroorzaakt nog minder hinder (Steenbekkers et al., 2001). Verder speelt de gevoeligheid van mensen een rol. Bejaarden en tieners zijn minder gevoelig voor geluid dan volwassenen (Dings en Haffmans, 2002).

Geluidshinder heeft het meeste effect op de slaap van mensen. Wanneer mensen aan geluidshinder worden blootgesteld, vallen ze later in slaap, worden ze 's nachts wakker en treden veranderingen op in duur en diepte van hun slaapfasen. Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie (Berglund et al., 1999; aangehaald door Dings en Haffmans, 2002) kan dit leiden tot vermoeidheid en verminderde prestaties. Verder werd onderzoek gedaan naar het effect van geluidshinder op de bloeddruk, doch over deze relatie bestaat volgens Dings en Haffmans (2002) nog geen consensus.

2.2.4 Externe congestiekosten

Externe congestiekosten verschillen van de hierboven besproken externe kosten omdat congestie enkel een effect heeft op andere weggebruikers (Jourquin, 2006 en Beuthe et al., 2002). Daarom beschouwen bepaalde auteurs, zoals Rennings et al. (1998), deze kosten niet als externe kosten, maar als interne kosten van het transportsysteem. De meeste andere auteurs beschouwen kosten van congestie wel als externe kosten (Weinreich et al., 2000, Dings en Sevenster, 2002, De Ceuster, 2004, Maibach et al., 2007).

Bij wegverkeer veroorzaakt congestie externe kosten omdat de personen in een file niet enkel zelf te maken hebben met vertragingen. Ze veroorzaken ook mee de file en vertragen op die manier andere weggebruikers. Weggebruikers nemen wel de last die ze zelf ondervinden mee in hun vervoersbeslissingen, maar niet de last die ze veroorzaken voor anderen. De (tijds)kosten die andere weggebruikers oplopen omwille van een andere persoon in de file, zijn daarom externe kosten. (De Ceuster, 2004, Dings en Sevenster, 2002)

Congestie kan eveneens optreden bij spoorvervoer. De kosten die hieruit voortvloeien zijn moeilijk te schatten en zijn niet noodzakelijk externe kosten. INFRAS en IWW (2000) beschouwen congestie als een gevolg van inefficiënte planning. Spooroperatoren beschikken volgens de auteurs over de nodige middelen om de schaarse infrastructuur op een efficiënte manier te verdelen zodat vertragingen voorkomen worden. De kosten van congestie worden daarom niet als extern bestempeld. Weinreich et al. (2000) beschouwen de kosten van congestie bij spoorvervoer wel als externe kosten. De auteurs maken hierbij een onderscheid tussen externe kosten als gevolg van vertragingen op het spoornet en externe kosten als gevolg van het feit dat verladings plaatsen niet de gewenste tijdsloten kunnen reserveren wanneer de capaciteit van het netwerk bereikt is. Een algemeen aanvaarde methodologie voor de berekening van deze externe kosten is volgens de auteurs echter niet beschikbaar. Ten slotte wordt congestie bij binnenvaart als nagenoeg onbestaande beschouwd. (Weinreich et al., 2000)

2.2.5 Externe infrastructuurkosten

De externe infrastructuurkosten kunnen opgesplitst worden in externe kosten van infrastructuurgebruik en externe kosten van infrastructuurvoorziening. De externe kosten (en baten) van infrastructuurvoorziening kunnen volgens Weinreich et al. (2000), zoals vermeld in paragraaf 2.1, beter worden opgenomen in de kosten-baten analyse van infrastructuurwijzigingen. De externe kosten van infrastructuurgebruik dienen wel te worden beschouwd.

Externe kosten van infrastructuurgebruik, veroorzaakt door wegtransport, zijn volgens De Ceuster (2004) bijvoorbeeld beschadigingen van het wegdek. Elke extra vrachtwagen op de weg beschadigt immers het wegdek, waarbij de schade afhankelijk is van de aslast van de vrachtwagen. Personenwagens daarentegen hebben een minimale aslast waardoor de schade die ze aan het wegdek toebrengen quasi onbestaande is. Schade aan het wegdek veroorzaakt twee soorten kosten: kosten van reparatie en kosten door het feit dat het wegdek minder goed bereikbaar is voor andere weggebruikers. Bij het bepalen van deze kosten is het belangrijk enkel de kosten veroorzaakt door een extra vrachtwagen in rekening te brengen. De kosten van het algemene onderhoud alsook die van schade aan het wegdek afkomstig van andere oorzaken, zoals het weer, dienen buiten beschouwing te worden gelaten. (De Ceuster, 2004)

Spoorvervoer veroorzaakt volgens Thielen (2004) en Maurissen (2005) in België geen externe kosten van infrastructuurgebruik omdat de spoorwegmaatschappijen zelf betalen voor het onderhoud van de sporen en treinstellen. Verder veroorzaakt binnenvaart volgens Thielen (2004) weinig externe kosten van infrastructuurgebruik. De enige externe kosten van infrastructuurgebruik zijn de kosten van de bediening van de sluizen en van de aftakeling van de oevers door waterverplaatsing.

2.2.6 Externe ongevalkosten

Jaarlijks gebeuren vele ongevallen op onze wegen waaraan onlosmakelijk kosten verbonden zijn. Ongevalkosten omvatten niet alleen stoffelijke schade aan voertuigen en infrastructuur maar eveneens lichamelijke en emotionele schade. Deze ongevalkosten zijn echter niet uitsluitend externe kosten. Alle verkeersdeelnemers zijn verplicht zich te verzekeren. De kosten die vergoed worden door deze verzekering vallen niet onder de externe kosten maar worden geïnternaliseerd door de betaling van een verzekeringspremie. De kosten die niet gedekt worden door de verzekering, meestal medische kosten en kosten van arbeidsongeschiktheid, worden wel als externe kosten beschouwd. (De Ceuster, 2004)

2.2.7 Externe kosten van stroomop- en stroomafwaartse processen

De analyse van de externe kosten van transport kan beperkt worden tot deze die voortvloeien uit het transportsysteem zelf. Sommige studies brengen echter eveneens de externe kosten die het gevolg zijn van stroomop- en stroomafwaartse processen in rekening. (Kreutzberger et al., 2006) Met stroomopwaartse processen wordt de productie of voorziening van transportbenodigdheden zoals benzine, elektriciteit en voertuigen bedoeld. Stroomafwaartse processen hebben betrekking op het verwerken van transportmiddelen die gebruikt zijn in het transportsysteem, zoals de vernietiging of recyclage van oude voertuigen. Deze processen veroorzaken eveneens externe kosten die onrechtstreeks aan transport kunnen worden toegeschreven (Kreutzberger et al., 2006 en Bickel et al., 2006). Volgens Bickel et al. (2006) beperken de meeste studies zich echter tot de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering van deze stroomop- en stroomafwaartse processen omdat deze het grootst zijn.

2.2.8 Andere externe kosten

Naast de hierboven vermelde externe kosten kan transport nog andere externe kosten veroorzaken, bijvoorbeeld als gevolg van trillingshinder, schade aan ecologische systemen, geurhinder, bodem- en watervervuiling, verlies aan ruimte en belemmering van het zicht. (Dings en Sevenster, 2002 en Taniguchi et al., 2001) In deze eindverhandeling wordt hier niet dieper op ingegaan.

Hoofdstuk 3: De berekening van de externe kosten van transport

In het vorige hoofdstuk werd een kort overzicht gegeven van de verschillende externe kosten die transport kan veroorzaken. De grootte van deze externe kosten bepalen is geen eenvoudige opdracht. De schade, veroorzaakt door de verschillende externe effecten en aan de basis van de externe kosten, is meestal niet van monetaire aard. Opdat een correcte sociaal-economische waardering en interpretatie van de externe kosten kan gebeuren, dient de schade naar geldeenheden omgerekend te worden. Deze omrekening bevat veel onzekerheden. In dit hoofdstuk zal dieper worden ingegaan op de verschillende berekeningsmethoden die gebruikt worden bij het berekenen van de externe kosten van transport. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling omdat hiervoor een methode bestaat die consistent als de beste wordt aangeduid. Verder blijken de externe kosten van luchtvervuiling meestal de grootste categorie van externe kosten te zijn voor wegtransport, spoorvervoer en binnenvaart. (INFRAS en IWW, 2000; Maibach et al., 2007; Europese Commissie, 2002)

3.1 De bottom-up en top-down benadering

Externe kosten kunnen op twee verschillende manieren berekend worden: via een top-down benadering en via een bottom-up benadering. Aanvankelijk werd meestal de top-down benadering gevolgd, hetgeen resulteert in gemiddelde externe kosten. Bij deze benadering worden de totale externe kosten van een geografische eenheid, zoals een land, berekend. Vervolgens worden deze verdeeld via een verdeelsleutel, bijvoorbeeld door te delen door het aantal voertuigkilometers (Dings en Sevenster, 2002; Weinreich et al., 2000 en Van Wee et al., 2005). Het resultaat zijn de gemiddelde externe kosten per voertuigkilometer of de externe kosten veroorzaakt door alle gebruikers samen, gedurende een bepaalde periode, per voertuigkilometer (De Ceuster, 2004).

Volgens INFRAS en IWW (2000) en Daniels en Adamowicz (2000) kan bij de berekening van gemiddelde externe kosten echter beter het aantal tonkilometer (tkm) als eenheid gebruikt worden. Deze eenheid brengt naast de afstand van het transport eveneens het aantal ton getransporteerde lading in rekening. Het aantal tonkilometer wordt berekend door het vermenigvuldigen van het aantal ton dat getransporteerd wordt met het aantal kilometer dat deze getransporteerd worden. Macharis en Van Mierlo (2006) wijzen echter op de beperkingen van het gebruik van tonkilometer als eenheid. "Eenzelfde aantal tonkilometer kan het

resultaat zijn van verschillende trajectomstandigheden. Immers 1000 ton vervoeren over 10 km levert hetzelfde aantal tonkilometer als 10 ton vervoeren over 1000 km." (Macharis en Van Mierlo, 2006: p.2) De auteurs geven echter geen alternatieve eenheid.

De berekening van gemiddelde externe kosten via de top-down benadering heeft enkele belangrijke nadelen. Ten eerste wordt verondersteld dat de externe effecten lineair zijn, hetgeen niet correct is (Dings en Sevenster, 2002). Verder houden gemiddelde externe kosten geen rekening met de verschillen tussen de locaties en tussen de omstandigheden bij de oorsprong van de externe kosten (Weinreich et al., 2000). Gemiddelde externe kosten kunnen nuttig zijn om de grootte van bepaalde kostenposten te schatten of inzicht te geven in de maatschappelijke relevantie, maar zijn niet geschikt om een beleid ter vermindering van de externe kosten op te baseren. "Ze geven immers geen informatie over welke (sub)categorieën van vervoermiddelen onder welke omstandigheden aanleiding geven tot welke kosten. Ze bieden m.a.w. geen inzicht in mogelijke verbeterstrategieën." (De Ceuster, 2004: p.77)

Een betere manier om externe kosten te berekenen, is via de bottom-up benadering. De berekening bij deze benadering volgt een voorgeschreven structuur en het doel is de invloed van het transport van één extra tonkilometer te vinden (Weinreich et al., 2000). Deze benadering laat toe rekening te houden met de snelheid, het gewicht en het verbruik van een specifiek transportmiddel (Van Wee et al., 2005). Bijgevolg resulteert de bottom-up benadering in marginale externe kosten: "de extra kosten die veroorzaakt worden door één extra voertuigkilometer met een bepaald vervoermiddel op een bepaalde plaats en een bepaald tijdstip." (Dings en Sevenster, 2002: p.13) Deze marginale externe kosten bieden de gedifferentieerde informatie die nodig is om de extra externe kosten van een bepaalde transportactiviteit te meten.

3.2 De 'resource approach' en de 'prevention approach' van INFRAS en IWW

De studie 'External costs of transport' (INFRAS en IWW, 1995) was de eerste studie waarin de externe kosten van transport voor alle West-Europese landen berekend werden. In de oorspronkelijke studie uit 1995 werd enkel een top-down benadering gebruikt waardoor alleen totale en gemiddelde externe kosten berekend werden. Een herziening en uitbreiding van de studie verscheen in 2000. Naast een top-down benadering wordt een bottom-up benadering gebruikt. Hierdoor wordt het mogelijk om naast totale en gemiddelde externe kosten, marginale externe kosten te berekenen. (INFRAS en IWW, 2000) In 2004 volgde een tweede herziening waarbij de methodologie verder werd verfijnd door eveneens naar andere studies over de externe kosten van transport op Europese schaal te kijken (INFRAS en IWW, 2004).

Externe kosten als gevolg van volgende categorieën effecten worden beschouwd in de studie: ongevallen, geluidshinder, luchtvervuiling, klimaatsverandering, schade aan natuur en landschap, stroomop- en stroomafwaartse processen en congestie. Externe infrastructuurkosten worden buiten beschouwen gelaten. Verder wordt een onderscheid gemaakt tussen de volgende transportmodi: wegtransport (auto, bus, lichte en zware vrachtwagen), spoorvervoer (passagiers en goederen), luchttransport (passagiers en goederen) en binnenvaart. (INFRAS en IWW, 2000 en 2004)

INFRAS en IWW (2000) onderscheiden in hun studies twee benaderingen voor het waarderen van externe kosten. De eerste is de 'resource approach'. Bij deze benadering worden de schadekosten geschat. Deze worden gedefinieerd als de opportuniteitskosten voor de maatschappij voor het lijden onder of herstellen van de aangebrachte schade en het verlies aan middelen. De resource approach is volgens INFRAS en IWW de beste methode en wordt zoveel mogelijk gebruikt in hun studies.

Een tweede benadering is de 'prevention approach' waarbij de vermijdingskosten, de kosten voor het vermijden van negatieve effecten, worden geschat. Deze benadering wordt door INFRAS en IWW (2000) als tweede beste gecatalogeerd en wordt gebruikt wanneer de schadekosten niet op voldoende wijze kunnen worden geschat. Dit is volgens INFRAS en IWW (2000) onder andere het geval voor de externe kosten van klimaatsverandering. De vermijdingskosten van klimaatsverandering worden geïnterpreteerd als de nationale bereidheid tot betalen voor het wereldwijd terugdringen van de risico's veroorzaakt door klimaatsverandering.

3.3 De berekening van externe kosten van luchtvervuiling

Voor de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling door transport bestaan volgens Maibach et al. (2007) twee algemene berekeningsmethoden. In de studies van INFRAS en de Wereldgezondheidsorganisatie wordt een berekeningsmethode via een top-down benadering gebruikt. Dergelijke benadering levert echter enkel totale en gemiddelde externe kosten op. Om de redenen zoals beschreven in paragraaf 3.1, wordt hier in deze eindverhandeling niet dieper op ingegaan. De andere berekeningsmethode is de 'Impact Pathway Approach', een methodologie voor de berekening van energiegebonden emissies via een bottom-up benadering. Volgens Maibach et al. (2007) gebruiken de meeste Europese studies deze methodologie en kan ze beschouwd worden als de meest geavanceerde methode voor de berekening van externe kosten van luchtvervuiling. Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) halen nog een andere methode aan, namelijk de 'Damage Pathway

Approach' die gebruikt wordt in QUITs⁵. Deze benadering is echter volledig gebaseerd op de Impact Pathway Approach (ISIS et al., 1998; Rennings et al., 1998; Ricci en Black, 2005).

In de volgende paragraaf volgt een korte beschrijving van het ExternE project waarin de Impact Pathway Approach werd ontwikkeld. Vervolgens volgt een uitgebreide bespreking van de methodologie en de verschillende stappen ervan. Ten slotte wordt het belang van deze methodologie nogmaals benadrukt.

3.3.1 Het ExternE project

Het ExternE⁶ project werd in 1991 opgericht door de Europese Commissie binnen het Joule II programma⁷, in samenwerking met het 'Department of Energy' van de Verenigde Staten. Het doel van het project is het evalueren van de externe kosten die gepaard gaan met het gebruik van energie in verschillende 'fuel cycles' of brandstofcycli. De Europese Commissie vreesde dat deze externe kosten niet voldoende in rekening werden gebracht in het beslissingsproces van mensen en bedrijven. ExternE was het eerste project dat gebruik maakte van een bottom-up benadering voor de berekening van externe kosten. De eerste rapporten verschenen in 1995 waarbij het project zich aanvankelijk concentreerde op nucleaire brandstofcycli. Later werd de ontwikkelde methodologie uitgebreid naar fossiele en hernieuwbare brandstofcycli. (Europese Commissie, 1995 en Bickel et al., 1997) ExternE Transport werd vervolgens opgericht om de externaliteiten van energiegebruik bij transport te evalueren. Externe effecten van binnenvaart, weg- en spoortransport werden beschouwd. De aandacht ging hierbij vooral uit naar de waardering van de externe kosten van luchtvervuiling. (Bickel et al., 1997 en Krewitt, 2002) De bottom-up methodologie die ontwikkeld werd in het ExternE project, wordt de Impact Pathway Approach genoemd en wordt besproken in de volgende paragraaf.

3.3.2 De Impact Pathway Approach

De Impact Pathway Approach is een berekeningsmethode volgens de bottom-up benadering die in ExternE werd ontwikkeld voor het kwantificeren van energiegebonden emissies, of met andere woorden de externe kosten van luchtvervuiling, via een gedetailleerde ketenbenadering. De aandacht gaat vooral uit naar het kwantificeren van de effecten van emissies op de gezondheid van mensen. Verder worden de effecten van emissies op gewassen

⁵ Quality Indicators for Transport Systems

⁶ Externalities of Energy

⁷ Joule II is een specifiek onderzoeks- en technologisch ontwikkelingsprogramma op het gebied van niet-nucleaire energie, dat liep van 1990 tot 1994. Joule staat voor: Joint Opportunities for Unconventional or Long-term Energy supply

en gebouwen beschouwd. Andere auteurs verwijzen soms naar deze methodologie als de 'Impact Pathway Methodology' of de 'ExternE methodology'. Int Panis et al. (2001) vertalen de naam naar het Nederlands als de 'route-effect methode'. In het vervolg van deze eindverhandeling wordt de originele Engelstalige benaming gebruikt.

De Impact Pathway Approach is gebaseerd op de resource approach zoals beschreven in paragraaf 3.2 en tracht schadekosten te schatten. De berekeningsmethode probeert een link te creëren tussen externe effecten, de eruit voortvloeiende schade, de impact die deze schade veroorzaakt op mensen, gewassen en gebouwen en de economische waardering van deze impact (Bickel et al., 1997). De verschillende links worden 'impact pathways' genoemd. Een extern effect is bijvoorbeeld de emissie van een bepaalde pollutant, zoals roetdeeltjes (PM), door een vrachtwagen. De schade die deze emissie veroorzaakt is de toegenomen concentratie aan roetdeeltjes in de atmosfeer. Deze toegenomen concentratie zorgt voor bepaalde impacts zoals een toename van het aantal astma-aanvallen. De waardering van deze toename van astma-aanvallen in geldeenheden vormt dan een deel van de externe kosten van luchtvervuiling veroorzaakt door de vrachtwagen. Een voorbeeld van een andere, uitgebreidere impact pathway is terug te vinden in bijlage 1.

Vooraleer de Impact Pathway Approach toegepast kan worden, dienen enkele belangrijke beslissingen genomen te worden. Ten eerste is het belangrijk om de grenzen van het beschouwde systeem duidelijk af te bakenen. Zoals reeds in hoofdstuk twee werd vermeld, veroorzaken stroomop- en stroomafwaartse processen van transportactiviteiten eveneens externe kosten. Deze kosten moeten, indien mogelijk, worden meegenomen in de berekeningen. (Bickel et al., 2006) Een duidelijke afbakening van het systeem is nodig opdat de methodologie consistente resultaten kan verschaffen. Bij ExternE wordt het systeem zo breed mogelijk beschouwd (Europese Commissie, 1995). Volgens Bickel en Friedrich (2001) is een goede afbakening belangrijk opdat verschillende transportmodi met elkaar vergeleken kunnen worden. Bij een vergelijking tussen elektrische treinen en vrachtwagens zou het bijvoorbeeld niet logisch zijn om de elektrische treinen te behandelen als een transportmiddel zonder enige emissies. De productie van de elektriciteit, waarbij wel emissies optreden, moet immers in rekening worden gebracht.

Verder is het belangrijk om duidelijk vast te leggen welke externe effecten en welke impacts van de externe effecten in rekening worden gebracht. Het aantal effecten en impacts die beschouwd kunnen worden, kan gemakkelijk oplopen tot een paar honderd. Idealiter zouden alle kosten berekend moeten worden, doch dit is nagenoeg onmogelijk. (Europese Commissie, 1995) Voor bepaalde impacts bestaat bijvoorbeeld nog geen geschikte dosis-respons functie (zie paragraaf 3.3.2.3) of waarderingmethode. Andere impacts zijn zo minimaal dat ze evengoed genegeerd kunnen worden (Bickel et al., 2006). Bij het bepalen van welke effecten

en impacts in rekening worden gebracht, is het daarom belangrijk deze te kiezen die de meeste externe kosten veroorzaken. In ExternE worden hiervoor eerst enkele schattingen gemaakt op basis van welke de belangrijkste impact pathways of 'priority impact pathways' worden bepaald (Europese Commissie, 1995). Enkel de externe kosten van deze impact pathways worden vervolgens berekend.

Zoals hierboven werd vermeld, worden in ExternE een aantal effecten en impacts buiten beschouwing gelaten, zowel omwille van het ontbreken van de nodige data als omwille van zich te beperken tot de belangrijkste impact pathways. Het voorbeeld in bijlage 1 dient daarom beschouwd te worden als een doel. In het ideale geval zouden al deze zaken meegenomen moeten worden in de berekeningen. In de praktijk is dit niet het geval. (Europese Commissie, 1995)

3.3.3 De verschillende stappen van de Impact Pathway Approach

De berekening van de externe kosten gebeurt via vier grote stappen: emissiemodellering, dispersiemodellering, het kwantificeren van de impacts en de economische waardering van deze impacts (Europese Commissie, 1995). Figuur 2 geeft een overzicht van deze stappen. In de volgende paragrafen zullen deze kort besproken worden, met de nadruk op het gebruik van de Impact Pathway Approach op de transportsector.

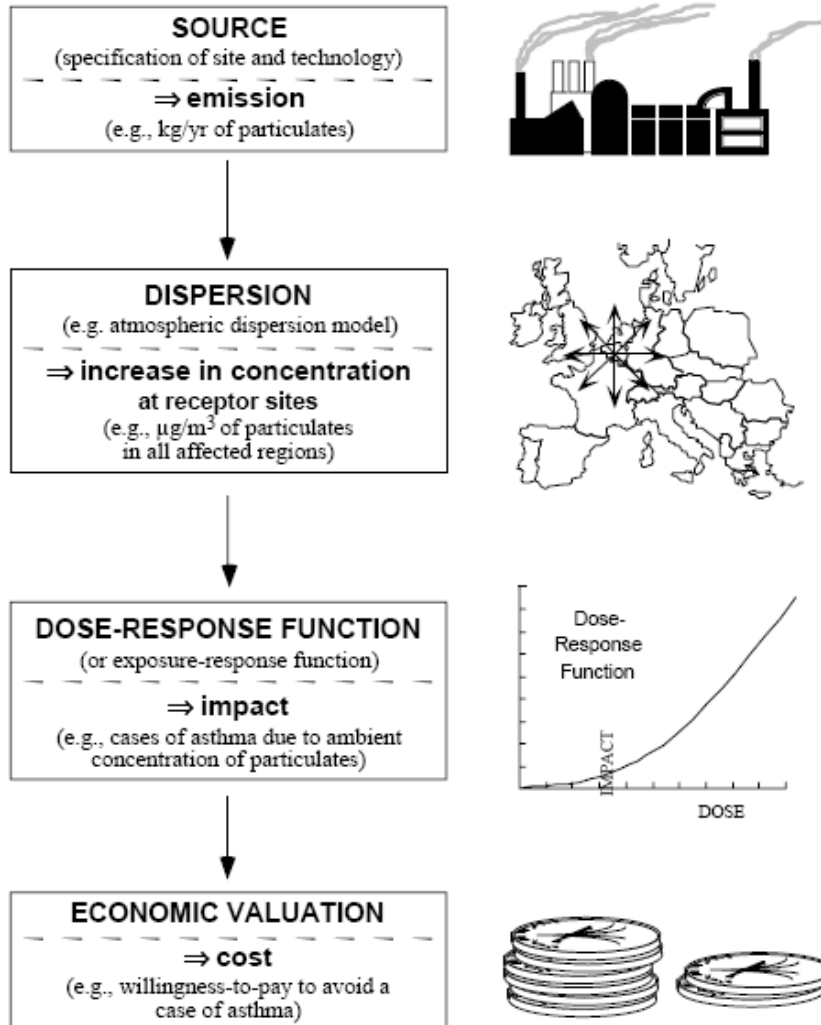
3.3.2.1 Emissiemodellering

De eerste stap is de modellering van de effecten van transport. In ExternE gaat de aandacht vooral uit naar de modellering van emissies. Emissiefactoren voor elke pollutant worden vermenigvuldigd met de transportafstand. Omdat transportemissies in grote mate afhankelijk zijn van het afgelegde traject en de verkeerssituatie, wordt de totale afstand verdeeld in kleinere segmenten. Voor elk van deze segmenten kunnen vervolgens de emissies berekend worden. De som van deze emissies geeft de emissies over de totale afstand. (Bickel et al., 1997) Belangrijke parameters die de grootte van de emissies bepalen, zijn de gemiddelde snelheid, de verkeerssituatie, de beladingsgraad, enzovoort (Bickel en Friedrich, 2001).

Wanneer door middel van andere berekeningsmethoden eveneens andere effecten, zoals deze van congestie, ongevallen en geluid, beschouwd worden, is het belangrijk de interrelaties tussen deze effecten in rekening te brengen. Kreutzberger et al. (2003) stellen bijvoorbeeld dat congestie een grotere kans op ongevallen en meer emissies veroorzaakt dan vlot verkeer. Door de lagere snelheid bij congestie resulteert een ongeval echter in minder schade. Verder

benadrukken Kreutzberger et al. (2003) dat marginale kosten contextgebonden zijn. De extra geluidshinder van een extra voertuig bij rustig verkeer is groter dan bij druk verkeer.

Figuur 2: Overzicht van de Impact Pathway Approach



(Bron: Friedrich et al., 2001: p.3)

3.3.2.2 Dispersiemodelling

Vervolgens wordt de marginale toename van de concentratie aan polluenten geschat. Hierbij is het belangrijk dat niet de concentratie aan polluenten maar wel de toename ervan wordt geschat. Emissies van andere, niet transportgebonden activiteiten moeten worden genegeerd (Bickel et al., 2006). Om een beeld te krijgen van de totale schade veroorzaakt door de

polluenten, dient de dispersie of verspreiding ervan in kaart te worden gebracht via dispersiemodellen. Polluenten kunnen immers over grote afstanden worden vervoerd, alvorens schade te veroorzaken. (Bickel en Friedrich, 2001 en Kreutzberger et al., 2003)

De atmosferische dispersie van polluenten wordt onderverdeeld in dispersie op lokale en regionale schaal. Lokaal wordt gedefinieerd als het gebied tot 25 km langs beide zijden van de afgelegde weg, regionaal wordt gedefinieerd als het hele Europese continent. (Bickel et al., 2006) Om de concentratie aan polluenten op verschillende locaties te schatten, worden dispersiemodellen gebruikt, die verschillend zijn voor de lokale en regionale schaal.

