

Studie van de economische, maatschappelijke, ecologische en energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer

Toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V.

Jennifer Geerts

promotor :
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

co-promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelsingenieur 'Operationeel Management en Logistiek' aan de Universiteit Hasselt te Diepenbeek. De keuze van mijn onderwerp werd ingegeven door mijn interesse in de logistieke wereld. Vandaar betekende het onderwerp 'haalbaarheid van multimodaal vervoer' voor mij een uitgelezen kans om me verder te verdiepen in dit onderzoeksdomein.

Bij de totstandkoming van deze eindverhandeling wil ik oprecht een woord van dank richten aan iedereen die een bijdrage heeft geleverd. In de eerste plaats wens ik mijn uitdrukkelijke dank te betuigen aan mijn promotor Prof. dr. ir. F. Lemeire voor zijn professionele begeleiding, steun en raadgevingen. Vervolgens gaat bijzondere dank uit naar mijn copromotor Prof. dr. G. Janssens voor zijn deskundig advies en opbouwende feedback gedurende het verloop van deze thesis. Vervolgens wil ik ook nog mijn welgemeende dank betuigen aan de heer D. Gheys van de transportonderneming Transport Gheys N.V.. Hij heeft me de nodige data voor de uitwerking van de toepassing ter beschikking gesteld en stond steeds klaar om verdere vragen hierover te beantwoorden. Ik ben hem dan ook van harte dankbaar voor zijn bereidwillige medewerking.

Een speciaal dankwoord is gericht aan mijn ouders voor hun onvoorwaardelijke steun en interesse gedurende mijn studieloopbaan. Voorts gaat bijzondere dank uit naar mijn vriend voor zijn hulp en goede raad. Ten slotte wil ik mijn vrienden en vriendinnen bedanken, aangezien ik steeds kon rekenen op hun aanmoedigende woorden. Zonder de steun van deze personen zou het niet mogelijk geweest zijn deze opleiding tot een goed einde te brengen.

Samenvatting

In het **eerste hoofdstuk** wordt voor het onderzoeksdomein, met name de haalbaarheid van multimodaal vervoer, de probleemstelling, de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen uitgediept. Een economie zonder vervoer is ondenkbaar voor onze maatschappij. De vervoersector is immers een dienstverlenende sector die instaat voor verplaatsing van personen en goederen. De drie voornaamste transportmodaliteiten die in Vlaanderen worden ingezet voor het goederenvervoer, zijn het weg-, het spoor- en het binnenvaartvervoer. In het verleden is er een voortdurende absolute toename waargenomen van het Vlaamse vrachtvervoer. Zo werd in 1995 bijna 32 Gtonkm getransporteerd door alle transportmodi samen, terwijl in 2007 dit cijfer toegenomen was tot ongeveer 47 Gtonkm. Hierin neemt het wegtransport een dominante positie in. Het aandeel van het wegvervoer in het totale vrachtvervoer bedraagt maar liefst 79%, terwijl 14% gaat via de binnenvaart en slechts 7% via het spoor. De gevolgen hiervan zijn reeds vandaag de dag duidelijk zichtbaar. Zo geraken onze wegen steeds meer verzadigd, zijn er een groot aantal ongevallen op de weg en komt het milieu onder een steeds grotere druk te staan.

Tevens zet de groeiende bezorgdheid over de grondstoffenschaarste ondernemingen er toe aan om aandacht te schenken aan het energieverbruik. Indien de huidige mondiale productiehoeveelheid van fossiele brandstoffen blijft aanhouden, zullen de ontginbare oliereserves nog tot 2045 volstaan. Dit betekent dan ook dat vanuit ethisch perspectief een verschuiving van het wegvervoer naar meer energie-efficiënte modi, zoals de trein en het binnenschip, wenselijk is.

De enige manier om de nefaste impact van het wegvervoer te reduceren, is het stimuleren van alternatieven, zoals de binnenvaart en het spoorvervoer. Vermits het vervoer langs de weg niet volledig gesubstitueerd kan worden door vervoer via spoor of via binnenschip omwille van de bereikbaarheid, is multimodaal vervoer aangewezen. In multimodaal vervoer zal meestal het voor- en natransport nog via de weg verlopen, terwijl het hoofdvervoer door een alternatieve modus wordt uitgeoefend. Het multimodaal transport zal in de toekomst meer aan belang winnen door de toenemende negatieve effecten van het wegvervoer. Vandaar zal in deze masterproef een algemeen wiskundig haalbaarheidsmodel opgesteld worden voor multimodaal vervoer. Aan de hand van dit model kan dan nagegaan worden welke vervoerswijze, unimodaal of multimodaal vervoer, optimaal is vanuit economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch perspectief.

Hoofdstuk twee beschrijft de drie aspecten van de economie die elk hun rol hebben in het kader van de haalbaarheidsstudie, met name een normatief, een wetenschappelijk en een wiskundig aspect. Het normatief aspect van de economie onderzoekt wat men wil bereiken, rekening houdend met specifieke waarderingsoordelen. Deze waardeoordelen zijn subjectief. Het wetenschappelijk aspect van de economie steunt op waarnemingen en is bijgevolg objectief. Het laatste economisch

aspect omvat de wiskundige economie, die betrekking heeft op noodzakelijke gevolgen. Deze economie steunt niet op waarnemingen, maar op logisch wiskundig redeneren.

In het **derde hoofdstuk** wordt een globaal beeld geschetst over de ecologische evolutie van onze aarde samen met de rol van de mens hierin en de mogelijke impact hiervan op wereldschaal. Ook zal de ecologische situatie voor België worden nagegaan en de invloed van de transportsector. Het verdrag van Kyoto, met als doel de uitstoot van broeikasgassen te beperken, zal hierbij ook aan bod komen. De groeiende bezorgdheid over de klimaatopwarming zet bedrijven er toe aan om de CO₂-emissie aan te pakken. Uit de literatuur blijkt dat transport in 2008 in Vlaanderen verantwoordelijk is voor 19% van de totale uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O en F-gassen) en goed is voor 22% van de totale CO₂-emissie. Hierin leveren vooral lichte vrachtwagens een grote bijdrage, terwijl het vervoer over spoor en water in het algemeen gepaard gaat met de laagste CO₂-uitstoot. Vanuit de wereldwijde bezorgdheid over de klimaatopwarming, zou de overschakeling van wegvervoer naar vervoer via binnenschip of spoor, gestimuleerd kunnen worden. Aan de hand van de geëmitteerde hoeveelheid CO₂ door zowel de multimodale als unimodale vervoerswijze, kan de ecologische haalbaarheid onderzocht worden voor beide trajecten.

Het **vierde** hoofdstuk geeft een overzicht van de interne of private kosten van het goederenvervoer. Het betreft kosten die ten laste vallen van de onderneming, bijvoorbeeld brandstof- en personeelskosten. De ondernemingen streven daarom naar de minimalisering van deze kosten en dus naar het privaat optimum. De interne kosten die in dit hoofdstuk worden behandeld, zijn de transportkosten, kosten van goederenbehandeling, voorraadkosten, kosten van voorraadtekort, verpakkingskosten, kosten van orderbehandeling en administratie, instelkosten en kosten van klantenservice en van vestigingplaats.