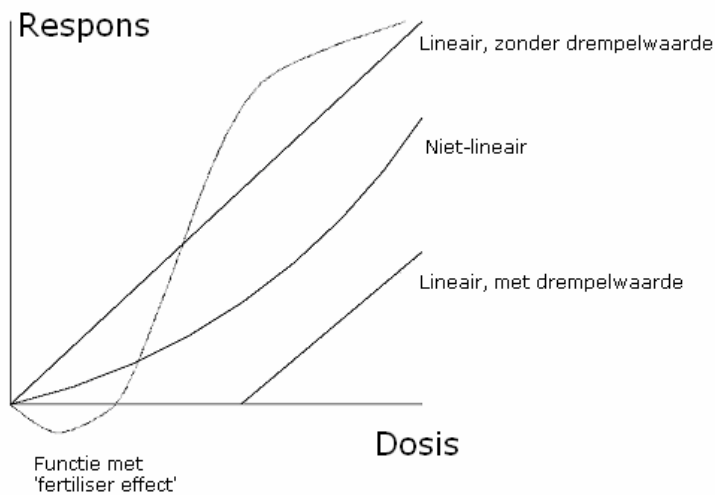
Een overzicht van de modellen gebruikt in ExternE Transport wordt gegeven door Bickel et al. (1997), Bickel en Friedrich (2001), Friedrich et al. (2001) en Bickel et al. (2006). Voor de verspreiding van polluenten op lokale schaal wordt 'ROADPOL' gebruikt, een Gaussiaans dispersiemodel. De belangrijkste meteorologische parameters zijn windsnelheid en windrichting. Verder spelen de emissies per afgelegde meter en de coördinaten van de afgelegde route een rol. Op regionale schaal wordt gebruik gemaakt van het 'Windrose Trajectory Model' (WTM). Naast dezelfde parameters als op lokale schaal, zijn nog enkele andere parameters van even groot belang. Bij de verspreiding van polluenten op regionale schaal, worden de polluenten immers over langere afstanden vervoerd en is het tijdsinterval tussen emissie en impact groter dan op lokale schaal. Hierdoor dient rekening gehouden te worden met mechanismen die polluenten op termijn uit de lucht verwijderen, zoals regen of de zwaartekracht. Ten slotte wordt het 'Source-Receptor Ozone Model' (SROM) gebruikt voor de modellering van de ozoncreatie.

3.3.2.3 Kwantificeren van impacts

Voor het kwantificeren van de impacts die de verschillende polluenten hebben op mensen, gebouwen en gewassen, worden dosis-respons functies (dose response functions) gebruikt in ExternE. Een dosis-respons functie tracht de relatie voor te stellen tussen de blootstelling aan de verschillende polluenten en een impact of respons op de receptoren die hierdoor veroorzaakt wordt. De term 'dosis-respons functie' is daarom niet volledig correct. Het is niet de bedoeling om een relatie te zoeken tussen een toegedijnde dosis polluenten en de respons hierop, maar tussen de blootstelling aan een bepaalde concentratie aan polluenten en de respons hierop. De termen 'blootstelling-respons functie' en 'concentratie-respons functie' zijn betere benamingen. (Europese Commissie, 1995; Bickel en Friedrich, 2001; Friedrich et al., 2001) In de literatuur, inclusief de rapporten van ExternE zelf, wordt echter voornamelijk gebruik gemaakt van de term dosis-respons functie. In deze eindverhandeling zal eveneens deze term gebruikt worden.

Figuur 3 toont verschillende functionele vormen die een dosis-respons functie kan aannemen. De functies kunnen zowel lineair als niet-lineair zijn. Verder hebben sommige functies een drempelwaarde, wat betekent dat er beneden deze waarde geen effect is. Ten slotte is het mogelijk dat de functie een 'fertiliser effect' vertoont. Een dergelijk effect komt voor wanneer een kleine dosis polluenten geen negatief maar een positief effect op de receptor heeft. De dosis-respons functies voor de effecten van SO₂ en NO_x op gewassen zijn hier een voorbeeld van: bij een lage dosis zorgen deze stoffen voor bemesting, wat tot een grotere opbrengst leidt. (Friedrich et al., 2001)

Figuur 3: Voorbeelden van dosis-respons functies



(Bron: Europese Commissie, 1995: p.24)

3.3.2.4 Economische waardering

De laatste stap van de Impact Pathway Approach is de toekenning van een geldwaarde aan de verschillende impacts. Hiervoor worden in ExternE de schadekosten geschat, zoals bij de resource benadering van INFRAS en IWW (Bickel et al., 2006 en Ricci en Black, 2005). Voor zover mogelijk worden hierbij marktprijzen gebruikt, bijvoorbeeld voor het waarderen van schade aan gebouwen en gewassen. Voor vele vormen van schade door luchtvervuiling, zoals de pijn en het lijden door negatieve gezondheidseffecten, zijn echter geen marktprijzen beschikbaar. (Bickel en Friedrich, 2001 en Desaignes, 2005) De waardering van deze effecten gebeurt volgens Maibach et al. (2007), Madheswaran (2007) en Bickel en Friedrich (2001) het

best op basis van individuele preferenties. Deze individuele preferenties kunnen geïnterpreteerd worden als:

- de bereidheid tot betalen (willingness to pay) voor een verbetering
- de bereidheid tot accepteren (willingness to accept) van een compensatie voor een verslechtering.

Voor een correcte waardering is het belangrijk dat alle kosten als gevolg van de impacts meegeteld worden, zowel de kosten waarvoor marktprijzen bestaan als deze waarvoor dit niet het geval is. Friedrich et al. (2001) illustreren dit met een voorbeeld: bij de waardering van de kosten van een astma-aanval dient niet enkel rekening gehouden te worden met de kosten van de medische behandeling, maar eveneens met de bereidheid tot betalen om eventuele blijvende of latere problemen te voorkomen.

In het vervolg van deze paragraaf wordt eerst een kort overzicht gegeven van de manier waarop de bereidheid tot betalen berekend kan worden. Vervolgens wordt besproken hoe de waardering van sterfgevallen en ziekte gebeurt in ExternE.

a) Berekening van de bereidheid tot betalen

De bereidheid tot betalen voor een verbetering (en de bereidheid tot accepteren van een compensatie) kan via verschillende methoden berekend worden. Deze methoden kunnen ingedeeld worden in twee groepen namelijk de 'stated preference' en de 'revealed preference' methoden. (Whitehead et al., 2007 en Hanley et al., 2001) Revealed preference methoden berekenen de bereidheid tot betalen aan de hand van het gedrag van mensen in werkelijke situaties. Een voordeel van deze methoden is dat ze gebaseerd zijn op werkelijke keuzes van mensen. Het feit dat historische gegevens nodig zijn, is een nadeel. (Atkinson en Halvorsen, 1990) Een voorbeeld van een revealed preference methode is de hedonische prijs methode. Bij deze methode wordt verondersteld dat mensen huizen waarderen aan de hand van de karakteristieken ervan. Volgens Hanley et al. (2001) wordt de waarde van een huis bepaald door drie soorten karakteristieken, namelijk:

- de karakteristieken van het huis zelf, zoals het aantal slaapkamers;
- omgevingskarakteristieken, zoals werkgelegenheid in de buurt;
- karakteristieken met betrekking tot het milieu, zoals de luchtkwaliteit.

Op basis van data van verkoopprijzen van huizen en de karakteristieken van deze huizen, kan vervolgens een regressie-analyse worden uitgevoerd. Aan de hand hiervan kan het effect van de verschillende karakteristieken op de prijs worden bepaald en kan worden berekend hoeveel mensen bereid zijn te betalen voor een bepaalde verbetering van de luchtkwaliteit. (Hanley et al., 2001)

Stated preference methoden baseren zich, in tegenstelling tot revealed preference methoden, niet op werkelijke, maar op hypothetische keuzes. De bekendste en meeste gebruikte stated preference methode is volgens Whitehead et al. (2007) en Hanley et al. (2001) de 'contingent valuation' methode. Bij deze methode wordt de bereidheid tot betalen direct afgeleid uit een bevraging van mensen over hypothetische veranderingen in het milieu. Een voordeel van deze methode is dat ze voor vele verschillende situaties gebruikt kan worden (in tegenstelling tot bijvoorbeeld de hedonische prijs methode die enkel voor situaties waarbij de waarde van een huis verandert, gebruikt kan worden). Het gevaar bij deze methode is echter dat hetgeen mensen zeggen en hetgeen ze werkelijk zouden doen, kan verschillen.

Voor een uitgebreidere bespreking van de hierboven vermeldde en andere methoden voor de berekening van de bereidheid tot betalen wordt verwezen naar Whitehead et al. (2007) en Hanley et al. (2001). In ExternE wordt zowel de contingent valuation als de hedonische prijs methode gebruikt. De manier waarop sterfgevallen en ziekte worden gewaardeerd in ExternE, wordt in de volgende paragraaf besproken.

b) De waardering van sterfgevallen en ziekte

Voor de waardering van sterfgevallen als gevolg van luchtvervuiling werd in de eerste fase van ExternE gebruik gemaakt van de 'value of statistical life' (VSL). De value of statistical life wordt door Friedrich et al. (2001) gedefinieerd als de gezamenlijke bereidheid tot betalen voor het vermijden van een klein risico op een anonieme vroegtijdige dood. Deze waarde wordt berekend door de gemiddelde bereidheid tot betalen voor een verlaagd risico op sterfte te delen door de verlaging van het risico. Wanneer voor een risicoverlaging van 1 op 10 000 de gemiddelde bereidheid tot betalen 300 euro is, dan bedraagt de value of statistical life 3 miljoen euro (300 gedeeld door 1/10 000). (Bickel en Friedrich, 2001)

Vanuit ethisch standpunt heeft de waardering van een mensenleven in economische termen veel kritiek gekregen. Volgens Bickel en Friedrich (2001) is deze kritiek niet terecht. Volgens de auteurs maakt iedereen zelf afwegingen tussen de kosten en baten van een investering in apparaten die de veiligheid verhogen. Bij het bepalen van de statistical value of life zijn het net deze afwegingen die beschouwd worden.

Een andere, in dit geval terechte kritiek op het gebruik van de statistical value of life aan de hand van de bereidheid tot betalen, was dat geen rekening werd gehouden met het aantal levensjaren dat verloren gaat. Binnen ExternE werd daarom een nieuwe benadering ontwikkeld waarbij gebruik wordt gemaakt van de 'years of life lost' (YOLL). Hieruit volgt de 'value of a life year lost' (VLYL). Deze nieuwe benadering wijst een grotere waarde toe aan het verlies van meerdere levensjaren dan aan het verlies van één levensjaar. Het verschil tussen

deze en de vorige benadering kan aanzienlijk zijn. Een sterfgeval als gevolg van roetdeeltjes in de lucht gaat gepaard met een gemiddeld verlies van slechts 9 maanden omdat vooral personen met een reeds slechte gezondheid hiervoor vatbaar zijn. Een sterfgeval als gevolg van een auto-ongeval leidt daarentegen tot een gemiddelde vermindering van het aantal levensjaren met 30. (Bickel en Friedrich, 2001)

Volgens Friedrich en Bickel (2001) kunnen de kosten van ziekte op een gelijkaardige manier als die van sterfte berekend worden. De belangrijkste kostencomponenten zijn de kosten van medische behandelingen en de kosten van het verlies aan productiviteit. Verder dient de bereidheid tot betalen voor het vermijden van pijn en lijden te worden meegerekend.

3.3.4 Het belang van de Impact Pathway Approach

Zoals reeds werd aangehaald is de Impact Pathway Approach een belangrijke methodologie voor de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling veroorzaakt door transport. Maibach et al. (2007) beschouwen de methodologie als de meeste gebruikte en beste methode. Het belang van de Impact Pathway Approach wordt nogmaals duidelijk onderstreept door Int Panis et al (2001): "Deze route-effect methode intergreert de meest actuele kennis in verschillende wetenschappelijke disciplines in één consistent rekenschema. De emissiefactoren (stap 1), dispersiemodellen (stap 2), blootstellings-effect relaties (stap 3) en economische waarderings (stap 4) werden, speciaal voor het ExternE project, geselecteerd uit de recent wetenschappelijk literatuur door een grote groep van experts. De ExternE-methodologie wordt daarom tegenwoordig beschouwd als de meest volledige methodologie voor de berekening van energiegebonden impacts." (Int Panis et al., 2001: p1)

Volgens Bickel et al. (2006) is het succes van de Impact Pathway Approach te danken aan het feit dat de externe kosten worden berekend aan de hand van de toegebrachte schade, bijvoorbeeld een toename van het aantal personen met ademhalingsproblemen, en niet aan de hand van de effecten die hieraan voorafgaan, zoals de emissies van fijn stof. Doordat meer concrete eindpunten worden gebruikt, wordt volgens de auteurs een meer betrouwbare en transparantere berekening gemaakt van de externe kosten dan bij het bepalen van de algemene bereidheid tot betalen voor een vermindering van luchtvervuiling.

Belangrijke studies in opdracht van de Europese Commissie voor de transportsector, die hun methodologie baseren op die van ExternE, zijn de studies UNITE en RECORDIT. Het project UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) verschaft beleidsmakers recente en state-of-the-art schattingen van interne en externe kosten van transport van meerdere transportmodi. Deze schattingen moeten beleidsmakers toelaten hun

beleid aan te passen om een efficiëntere en meer faire prijszetting van transport te bekomen. (Europese Commissie, 2003). Belangrijker voor deze eindverhandeling, omdat de interne en externe kosten van intermodaal transport behandeld worden, is de studie RECORDIT (REAl COSt Reduction of Door-to-door Intermodal Transport). Deze studie wordt in paragraaf 4.2 uitgebreid besproken.

Naast andere projecten in opdracht van de Europese Commissie inzake externe kosten van transport, hebben ook vele organisaties, zoals VITO⁸ (De Nocker et al., 1998 en Int Panis et al., 2001) en INFRAS (Bickel et al., 2005), hun berekeningen gebaseerd op de berekeningsmethode van ExternE.

3.4 De berekening van andere soorten externe kosten

Om de externe kosten van transport te kennen, dienen niet enkel de externe kosten van luchtvervuiling, maar alle soorten externe kosten besproken in hoofdstuk twee te worden berekend. De berekening van de externe kosten van geluidshinder kan, net zoals deze voor luchtvervuiling, gebeuren via de Impact Pathway Approach. (Maibach et al., 2007 en Weinreich et al., 2000)

De externe kosten van klimaatsverandering worden meestal berekend aan de hand van de prevention approach, waarbij vermijdingskosten worden geschat, zoals werd beschreven in paragraaf 3.2. De resource approach waarbij schadekosten worden geschat, is volgens Bickel et al. (2006) en INFRAS en IWW (2000) niet bruikbaar voor de berekening van externe kosten van klimaatsverandering. Schattingen op basis van schadekosten zijn volgens Bickel et al. (2006) eerder conservatief omdat ze enkel de schade die met redelijke zekerheid geschat kan worden, bevatten. De kosten van schade als gevolg van het toenemende aantal overstromingen en orkanen kunnen bijvoorbeeld niet in rekening worden gebracht. De reden hiervoor is dat onvoldoende informatie beschikbaar is over de relatie tussen klimaatsverandering en deze natuurrampen.

De berekening van de externe kosten van klimaatsverandering via de prevention approach gebeurt door het vermenigvuldigen van het aantal ton uitgestoten CO₂-equivalenten met een kost per ton. Deze kost per ton hangt af onder andere af van de vooropgestelde reductiepercentages en de mate van emissieverhandeling die toegelaten wordt. (Bickel et al., 2003; Link et al., 2003; Weinreich et al., 2000) De waarde voor deze kost per ton ligt volgens INFRAS en IWW (2000) en Weinreich et al., 2000) tussen de 37 en 135 euro per ton CO₂-equivalenten.

⁸ Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

Voor de berekening van de externe kosten van infrastructuurgebruik door vrachtwagens, wordt verwezen naar Beuthe et al. (2002). Voor een overzicht van de belangrijkste methoden voor de berekening van de externe kosten van congestie en ongevallen wordt verwezen naar Maibach et al. (2007). Andere externe kosten, zoals deze van trillingen, schade aan ecologische systemen, bodem- en watervervuiling, verlies aan ruimte en belemmering van het zicht worden volgens dezelfde auteurs door de meeste onderzoekers niet in rekening gebracht. Redenen hiervoor zijn onder andere complexe dosis-respons functies, grote onzekerheden bij het waarderen van impacts in geldwaarden, het feit dat niet altijd een directe relatie bestaat tussen de schade en de mate van infrastructuurgebruik en het moeilijke onderscheid tussen schade veroorzaakt door transport en andere activiteiten. (Maibach et al., 2007)

3.5 Moeilijkheden en onzekerheden bij de berekening van externe kosten

Voorgaande paragrafen gaven een inzicht in de manier waarop de externe kosten van transport berekend kunnen worden. Deze berekeningen zijn echter complex en bevatten vaak vele moeilijkheden en onzekerheden. De resultaten zijn verder zeer afhankelijk van de gebruikte berekeningsmethode (Kreutzberger et al., 2003). In deze paragraaf worden eerst de moeilijkheden bij de berekening en de vergelijking van de resultaten beschreven. Vervolgens worden de onzekerheden besproken.

3.5.1 Moeilijkheden bij de berekening en de vergelijking van de resultaten

Haezendonck en Coeck (2006) sommen enkele van de mogelijke problemen bij de berekening en de vergelijking van externe kosten van transport op. Ten eerste is het volgens deze auteurs niet eenvoudig om een onderscheid te maken tussen de interne en externe kosten van transport. Een deel van de kosten die als extern beschouwd kunnen worden, worden bijvoorbeeld in rekening gebracht door de betaling van verzekeringspremies. Een juiste scheiding tussen interne en externe kosten is daarom volgens Haezendonck en Coeck (2006) soms moeilijk.

Dezelfde auteurs duiden nog op een andere moeilijkheid, namelijk het gevaar op een overwaardering van externe kosten. Een overwaardering kan ontstaan door de dubbeltelling van verschillende externe kosten. Om dubbeltellingen te vermijden is het belangrijk om rekening te houden met het effect van bepaalde soorten externe kosten op andere. (Haezendonck en Coeck, 2006) Congestie leidt bijvoorbeeld niet enkel tot toegenomen tijdskosten voor de weggebruikers, maar mogelijk eveneens tot extra luchtvervuiling door het

herhaaldelijk starten en stoppen (Kreutzberger et al., 2003). Volgens Haezendonck en Coeck (2006) houden de meeste studies, zoals die van INFRAS en IWW en het RECORDIT project, hier voldoende rekening mee. Verder kan een overwaardering van externe kosten ontstaan door het berekenen van de bereidheid tot betalen via stated preference methoden. In werkelijkheid is de echte betalingsbereidheid immers bijna altijd lager dan de beweerde betalingsbereidheid (Dings en Sevenster, 2002).

Vervolgens wijzen Haezendonck en Coeck (2006) op het feit dat het moeilijk is om de resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken. Deze moeilijkheid is onder andere het gevolg van de onduidelijkheid betreffende de verschillende soorten externe kosten die in rekening gebracht dienen te worden. Het doel is om zo exhaustief mogelijk te werk te gaan en alle externe kosten te berekenen. Het niet opnemen van bepaalde soorten externe kosten kan immers leiden tot een onderwaardering van de totale externe kosten. Haezendonck en Coeck (2006) schrijven dat sommige studies bepaalde soorten externe kosten echter negeren omdat ze verwaarloosbaar zouden zijn of omdat geen betrouwbare data beschikbaar zijn. Zo beschouwen de studies van INFRAS en IWW (2000 en 2004) de externe kosten als gevolg van schade aan natuur en landschap, terwijl het RECORDIT project (Weinreich, et al., 2000) dit niet doet. Dit bemoeilijkt het vergelijken van de resultaten.

Een andere reden waarom het moeilijk is om de resultaten van verschillende studies te vergelijken, is het verschil in de gebruikte berekeningsmethoden en de hiermee gepaard gaande onzekerheden. (Haezendonck en Coeck, 2006) Verder spelen de gemaakte veronderstellingen een grote rol. De waarde van de schade van luchtvervuiling wordt bijvoorbeeld sterk beïnvloed door de gebruikte verspreidingsmodellen en dosis-respons functies (MIRA, 2006b). Macharis en Van Mierlo (2006), Ricci en Black (2005) en Sandvik (2005) benadrukken verder dat externe kosten zeer situatie-afhankelijk zijn. Het energieverbruik van een voertuig per tonkilometer is bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de beladingsgraad en de kenmerken van het voertuig. Hierdoor kan het gemiddelde energieverbruik volgens Macharis en Van Mierlo (2006) met een factor tien verschillen naargelang de situatie. Bovendien is de grootte van externe kosten afhankelijk van de plaats en het tijdstip van de externe effecten. Geluid is bijvoorbeeld 's nachts hinderlijker dan overdag, terwijl luchtvervuiling hogere externe kosten veroorzaakt in stedelijke gebieden dan in landelijke gebieden. (De Ceuster, 2004)

3.5.2 Onzekerheden bij de berekening van externe kosten

Naast de moeilijkheden vermeld in de voorgaande paragraaf, bevat de berekening van de externe kosten van transport vele onzekerheden. De grootste onzekerheden zijn deze als

gevolg van het kwantificeren van de impacts en de waardering van deze impacts. Zo is voor een aantal combinaties van pollutanten en impacts de dosis-respons functie onderhevig aan onzekerheid. In sommige gevallen is de functie zelfs volledig onbekend. Het kwantificeren van emissies levert minder onzekerheden op (Bickel et al., 2006 en Bickel en Friedrich, 2001).

Bickel en Friedrich (2001), Bickel et al. (1997) en Europese Commissie (1995) sommen enkele oorzaken van onzekerheden bij het berekenen van de externe kosten van transport via de Impact Pathway Approach op. Friedrich et al (2001) delen deze onzekerheden in de vier volgende groepen in:

- Onzekerheden als gevolg van de data.
Bijvoorbeeld onzekerheid over de helling van een dosis-respons functie. Deze ontstaat onder andere door de extrapolatie van data van een laboratorium naar de praktijk.
- Onzekerheden als gevolg van het model.
Deze ontstaan bijvoorbeeld door de extrapolatie van dosis-respons functies van de ene geografische eenheid naar een andere.
- Onzekerheden als gevolg van het beleid en ethische keuzes.
Een gebrek aan informatie betreffende menselijk gedrag maakt het bijvoorbeeld moeilijk om de waarde van een mensenleven te schatten.
- Onzekerheden in verband met de toekomst.
Voor de bepaling van lange termijn impacts is het noodzakelijk om schattingen te maken voor de toekomst, hetgeen onzekerheden met zich meebrengt.

De eerste twee groepen van onzekerheden hebben een wetenschappelijke oorsprong. Ze kunnen aangepakt worden door middel van statistische methoden, zoals het berekenen van betrouwbaarheidsintervallen. De andere onzekerheden kunnen volgens Friedrich et al. (2001) beter aangepakt worden door middel van sensitiviteitsanalyses.

3.6 Conclusie

In dit hoofdstuk werd besproken hoe de externe kosten van transport berekend kunnen worden. Allereerst dient hierbij een onderscheid gemaakt te worden tussen externe kosten berekend via de bottom-up en de top-down benadering. De top-down benadering resulteert in gemiddelde externe kosten per voertuigkilometer of per tonkilometer. Deze benadering heeft het nadeel dat geen rekening wordt gehouden met het feit dat externe kosten sterk afhankelijk zijn van de plaats en omstandigheden bij de veroorzaking ervan. De bottom-up benadering doet dit wel en is daarom beter. Deze benadering maakt het mogelijk marginale externe kosten te berekenen, afhankelijk van onder andere de snelheid, het gewicht en het

verbruik van het transportmiddel. Verder werd een onderscheid gemaakt tussen de resource approach en de prevention approach. De eerste benadering, waarbij de schadekosten worden geschat, wordt als beste beschouwd.

Vervolgens werd dieper ingegaan op de manier waarop de externe kosten van luchtvervuiling berekend kunnen worden. Uit de literatuur blijkt dat de beste methode om deze te berekenen de Impact Pathway Approach is. De methode volgt een bottom-up benadering en bestaat uit vier stappen: emissiemodellering, dispersiemodellering, het kwantificeren van impacts en de economische waardering van deze impacts. Deze vier stappen werden uitgebreid besproken. Verder werd benadrukt dat een goede afbakening van het beschouwde systeem belangrijk is en dat het nagenoeg onmogelijk is om alle effecten en impacts in de berekeningen op te nemen.

Na een korte beschrijving van de berekening van andere soorten externe kosten, werden de moeilijkheden en onzekerheden die gepaard gaan bij de berekening van externe kosten besproken. Uit de literatuur blijkt immers dat de berekening van externe kosten van transport niet eenvoudig is. Enkele moeilijkheden zijn het soms onduidelijke onderscheid tussen interne en externe kosten en het gevaar op een overwaardering. Verder maken de verschillen tussen studies inzake de beschouwde soorten externe kosten een onderlinge vergelijking van de resultaten moeilijk. De resultaten zijn bovendien sterk afhankelijk van de gebruikte berekeningsmethoden en gemaakte veronderstellingen. Een bijkomend probleem is het feit dat de externe kosten van transport zeer situatie-afhankelijk zijn. Resultaten voor een bepaald traject kunnen daarom niet veralgemeend worden. Ten slotte bevat de berekening van de externe kosten van transport vele onzekerheden.

Uit dit hoofdstuk kan samenvattend geconcludeerd worden dat de berekening van de externe kosten van transport complex is. Verder leiden de nodige veronderstellingen en de moeilijkheden en onzekerheden tot grote verschillen in de resultaten. Bijkomend verhindert de situatie-afhankelijkheid van de externe kosten van transport een veralgemening van de resultaten.

Hoofdstuk 4: De vergelijking van intermodaal transport en unimodaal wegtransport

In het vorige hoofdstuk werd beschreven hoe de externe kosten van de verschillende transportmodi berekend kunnen worden. Op basis van deze berekeningen is het echter niet mogelijk een directe vergelijking te maken tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport. Zoals reeds in het eerste hoofdstuk werd aangehaald, wordt deze vergelijking bemoeilijkt door het feit dat bij intermodaal transport eveneens het voor- en natransport in rekening moet worden gebracht (Macharis en Van Mierlo, 2006). In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten van enkele vergelijkende studies besproken aan de hand van twee overzichtsartikels. Verder worden twee modellen besproken die trachten de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal transport met elkaar te vergelijken. Op het tweede model wordt ten slotte een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd.

4.1 Resultaten van vergelijkende studies

Een overzicht van relevante studies voor het maken van een vergelijking tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van externe kosten, wordt gegeven door Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006). In deze twee artikels worden in totaal zeventien verschillende studies geanalyseerd en besproken. Deze zeventien studies bevatten vele verschillen. De modi die beschouwd worden, vormen het eerste verschil. Sommigen studies (Forkenbrock, 2001; ISIS et al., 1998; Dings et al., 2003 en De Vlieger et al., 2004) berekenen enkel de externe kosten van één of meerdere modi over een specifiek traject en niet van intermodaal transport. Andere studies (IFEU en SGKV, 2002; Transport en Logistiek Nederland, 1999; Walstra et al., 1995; Baccelli et al., 2001a) trachten wel een echte vergelijking te maken tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport. Deze laatste studies verschillen echter in de modi die ze bij intermodaal transport beschouwen en de beschouwde corridors.

Een ander belangrijk verschil tussen de studies zijn de externe kosten die opgenomen worden. Niet alle studies berekenen dezelfde soorten van externe kosten. Enkele studies proberen alle externe kosten te berekenen, terwijl andere zich op een bepaalde soort, bijvoorbeeld luchtvervuiling, toespitsen. Binnen een bepaalde soort van externe kosten kunnen eveneens verschillen optreden, zoals de verschillende impacts en schades die worden beschouwd. Als laatste gebruiken de studies verschillende methoden en waarderingstechnieken. (Kreutzberger et al., 2003 en Kreutzberger et al., 2006)

Deze verschillen maken het zeer moeilijk om een vergelijking tussen de verschillende studies te maken. Een dergelijke vergelijking was echter niet de opzet van de auteurs. Het doel was te ontdekken of een wetenschappelijke consensus bestaat over het antwoord op de vraag of de externe kosten van intermodaal transport lager zijn dan deze van unimodaal wegtransport. Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) komen tot de vaststelling dat de meeste studies de algemene veronderstelling dat intermodaal transport lagere externe kosten veroorzaakt, bevestigen. Slechts drie studies trekken deze conclusie in twijfel, doch Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) vinden deze twijfels onterecht zoals blijkt uit onderstaande paragrafen.

Een eerste studie (IFEU en SGKV, 2002) uitgevoerd door de International Road Transport Union (IRU) en Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) vergelijkt intermodaal weg-spoorvervoer met unimodaal wegtransport op basis van energieconsumptie en CO₂-emissies. Drie van de negentien onderzochte routes tonen een hogere energieconsumptie voor intermodaal transport dan unimodaal wegtransport. Voor CO₂-emissies was dit voor twee van de negentien routes het geval. Aan de hand van deze resultaten concludeerden de auteurs dat een transportbeleid intermodaal transport niet zou mogen promoten.

Volgens Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) is deze conclusie echter foutief. In de meeste gevallen haalde intermodaal transport significant betere resultaten dan unimodaal transport. In acht van de negentien gevallen was de primaire energieconsumptie bijvoorbeeld meer dan 20% lager. Een andere kritiek op de studie, naast de foutieve conclusie, is het feit dat vrachtwagens worden verondersteld volledig geladen te zijn, heen en terug. Dit is in de praktijk niet altijd het geval. (Kreutzberger et al., 2003 en Kreutzberger et al., 2006)

De gevallen waarbij intermodaal transport slechtere resultaten haalt dan unimodaal wegtransport, zijn te wijten aan een cumulatie van negatieve inputfactoren, namelijk: een kleine afstand voor het hoofdtransport, de som van het voor- en natransport is groter dan het hoofdtransport en het gebruik van korte treinen. Op basis van de resultaten stellen Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) dat intermodaal weg-spoorvervoer met gemiddelde inputparameters altijd betere resultaten haalt dan unimodaal wegtransport op vlak van energieconsumptie en CO₂-emissies.

De tweede en derde studie die de milieuvriendelijkheid van intermodaal transport in twijfel trekken, zijn uitgevoerd door Transport en Logistiek Nederland (1999 en 2004). In de eerste studie (Transport en Logistiek Nederland, 1999) wordt geconcludeerd dat intermodaal transport enkel milieuvriendelijker is voor maritieme transportstromen omdat het aandeel

voor- en natransport dan beperkt is. Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) stellen echter dat de gebruikte methodologie ontoereikend is. Het brandstofgebruik van vrachtwagens wordt te laag geschat, de treinlengte wordt niet gevarieerd en volle ladingen heen en terug worden verondersteld.

Uit de tweede studie (Transport en Logistiek Nederland, 2004) blijkt dat de externe kosten van wegtransport buiten de steden lager zijn dan de externe kosten van spoorvervoer en binnenvaart. Volgens Kreutzberger et al. (2006) is dit in strijd met de resultaten van andere studies. Ze bekritisieren dat de CO₂-emissies te laag gewaardeerd worden en de ongevalkosten lager verondersteld worden dan in andere studies. Volgens Kreutzberger et al. (2006) zouden de externe kosten van wegtransport meer dan verdubbelen wanneer cijfers van Europese studies of studies van CE Delft⁹ gebruikt worden. Verder worden belangrijke externe kosten zoals kosten van congestie buiten beschouwing gelaten.

Op basis van de resultaten van alle onderzochte studies concluderen Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006) dat intermodaal transport substantieel lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport, tenzij een cumulatie van meerdere negatieve condities optreedt. Voorbeelden van dergelijke negatieve condities zijn: zeer grote afstanden voor voor- en natransport, het gebruik van korte treinen en de locatie van de terminals in tegengestelde richting van het hoofdtransport waardoor het voor- of natransport een beweging in de verkeerde richting inhoudt.

Een van de onderzochte studies die de meest volledige analyse van de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport weergeeft en vergelijkt, is het RECORDIT project. Het feit dat dit project een volledige analyse van nagenoeg alle externe kosten maakt en hierbij consistent dezelfde methodologie, data en veronderstellingen gebruikt, leidt ertoe dat de resultaten van de verschillende modi zeer goed met elkaar te vergelijken zijn. Hierdoor is eveneens een goede vergelijking tussen intermodaal en unimodaal wegtransport mogelijk (Baccelli et al., 2001a). Dit project wordt daarom in de volgende paragrafen uitgebreid besproken.

4.2 RECORDIT

RECORDIT staat voor REal COst Reduction of Door-to-door Intermodal Transport en is een project gesubsidieerd door de Europese Unie dat liep van 1998 tot 2002. De doelstelling was het formuleren van aanbevelingen voor het versterken van de concurrentiekracht van intermodaal transport in Europa door het verlagen van de kostprijs en het verwijderen van

⁹ Centrum voor Energiebesparing Delft

prijsbarrières. Een van de belangrijkste objectieven om dit te bereiken, was het analyseren van de werkelijke kosten van intermodaal transport waarbij de werkelijke kosten zowel de interne als externe kosten (en baten) omvatten. (Weinreich et al., 2000) In RECORDIT werd daarom een methodologie ontwikkeld, deels gebaseerd op het werk in ExternE, voor het berekenen van interne en externe kosten van intermodaal transport (Europese Commissie, 2003). In deze eindverhandeling wordt enkel ingegaan op de berekening van de externe kosten. Voor de gedetailleerde methodologie wordt verwezen naar Weinreich et al. (2000) en Baccelli et al. (2001a).

De volgende soorten externe kosten worden beschouwd in RECORDIT: kosten van luchtvervuiling, geluidshinder, congestie, ongevallen en klimaatsverandering. Verder worden de kosten van stroomop- en afwaartse processen beschouwd. Volgende regel voor de afbakening van het systeem wordt hierbij gebruikt: "All goods or services which are essential for the provision of the transport activity and which would not be produced if the activity does not take place, should be included in the internal cost analysis, and the occurring externalities due to the production of these goods and services should also be quantified." (Weinreich et al., 2000: p.127) Concreet betekent dit dat externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering ten gevolge van de productie en het transport van brandstoffen en ten gevolge van de productie en afvalverwerking van voertuigen en laadeenheden worden berekend. Andere externe kosten als gevolg van deze activiteiten, zoals geluidshinder en ongevalkosten, worden niet beschouwd.

Externe effecten van infrastructuur worden buiten beschouwing gelaten. De externe kosten van infrastructuurvoorziening kunnen volgens Weinreich et al. (2000), zoals beschreven in paragraaf 2.1, beter op projectniveau in rekening worden gebracht. Voor de berekening van externe kosten van infrastructuurgebruik zijn volgens dezelfde auteurs niet voldoende gegevens beschikbaar. Andere externe kosten, bijvoorbeeld als gevolg van watervervuiling, belemmering van het zicht, schade aan ecologische systemen, enzovoort, worden eveneens niet beschouwd. Volgens Weinreich et al. (2000) zijn deze laatste categorieën wel relevant, maar is het niet mogelijk betrouwbare schattingen te maken van deze kosten.

4.2.1 De drie corridors besproken in RECORDIT

In het RECORDIT project worden drie corridors geanalyseerd. Voor elke van deze corridors wordt zowel een intermodaal traject als een traject via wegtransport beschouwd. Op te merken valt dat de trajecten via wegtransport niet strikt unimodaal zijn. Zowel bij de eerste als de tweede corridor wordt gebruikt gemaakt van short sea shipping. (Baccelli et al., 2001b) In het vervolg van deze bespreking zal de term unimodaal wegtransport toch gebruikt

worden, om een duidelijk verschil te maken met de wegtransporten die deel uitmaken van een intermodaal traject. Verder dient opgemerkt te worden dat de drie corridors en de bijhorende intermodale en unimodale trajecten zorgvuldig gekozen zijn. De aandacht ging vooral uit naar het zoeken van corridors en trajecten die voldoende gevarieerd zijn en samen representatief zijn voor het Europese transportnetwerk. De redenen hiervoor worden verduidelijkt in paragraaf 4.2.3. Een gevolg hiervan is dat de verschillende corridors en trajecten in hun geheel niet erg marktrelevant zijn. De verschillende segmenten van elk traject zijn dit echter wel. (Ricci, 2002 en 2003) In de volgende paragrafen volgt een korte beschrijving van de drie corridors en de bijhorende trajecten. Een grafische weergave van deze corridors is te vinden in bijlage 2.

De eerste corridor is deze van Genua in Italië naar Preston bij Manchester in het Verenigd Koninkrijk. Onderweg loopt deze corridor onder andere langs Bazel (Zwitserland), Rotterdam (Nederland) en Felixstowe (Verenigd Koninkrijk). Het intermodale traject maakt gebruik van vier verschillende modi en bestaat uit de volgende vijf segmenten:

- Genua – Bazel via spoorvervoer
- Bazel – Rotterdam via binnenvaart
- Rotterdam – Felixstowe via short sea shipping
- Felixstowe – Manchester via spoorvervoer
- Manchester – Preston via wegtransport.

Het traject voor het unimodaal wegtransport volgt dezelfde vermelde steden. Het segment Rotterdam – Felixstowe wordt zoals bij het intermodale traject afgelegd via short sea shipping. (Baccelli et al., 2001a en Baccelli et al., 2001b)

De tweede corridor loopt van Athene in Griekenland, via Verona (Italië), München (Duitsland) en Hamburg (Duitsland) naar Göteborg in Zweden. Het intermodale traject maakt gebruik van drie modi en bestaat uit de volgende vier segmenten:

- Athene – Patras (Griekenland) via wegtransport
- Patras – Brindisi (Italië) via short sea shipping
- Brindisi – Göteborg via spoorvervoer
- Göteborg – Göteborg via wegtransport.

Het traject voor het unimodaal wegtransport volgt dezelfde route. Net zoals bij het intermodale traject wordt het segment Patras – Brindisi via short sea shipping afgelegd. (Baccelli et al., 2001a en Baccelli et al., 2001b)

De derde en laatste corridor vertrekt vanuit Barcelona in Spanje naar Warschau in Polen. De corridor doorkruist acht landen en loopt via Lyon (Frankrijk), Turijn (Italië), Ljubljana (Slovenië) en Boedapest (Hongarije). Het intermodale traject gebruikt twee modi en bestaat uit de volgende drie segmenten:

- Barcelona – Barcelona via wegtransport
- Barcelona - Warschau via spoorvervoer
- Warschau – Warschau via wegtransport

Het traject voor het unimodaal wegtransport volgt dezelfde route. (Baccelli et al., 2001a en Baccelli et al., 2001b)

4.2.2 Resultaten van RECORDIT

Voor elk van de trajecten, beschreven in 4.2.1, is een gedetailleerde berekening van de externe kosten gemaakt. In deze paragraaf wordt eerst een kort overzicht van de resultaten per corridor gegeven. Een grafisch overzicht van deze resultaten, uitgesplitst per soort externe kost, is terug te vinden in bijlage 3. Vervolgens worden nog enkele algemene conclusies besproken.

Voor de corridor Genua – Preston wordt de berekening uitgevoerd voor het transport van een volledig geladen container van één TEU¹⁰. De externe kosten van het intermodale transport bedragen 84 euro, terwijl de externe kosten van het unimodaal wegtransport 224 euro bedragen. (Baccelli et al., 2001a)

Voor de corridor Athene – Göteborg werd een volledig geladen wissellaadbak als laadeenheid beschouwd. Opnieuw zijn de externe kosten van het intermodale transport, 586 euro per laadeenheid, veel lager dan die van het unimodaal wegtransport, 1122 euro per laadeenheid. (Baccelli et al., 2001a)

Een volledig geladen wissellaadbak werd eveneens beschouwd als laadeenheid bij de berekening voor de corridor Barcelona – Warschau. Voor deze corridor bedragen de externe kosten van het intermodale transport 384 euro per laadeenheid. De externe kosten van het unimodaal wegtransport bedragen 917 euro per laadeenheid. (Baccelli et al., 2001a)

Uit deze resultaten blijkt dat voor de drie beschouwde corridors de externe kosten van intermodaal transport duidelijk lager liggen dan die van unimodaal wegtransport. De externe kosten van intermodaal transport bedragen respectievelijk 37,5%, 52,23% en 41,88% van de externe kosten van unimodaal wegtransport. Vooral de ongevalkosten liggen veel lager (60% tot 80%) voor intermodaal transport. Verder blijken de externe kosten van overslag bij intermodaal transport erg laag te zijn en geen significante invloed te hebben. Ten slotte besluiten Baccelli et al. (2001a) dat spoorvervoer de laagste externe kosten van de beschouwde modi veroorzaakt. De externe kosten van binnenvaart liggen hoger door de

¹⁰ Twenty feet Equivalent Unit

relatief hoge kosten van luchtvervuiling. Andere cijfergegevens, zoals deze uit paragraaf 4.3.4, bevestigen dat luchtvervuiling de meeste externe kosten voor transport via binnenvaart veroorzaakt. Binnenvaart blijft volgens deze cijfers echter de modus met de laagste externe kosten. Hieruit blijkt nogmaals de situatie-afhankelijkheid van de externe kosten en het feit dat de resultaten van verschillende studies vergelijken moeilijk is.

Baccelli et al. (2001a) duiden verder op de onzekerheden die gepaard gaan met de berekening van externe kosten van transport. Verder zijn de benodigde data niet voor alle landen beschikbaar. Hierdoor was het nodig om de data van bepaalde landen te transfereren naar andere landen aan de hand van het bruto binnenlands product per capita. De berekende externe kosten dienen daarom met de nodige voorzichtigheid te worden gebruikt bij het nemen van beleidsmaatregelen. Wel benadrukken Baccelli et al. (2001a) en Weinreich et al. (2000) dat het consistente gebruik van eenzelfde methodologie voor alle modi, zoals bij RECORDIT, de onzekerheden deels elimineert en een correcte vergelijking tussen de modi toelaat.

4.2.3 RECORDIT DSS

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.2.1 zijn de beschouwde corridors en trajecten vooral geselecteerd op basis van hun onderlinge variatie en representativiteit voor het Europese transportnetwerk. De bedoeling was om aan de hand van de resultaten een softwaremodel op te stellen dat het mogelijk maakt de externe kosten van andere trajecten te berekenen. (Ricci, 2002) Om de representativiteit te verhogen werden voor nog drie andere, korte corridors de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport berekend. Deze drie extra corridors zijn Coventry-Rennes, Turijn-Bologna en Milaan-München. (Black et al., 2003) Voor de in totaal zes corridors zijn de verschillende overslagpunten in de trajecten en de tussenliggende transportverbindingen gecatalogeerd aan de hand van een aantal parameters. Deze parameters hebben betrekking op de fysische, meteorologische, technische en verkeersomstandigheden. Een aantal voorbeelden zijn: de bevolkingsdichtheid (fysisch), de overwegende windrichting (meteorologisch), de technische specificaties van het transportmiddel (technisch) en de toegelaten snelheid (verkeer). (Henriques, 2001 en Black et al., 2003)

Om de externe kosten van een nieuwe corridor te berekenen, dienen drie stappen te worden doorlopen. Ten eerste moet de nieuwe corridor worden geanalyseerd, waarbij de verschillende transportmodi en overslagpunten worden bepaald. Vervolgens kan de corridor worden opgesplitst in kleinere segmenten. Voor deze segmenten worden de parameters uit de vorige alinea vastgesteld en vergeleken met de parameters van andere reeds beschouwde

segmenten. Ten slotte worden op basis van deze vergelijking en aan de hand van de gekende externe kosten van de andere segmenten de externe kosten van de nieuwe segmenten en de corridor in zijn geheel berekend. (Henriques, 2001 en Vanoni et al., 2001)

De theoretische benadering uit de vorige twee alinea's werd in de praktijk gebracht in een beslissingsondersteunend softwareprogramma genaamd RECORDIT Decision Support System of RECORDIT DSS. Naast het creëren en analyseren van nieuwe corridors, laat dit DSS toe sensitiviteitsanalyses uit te voeren en de gevolgen van beleidsbeslissingen te simuleren. (Henriques, 2001; Ricci, 2002; Black et al., 2003) Meer informatie betreffende RECORDIT DSS werd echter niet gevonden.

4.3 Vergelijking volgens het model van Macharis en Van Mierlo (2006)

4.3.1 Onderscheid tussen algemene en specifieke gegevens

Bovenstaande paragrafen tonen aan dat intermodaal transport voor de meeste onderzochte trajecten lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport. Het veralgemenen van deze stelling en beweren dat intermodaal transport altijd lagere externe kosten veroorzaakt, zou echter fout zijn. De milieuvriendelijkheid van intermodaal transport ten opzichte van unimodaal wegtransport is bijvoorbeeld in grote mate afhankelijk van de grootte van het vereiste voor- en natransport. Verder benadrukken Macharis en Van Mierlo (2006) dat de externe kosten van transport zeer situatie-afhankelijk zijn, zoals reeds werd besproken in paragraaf 3.5.1.

In tegenstelling tot Kreutzberger et al. (2003) en Kreutzberger et al. (2006), maken Macharis en Van Mierlo (2006) bij hun literatuuronderzoek daarom een duidelijk onderscheid tussen twee soorten studies voor de vergelijking van de externe kosten van wegtransport met die van intermodaal transport. Enerzijds proberen sommige studies de externe kosten van zowel intermodaal transport als unimodaal wegtransport over bepaalde specifieke trajecten te berekenen. Een dergelijke studie, zoals RECORDIT, houdt rekening met mogelijk voor- en natransport en overslag. Verder bieden deze studies het voordeel dat rekening kan worden gehouden met de verschillende ritkenmerken en dat de meest nauwkeurige berekeningen gemaakt kunnen worden. De gegevens die deze studies voortbrengen zijn echter situatie-afhankelijk, waardoor het weinig zinvol is deze in een andere context te gebruiken. Anderzijds vergelijken meer algemene studies de externe kosten van twee of meer modi over een bepaald traject, zonder intermodaal transport te beschouwen. De kosten worden uitgedrukt in euro per tonkilometer. De resultaten van een dergelijke studie geven een indicatie van de externe kosten van de verschillende modi over dat traject. Op basis van deze resultaten

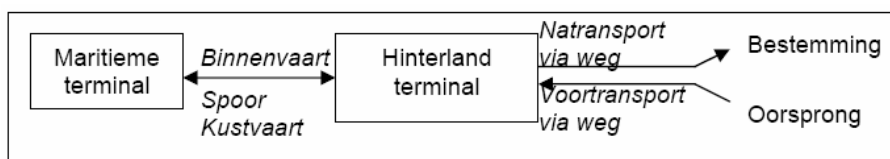
kunnen echter geen conclusies worden getrokken over de externe kosten van intermodaal transport in vergelijking met die van unimodaal wegtransport. De externe kosten veroorzaakt door het voor- en natransport van en naar de intermodale terminals worden immers niet meegerekend. (Macharis en Van Mierlo, 2006)

4.3.2 Beschrijving van het model

Door een onderscheid te maken tussen de twee soorten studies, tonen Macharis en Van Mierlo (2006) aan dat een duidelijke kloof bestaat tussen te algemene en te specifieke gegevens voor het vergelijken van intermodaal transport en unimodaal wegtransport. "Een mogelijke oplossing om deze kloof tussen te algemene en te specifieke gegevens te overbruggen is door na te gaan tot welke verhouding tussen het natransport en het hoofdtransport het intermodaal transport interessanter is dan het wegtransport." (Macharis en Van Mierlo, 2006: p.3) Deze mogelijke oplossing wordt door de auteurs uitgewerkt in een model zoals beschreven in de volgende paragrafen. Hierbij wordt enkel rekening gehouden met de marginale externe kosten van klimaatsverandering en luchtvervuiling. Verder worden de externe kosten, veroorzaakt tijdens de overslag in de intermodale terminal, buiten beschouwing gelaten.

Macharis en Van Mierlo (2006) gaan uit van een (maritiem) intermodaal traject zoals voorgesteld in onderstaande figuur. Ze stellen dat "intermodaal transport milieuvriendelijker is als de milieuschadekost van het hoofdtransport samen met dat van het voor- en na transport kleiner is dan de milieuschadekost van unimodaal wegtransport." (Macharis en Van Mierlo, 2006: p.3) Vergelijking (1) geeft dit symbolisch weer.

Figuur 4: Een intermodale transportketen in het achterland van een haven



(bron: Macharis en Van Mierlo, 2006: p.2)

$$msk_{HT} + msk_{NT} \leq msk_{WT} \quad (1)$$

waarbij: *msk*: milieuschadekost
HT: hoofdtransport (binnenvaart of spoorvervoer)
NT: voor- en natransport
WT: wegtransport

Door in vergelijking (1) msk te vervangen door A en B, de milieuschadeprijs van respectievelijk het hoofdtransport en het wegtransport per getransporteerde tonkilometer, wordt vergelijking (2) bekomen. Deze vergelijking wordt vervolgens via twee tussenstappen omgevormd tot vergelijking (5).

$$A \times HT + B \times NT \leq B \times WT \quad (2)$$

$$\frac{A \times HT}{B \times HT} + \frac{B \times NT}{B \times HT} \leq \frac{B \times WT}{B \times HT} \quad (3)$$

$$\frac{A}{B} + \frac{NT}{HT} \leq \frac{WT}{HT} \quad (4)$$

$$\frac{NT}{HT} \leq \frac{WT}{HT} - \frac{A}{B} \quad (5)$$

Wanneer in vergelijking (5) A en B vervangen worden door hun respectievelijke waarden, wordt het mogelijk te berekenen onder welke omstandigheden intermodaal transport milieuvriendelijker is inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering dan unimodaal wegtransport. Dit is het geval wanneer de vergelijking geldig is.

4.3.3 Resultaten

Voor de bepaling van de coëfficiënten A en B baseren Macharis en Van Mierlo (2006) zich op cijfers voor 2000 uit SUSATRANS¹¹ (De Vlieger et al., 2005). Deze cijfers zijn terug te vinden in tabel 1. Op basis van vergelijking (5) en deze cijfers voor de coëfficiënten A en B, stelden Macharis en Van Mierlo (2006) enkele grafieken op. Deze zijn terug te vinden in figuur 5 en figuur 6. Deze grafieken tonen de milieuvriendelijkheid van intermodaal transport via respectievelijk binnenvaart en spoorvervoer, ten opzichte van unimodaal wegtransport. Alle punten onder de twee curven kunnen worden beschouwd als situaties waarbij het intermodale transport milieuvriendelijker is inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering dan unimodaal wegtransport.

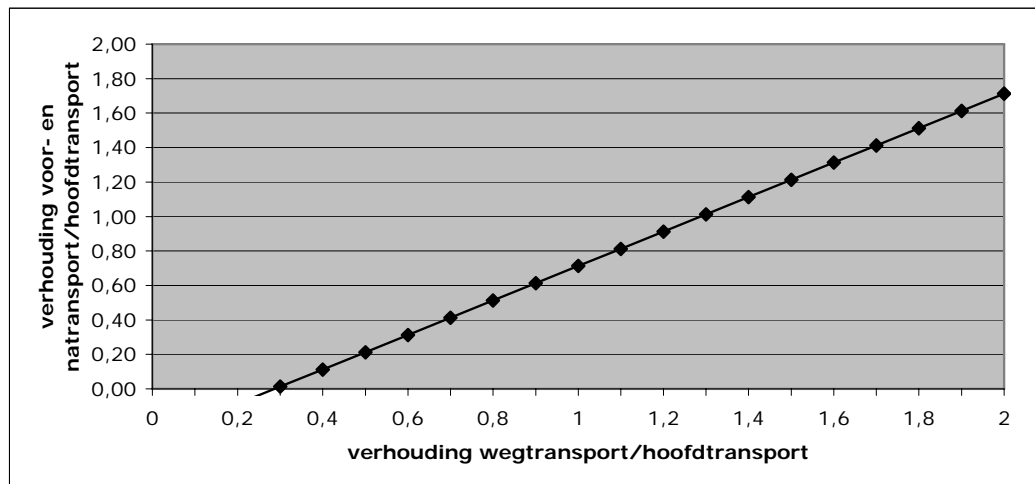
¹¹ *SUSustainability Assessment of technologies and modes in the TRANSport sector in Belgium*

Tabel 1: De marginale externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering in euro per 1000 tkm

Wegtransport	Spoorvervoer	Binnenvaart
27,62	7,28	7,93

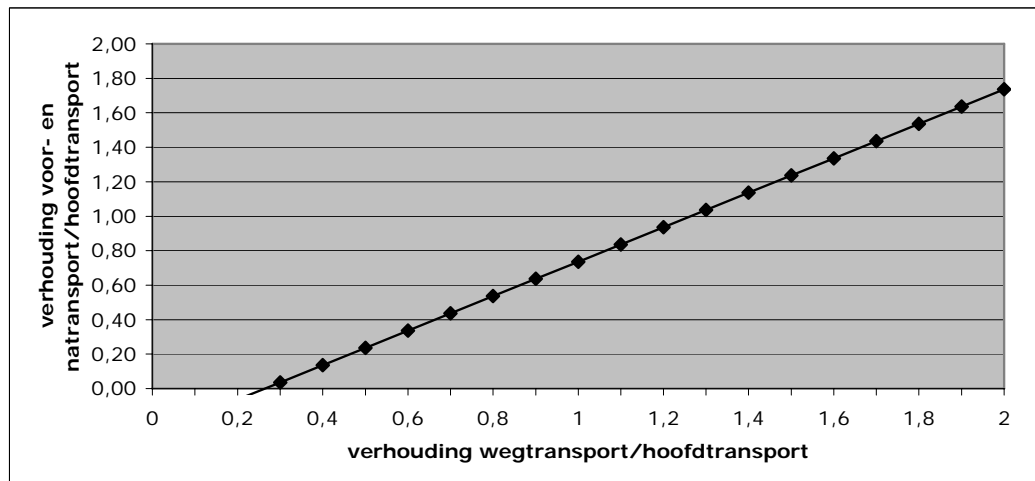
(bron: De Vlieger et al., 2005)

Figuur 5: Vergelijking van de milieuvriendelijkheid inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering van intermodaal transport via binnenvaart ten opzichte van unimodaal wegtransport



(bron: Macharis en Van Mierlo, 2006: p.6)

Figuur 6: Vergelijking van de milieuvriendelijkheid inzake luchtvervuiling en klimaatsverandering van intermodaal transport via spoorvervoer ten opzichte van unimodaal wegtransport



(bron: Macharis en Van Mierlo, 2006: p.6)

Doordat de gebruikte externe kosten voor luchtvervuiling en klimaatsverandering ongeveer gelijk zijn voor spoorvervoer en binnenvaart, zijn de twee figuren erg gelijkend. Enkele voorbeelden kunnen het gebruik van deze grafieken verduidelijken. Op figuur 5 kan bijvoorbeeld het volgende afgelezen worden: als de afstand van het unimodaal wegtransport 150% van de afstand van het hoofdtransport via binnenvaart is, dan mag de afstand van het voor- en natransport via de weg samen maximaal 121% van de afstand van het hoofdtransport via binnenvaart bedragen. Indien een mogelijk transporttraject hieraan voldoet, wordt verwacht dat het intermodaal transport via binnenvaart milieuvriendelijker is dan unimodaal wegtransport. Uit figuur 6 kunnen gelijkaardige vergelijkingen afgeleid worden. Bijvoorbeeld: als de afstand van het hoofdtransport via spoorvervoer gelijk is aan de afstand van het unimodaal wegtransport, dan mag de afstand van het voor- en natransport via de weg samen maximaal 74% van de afstand van het hoofdtransport bedragen.

4.3.4 Uitbreiding met andere soorten externe kosten

Zoals reeds werd aangehaald, baseren Macharis en Van Mierlo (2006) zich enkel op cijfergegevens voor de externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering. Het is echter interessanter om een vergelijking te maken tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van cijfergegevens die meer soorten externe kosten bevatten. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gemiddelde marginale externe kosten per transportmodus welke werden gebruikt door de Europese Commissie (Europese Commissie, 2002). De externe kosten van wegtransport liggen opmerkelijk hoger dan die van andere modi. Verder valt op dat binnenvaart beduidend lagere externe kosten veroorzaakt dan spoorvervoer, in tegenstelling tot de cijfers gebruikt door Macharis en Van Mierlo (2006). De binnenvaart veroorzaakt volgens de Europese Commissie (2002) zelfs de laagste kosten voor alle soorten externe kosten. Het grootste deel van het verschil tussen de externe kosten van binnenvaart en spoorvervoer is het gevolg van het feit dat binnenvaart geen externe kosten van ongevallen en geluid veroorzaakt. Verder liggen de externe kosten van infrastructuur beduidend lager voor binnenvaart dan voor spoorvervoer.

Kreutzberger et al. (2003) benadrukken dat de gegevens in tabel 2 enkel de externe kosten van het hoofdtransport bevatten voor modi andere dan het wegtransport. Een rechtstreekse vergelijking tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport is daarom niet mogelijk. Wel is het mogelijk deze gegevens te gebruiken in het model van Macharis en Van Mierlo (2006). Verwacht wordt dat de opname van meer soorten externe kosten de milieuvriendelijkheid van intermodaal transport ten opzichte van unimodaal wegtransport positief zal beïnvloeden.

Tabel 2: De marginale externe kosten per transportmodus in euro per 1000 tkm

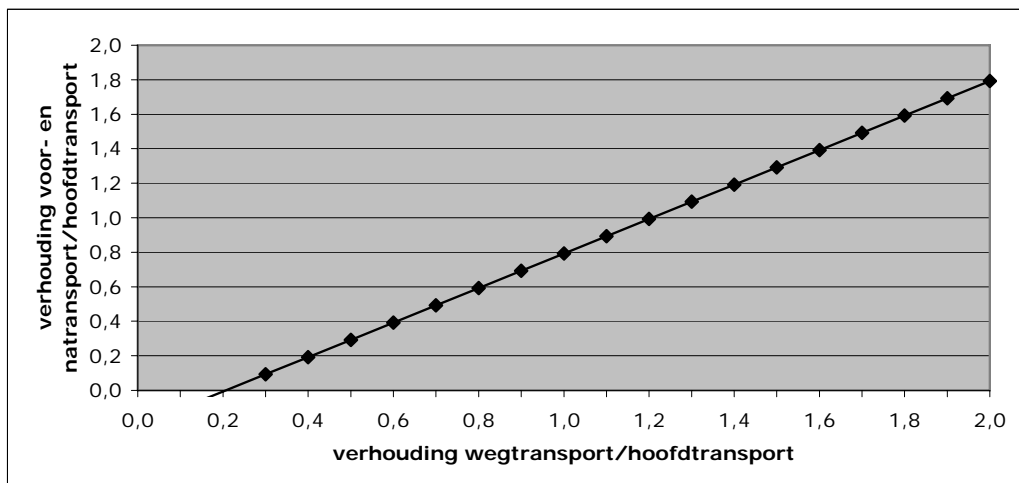
Kostencomponent	Wegtransport (snelweg)	Spoorvervoer	Binnenvaart
Ongevallen	5,4	1,5	0
Geluid	2,1	3,5	0
Luchtvervuiling	7,9	3,8	3,0
Klimaatsverandering	0,8	0,5	Verwaarloosbaar
Infrastructuur	2,5	2,9	1,0
Congestie	5,5	0,2	Verwaarloosbaar
Totaal	24,2	12,4	Maximaal 5,0

(Bron: Europese Commissie, 2002: p.35)

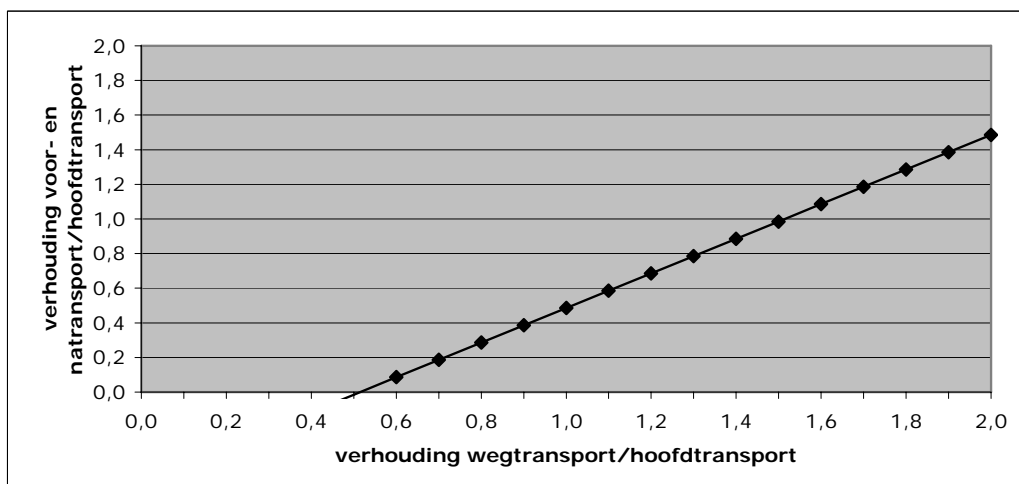
Op basis van de gegevens uit tabel 2 kunnen, op dezelfde manier als beschreven in paragraaf 4.3.3, twee grafieken worden opgesteld. Figuren 7 en 8 geven deze weer. Voor de waarde van parameter A bij intermodaal transport via binnenvaart werd de slechtst mogelijke waarde, namelijk 5,0 euro per 1000 tkm gebruikt.

Deze figuren kunnen op dezelfde manier geïnterpreteerd worden als figuren 5 en 6. Op basis van deze twee nieuwe grafieken blijkt duidelijk dat aan de hand van de cijfers uit tabel 2 intermodaal transport via binnenvaart betere resultaten haalt dan intermodaal transport via spoorvervoer. Bij intermodaal transport via binnenvaart mag de verhouding voor- en natransport ten opzichte van hoofdtransport hoger liggen dan bij intermodaal transport via spoorvervoer opdat intermodaal transport nog lagere externe kosten heeft dan unimodaal wegtransport. Verder mag de verhouding wegtransport ten opzichte van hoofdtransport bij intermodaal transport via binnenvaart hoger liggen dan bij intermodaal transport via spoorvervoer. Het voorgaande is een resultaat van het feit dat in tabel 2 de totale externe kosten van binnenvaart beduidend lager liggen dan die van spoorvervoer.

Figuur 7: Vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport via binnenvaart ten opzichte van unimodaal wegtransport



Figuur 8: Vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport via spoorvervoer ten opzichte van unimodaal wegtransport



Om het effect van de opname van meer soorten externe kosten te bepalen zouden respectievelijk figuren 5 en 7 en figuren 6 en 8 met elkaar vergeleken kunnen worden. Een vergelijking van de resultaten voor intermodaal transport via binnenvaart, maakt op die manier duidelijk dat de opname van meer soorten externe kosten de milieuvriendelijkheid van intermodaal transport via binnenvaart ten opzichte van unimodaal wegtransport positief beïnvloedt. Dit is in lijn met de verwachtingen, doch de positieve invloed is eerder klein. Bij een vergelijking van de resultaten voor intermodaal transport via spoorvervoer is een omgekeerde verandering merkbaar. De opname van meer soorten externe kosten heeft geleid

tot een daling van de milieuvriendelijkheid van intermodaal transport via spoorvervoer ten opzichte van unimodaal wegtransport. Dit is in strijd met de verwachtingen.

Op het eerste zicht lijkt de opname van meer soorten externe kosten niet het verwachte effect teweeg te brengen. Deze conclusie is echter voorbarig. De vergelijking van de resultaten in de vorige alinea is immers niet correct. Zoals reeds in hoofdstuk drie werd vermeld, is de berekening van de externe kosten van transport niet eenvoudig en bevat deze veel onzekerheden. Verder zijn een aantal verschillende methoden ontwikkeld. Hierdoor kunnen de resultaten van verscheidene studies sterk verschillen. Om een correcte analyse te maken van het effect van de opname van extra soorten externe kosten, is het daarom noodzakelijk dat de cijfers voor de verschillende soorten externe kosten aan de hand van dezelfde methodologie, data en veronderstellingen zijn berekend. Het simultaan gebruik van cijfers voor externe kosten van luchtvervuiling op basis van een bepaalde waarde van een mensenleven en cijfers voor externe kosten van ongevallen op basis van een andere waarde van een mensenleven is immers niet correct.

Om het effect van de opname van extra soorten externe kosten wel op een correcte manier in te schatten, dient de volledige analyse te gebeuren aan de hand van de cijfergegevens in tabel 2. Het is mogelijk om opnieuw twee grafieken op te stellen waarbij telkens enkel de externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering worden weergegeven. Deze grafieken zouden dan vergeleken kunnen worden met respectievelijk figuren 7 en 8, afhankelijk van de modus bij het hoofdtransport. Het opstellen van deze grafieken is echter overbodig. De analyse kan rechtstreeks gebeuren op basis van tabel 2 zelf. Uit de tabel blijkt dat de externe kosten van spoorvervoer en binnenvaart per categorie bijna altijd lager liggen dan deze van wegtransport, met uitzondering van de kosten van geluidshinder en infrastructuur bij spoorvervoer. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het opnemen van extra soorten externe kosten bijna altijd zal leiden tot een verbetering van de prestaties van intermodaal transport ten opzichte van unimodaal wegtransport op vlak van externe kosten. De som van alle externe kosten, met uitzondering van luchtvervuiling en klimaatsverandering, bedraagt bijvoorbeeld 15,5 euro per 1000 tkm voor wegtransport ten opzichte van 9,9 euro per 1000 tkm voor spoorvervoer en maximaal 2 euro per 1000 tkm voor binnenvaart.

4.3.5 Conclusies

Zoals besproken in paragraaf 4.3.1, wijzen Macharis en Van Mierlo (2006) op de kloof tussen te algemene en te specifieke gegevens voor het vergelijken van intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van externe kosten. Om deze kloof te overbruggen hebben de auteurs een model opgesteld dat de relatie tussen de afstanden van unimodaal

wegtransport en van het voor- en natransport en het hoofdtransport van intermodaal transport weergeeft. Dit model laat toe een eenvoudige vergelijking te maken tussen de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport. Verder zijn de resultaten gemakkelijk te interpreteren aan de hand van een grafiek.

Een nadeel van het model is echter dat enkel een vergelijking wordt gemaakt tussen intermodaal transport en unimodaal transport, zonder de grootte van de externe kosten weer te geven. Een ander probleem bij het model van Macharis en Van Mierlo (2006) is dat algemene cijfergegevens voor de externe kosten van de verschillende modi nodig zijn. De resultaten van het model hangen bijgevolg sterk af van de gebruikte gegevens. Hierdoor is het niet mogelijk om op basis van het model een sluitende conclusie te trekken over de verhouding van de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport bij gegeven afstanden. Het model kan echter wel een indicatie geven.

Ten slotte blijkt dat de opname van meer soorten externe kosten in de meeste gevallen zal leiden tot een verbetering van de resultaten van intermodaal transport in vergelijking met unimodaal wegtransport.

4.4 Vergelijking volgens het model van Janic (2007)

Een tweede model dat gebruikt kan worden om de externe kosten van intermodaal transport met die van unimodaal wegtransport te vergelijken, wordt beschreven door Janic (2007). De doelstelling van het model is het maken van een vergelijking tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van de interne kosten en op basis van de totale kosten. De interne kosten in het model omvatten de private operationele kosten en de tijdskosten van de goederen in het transportnetwerk. De totale kosten zijn de som van de interne kosten en de externe kosten, waarbij de externe kosten de kosten van luchtvervuiling, congestie, geluidshinder en ongevallen omvatten.

In de volgende paragrafen wordt eerst het gebruikte netwerk en de gemaakte veronderstellingen besproken. Vervolgens worden de resultaten beschreven. Ten slotte volgt een uitbreiding van het model.

4.4.1 Beschrijving van het netwerk

De auteur gaat uit van een eenvoudig transportnetwerk dat hetzelfde is voor intermodaal transport en unimodaal wegtransport. Dit netwerk bestaat uit twee geografisch van elkaar

gescheiden zones, namelijk een verzendingszone en een ontvangstzone. In elke zone bevinden zich enkele knooppunten die de plaatsen van vertrek en bestemming vormen. Verder bevindt zich in elke zone een intermodale terminal. In het netwerk worden goederen enkel via gestandaardiseerde laadeenheden zoals containers of wissellaadbakken getransporteerd. Een grafische voorstelling van het veronderstelde netwerk kan teruggevonden worden in bijlage 4. (Janic, 2007)

In het model bestaat een intermodaal transport uit vijf stappen. Eerst worden de te verzenden goederen opgehaald via vrachtwagen bij de verschillende knooppunten en naar de intermodale terminal gebracht. Dit is het voortransport. In de intermodale terminal worden de goederen overgeslagen naar een andere transportmodus. Vervolgens volgt het hoofdtransport, van de intermodale terminal in de verzendingszone naar deze in de ontvangstzone. Hier vindt een overslag naar vrachtwagens plaats. Ten slotte volgt de verdeling van de goederen over de verschillende knooppunten in de ontvangstzone, zijnde het natransport. Een unimodaal wegtransport bestaat in het model uit drie stappen, namelijk het ophalen van de goederen in de verzendingszone, het transport naar de ontvangstzone en de verdeling van goederen over verschillende knooppunten. (Janic, 2007)

4.4.2 Veronderstellingen

Janic (2007) maakt bij de uitwerking van het model een aantal veronderstellingen. Hieronder worden enkel de veronderstellingen die de berekening van de externe kosten beïnvloeden beschreven. Voor de andere veronderstellingen wordt verwezen naar het originele artikel.

- Unimodaal wegtransport gebeurt via vrachtwagens met dezelfde capaciteit en beladingsgraad.
- Bij unimodaal wegtransport worden vrachtwagens geladen met goederen uit één verzendingszone (k) met bestemmingen binnen één ontvangstzone (l). Het hele transport van een laadeenheid gebeurt bijgevolg via dezelfde vrachtwagen.
- Het voor- en natransport bij intermodaal transport gebeurt via vrachtwagens met eenzelfde capaciteit en beladingsgraad. Deze capaciteit en beladingsgraad kunnen echter verschillen van deze bij unimodaal wegtransport.
- De afstand van elk voor- en natransport is gelijk. Verder wordt de afstand en route verondersteld gelijk te zijn aan de afstand en route van een ophalings- en verdelingsronde bij unimodaal wegtransport.
- Laadeenheden leggen geen wachttijden op aan elkaar tijdens hun behandeling in een intermodale terminal.

- Externe kosten van geluidshinder en ongevallen veroorzaakt in een intermodale terminal, worden buiten beschouwing gelaten.
- Het hoofdtransport gebeurt via spoorvervoer, waarbij elke trein eenzelfde capaciteit en beladingsgraad heeft.
- Het hoofdtransport is vrij van congestie.

4.4.3 Berekening

Op basis van het netwerk en de veronderstellingen, beschreven in de vorige paragrafen, heeft Janic (2007) de interne en totale kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport berekend. Voor de analytische uitdrukkingen voor de berekening van de interne kosten wordt verwezen naar het originele artikel. De externe kosten van het voor- en natransport bij intermodaal transport en de externe kosten van het unimodaal wegtransport worden berekend aan de hand van onderstaande uitdrukking. De frequentie komt hierbij overeen met het aantal ritten en wordt berekend door de vraag te delen door het product van de beladingsgraad en de vrachtwagencapaciteit. Hierbij is het belangrijk dat de vraag en de vrachtwagencapaciteit in dezelfde eenheid (ton of TEU) worden uitgedrukt.

$$\begin{aligned} \text{Externe kosten} &= (\text{frequentie}) \times (\text{externe kosten per frequentie}) \\ &= [(\text{vraag}) / (\text{beladingsgraad} \times \text{vrachtwagencapaciteit})] \\ &\quad \times (\text{externe kosten per frequentie}) \end{aligned}$$

De externe kosten van het hoofdtransport bij intermodaal transport worden berekend aan de hand van een formule van Daganzo (1999). Alle gedetailleerde analytische formules die gebruikt worden bij de berekening van de externe kosten worden hieronder weergegeven. De totale kosten van het intermodaal transport bestaan uit de externe kosten van het voortransport, de intermodale terminals, het hoofdtransport en het natransport. De verklaring van de gebruikte symbolen is terug te vinden in bijlage 5.

Intermodaal transport

$$\text{Voortransport/natransport: } C_{\text{int}(1)} = \left(\frac{Q_k}{\lambda_k \times M_k} \right) \times c_{e/k}(d_k)$$

$$\text{Intermodale terminals: } C_{\text{int}(2)} = Q \times (c_{e1} + c_{e2})$$

$$\text{Hoofdtransport: } C_{\text{int}(3)} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times c_e(w, s) \times \left[\frac{Q \times T \times (\alpha_{b1} + \alpha_{b2})}{c(w, s) + c_e(w, s)} \right]^{0.5}$$

$$\text{Totaal: } C_{\text{int}} = 2 \times C_{\text{int}(1)} + C_{\text{int}(2)} + C_{\text{int}(3)}$$

Unimodaal wegtransport

Totaal:
$$C_{weg} = \left(\frac{Q_{kl}}{\lambda_{kl} \times M_{kl}} \right) \times c_{e/kl}(d_{kl})$$

Naast de analytische uitdrukkingen beschrijft Janic (2007) de gegevens die gebruikt werden bij de berekeningen. Deze zijn eveneens opgenomen in bijlage 5. De berekeningen zelf en gedetailleerde cijferresultaten worden echter niet getoond in het artikel. Wel worden twee grafieken en een tabel weergegeven. Deze worden besproken in de volgende paragraaf.

4.4.4 Resultaten

Op de eerste grafiek, terug te vinden in bijlage 6, worden de gemiddelde interne en de totale kosten per tonkilometer van intermodaal transport en unimodaal wegtransport getoond voor verschillende deur-tot-deur afstanden. De kosten werden berekend op basis van een transport van 3510 ton goederen per week, wat overeenkomt met vijf treinen of één trein per werkdag. Volgens Janic (2007) is dit de meest voorkomende frequentie voor Europese intermodale trajecten. Uit de grafiek valt af te leiden dat zowel de interne als totale kosten per tonkilometer dalen wanneer de deur-tot-deur afstand stijgt. Op basis van de gemiddelde interne kosten per tonkilometer is intermodaal transport competitief met unimodaal wegtransport vanaf een afstand van ongeveer 900 km. Op basis van de gemiddelde totale kosten per tonkilometer bedraagt deze afstand 1050 km.

De externe kosten worden niet weergegeven op de grafiek. Ze zijn echter wel impliciet af te leiden als de verschillen tussen de totale en interne kosten. Deze verschillen tonen dat de externe kosten per tonkilometer afnemen wanneer de deur-tot-deur afstand stijgt, zowel voor intermodaal transport als voor unimodaal wegtransport. Een reden hiervoor is dat de auteur voor wegtransport externe kosten per voertuigkilometer gebruikt die afnemen naarmate de afgelegde afstand toeneemt (zie paragraaf 4.4.5.2). Verder kunnen voor intermodaal transport de externe kosten veroorzaakt in de terminals over een groter aantal kilometers verspreid worden naarmate de deur-tot-deur afstand toeneemt. Opvallend is dat de externe kosten van intermodaal transport voor elke afstand groter lijken te zijn dan de externe van unimodaal wegtransport. Deze vaststelling gaat in tegen de verwachting dat intermodaal transport vanaf een bepaalde deur-tot-deur afstand lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport. Om een beter zicht te krijgen op de grootte van de externe kosten zullen deze in paragraaf 4.4.5 berekend worden aan de hand van het geformuleerde model.

De tweede grafiek, eveneens terug te vinden in bijlage 6, toont het effect van een stijging van het aantal ton getransporteerde goederen op de totale kosten van intermodaal transport en

unimodaal wegtransport. Hiervoor wordt het aantal ton getransporteerde goederen vastgelegd op 3510 ton, 7020 ton, 14040 ton en 17550 ton wat respectievelijk overeenkomt met 5, 10, 20 en 25 treinen per week. Uit deze grafiek blijkt dat intermodaal transport reeds competitiever wordt bij kleinere deur-tot-deur afstanden wanneer het aantal ton getransporteerde goederen stijgt. Over de externe kosten kan niets worden afgeleid uit deze grafiek.

Ten slotte wordt in het artikel van Janic (2007) een tabel getoond waarin het procentuele aandeel van de verschillende kostencomponenten in de totale kosten wordt weergegeven. Met betrekking tot de externe kosten kan uit deze tabel worden afgeleid dat voor de beschouwde deur-tot-deur afstanden het aandeel van de externe kosten van voor- en natransport bij intermodaal transport hoger ligt dan het aandeel van de externe kosten van hoofdtransport en overslag samen.

4.4.5 Uitbreiding van het model van Janic (2007)

In de vorige paragrafen werd het model van Janic (2007) uitgebreid besproken. In het originele artikel worden, zoals reeds werd vermeld, geen gedetailleerde cijferresultaten gegeven. Daarom worden de externe kosten in deze paragraaf zelf berekend aan de hand van het beschreven model. De formules uit paragraaf 4.4.3 en de gegevens in bijlage 5 vormen de basis voor deze berekeningen. Vooraleer de formules kunnen worden toegepast, dienen de ontbrekende gegevens in bijlage 5 echter te worden berekend. Dit gebeurt in paragraaf 4.4.5.1. Vervolgens worden de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport in het netwerk, beschreven door Janic (2007), berekend. Ten slotte worden de resultaten besproken.

4.4.5.1 Berekening van de ontbrekende parameters

De parameters waarvoor geen waarde of formule is ingevuld in bijlage 5 zijn: Q_k , Q , Q_{kl} , s en d_{kl} . De deur-tot-deur afstand d_{kl} wordt in het originele artikel gevarieerd van 300 tot 1300 km met stappen van 100 km. In deze eindverhandeling zal dezelfde variatie worden aangehouden om een vergelijking van de resultaten mogelijk te maken. Voor de schatting van de afstand van het hoofdtransport s wordt verondersteld dat de intermodale terminals centraal gelegen zijn in de verzendings- en ontvangstzone. Hieruit volgt dat de afstand van het hoofdtransport gemiddeld ongeveer gelijk is aan de afstand van het unimodaal wegtransport verminderd met de afstand van de ophalings- en verdelingsronde. Verder werd in paragraaf 4.4.2 verondersteld dat de afstand van deze ophalings- en verdelingsronde gelijk

is aan de afstand van het voor- en natransport bij intermodaal transport (d_k). De afstand van het hoofdtransport s wordt daarom berekend via volgende formule:

$$s = d_{kl} - 2 \times d_k$$

Parameters Q_k en Q_{kl} zijn aan elkaar gelijk en staan voor het aantal laadeenheden dat getransporteerd dient te worden bij een volledige beladingsgraad. Wanneer de beladingsgraad minder dan één bedraagt, zoals in dit model, kunnen de parameters geïnterpreteerd worden als het aantal volle laadeenheid-equivalenten. De waarde van de parameters wordt als volgt berekend:

$$Q_k = Q_{kl} = \frac{\text{nettogewicht van de getransporteerde goederen}}{\text{nettogewicht van een volle TEU – container}} = \frac{3510}{12} = 292,5 \text{ TEU}$$

In tegenstelling tot bij parameters Q_k en Q_{kl} dient de waarde van parameter Q niet uitgedrukt te worden in het aantal getransporteerde laadeenheden maar in het aantal ton getransporteerde goederen. Dit blijkt uit een analyse van de formules en de eenheden van de andere gebruikte parameters. Bij de berekeningen in de volgende paragraaf zal een waarde van 3.510 ton gebruikt worden voor parameter Q .

4.4.5.2 Berekening van de externe kosten

De externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport in het netwerk van Janic (2007) worden in deze paragraaf berekend. Naast de totale externe kosten worden de gemiddelde externe kosten per tonkilometer berekend om een vergelijking met de resultaten uit het originele artikel mogelijk te maken. Verder wordt eveneens uitgegaan van een transport van 3510 ton. De berekeningen voor een deur-tot-deur afstand van 300 km worden op de volgende pagina's weergegeven. Vervolgens geeft tabel 3 een overzicht van de resultaten voor alle deur-tot-deur afstanden.

Intermodaal transport:

Voor- en natransport:

$$\begin{aligned}C_{\text{int}(1)} &= \left(\frac{Q_k}{\lambda_k \times M_k} \right) \times c_{e/k}(d_k) \\ &= \left(\frac{292,5}{0,60 \times 2} \right) \times 9,88 \times 50^{-0,624} \times 50 \\ &= 10483,69 \text{ euro}\end{aligned}$$

Intermodale terminals:

$$\begin{aligned}C_{\text{int}(2)} &= Q \times (c_{e1} + c_{e2}) \\ &= 3510 \times (0,0549 + 0,0549) \\ &= 385,40 \text{ euro}\end{aligned}$$

Hoofdtransport:

$$\begin{aligned}C_{\text{int}(3)} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \times c_e(w, s) \times \left[\frac{Q \times T \times (\alpha_{b1} + \alpha_{b2})}{c(w, s) + c_e(w, s)} \right]^{0,5} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0,57 \times (1.560,55 \times 200)^{0,6894} \\ &\quad \times \left[\frac{3510 \times 120 \times (0,028 + 0,028)}{0,58 \times (1.560,55 \times 200)^{0,74} + 0,57 \times (1.560,55 \times 200)^{0,6894}} \right]^{0,5} \\ &= 3751,56 \text{ euro}\end{aligned}$$

Totale externe kosten van intermodaal transport:

$$\begin{aligned}C_{\text{int}} &= 2 \times C_{\text{int}(1)} + C_{\text{int}(2)} + C_{\text{int}(3)} \\ &= 2 \times 10483,69 + 385,40 + 3751,56 \\ &= 25104,35 \text{ euro}\end{aligned}$$

Gemiddelde externe kosten van intermodaal transport in eurocent per tonkilometer:

$$\begin{aligned}c_{\text{int}} &= \frac{C_{\text{int}}}{Q \times (s + 2 \times d_k)} \\ &= \frac{25104,35}{3510 \times (200 + 2 \times 50)} \times 100 \\ &= 2,38 \text{ eurocent / tkm}\end{aligned}$$

Unimodaal wegtransport:

Totale externe kosten van unimodaal wegtransport:

$$\begin{aligned}
 C_{weg} &= \left(\frac{Q_{kl}}{\lambda_{kl} \times M_{kl}} \right) \times c_{e/kl}(d_{kl}) \\
 &= \left(\frac{292,5}{0,85 \times 2} \right) \times 9,88 \times 300^{-0,624} \times 300 \\
 &= 14515,48 \text{ euro}
 \end{aligned}$$

Gemiddelde externe kosten van unimodaal wegtransport in eurocent per tonkilometer:

$$\begin{aligned}
 c_{weg} &= \frac{C_{weg}}{Q \times d_{kl}} \\
 &= \frac{14515,48}{3510 \times 300} \times 100 \\
 &= 1,38 \text{ eurocent / tkm}
 \end{aligned}$$

Tabel 3: Overzicht van de resultaten

d_{kl} (km)	$C_{int(1)}$ (euro)	$C_{int(2)}$ (euro)	$C_{int(3)}$ (euro)	C_{int} (euro)	c_{int} (eurocent /tkm)	C_{weg} (euro)	c_{weg} (eurocent /tkm)
300	10483,69	385,40	3751,56	25104,35	2,3841	14515,48	1,3785
400	10483,69	385,40	4285,15	25637,93	1,8261	16173,67	1,1520
500	10483,69	385,40	4709,02	26061,80	1,4850	17589,22	1,0022
600	10483,69	385,40	5066,38	26419,17	1,2545	18837,30	0,8945
700	10483,69	385,40	5378,35	26731,14	1,0880	19961,39	0,8124
800	10483,69	385,40	5657,02	27009,81	0,9619	20989,19	0,7475
900	10483,69	385,40	5910,03	27262,81	0,8630	21939,62	0,6945
1000	10483,69	385,40	6142,54	27495,33	0,7833	22826,21	0,6503
1100	10483,69	385,40	6358,26	27711,04	0,7177	23659,06	0,6128
1200	10483,69	385,40	6559,89	27912,68	0,6627	24445,90	0,5804
1300	10483,69	385,40	6749,54	28102,32	0,6159	25192,81	0,5521
1901	10483,69	385,40	7709,35	29062,13	0,4356	29062,38	0,4356

De resultaten in tabel 3 komen redelijk goed overeen met de verschillen tussen de interne en totale kosten op de eerste grafiek in bijlage 6. De berekende externe kosten per tonkilometer lijken steeds iets groter dan op basis van de grafiek kan worden geschat, doch het verschil is

vrij klein. Zoals reeds in paragraaf 4.4.4 werd aangehaald, zijn deze resultaten eerder verassend. Intermodaal transport blijkt voor de onderzochte deur-tot-deur afstanden en bij de genomen veronderstellingen niet milieuvriendelijker dan unimodaal wegtransport. Sterker nog: voor alle onderzochte deur-tot-deur afstanden zijn de externe kosten van unimodaal wegtransport duidelijk lager dan die van intermodaal transport. De kloof tussen de externe kosten daalt wel naarmate de deur-tot-deur afstand toeneemt. Bij een deur-tot-deur afstand van 1901 km zijn de externe kosten voor beide transportwijzen gelijk, namelijk 0,4356 eurocent/tkm. Voor nog grotere deur-tot-deur afstanden veroorzaakt intermodaal transport lagere externe kosten dan unimodaal wegtransport. Verder blijkt uit tabel 3 dat de externe kosten veroorzaakt in de intermodale terminals slechts een beperkt aandeel van de externe kosten van intermodaal transport veroorzaken (1,54% tot 1,37% voor de onderzochte afstanden). Dit komt overeen met de bevindingen van Baccelli et al. (2001a) aan de hand van de resultaten van RECORDIT.

Een reden waarom de externe kosten van intermodaal transport voor alle onderzochte deur-tot-deur afstanden hoger liggen dan deze van unimodaal wegtransport is te vinden in de gebruikte data. De beladingsgraad voor unimodaal wegtransport (0,85) ligt hoger dan deze voor het voor- en natransport (0,6) en het hoofdtransport (0,75) bij intermodaal transport. Belangrijker is echter het feit dat Janic (2007) voor de externe kosten van wegtransport afstandafhankelijke kosten gebruikt. Het gevolg hiervan is dat de externe kosten per voertuigkilometer voor het gedeelte via de weg afnemen naarmate de afgelegde afstand toeneemt. Concreet betekent dit bijvoorbeeld dat bij een deur-tot-deur afstand van 300 km, de externe kosten van wegtransport 0,86 euro per voertuigkilometer bedragen voor het voor- en natransport bij intermodaal transport, terwijl de externe kosten van het unimodaal wegtransport 0,28 euro per voertuigkilometer bedragen. Onderstaande berekeningen verduidelijken dit.

Externe kosten per voertuigkilometer tijdens voor- en natransport bij intermodaal transport:

$$\begin{aligned}\frac{c_{e/k}(d_k)}{d_k} &= \frac{9,88 \times d_k^{-0,624} \times d_k}{d_k} \\ &= 9,88 \times 50^{-0,624} \\ &= 0,8602 \text{ euro/voertuigkilometer}\end{aligned}$$

Externe kosten per voertuigkilometer bij unimodaal wegtransport:

$$\begin{aligned}\frac{c_{e/kl}(d_{kl})}{d_{kl}} &= \frac{9,88 \times d_{kl}^{-0,624} \times d_{kl}}{d_{kl}} \\ &= 9,88 \times 300^{-0,624} \\ &= 0,2812 \text{ euro / voertuigkilometer}\end{aligned}$$

Indien eenzelfde waarde voor de externe kosten van voor- en natransport en unimodaal wegtransport wordt gebruikt, onafhankelijk van de afstand, veranderen de resultaten sterk. Bij een externe kost van bijvoorbeeld 0,2812 euro per voertuigkilometer, veroorzaakt intermodaal transport reeds lage externe kosten dan unimodaal wegtransport vanaf een deur-tot-deur afstand van 215 kilometer.

In de literatuur werd geen andere bron gevonden die zoals Janic (2007) gebruik maakt van externe kosten die variëren naargelang de afgelegde afstand. Sommige auteurs (INFRAS en IWW, 2004 en Maibach et al., 2007) maken bij de bepaling van de externe kosten van wegtransport wel een onderscheid tussen transport in en rond steden en transport tussen steden (over snelwegen). De externe kosten van wegtransport in en rond steden liggen steeds hoger dan de externe kosten van wegtransport tussen steden. Een van de redenen hiervoor is het feit dat de bevolkingsdichtheid groter is in en rond steden, waardoor meer mensen beïnvloed worden door de negatieve effecten van luchtvervuiling en geluid. Verder is het in en rond steden moeilijker om een constante snelheid aan te houden dan buiten de steden, waardoor de externe kosten groter zijn.

Het feit dat de externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport groter zijn dan deze van unimodaal wegtransport in het model van Janic (2007) kan bijgevolg gedeeltelijk verantwoord worden door volgende bijkomende veronderstellingen te maken:

- het voor- en natransport bij intermodaal transport en de ophalings- en verdelingsronde bij unimodaal wegtransport situeren zich in en rond steden;
- het wegtransport tussen de verzendings- en ontvangstzone is een transport tussen steden (over snelwegen).

Een blijvende kritiek op het gebruik van afstandafhankelijke externe kosten voor wegtransport is echter dat de externe kosten blijven dalen naarmate de afstand toeneemt. Uit de figuur in bijlage 7 blijkt dat deze daling sterk afneemt naarmate de afgelegde afstand groter wordt. Dit neemt echter niet weg dat een groot verschil bestaat tussen de externe kosten per voertuigkilometer van voor- en natransport en unimodaal wegtransport.

Bijkomend kan bekritiseerd worden dat de externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport bij intermodaal transport niet overeenkomen met de externe kosten per voertuigkilometer van de ophalings- en verdelingsronde van het unimodaal transport. Deze transporten werden immers verondersteld dezelfde route af te leggen. Een mogelijke aanpassing van het model zou bijgevolg kunnen bestaan uit het opsplitsen van het unimodaal wegtransport in drie delen, de ophalingsronde, het transport tussen de verzendings- en ontvangstzone en de verdelingsronde. Voor elk van deze drie delen zouden de externe kosten vervolgens berekend kunnen worden op basis van de aparte afstanden van elk deel. Deze aanpassing is echter niet correct aangezien aangenomen kan worden dat de hogere externe kosten die veroorzaakt worden tijdens de ophalings- en verdelingsronde bij unimodaal wegtransport reeds zijn opgenomen in de berekening. Het resultaat van de formule is immers een gemiddelde waarde per voertuigkilometer voor een bepaalde afstand.

4.4.6 Conclusies

Janic (2007) ontwikkelde het hierboven beschreven model om een vergelijking te maken tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van interne en totale kosten. Hiervoor berekende de auteur de interne en externe kosten van intermodaal transport via weg-spoorvervoer en unimodaal wegtransport. De resultaten zijn echter enkel door middel van grafieken weergegeven. Wel geeft de auteur een beschrijving van het model, de formules en de data waarop de berekeningen zijn gebaseerd. Janic (2007) maakt bijvoorbeeld gebruik van externe kosten per voertuigkilometer voor wegtransport, in tegenstelling tot Macharis en Van Mierlo (2006) die externe kosten per tonkilometer gebruiken. Hierdoor kan in het model van Janic (2007) rekening worden gehouden met de beladingsgraad, de capaciteit van de vrachtwagens en treinen en met het aantal benodigde ritten. Verder neemt Janic (2007) de externe kosten veroorzaakt in de intermodale terminals op in zijn berekeningen. De externe kosten die gebruikt worden, zijn echter gemiddelde waarden, zoals bij Macharis en Van Mierlo (2006). Beslissingen voor één bepaald traject baseren op de resultaten van het model is daarom niet aangewezen.

Aan de hand van de gegevens beschreven in het originele artikel is het mogelijk de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport zelf te berekenen. Het resultaat van de berekeningen is verassend. Intermodaal transport blijkt pas lagere externe kosten te veroorzaken dan unimodaal wegtransport vanaf een deur-tot-deur afstand van 1901 km. Zoals beschreven in paragraaf 4.4.5.2 is dit het gevolg van het feit dat Janic (2007) afstandsafhankelijke externe kosten voor wegtransport gebruikt. Wanneer externe kosten onafhankelijk van de afstand gebruikt worden, ligt de deur-tot-deur afstand waarvoor de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal transport gelijk zijn, veel lager.

Janic (2007) maakt enkel een vergelijking tussen intermodaal weg-spoorvervoer en unimodaal transport. Intermodaal transport via een combinatie van wegtransport en binnenvaart wordt niet beschouwd. Mits de nodige data, zou het model eveneens op deze vorm van intermodaal transport toegepast kunnen worden. Cijfers voor de interne en externe kosten van binnenvaart die afhankelijk zijn van de afstand en het gewicht werden echter niet gevonden. De analyse op basis van het model van Janic (2007) wordt daarom in deze eindverhandeling beperkt tot intermodaal transport via een combinatie van wegtransport en spoorvervoer.

4.5 Sensitiviteitsanalyse op het model van Janic (2007)

Uit de vorige paragrafen blijkt dat het model van Janic (2007) slechtere resultaten voor intermodaal transport genereert dan verwacht. De berekeningen werden echter slechts uitgevoerd voor één specifieke situatie. Om na te gaan welke parameters een grote invloed hebben op de externe kosten en de break-even afstand¹² wordt in deze paragraaf een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op het model. De analyse wordt uitgevoerd op zeven parameters die één voor één worden gewijzigd. Zes parameters hebben betrekking op het intermodaal transport, waarvan drie op het voor- en natransport en drie op het hoofdtransport. De zevende parameter heeft betrekking op het unimodaal wegtransport. In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van deze parameters en hun verschillende waarden, waarbij de originele waarden zijn aangegeven in het vet.

Omdat het resultaat op basis van de originele waarden slechter was voor intermodaal transport dan verwacht, worden overwegend waarden genomen waarvan verwacht wordt dat ze het resultaat voor intermodaal transport positief zullen beïnvloeden. Voor zes parameters worden naast de originele waarde nog vijf andere waarden beschouwd, waarvan steeds één slechtere en vier betere waarden voor intermodaal transport. Voor de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport van intermodaal transport worden slechts twee betere waarden beschouwd, aangezien de maximale beladingsgraad één bedraagt. Verder wordt verondersteld dat bij een wijziging van de afstand van het voor- en natransport (3) de totale deur-tot-deur afstand gelijk blijft. Dit betekent dat de afstand van het hoofdtransport wel wijzigt. Ten slotte dient opgemerkt te worden dat bij de parameters met betrekking tot het hoofdtransport (4, 5 en 6) wordt verondersteld dat het aantal ton getransporteerde goederen verandert naargelang de waarde die de parameters aannemen.

¹² De break-even afstand wordt in deze eindverhandeling gedefinieerd als de afstand waarvoor de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal transport gelijk zijn.

Tabel 4: Overzicht van de parameters bij de sensitiviteitsanalyse

Nr.	Parameter	Eenheid	Waarden					
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Beladingsgraad tijdens het voor- en natransport	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2	Externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport	euro/km	0,46	0,56	0,66	0,76	0,86	0,96
3	Afstand van het voor- en natransport	km	10	20	30	40	50	60
4	Aantal treinen per week	treinen	4	5	6	7	8	9
5	Aantal goederenwagons per trein	goederen wagons	23	26	29	32	35	38
6	Beladingsgraad tijdens het hoofdtransport	-	0,65	0,75	0,85	0,95	/	/
7	Beladingsgraad tijdens het unimodaal wegtransport	-	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95

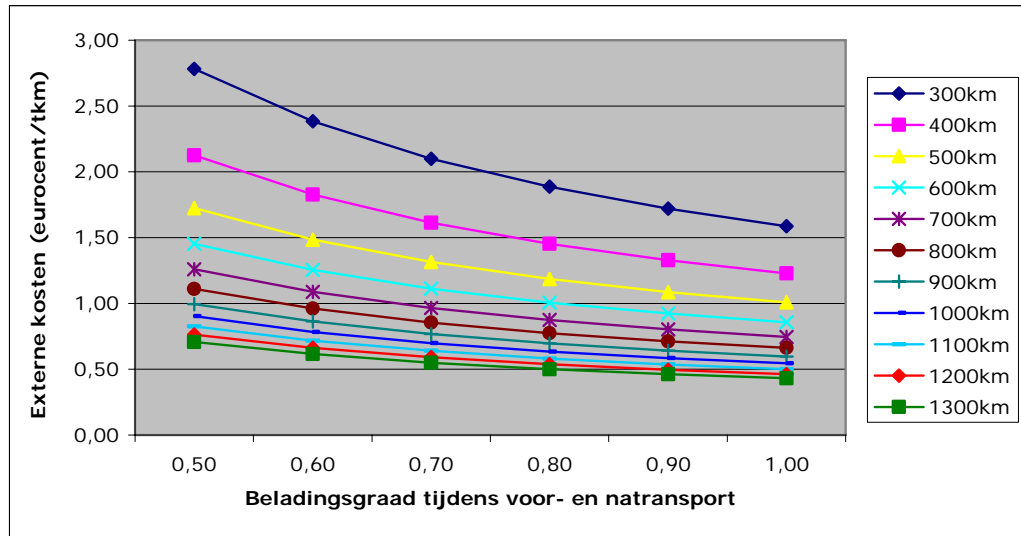
In de volgende paragrafen volgt een overzicht van de resultaten van de sensitiviteitsanalyse. Voor elke van de zeven parameters worden twee grafieken getoond. De eerste toont telkens het effect op de externe kosten per tonkilometer van een wijziging van de parameter bij verschillende deur-tot-deur afstanden. De tweede grafiek geeft de break-even afstand weer voor de verschillende waarden van de gewijzigde parameter. Een tabel met de uitgebreide resultaten van de sensitiviteitsanalyse is terug te vinden in bijlage 8.

4.5.1 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport

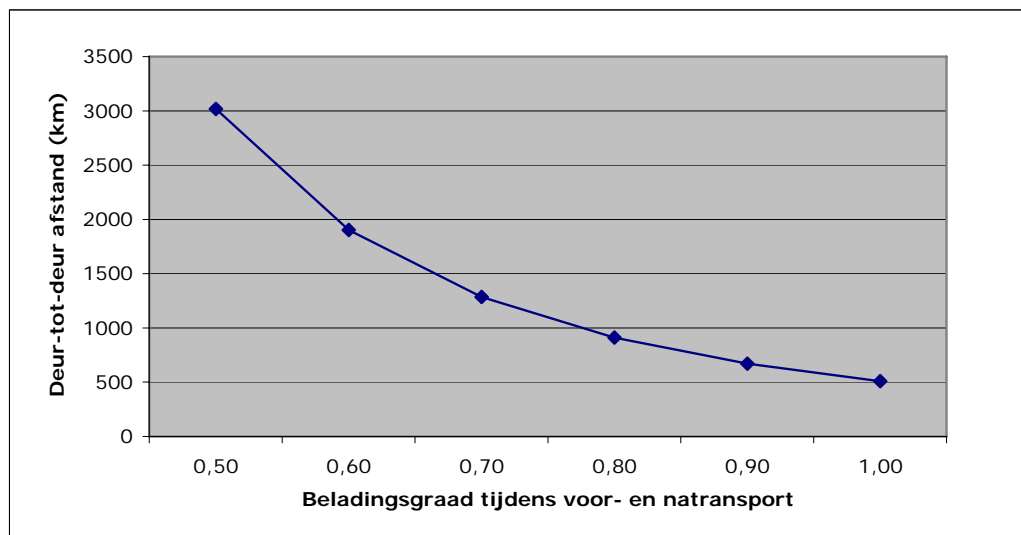
Uit figuur 9 valt af te leiden dat de externe kosten van intermodaal transport aanzienlijk dalen naarmate de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport stijgt. Vooral voor kleinere deur-tot-deur afstanden is de daling van de externe kosten het grootst. Dit is een gevolg van het feit dat bij kleine deur-tot-deur afstanden het aandeel van de externe kosten van het voor- en natransport in de totale externe kosten van intermodaal transport groter is. Verder blijkt dat de daling van de externe kosten afneemt naarmate de beladingsgraad groter wordt. Bij een deur-tot-deur afstand van 300 km bedraagt de daling van de externe kosten bijvoorbeeld 0,3982 eurocent/tkm voor een stijging van de beladingsgraad van 0,6 naar 0,7, terwijl de daling slechts 0,2845 eurocent/tkm bedraagt wanneer de beladingsgraad stijgt van 0,7 naar 0,8.

Verder toont figuur 10 dat de break-even afstand drastisch daalt wanneer de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport stijgt. Een stijging in de beladingsgraad van 0,6 tot 0,7 leidt bijvoorbeeld tot een daling van de break-even afstand van 1901 km tot 1284 km. Indien de beladingsgraad stijgt tot 0,8 daalt de break-even afstand zelfs tot onder de 1000 km.

Figuur 9: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende beladingsgraden tijdens het voor- en natransport



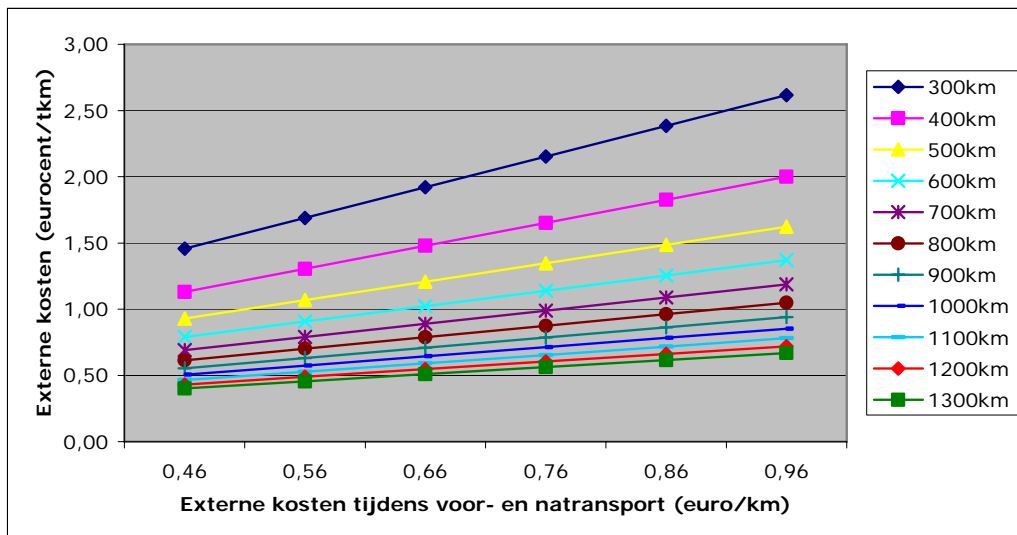
Figuur 10: De break-even afstanden voor verschillende beladingsgraden tijdens het voor- en natransport



4.5.2 Een wijziging van de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport

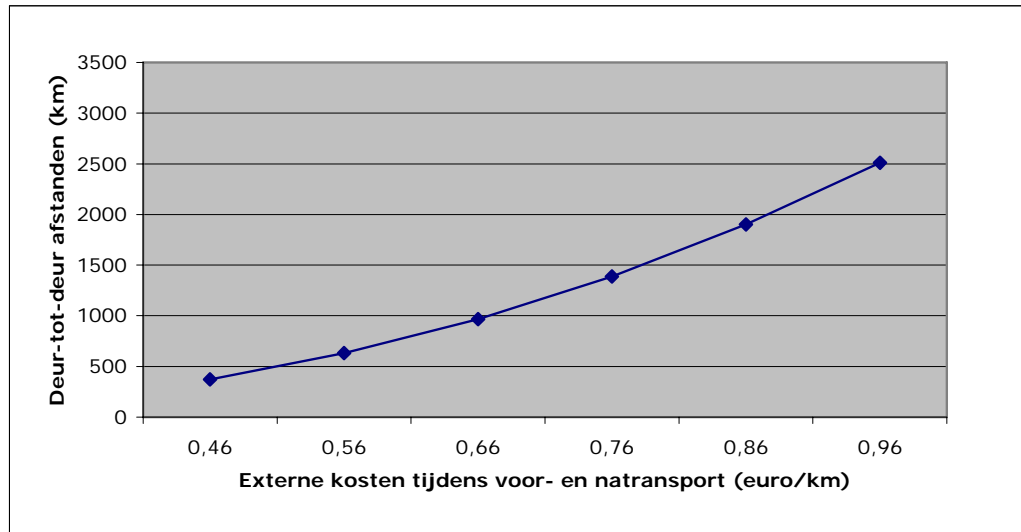
Figuur 11 toont dat de externe kosten per tonkilometer van intermodaal transport dalen als de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport dalen. In tegenstelling tot bij de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport, is het effect nu wel lineair. De daling van de externe kosten van intermodaal transport is bijgevolg enkel afhankelijk van de grootte van de daling van de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport en onafhankelijk van de beginwaarde. Verder is de daling opnieuw sterker naarmate de deur-tot-deur afstand kleiner is.

Figuur 11: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport



Uit figuur 12 valt af te leiden dat de break-even afstand sterk daalt wanneer de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport dalen. Wanneer de externe kosten tijdens het voor- en natransport bijvoorbeeld dalen van 0,86 tot 0,76 euro/km, daalt de break-even afstand met 513 km.

Figuur 12: De break-even afstanden voor verschillende externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport

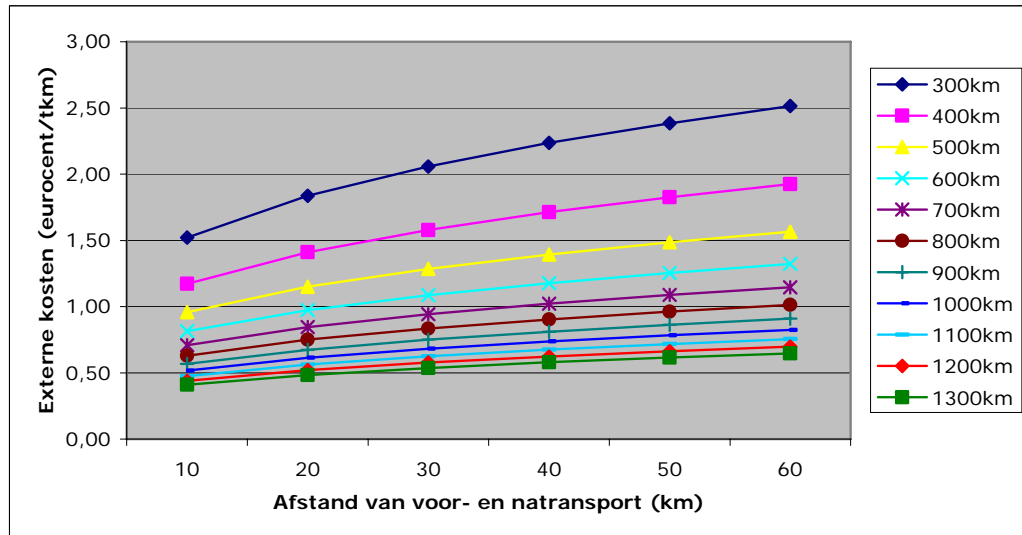


4.5.3 Een wijziging van de afstand van het voor- en natransport

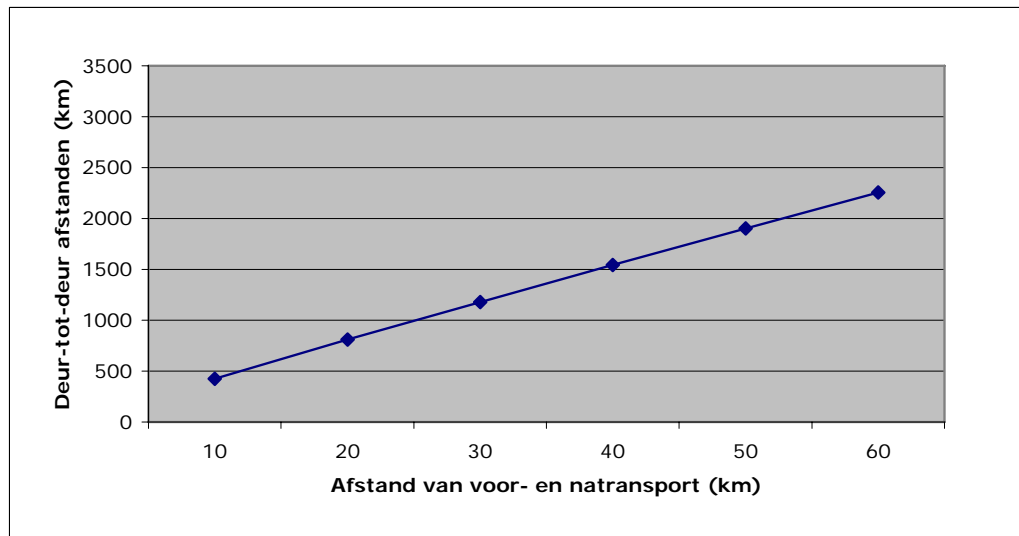
Een daling van de afstand van het voor- en natransport leidt, zoals af te lezen uit figuur 13, tot een daling van de externe kosten van intermodaal transport. Opgemerkt dient te worden dat een daling van 10 km inhoudt dat zowel de afstand van het voor- als van het natransport daalt met 10 km, waardoor de afstand van het hoofdtransport toeneemt met 20 km. Om dezelfde reden als in paragraaf 4.5.3 is het effect groter naarmate de deur-tot-deur afstand kleiner is. Verder valt op dat bij een daling van de afstand van het voor- en natransport van 10 km de daling van de externe kosten van intermodaal transport groter is wanneer de beginwaarde voor de afstand van het voor- en natransport kleiner is. Bij een deur-tot-deur afstand van 300 km leidt een daling van de afstand van het voor- en natransport van 50 naar 40 km bijvoorbeeld tot een daling van de externe kosten van intermodaal transport met 0,1489 eurocent/tkm. Een daling van 30 naar 20 km leidt echter tot een daling van 0,2223 eurocent/tkm.

Figuur 14 toont dat de break-even afstand lineair daalt bij een daling van de afstand van het voor- en natransport. In tegenstelling tot bij een wijziging van de beladingsgraad en de externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport, blijft de daling van de break-even afstand even groot naarmate de waarde gunstiger wordt voor intermodaal transport.

Figuur 13: De externe kosten van intermodaal transport bij verschillende afstanden van het voor- en natransport



Figuur 14: De break-even afstanden bij verschillende afstanden van het voor- en natransport



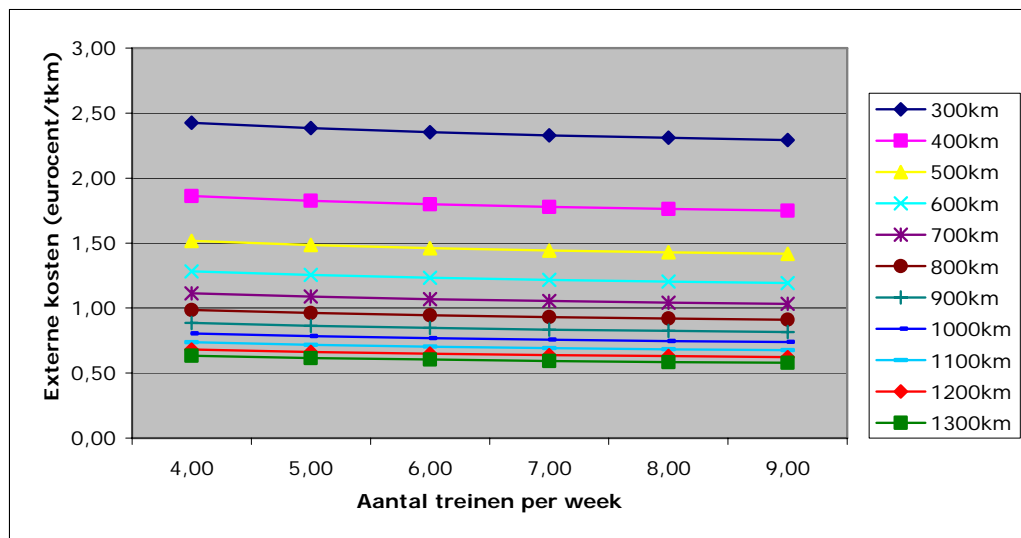
4.5.4 Een wijziging van het aantal treinen per week

Zoals blijkt uit figuur 15, leidt een stijging van het aantal treinen per week slechts tot een kleine daling van de externe kosten van intermodaal transport. Bij een deur-tot-deur afstand van 300 km veroorzaakt een verdubbeling van het aantal treinen per week van vier naar acht

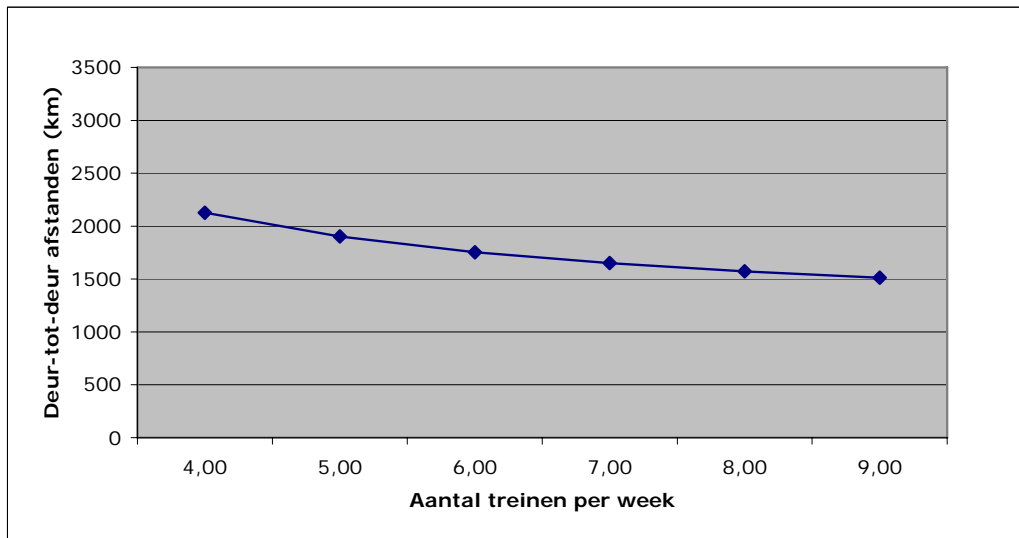
bijvoorbeeld slechts een daling van de externe kosten van intermodaal transport met 0,1167 eurocent/tkm. Het feit dat deze daling zo klein is, is te verklaren door de gebruikte formules. Bij een stijging van het aantal treinen per week wordt verondersteld dat het aantal ton getransporteerde goederen toeneemt. Dit heeft echter enkel een effect op de externe kosten van het hoofdtransport bij intermodaal transport. De externe kosten van unimodaal wegtransport en van het voor- en natransport van intermodaal transport nemen immers proportioneel toe met het aantal ton getransporteerde goederen, waardoor de externe kosten per tonkilometer gelijk blijven. De externe kosten van het hoofdtransport stijgen wel minder dan proportioneel met de stijging van het aantal ton getransporteerde goederen. Dit is het gevolg van het feit dat in de gebruikte formule de wortel wordt getrokken van de waarde voor het aantal ton getransporteerde goederen. Het aandeel van de externe kosten van het hoofdtransport in de totale externe kosten van intermodaal transport is echter beperkt waardoor het effect op de externe kosten van intermodaal transport klein is.

Figuur 16 toont dat de break-even afstand daalt bij een stijging van het aantal treinen per week. De stijging is groter naarmate de beginwaarde voor het aantal treinen kleiner is. De reden hiervoor is dat de relatieve verandering in het aantal ton getransporteerde goederen het grootst is. Verder kan gesteld worden dat de verandering in de break-even afstanden opvallend kleiner is dan in de voorgaande paragrafen.

Figuur 15: De externe kosten van intermodaal transport bij een verschillend aantal treinen per week



Figuur 16: De break-even afstanden bij een verschillend aantal treinen



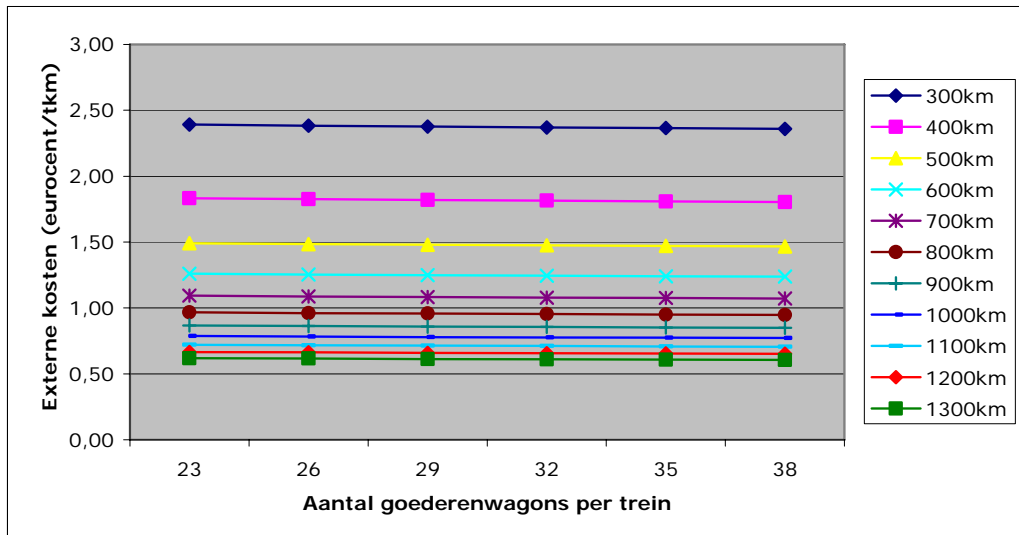
4.5.5 Een wijziging van het aantal goederenwagons per trein

In het originele model bestaat een trein uit 26 goederenwagons die elk een capaciteit van 3 TEU-containers hebben. Door het aantal goederenwagons per trein te wijzigen, verandert bijgevolg het aantal ton getransporteerde goederen, net zoals in de vorige paragraaf. Verder veranderen in dit geval eveneens de externe kosten per trein doordat het gewicht van een trein verandert.

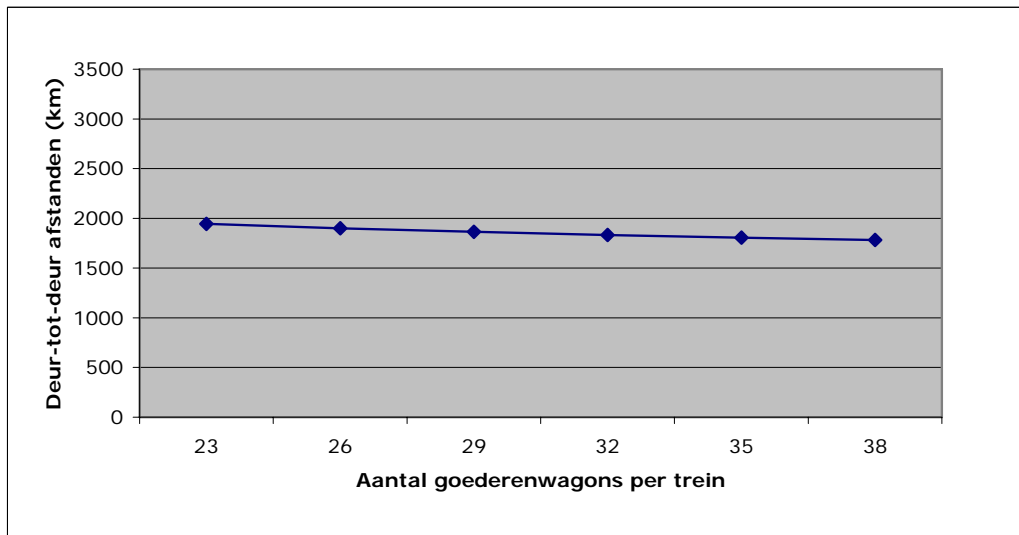
Zoals uit figuur 17 valt af te leiden, is het effect van een verandering van het aantal goederenwagons per trein op de externe kosten van intermodaal transport zeer klein. Verder wordt vastgesteld dat het effect kleiner is dan bij een verandering van het aantal treinen. De tabel in bijlage 9 verduidelijkt dit. Hoewel het aantal ton getransporteerde goederen door de toevoeging van zes goederenwagons per trein sterker stijgt dan bij de toevoeging van een trein, heeft dit laatste een groter effect op de externe kosten van intermodaal transport. De reden hiervoor is dat bij een toevoeging van goederenwagons de externe kosten per trein stijgen, in tegenstelling tot bij de toevoeging van een extra trein. Dit is het gevolg van het feit dat de externe kosten veroorzaakt door een trein niet enkel afhankelijk zijn van de afgelegde afstand, maar eveneens van het gewicht van de trein. Bij deze analyse dient wel opgemerkt te worden dat de daling van de externe kosten van intermodaal transport bij de verschillende parameters afhankelijk is van de beginwaarden van de parameters. In bijlage 9 werd de originele waarde van Janic (2007) telkens als beginwaarde gebruikt.

Door het geringe effect van een wijziging van het aantal goederenwagens per trein op de externe kosten van intermodaal transport, is het effect op de break-even afstanden eveneens klein. Dit blijkt uit figuur 18.

Figuur 17: De externe kosten van intermodaal transport bij een verschillend aantal goederenwagens per trein



Figuur 18: De break-even afstanden voor een verschillend aantal goederenwagens per trein

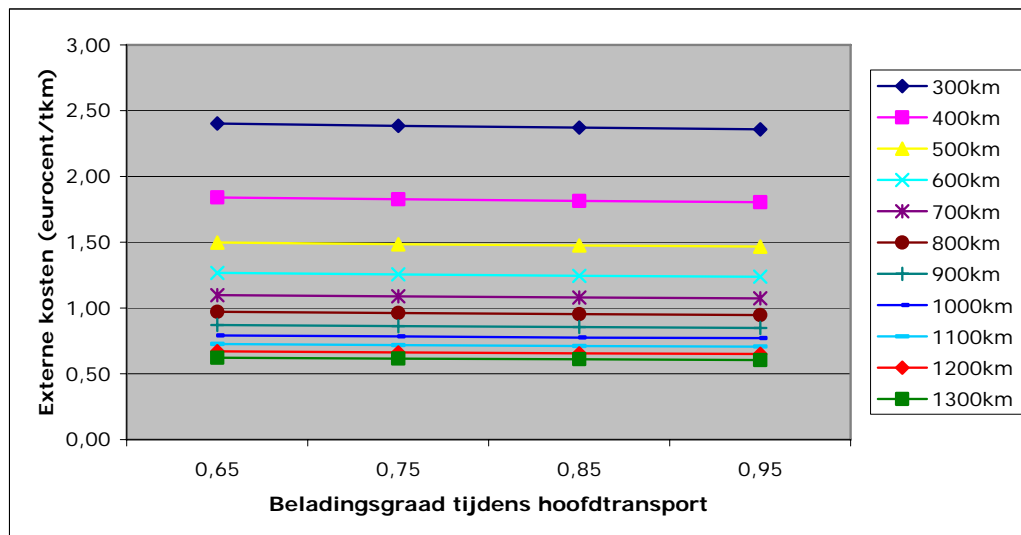


4.5.6 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport

De derde parameter met betrekking tot het hoofdtransport van intermodaal transport die veranderd wordt, is de beladingsgraad. De oorspronkelijke waarde hiervoor bedraagt 0,75. Om de vergelijkbaarheid met de wijziging van de beladingsgraad bij het voor- en natransport en bij unimodaal wegtransport te behouden, wordt ervoor gekozen de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport eveneens te wijzigen in stappen van 0,10. Dit houdt echter in dat slechts drie nieuwe waarden worden onderzocht, één in het nadeel en twee in het voordeel van intermodaal transport.

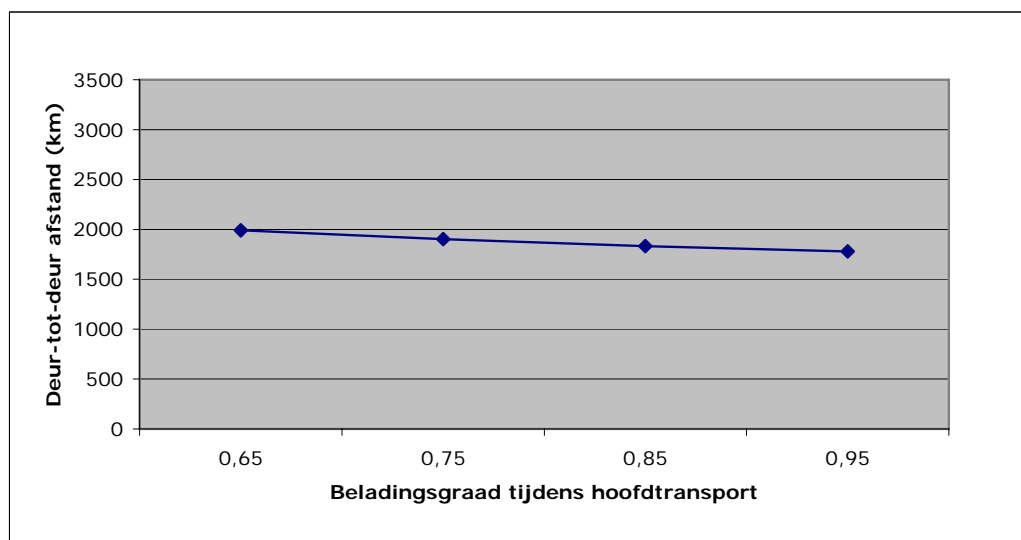
Figuur 19 toont dat een verhoging van de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport, zoals verwacht, leidt tot een daling van de externe kosten van intermodaal transport. Het effect is echter veel kleiner is dan bij de verhoging van de beladingsgraad tijdens het voor- en natransport. Hiervoor bestaan twee redenen. Ten eerste leidt de verhoging van de beladingsgraad tijdens het hoofdtransport tot een stijging van het gewicht van een geladen trein waardoor de externe kosten per trein verhogen. Verder is het aandeel van het hoofdtransport in de externe kosten van intermodaal transport kleiner dan dat van het voor- en natransport. Hierdoor heeft een relatieve daling van de externe kosten van het hoofdtransport minder effect op de externe kosten van intermodaal transport dan een even grote relatieve daling van de externe kosten van het voor- en natransport.

Figuur 19: De externe kosten van intermodaal transport voor verschillende beladingsgraad tijdens het hoofdtransport



Vervolgens kan opgemerkt worden dat het effect van een wijziging van de beladingsgraad van het hoofdtransport op de externe kosten van intermodaal transport kleiner is dan het effect van de toevoeging van een extra trein, maar groter dan bij een wijziging van het aantal goederenwagens. Dit blijkt uit de tabel in bijlage 9. Ten slotte toont figuur 19 dat een stijging van een beladingsgraad tijdens het hoofdtransport nauwelijks een invloed heeft op de break-even afstand. Een verhoging van de beladingsgraad van 0,75 naar 0,95, veroorzaakt een daling van de break-even afstand van slechts 122 km.

Figuur 20: De break-even afstanden voor verschillende beladingsgraden tijdens het hoofdtransport

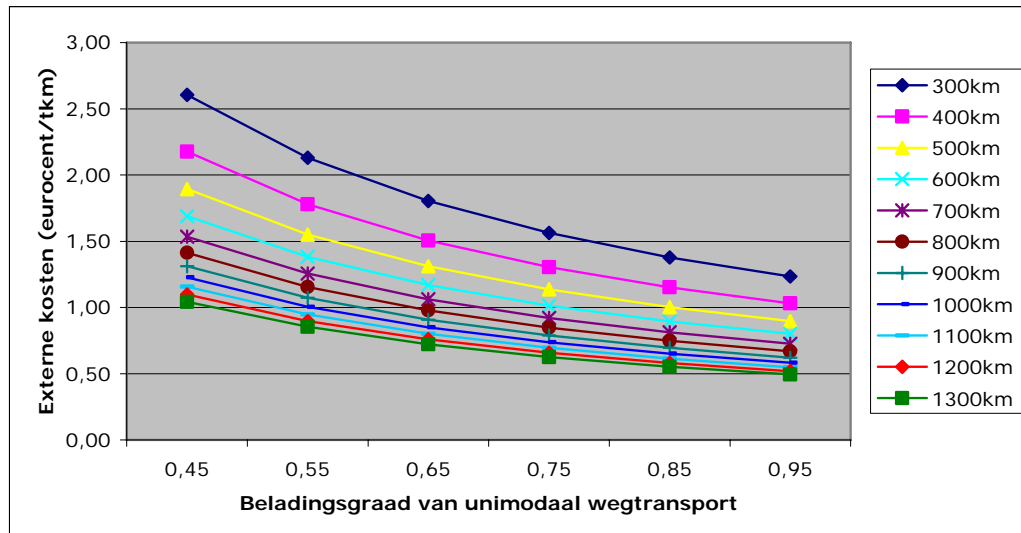


4.5.7 Een wijziging van de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport

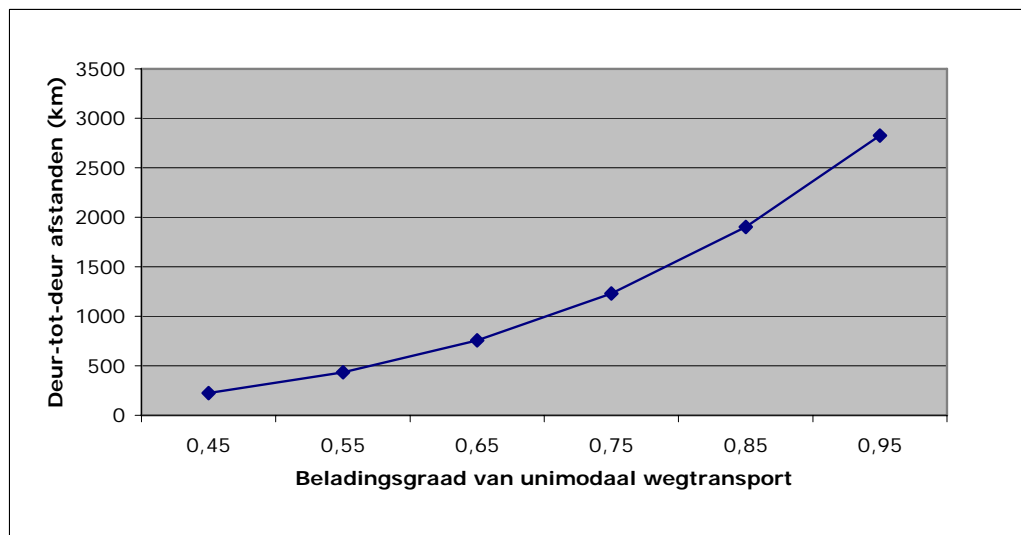
De laatste parameter die gewijzigd wordt, is de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport. Het is de enige parameter die zorgt voor een verandering van de externe kosten van unimodaal wegtransport en niet van die van intermodaal transport. Uit figuur 21 kan afgeleid worden dat een daling van de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport leidt tot een sterke stijging van de externe kosten. Een daling van de beladingsgraad van 0,85 naar 0,75 veroorzaakt bijvoorbeeld een stijging van de externe kosten van unimodaal wegtransport met 0,1838 eurocent/tkm wanneer de deur-tot-deur afstand 300 km bedraagt. Verder blijkt dat het effect van een wijziging van de beladingsgraad op de externe kosten groter is naarmate de beginwaarde kleiner is. Dit komt overeen met de bevindingen uit paragraaf 4.5.1 voor wijzigingen in de beladingsgraad van het voor- en natransport van intermodaal transport. Verder daalt de break-even afstand sterk wanneer de beladingsgraad

van het unimodaal wegtransport daalt. Dit blijkt uit figuur 22. Een daling van de beladingsgraad tijdens unimodaal transport van 0,85 naar 0,65 leidt bijvoorbeeld tot een daling van de break-even afstand van 1143 km.

Figuur 21: De externe kosten van unimodaal wegtransport bij verschillende beladingsgraden



Figuur 22: De break-even afstanden bij verschillende beladingsgraden voor unimodaal wegtransport



4.5.8 Conclusies van de sensitiviteitsanalyse

Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt duidelijk dat de drie parameters met betrekking tot het voor- en natransport een veel grotere invloed hebben op de externe kosten van intermodaal transport en de break-even afstand dan de drie parameters met betrekking tot het hoofdtransport. De oorzaak hiervan ligt voornamelijk in het feit dat het aandeel van de externe kosten van voor- en natransport in de totale externe kosten van intermodaal transport groter is dan het aandeel van de externe kosten van het hoofdtransport. Verder blijkt een wijziging van de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport een aanzienlijke invloed te hebben op de externe kosten van unimodaal wegtransport en de break-even afstand.

Het effect van de drie parameters met betrekking tot het voor- en natransport van intermodaal transport is echter niet gelijk. Bij een wijziging van de afstand of beladingsgraad van het voor- en natransport stijgt de daling van de externe kosten van intermodaal transport naarmate de beginwaarde kleiner is. De reden hiervoor is dat eenzelfde absolute wijziging bij een kleine beginwaarde een grotere relatieve wijziging inhoudt dan bij een grote beginwaarde. Voor een wijziging van de afstand betekent dit dat het effect op de externe kosten van intermodaal transport kleiner is wanneer de beginwaarde positiever is voor intermodaal transport. Voor een wijziging van de beladingsgraad is het omgekeerd: het effect op de externe kosten van intermodaal transport is groter naarmate de beginwaarde slechter is voor intermodaal transport. Het effect van een wijziging van de externe kosten per voertuigkilometer van het voor- en natransport is lineair en bijgevolg onafhankelijk van de beginwaarde. Verder blijkt dat een wijziging van de parameters met betrekking tot het voor- en natransport een aanzienlijke wijziging van de break-even afstand inhoudt.

Bij een wijziging van de parameters met betrekking tot het hoofdtransport van intermodaal transport is eveneens een verschil in het effect op de externe kosten van intermodaal transport merkbaar. Een wijziging van het aantal treinen per week blijkt het grootste effect op de externe kosten van intermodaal transport te hebben. Vervolgens komt een wijziging van de beladingsgraad van de treinen. Het wijzigen van het aantal goederenwagens heeft het kleinste effect op de externe kosten van intermodaal transport. Verder blijkt dat het effect van een wijziging van de parameters met betrekking tot het hoofdtransport slechts een kleine invloed te hebben op de break-even afstand.

Samenvattend kan besloten worden dat een kleine wijziging van een parameter reeds kan leiden tot een grote verandering in de externe kosten en de break-even afstand. Het resultaat op basis van de originele waarden, zijnde een break-even afstand van 1901 km, dient bijgevolg met de nodige voorzichtigheid te worden gebruikt en mag zeker niet veralgemeend

worden. Een vergelijking tussen intermodaal transport en unimodaal transport dient situatie per situatie te gebeuren op basis van de omstandigheden en bijhorende waarden die voor die bepaalde situatie van toepassing zijn. Op basis van deze waarden kan het model een indicatie geven van de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport. Verder kan het model een indicatie geven van het effect dat een wijziging van een parameter in een bepaalde situatie heeft en op welke manier de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport verlaagd kunnen worden.

Hoofdstuk 5: Algemene conclusies

Transport veroorzaakt een aantal negatieve effecten, zoals luchtvervuiling, klimaatsverandering, ongevallen, geluidshinder, congestie, enzovoort. Bedrijven houden bij het nemen van transportbeslissingen meestal geen rekening met deze negatieve effecten. Hierdoor leiden deze effecten tot externe kosten. Een overzicht van de externe kosten die veroorzaakt worden door transport, werd gegeven in hoofdstuk twee.

Vervolgens werd in hoofdstuk drie nagegaan hoe deze externe kosten berekend kunnen worden. Verschillende benaderingen werden besproken. Ten eerste werd een onderscheid gemaakt tussen een top-down en bottom-up benadering, die respectievelijk gemiddelde en marginale externe kosten opleveren. Marginale kosten leveren de meeste informatie aangezien hierbij een differentiatie naar transportmiddel, plaats, tijdstip en omstandigheden mogelijk is. Verder werden twee benaderingen voor de waardering van externe kosten besproken, de resource approach en de prevention approach. De eerste benadering, waarbij de schadekosten worden geschat, wordt als beste beschouwd.

Het grootste deel van hoofdstuk drie werd gewijd aan de berekening van de externe kosten van luchtvervuiling via de Impact Pathway Approach. Deze berekeningsmethode werd ontwikkeld in ExternE en wordt beschouwd als de meest geavanceerde methode voor de berekening van externe kosten van luchtvervuiling veroorzaakt door transport. De verschillende stappen van deze methode werden besproken. Zo werd onder andere uitgebreid besproken op welke manier de impacts, als gevolg van schade veroorzaakt door externe effecten, worden gewaardeerd. Vervolgens werd een beknopt overzicht gegeven van de manieren waarop andere soorten externe kosten berekend kunnen worden. Aan het einde van het hoofdstuk werden ten slotte de talrijke moeilijkheden en onzekerheden die gepaard gaan met de berekening en vergelijking van externe kosten beschreven. De grootste moeilijkheden blijken de verschillen tussen de studies en de situatie-afhankelijkheid van externe kosten te zijn. Als gevolg hiervan zijn de resultaten van de meeste studies zeer uiteenlopend.

In het vierde hoofdstuk werd dieper ingegaan op de vergelijking van de externe kosten van intermodaal en unimodaal transport. Eerst werden de resultaten uit de literatuur beschreven aan de hand van twee overzichtsartikels. Hieruit blijkt dat intermodaal transport substantieel lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport, tenzij een cumulatie van verschillende negatieve condities optreedt.

Verder werd het RECORDIT project besproken. In dit project worden de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport voor drie Europese corridors berekend. Het

feit dat in dit project op een consistente manier een volledige analyse van nagenoeg alle externe kosten wordt gemaakt, leidt ertoe dat een goede vergelijking tussen intermodaal transport en unimodaal wegtransport mogelijk is. De resultaten bevestigen de conclusie uit de vorige paragraaf. Voor de drie onderzochte corridors bedragen de externe kosten van intermodaal transport respectievelijk slechts 37,5%, 52,23% en 41,88% van de externe kosten van unimodaal wegtransport.

De resultaten van de twee voorgaande paragrafen zijn echter voornamelijk gebaseerd op de vergelijking van de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport op basis van enkele specifieke trajecten. Als gevolg van de situatie-afhankelijkheid van de externe kosten mogen deze resultaten niet veralgemeend worden. Daarom werden in deze eindverhandeling twee bestaande modellen besproken die op een meer algemeen niveau de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport vergelijken. Daarnaast werd aan beide modellen een kleine uitbreiding toegevoegd. Ten slotte werd op het tweede model een sensitiviteitsanalyse toegepast.

Het eerste model werd ontwikkeld door Macharis en Van Mierlo (2006) en is vrij eenvoudig. De verhoudingen tussen de afstanden van unimodaal wegtransport en het voor- en natransport en hoofdtransport van intermodaal transport worden grafisch weergegeven. Op basis van de grafieken kan worden afgeleid voor welke verhoudingen tussen deze afstanden intermodaal transport lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport. Het model toont de grootte van de externe kosten echter niet, wat een nadeel is. Verder zijn de resultaten van het model sterk afhankelijk van de gebruikte cijfergegevens.

De beschrijving van het originele model bevatte enkel een vergelijking op basis van de externe kosten van luchtvervuiling en klimaatsverandering. In deze eindverhandeling werd deze vergelijking overgedaan op basis van de externe kosten van luchtvervuiling, klimaatsverandering, ongevallen, congestie, geluid en infrastructuur. Hieruit blijkt dat de opname van meer soorten externe kosten in de meeste gevallen zal leiden tot een verbetering van de resultaten van intermodaal transport in vergelijking met unimodaal wegtransport.

Het tweede model dat werd beschreven, is ontwikkeld door Janic (2007). De doelstelling van de auteur was het maken van een vergelijking tussen intermodaal transport via wegspoorvervoer en unimodaal wegtransport op basis van de interne en totale kosten. Het model kan echter eveneens gebruikt worden voor het maken van een vergelijking op basis van de externe kosten. Omdat bij de beschrijving van het originele model geen cijferresultaten worden gegeven, werden de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal transport zelf berekend aan de hand van de beschikbare data. Uit deze berekeningen blijkt dat intermodaal transport pas lagere externe kosten veroorzaakt dan unimodaal wegtransport

vanaf een deur-tot-deur afstand van 1901 km. Verder blijkt dat de externe kosten veroorzaakt in de intermodale terminals te verwaarlozen zijn, hetgeen overeenkomt met de bevindingen van RECORDIT.

Het feit dat de break-even afstand zo groot is, is het gevolg van het gebruik van afstandsafhankelijke externe kosten voor wegtransport. In de literatuur werden echter geen andere bronnen gevonden die dergelijke kosten gebruiken. Wel maken een aantal auteurs een onderscheid tussen de externe kosten van wegtransport in en rond steden en buiten steden. Dit onderscheid kan enigszins een verklaring geven voor het gebruik van de afstandsafhankelijke externe kosten in het model van Janic (2007).

Omdat de externe kosten van transport sterk afhangen van de situatie waarin ze veroorzaakt worden, werd op het model een sensitiviteitsanalyse toegepast. Uit deze sensitiviteitsanalyse blijkt duidelijk dat het resultaat op basis van de originele waarden voor de parameters niet veralgemeend mag worden. Een kleine verandering in een parameter kan immers reeds een grote invloed hebben op de externe kosten en de break-even afstand. Vooral de parameters met betrekking tot het voor- en natransport van intermodaal transport blijken een grote invloed te hebben op de externe kosten van intermodaal transport en de break-even afstand. Deze parameters zijn de afstand van het voor- en natransport en de beladingsgraad en de externe kosten per voertuigkilometer tijdens het voor- en natransport. Verder heeft de beladingsgraad tijdens unimodaal wegtransport een grote invloed op de externe kosten ervan en op de break-even afstand. De parameters met betrekking tot het hoofdtransport van intermodaal transport, namelijk de beladingsgraad en lengte van de treinen en het aantal treinen, hebben een veel kleinere invloed op de externe kosten van intermodaal transport en de break-even afstand.

Algemeen kan besloten worden dat een correcte vergelijking tussen de externe kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport maken moeilijk is. Ten eerste zorgen de moeilijkheden en onzekerheden bij de berekening van de externe kosten voor onduidelijkheid betreffende de grootte van de externe kosten. Verder zorgt het feit dat de grootte van de externe kosten sterk afhangt van de situatie ervoor dat elke situatie apart dient te worden beschouwd. Dit leidt tot een kloof tussen te algemene en te specifieke gegevens.

Het model van Janic (2007) kan mogelijk een oplossing bieden voor dit laatste probleem. Het model laat immers toe naast de afstanden eveneens andere parameters zoals de beladingsgraden en de capaciteit, lengte en frequentie van de treinen aan te passen aan de situatie. Bijkomend onderzoek, meer bepaald naar het feit of de afstandsafhankelijke externe kosten de realiteit weerspiegelen, is echter nodig. Verder zou het model uitgebreid kunnen

worden naar intermodaal transport via wegtransport en binnenvaart indien geschikte externe kosten van binnenvaart ter beschikking waren. Verder onderzoek is hier eveneens gewenst.

Verder kan bekritiseerd worden dat het model van Janic (2007) het probleem van de situatie-afhankelijkheid niet volledig oplost. Het model houdt immers geen rekening met de specifieke kenmerken van de plaats waar de externe kosten veroorzaakt worden. Daarnaast houdt het geen rekening met enkele specifieke karakteristieken van de transportmiddelen, zoals de emissiefactoren. Het inbrengen van deze specifieke kenmerken in het model is echter niet eenvoudig en zou het model veel complexer maken. Een softwarematige aanpak lijkt hierbij aangewezen.

Samenvattend kan gesteld worden dat het model van Janic (2007) het probleem van de situatie-afhankelijkheid van de externe kosten van transport gedeeltelijk kan oplossen. Een volledige oplossing van het probleem is echter enkel mogelijk via een veel uitgebreider model.

Literatuurlijst

Atkinson, S.E. en Halvorsen, R. (1990) *The valuation of risks of life: evidence from the market for automobiles*. Review of Economics & Statistics, Vol. 72. Issue 1. p.133-136.

Bontekoning, Y.M., Macharis, C. en Trip, J.J. (2004) Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail-truck freight transport literature. Transportation Research Part A. Vol 38. p.1-34.

Baccelli, O., Black I.G., Bühler, G., Capka, M., Cini, T., Droste-Franke, B., Enei, R., Engelund, P., Handanos, Y., Henrique, M., Kunth, A., Kubasek, M., Maas, N., Seaton, R., Tamás, A., Vaghi, C. Vannoni, C., Weibel, T.G. en Weinrich, S. (2001a) *Deliverable 4: External cost calculation for selected corridors*. European research project RECORDIT. Brussel.

Baccelli, O., Cini, T., Vaghi, C., Zucchetti, R., Black, I., Seaton, R., Kunth, A., Savy, M., Weinreich, S., Buehler, G., Maas, N., Frits Broens, D., Schmid, S., Ricci, A. en Enei, R. (2001b) *Deliverable 2 – Methodology for the analysis of mechanisms of cost and price formation at corridor level*. European research project RECORDIT. Brussel.

Berglund, B., Lindvall, T. en Schwela, D.H. (1999) *Guidelines for community noise*. Wereldgezondheidsorganisatie. Genève.

Beuthe, M., Degrandt, F., Geerts, J-F en Jourquin, B. (2002) *External costs of the Belgian interurban freight traffic: a network analysis of their internalisation*. Transportation Research Part D. Vol 7. p.285-301.

Bickel, P., Schmid, S., Krewitt, W. en Friedrich, R. (1997) *External costs of transport in ExternE. Publishable report*. IER. Stuttgart.

Bickel, P. en Friedrich, R. (2001) *Estimating Environmental Costs using the Impact Pathway Approach*. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart. Germany.

Bickel, P., Schmid, S., Tervonen, J., Hämeikoski, K., Otterström, T., Anton, P., Enei, R., Leone, G., van Donselaar, P. en Carmighelet H. (2003) *Deliverable 11 – Environmental Marginal Cost Case Studies*. UNITE (UNification of accounts and marginal costs of Transport Efficiency). Gesubsidieerd door het 5th Framework RTD Programme. IER – University of Stuttgart. Stuttgart.

Bickel, P., Schmid, S. en Friedrich, R. (2005) *Environmental Costs*. Research in Transportation Economics. Vol 14. p.185-209.

Bickel, P., Friedrich, R., Link, H., Stewart, L. en Nash Chris (2006) *Introducing Environmental Externalities into Transport Pricing: Measurement and Implications*. Transport Reviews. Vol 26. nr 4. p.389-415.

Black, I., Seaton, R., Ricci, A., Enei, R., Vaghi, C., Schmid, S. en Buhler, G. (2003) *Final Report: Actions to Promote Intermodal Transport*. European research project RECORDIT. Brussel.

Daganzo, C.F. (1999) *Logistics Systems Analysis*. 3^{de} editie. Springer. Berlijn – New York.

Daniels, R. en Adamowicz, V. (2000) *Environmental valuation*. In Hensher, D.A. en Button, K.J. (eds) *Handbook of Transport Modelling*. Elsevier Science. Oxford.

De Ceuster, G. (2004) *Internalisering van externe kosten van wegverkeer in Vlaanderen*. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA. Transport & Mobility Leuven.

De Nocker, L., Vergote, S., Vinckx, L. en Wouers, G. (1998) *Marginal external costs of peak and non peak urban transport in Belgium*. FEEM Working Paper nr. 12.99.

Desaigues, B. (2005) *Monetary Valuation of Environmental Damages*. Gepresenteerd tijdens de MAXIMA workshop. Parijs. 10 Mei 2005.

De Vlieger, I., Int Panis, L. en Cornelis, E. (2004) *Milieuprestaties van de binnenvaart in Vlaanderen*. Studie uitgevoerd in opdracht van Promotie Binnenvaart Vlaanderen.

De Vlieger, I., Pelkmans, L., Verbeiren, S., Cornelis, E., Schrooten, L., Int Panis, L., Proost, S. en Knockaert, J. (2005) *Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS)*. In het kader van: Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy (SPSD II). Belgian Science Policy, Vito, ETE-CES.

Dings, J. en Haffmans, J. (2002) *De effecten van verkeersuitstoot en –geluid op de volksgezondheid. Een beknopt overzicht en opties voor beleid*. CE Delft. Delft.

Dings, J. en Sevenster, M. (2002) De werkelijke kosten van verkeer. Overzicht van externe kosten en de relatie met prijsbeleid. CE Delft. Delft.

Dings, J., Sevenster, M. en Davidson M. (2003) External and infrastructure costs of road and rail traffic – analysing European studies. CE Delft. Delft.

ECMT – European Conference of Ministers of Transport (1998) *Report on the current State of Combined Transport in Europe*. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development Parijs.

Europese Commissie (1995) *Externalities of Energy - ExternE Project. Volume 2: Methodology*. Europese Commissie, DGXII, Science, Research and Development. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (1998) *ExternE - Externalities of Energy - Methodology 1998 update*. Europese Commissie, DGXII, Science, Research and Development. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (2001) *Witboek – Het Europese vervoersbeleid tot 2010: tijd om te kiezen*. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (2002) Verordening van het Europees Parlement en de Raad betreffende de toekenning van communautaire financiële bijstand om de milieuprestaties van het vrachtvervoersysteem te verbeteren. COM(2002)54. Brussel.

Europese Commissie (2003) *External Costs. Research result on socio-environmental damages due to electricity and transport*. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (2004) *ExternE – Externalities of Energy – Methodology 2005 Update*. Europese Commissie, DGXII, Science, Research and Development. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (2006) Europa duurzaam in beweging - Duurzame mobiliteit voor ons continent. Tussentijdse evaluatie van het witboek Vervoer van 2001 van de Commissie. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Europese Commissie (2007) *Panorama of Transport*. Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen. Luxemburg.

Forkenbrock, D.J. (2001) *Comparison of external costs of rail and truck freight transportation*. Transportation Research Part A. Vol 35. p.321-337.

Friedrich, R., Rabl, A., Spadaro, J.V. (2001) *Quantifying the Costs of Air Pollution: the Externe Project of the EC*. Pollution Atmosphérique. Special bilingual issue "Combien vaut l'air propre – how much is clean air worth". P.77-104.

Haezendonck, E. en Coeck, C. (2006) Externe kosten van goederentransport in Vlaanderen: de impact van het hinterlandtransport van containers via zeehavens. In Despotin, M. en Macharis, C. (eds) Mobiliteit en grootstedenbeleid – 27^e Vlaams Wetenschappelijk Economisch Congres. VUBPress. Brussel.

Hanley, N., Shogren, J.F. en White, B (2001) *Introduction to Environmental Economics*. Oxford University Press. Oxford.

Henriques, M. (2001) *The RECORDIT software to calculate real costs: outline and preliminary developments*. Gepresenteerd tijdens de 1^{ste} workshop van RECORDIT. Athene, Griekenland. 2 April 2001.

Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z. en Sorenson, S. (1999) *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Deliverable 22 for the MEET project*. Transport Research Laboratory. Verenigd Koninkrijk.

Himanen, V. en Himanen, M. (2007) *Sustainability and Transport – Long-term Aspects. Current options and obstacles towards sustainability; people, companies and governments*. Gepresenteerd tijdens de NECTAR Euroconference. Porto. Mei 2007.

IFEU en SGKV (2002) *Comparative Analysis of Energy Consumption and CO₂ Emissions of Road Transport and Combined Transport Road/Rail*. International Road Transport Union (IRU) en Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL).

INFRAS en IWW (1995) *External costs of transport*. UIC. Karlsruhe/Zurich/Paris.

INFRAS en IWW (2000) *External costs of Transport – Accidents, Environmental and Congestion Costs in Western Europe*. UIC. Zürich/Karlsruhe.

INFRAS en IWW (2004) *External costs of Transport - Update Study*. UIC. Zürich/Karlsruhe.

Int Panis, L., De Nocker, L., De Vlieger, I. en Torfs, R. (2001) *Externe milieukosten van wegverkeer in België*. XIXde Belgische Wegencongres, Genval 2001. Vol V. nr 4.1. p.1-10.

ISIS, ENEA, INESTENE, ZEW, ISI-FRAUNHOFER en WHO-ECEH (1998) *QUITS – Quality Indicators for Transport Systems*. Project gesubsidieerd door de Europese Commissie – DGVII onder het Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme. Rome.

Jourquin, B. (2006) *Basic Transport Economics*. Universiteit Hasselt. Diepenbeek.

Kreutzberger, E., Macharis, C. en Woxenius, J. (2006) Intermodal versus unimodal road freight transport – a review of comparisons of the external costs. In Jourquin, B., Rietveld, P. en Westin, K. (eds) *Transportation Economics - Towards better performing transport networks*. Routledge, New York.

Kreutzberger, E., Macharis, C., Vereecken, L. en Woxenius, J. (2003) *Is intermodal freight transport more environmentally friendly than all-road freight transport? A review*. The Nectar Conference No 7, Umeå, Zweden. 13-15 Juni 2003.

Krewitt, W. (2002) *External costs of energy – do the answers match the questions? Looking back at 10 years of ExternE*. Energy Policy. Vol 30. p.839-848.

Link, H., Stewart-Ladewig, L., Garcia, R., Henry, A., Godart, S., Himanen, V., Idstrom, T., Karjalainen, J., Tervonen, J., Otterstrom, T., Tsamboulas, D., Korizis, D., Roussou, A., Tanczos, K., Legaza, E., Magyar, I., Bokor, Z., Farkas, G., Kovari, B., Kiss, B., Béféki, Z., Duma, L., Nagy, Z., Ronai, P., Ricci, A., Enei, R., Esposito, R., Fagiani, P., Giammichele, F., Leone, G., Pellegrini, Macario, R., Carmona, M., Calado, G., Rodrigues, A., Martins, P., Nääs, O., Lindberg, G. en Bickel, P. (2003) *Deliverable 12 – Pilot Accounts – Results for Belgium, Finland, Greece, Hungary, Italy, Luxembourg, Portugal, Sweden*. UNITE (UNification of accounts and marginal costs of Transport Efficiency). Gesubsidieerd door het 5th Framework RTD Programme. ITS – University of Leeds. Leeds.

Macharis, C. en Van Mierlo, J. (2006) *Intermodaal vervoer: Milieuvriendelijker ook in de toekomst?* Tijdschrift Vervoerswetenschap. 42(1). p.8-11.

Madheswaran, S. (2007) Measuring the value of statistical life: estimating compensating wage differentials among workers in India. *Social Indicators Research*. Vol 84. p.83-96.

Macharis, C en Verbeke, A. (1999) *Intermodaal vervoer: economische en strategische aspecten van het intermodaal vervoer in Vlaanderen*. Garant. Leuven – Appeldoorn.

Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H.P., Boon, B.H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B. en Bak, M. (2007) *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. In het kader van de studie: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). INFRAS – CE Delft – Fraunhofer Gesellschaft ISI – University of Gdansk. Delft.

Maurissen, B. (2005) Hoe kun je externe kosten van geluidshinder door het wegvervoer internaliseren? Een literatuurstudie. Eindverhandeling TEW/Hi. Universiteit Hasselt. Diepenbeek.

Mayeres, I., Proos, S., Vandercruyssen, D., De Nocker, L., Int Panis, L., Wouters, G. en De Borger, B. (2001) *The External Costs of Transportation. Final Report*. Programma Duurzame Mobiliteit. Federale Dienst voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden. Diensten van de Eerste Minister.

MIRA (2006a) *Milieurapport Vlaanderen – MIRA-T 2006 – Focusrapport*. Vlaamse Milieumaatschappij en Uitgeverij Lannoo nv. Leuven

MIRA (2006b) Milieurapport Vlaanderen - Achtergrondocument 2006 - Sector Transport. Vlaamse Milieumaatschappij.

PACT. Pilot Actions For Combined Transport (2003a) *CO₂ Reduction through Combined Transport*. UIRR s.c. Brussel.

PACT. Pilot Actions For Combined Transport (2003b) *Combined Transport CO₂ Reduction*. UIRR s.c. Brussel.

Rennings, K., Weinreich, S., Schlomann, B., Gessner, C en Engel, T. (1998) *External Costs of Road, Rail and Air Transport – a Bottom-Up Approach*. ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research. Mannheim. Onderdeel van het QUITs project, gesubsidieerd door de Europese Commissie – DGVII onder het Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme.

Ricci, A. (2002) *Pricing of Intermodal Transport. Lessons Learned from RECORDIT*. Gepresenteerd tijdens het 2^{de} seminaire van IMPRINT-Europe Thematic Network – Implementing Reform on Transport Pricing Identifying mode-specific issues. Brussel. 14-15 Mei 2002.

Ricci, A. (2003) *Pricing of Intermodal Transport. Lessons Learned from RECORDIT*. European Journal of Transport and Infrastructure Research. 3(4). p.351-170.

Ricci, A. en Black, I. (2005) *The Social Costs of Intermodal Freight Transport*. Research in Transportation Economics. Vol 14. p.245-285.

Sandvik, E.T. (2005) *Environmental Impacts of Intermodal Freight Transport*. Moreforskning Molde AS. Molde.

Steenbekkers, J.H.M., Passchier Vermeer, W., de Kluzenaar, Y., van Dongen, J.E.F., Wijnhuizen, G.J. en Miedema, H.M.E. (2001) *Milieu en gezondheid 2001: Overzicht van risico's, doelen en beleid*. TNO Preventie en Gezondheid. Volksgezondheid. Leiden.

Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T. en Van Duin, R. (2001) *City Logistics. Network modelling and intelligent transport systems*. Pergamon. Elsevier Science. Amsterdam – London – New York – Oxford – Paris – Shannon – Tokio.

Thielen, J. (2004) Economische en ecologische kosten voor intermodaal vervoer in samenwerking met de Groep H. Essers. Eindverhandeling TEW/Hi. Universiteit Hasselt. Diepenbeek.

Transport en Logistiek Nederland (1999) Het vergelijken van appels met peren. Pleidooi van Transport en Logistiek Nederland voor het ontmythologiseren van de milieueffecten van een modal shift. Transport en Logistiek Nederland. Zoetermeer.

Transport en Logistiek Nederland (2004) *Gelijke monniken, gelijke kappen. Pleidooi van Transport en Logistiek Nederland voor een praktisch en transparant systeem van doorberekening van maatschappelijke kosten in de transportsector om overheidsdoelstellingen te halen bij gelijke behandeling van vervoerswijzen*. Transport en Logistiek Nederland. Zoetermeer.

Vannoni, C., Piccioni, N. en Leone, G. (2001) *Presentation of the DSS (an illustration of how it can be used for policy purposes)*. Gepresenteerd tijdens de laatste workshop van RECORDIT. Brussel. 20-21 December 2001.

Van Wee, B., Janse, P. en Van Den Brink, R. (2005) *Comparing Energy Use and Environmental Performance of Land Transport Modes*. Transport Reviews. Vol 25. nr 1. p.3-24.

Walstra, J.G., Binsbergen, A.J. en Kroon, M.C. (1995) *Emissies van gecombineerd vervoer: transport verontreinigde grond Aagrunol: van casus naar beslissingsondersteunend model*. Lucht: kwartaalblad over alle facetten van luchtverontreiniging. Vol 12. nr 2. p.46-51.

Weinreich, S., Bühler, G., Schmid, S., Bickel, P., Friedrich, R., Ricci, A., Enei, R., Baccelli, O., Vaghi, C., Zucchetti, R., Cini, T. en Henriques, M. (2000) *Deliverable 1: Accounting framework*. European research project RECORDIT. Brussel.

Whitehead, J.C., Pattanayak, S.K., Van Houtven, G.L. en Gelso, B.R. (2007) Combining revealed and stated preference data to estimate the nonmarket value of ecological services: an assessment of the state of the science. Department of Economics. Appalachian State University.

Witlox, F. (2006) *Vervoersbeleid: Expeditie – Verzending van Goederen*. Universiteit Hasselt. Diepenbeek.

Wolfgang, S. (2003) *Transport noise: a challenge for sustainable mobility*. International Social Science Journal. 55(2), p.279-294.

Bijlagen

Bijlage 1: Voorbeeld van een impact pathway

Bijlage 2: Overzicht van drie corridors in RECORDIT

Bijlage 3: Overzicht van de resultaten van RECORDIT

Bijlage 4: Grafische voorstelling van het transportnetwerk in het model van Janic

Bijlage 5: Verklaring van de symbolen en gebruikte data bij het model van Janic

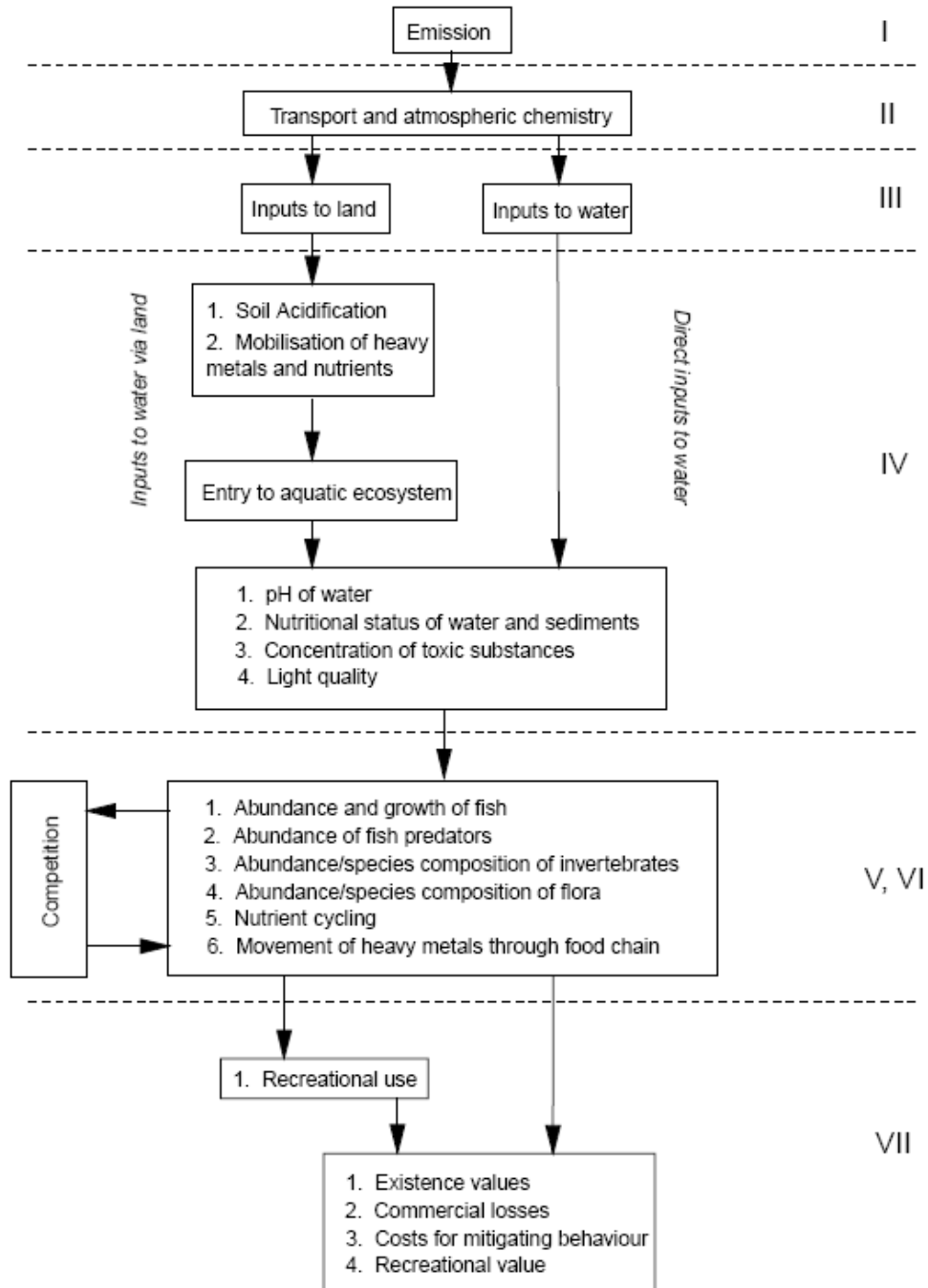
Bijlage 6: Resultaten van het model van Janic

Bijlage 7: De externe kosten van wegtransport volgens Janic

Bijlage 8: Resultaten van de sensitiviteitsanalyse

Bijlage 9: Vergelijking van het effect van een wijziging van de parameters met betrekking tot het hoofdtransport op de externe kosten van intermodaal transport

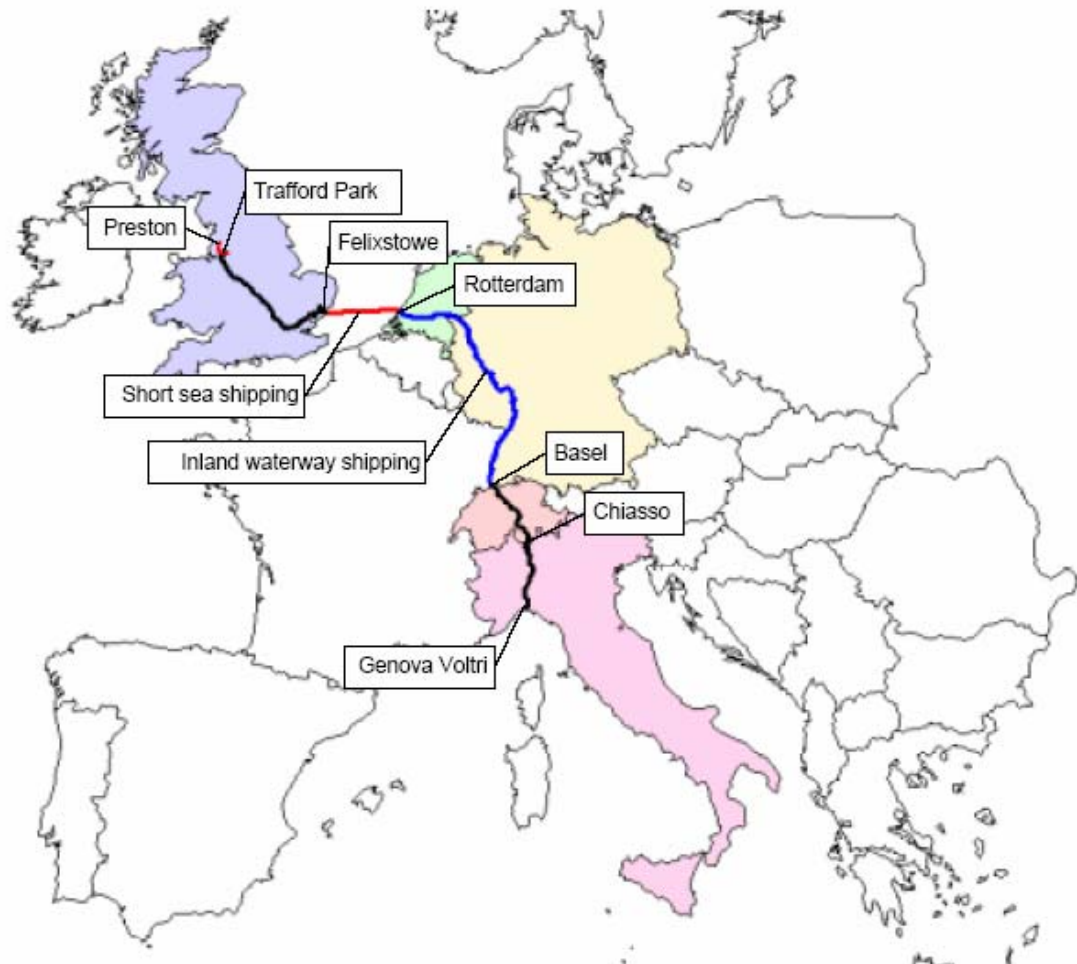
Bijlage 1: Voorbeeld van een impact pathway



Bron: Europese Commissie, 1995: p.20

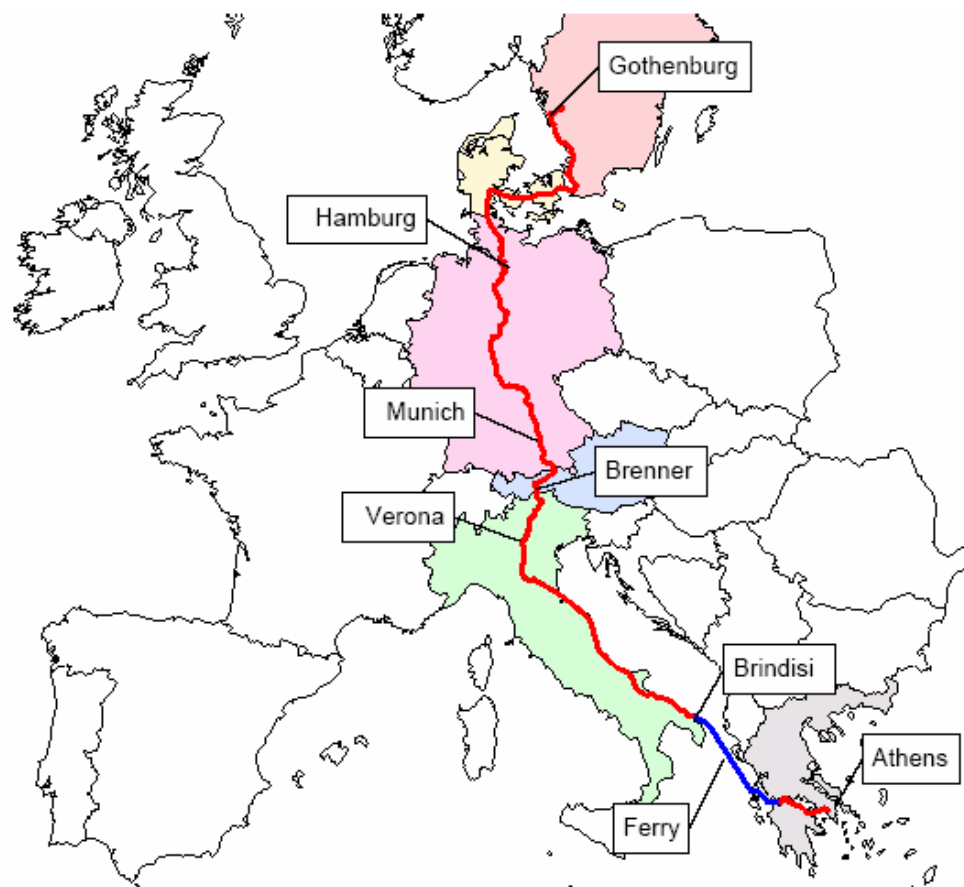
Bijlage 2: Overzicht van drie corridors in RECORDIT

Corridor Genua – Preston (Manchester)



Bron: Baccelli et al., 2001a: p.60

Corridor Athene – Göteborg



Bron: Baccelli et al., 2001a: p.69

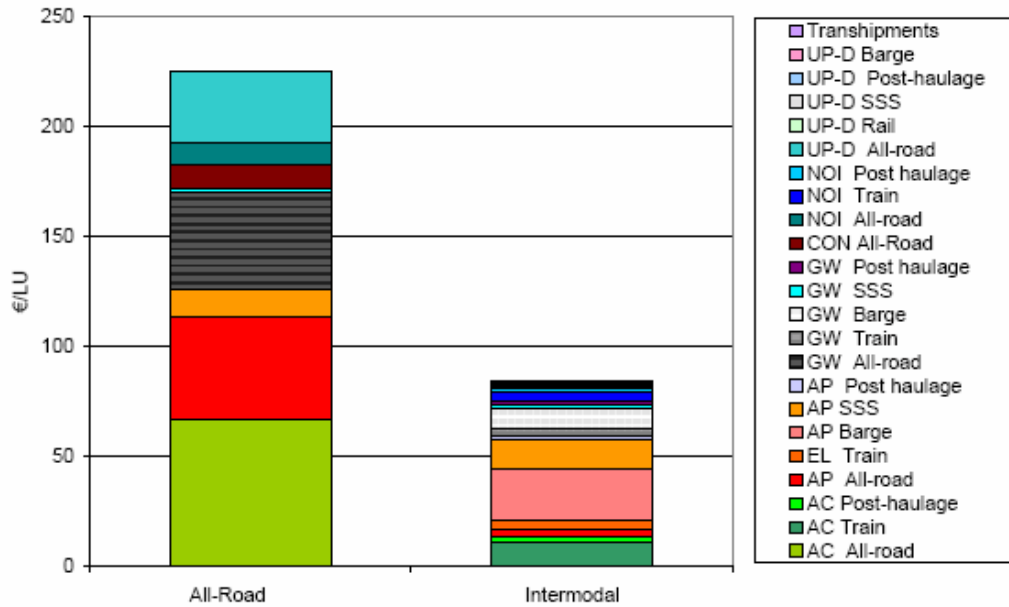
Corridor Barcelona – Warschau



Bron: Baccelli et al., 2001a: p.79

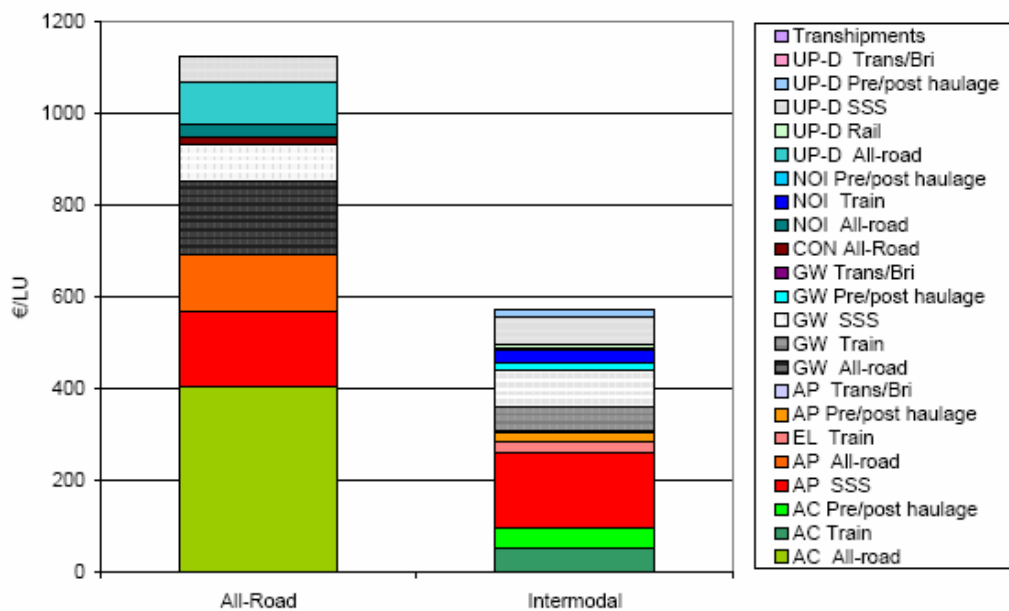
Bijlage 3: Overzicht van de resultaten van RECORDIT

Corridor Genua – Preston (Manchester)



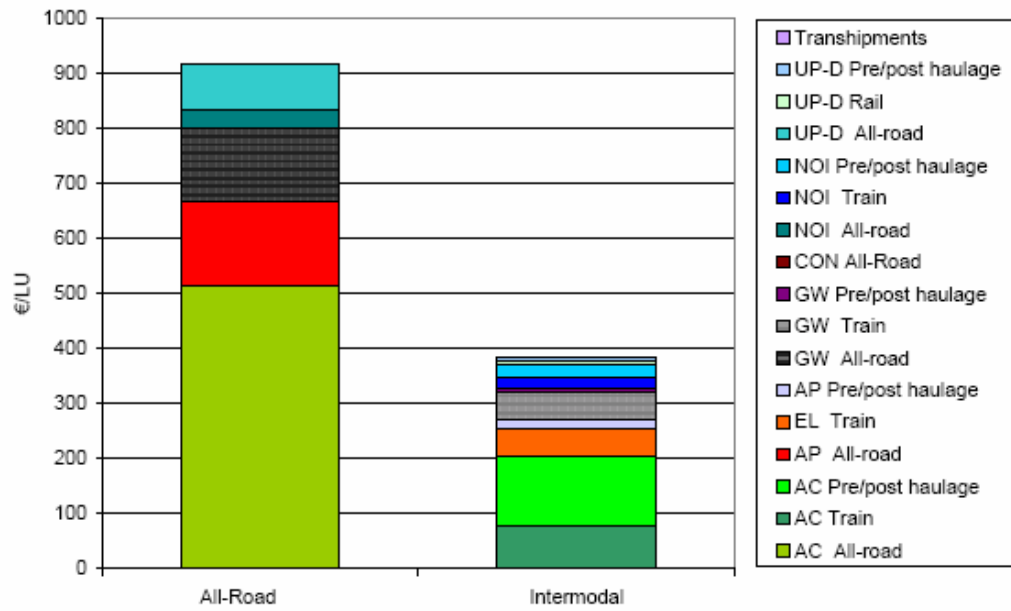
Bron: Baccelli et al., 2001a: p.67

Corridor Athene – Göteborg



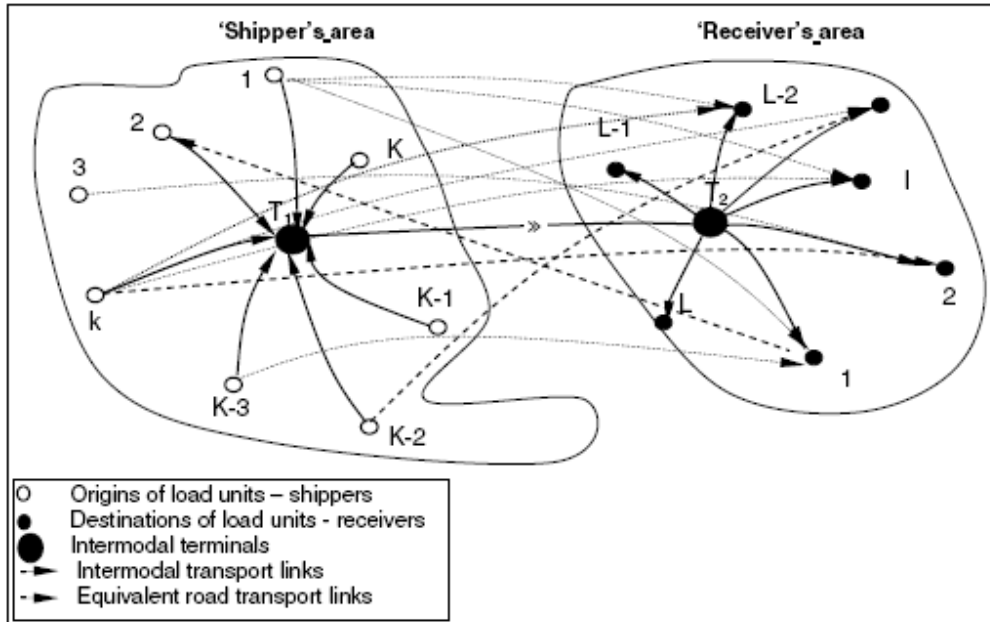
Bron: Baccelli et al., 2001a: p.78

Corridor Barcelona – Warschau



Bron: Baccelli et al., 2001a: p.84

Bijlage 4: Grafische voorstelling van het transportnetwerk in het model van Janic



Bron: Janic, 2007: p.34

Bijlage 5: Verklaring van de symbolen en gebruikte data bij het model van Janic

Intermodaal transport			
Symbool	Waarde/Formule	Eenheid	Verklaring
$C_{int(1)}$	$\left(\frac{Q_k}{\lambda_k \times M_k} \right) \times c_{e/k}(d_k)$	euro	Externe kosten van een voor- of natransport
Q_k		TEU	Aantal volle laadeenheid-equivalenten opgehaald/verdeeld in zone k
λ_k	0,60	-	Beladingsgraad van vrachtwagens in zone k
M_k	2	TEU	Vrachtwagencapaciteit in zone k
$c_{e/k}(d_k)$	$9,88 \times d_k^{-0,624} \times d_k$	euro	Externe kosten per rit in zone k
d_k	50	km	Afstand van het voor- of natransport in zone k
$C_{int(2)}$	$Q \times (c_{e1} + c_{e2})$	euro	Externe kosten veroorzaakt in de terminals
Q		ton	Gewicht van de getransporteerde goederen
c_{e1}	0,0549	euro/ton	Externe kosten van de terminal in verzendingszone per ton behandelde goederen
c_{e2}	0,0549	euro/ton	Externe kosten van de terminal in ontvangstzone per ton behandelde goederen

Bron: Janic, 2007

$C_{\text{int}(3)}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \times c_e(w, s) \times \left[\frac{Q \times T \times (\alpha_{b1} + \alpha_{b2})}{c(w, s) + c_e(w, s)} \right]^{-0.5}$	euro	Externe kosten van het hoofdtransport
$c_e(w, s)$	$0,57 \times (w \times s)^{0,6894}$	euro	Externe kosten per trein
$c(w, s)$	$0,58 \times (w \times s)^{0,74}$	euro	Interne kosten per trein
w	1560,55	ton	Totale gewicht van een geladen trein
s		km	Afstand van het hoofdtransport
Q		ton	Gewicht van de getransporteerde goederen
T	120	uur	Tijdspanne van het netwerk tijdsspanne
α_{b1}	0,028	euro/(ton * uur)	Tijdskosten van goederen in terminal in de verzendingszone
α_{b2}	0,028	euro/(ton * uur)	Tijdskosten van goederen in terminal in de ontvangstzone
C_{int}	$2 \times C_{\text{int}(1)} + C_{\text{int}(2)} + C_{\text{int}(3)}$	euro	Totale externe kosten van intermodaal transport

Bron: Janic, 2007 en Daganzo, 1999

Unimodaal wegtransport			
Symbol	Waarde/Formule	Eenheid	Verklaring
C_{weg}	$\left(\frac{Q_{kl}}{\lambda_{kl} \times M_{kl}} \right) \times c_{e/kl}(d_{kl})$	euro	Totale externe kosten van unimodaal wegtransport
Q_{kl}		TEU	Aantal volle laadeenheid-equivalenten getransporteerd van zone k naar zone l
λ_{kl}	0,85	-	Beladingsgraad van vrachtwagens van zone k naar zone l
M_{kl}	2	TEU	Vrachtwagencapaciteit van zone k naar zone l
$c_{e/kl}(d_{kl})$	$9,88 \times d_{kl}^{-0,624} \times d_{kl}$	euro	Externe kosten per rit van zone k naar zone l
d_{kl}		km	Deur-tot-deur afstand van zone k naar zone l

Bron: Janic, 2007

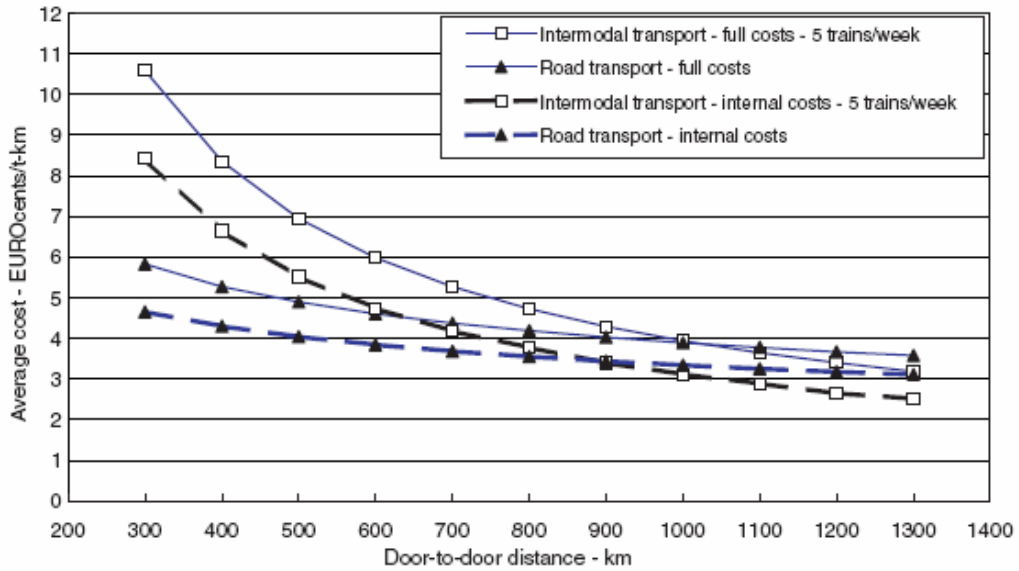
Andere data

Verklaring	Waarde	Eenheid
Nettogewicht van een volle TEU-container	12	ton/TEU
Brutogewicht van een volle TEU-container	14,3	ton/TEU
Aantal goederenwagons per trein	26	goederenwagons
Capaciteit van een goederenwagon in TEU	3	TEU
Capaciteit van een goederenwagon in ton	42,9	ton
Gewicht van een goederenwagon	24	ton
Gewicht locomotief	100	ton
Gewicht van een lege trein	$(26 \times 24) + 100 = 724$	ton
Beladingsgraad van een trein	0,75	-
Nettogewicht van een treinlading	$12 \times 26 \times 3 \times 0,75 = 702$	ton
Brutogewicht van een treinlading	$14,3 \times 26 \times 3 \times 0,75 = 836,55$	ton
Totale gewicht van een geladen trein	$724 + 836,55 = 1560,55$	ton
Aantal treinen per week	5	-
Nettogewicht van de getransporteerde goederen	$702 \times 5 = 3510$	ton

Bron: Janic, 2007

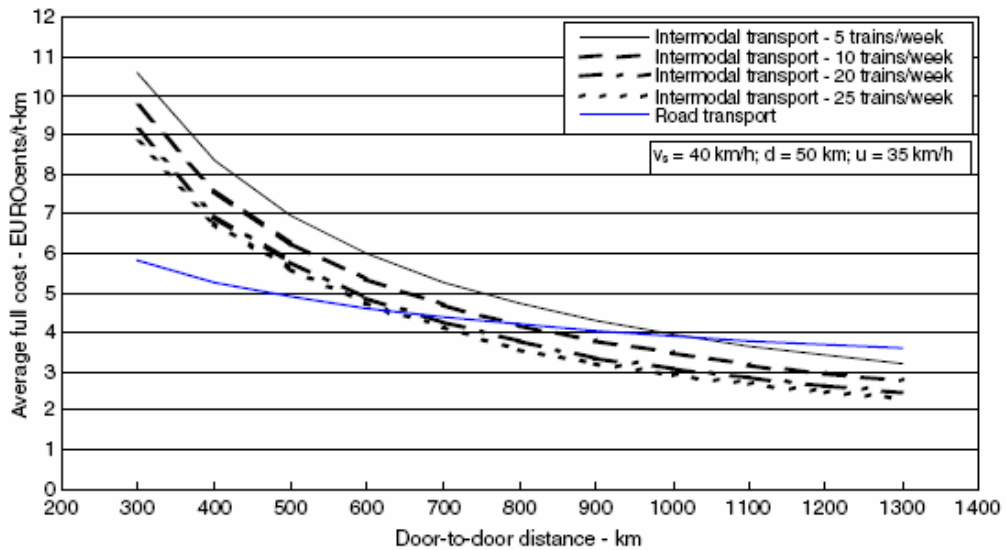
Bijlage 6: Resultaten van het model van Janic

Overzicht van de gemiddelde interne en totale kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport per tonkilometer bij verschillende deur-tot-deur afstanden



Bron: Janic, 2007: p.41

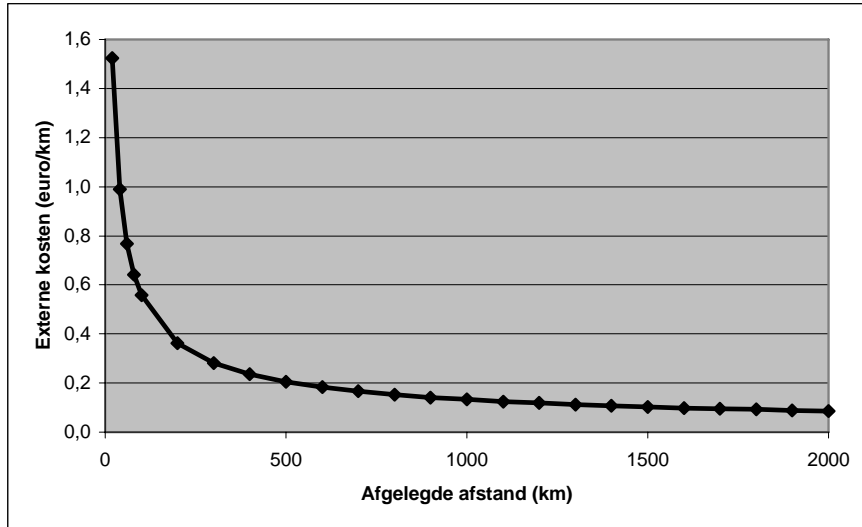
Overzicht van de gemiddelde totale kosten van intermodaal transport en unimodaal wegtransport per tonkilometer bij verschillende transportvolumes



Bron: Janic, 2007: p.42

Bijlage 7: De externe kosten van wegtransport volgens Janic

De externe kosten van wegtransport per voertuigkilometer volgens Janic



Bron: Janic, 2007 (eigen opstelling)

Bijlage 8: Resultaten van de sensitiviteitsanalyse

waarde	break-even afstand	deur-tot-deur afstand												
		300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300		
0 basiscase	intermodaal		2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159	
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521	
1 beladingsgraad voor- en natransport	intermodaal	0,50	2,7823	2,1247	1,7239	1,4536	1,2586	1,1112	0,9958	0,9028	0,8263	0,7623	0,7078	
		0,60	1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		0,70	1284	2,0996	1,6127	1,3143	1,1122	0,9660	0,8552	0,7682	0,6980	0,6401	0,5916	0,5502
		0,80	912	1,8863	1,4527	1,1863	1,0056	0,8746	0,7752	0,6971	0,6340	0,5820	0,5382	0,5010
		0,90	672	1,7203	1,3283	1,0868	0,9226	0,8035	0,7130	0,6418	0,5842	0,5367	0,4968	0,4627
		1,00	509	1,5876	1,2287	1,0071	0,8562	0,7466	0,6632	0,5975	0,5444	0,5005	0,4636	0,4321
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521	
2 externe kosten voor- en natransport	intermodaal	0,46	373	1,4577	1,1313	0,9292	0,7913	0,6909	0,6145	0,5542	0,5054	0,4651	0,4311	0,4021
		0,56	632	1,6892	1,3049	1,0681	0,9070	0,7901	0,7013	0,6314	0,5749	0,5282	0,4890	0,4555
		0,66	967	1,9207	1,4785	1,2069	1,0228	0,8893	0,7881	0,7085	0,6443	0,5913	0,5468	0,5089
		0,76	1388	2,1521	1,6521	1,3458	1,1385	0,9886	0,8749	0,7857	0,7138	0,6545	0,6047	0,5623
		0,86	1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		0,96	2510	2,6151	1,9993	1,6236	1,3700	1,1870	1,0485	0,9400	0,8526	0,7807	0,7204	0,6692
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521	
3 afstand voor- en natransport	intermodaal	10,00	426	1,5216	1,1726	0,9591	0,8145	0,7097	0,6302	0,5676	0,5171	0,4754	0,4403	0,4104
		20,00	809	1,8358	1,4096	1,1494	0,9734	0,8462	0,7498	0,6741	0,6130	0,5626	0,5203	0,4843
		30,00	1179	2,0581	1,5779	1,2847	1,0866	0,9435	0,8351	0,7500	0,6815	0,6249	0,5775	0,5372
		40,00	1543	2,2351	1,7124	1,3932	1,1775	1,0216	0,9037	0,8111	0,7365	0,6751	0,6236	0,5797
		50,00	1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		60,00	2255	2,5133	1,9252	1,5653	1,3219	1,1461	1,0130	0,9086	0,8244	0,7552	0,6971	0,6477
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521	

	waarde	break-even afstand	deur-tot-deur afstand										
			300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
4 aantal treinen per week	intermodaal	2126	2,4261	1,8621	1,5167	1,2829	1,1138	0,9857	0,8851	0,8040	0,7372	0,6811	0,6333
		1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		1754	2,3530	1,7995	1,4616	1,2335	1,0689	0,9443	0,8467	0,7681	0,7034	0,6491	0,6030
		1650	2,3289	1,7788	1,4435	1,2172	1,0541	0,9307	0,8341	0,7562	0,6922	0,6386	0,5930
		1572	2,3095	1,7621	1,4288	1,2041	1,0421	0,9197	0,8238	0,7467	0,6832	0,6301	0,5849
		1511	2,2934	1,7483	1,4167	1,1932	1,0322	0,9106	0,8154	0,7388	0,6758	0,6230	0,5782
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521
5 aantal goederenwagons per trein	intermodaal	1945	2,3927	1,8334	1,4915	1,2603	1,0932	0,9668	0,8675	0,7876	0,7217	0,6665	0,6194
		1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		1864	2,3767	1,8197	1,4794	1,2495	1,0834	0,9577	0,8591	0,7797	0,7143	0,6595	0,6128
		1833	2,3702	1,8142	1,4746	1,2451	1,0794	0,9540	0,8557	0,7765	0,7113	0,6566	0,6101
		1806	2,3645	1,8093	1,4702	1,2412	1,0759	0,9508	0,8527	0,7737	0,7086	0,6541	0,6077
		1782	2,3593	1,8049	1,4663	1,2377	1,0727	0,9479	0,8500	0,7712	0,7063	0,6519	0,6056
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521
6 beladingsgraad treinen	intermodaal	1990	2,4013	1,8408	1,4980	1,2661	1,0985	0,9716	0,8721	0,7918	0,7257	0,6702	0,6230
		1901	2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
		1833	2,3701	1,8141	1,4745	1,2450	1,0794	0,9540	0,8557	0,7765	0,7113	0,6566	0,6101
		1779	2,3585	1,8042	1,4658	1,2372	1,0723	0,9474	0,8496	0,7708	0,7059	0,6515	0,6053
	weg		1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521
7 beladingsgraad wegtransport	intermodaal		2,3841	1,8261	1,4850	1,2545	1,0880	0,9619	0,8630	0,7833	0,7177	0,6627	0,6159
	weg	224	2,6038	2,1759	1,8931	1,6895	1,5346	1,4119	1,3119	1,2284	1,1575	1,0963	1,0429
		435	2,1304	1,7803	1,5489	1,3823	1,2556	1,1552	1,0733	1,0050	0,9470	0,8970	0,8533
		758	1,8026	1,5064	1,3106	1,1697	1,0624	0,9775	0,9082	0,8504	0,8013	0,7590	0,7220
		1231	1,5623	1,3056	1,1359	1,0137	0,9208	0,8471	0,7871	0,7370	0,6945	0,6578	0,6257
		1901	1,3785	1,1520	1,0022	0,8945	0,8124	0,7475	0,6945	0,6503	0,6128	0,5804	0,5521
		2824	1,2334	1,0307	0,8967	0,8003	0,7269	0,6688	0,6214	0,5819	0,5483	0,5193	0,4940

Bijlage 9: Vergelijking van het effect van een wijziging van de parameters met betrekking tot het hoofdtransport op de externe kosten van intermodaal transport

Wijziging (beginwaarde is originele waarde)	Extra aantal ton getransporteerde goederen	Vermindering van de externe kosten van intermodaal transport (300 km)
Aantal treinen van 5 naar 6	$26 \times 3 \times 12 \times 0,75$ = 702 ton	0,0310 eurocent/tkm
Aantal goederenwagons van 26 naar 32	$6 \times 3 \times 5 \times 12 \times 0,75$ = 810 ton	0,0139 eurocent/tkm
Beladingsgraad van 0,75 naar 0,90	$26 \times 3 \times 5 \times 12 \times 0,15$ = 702 ton	0,0200 eurocent/tkm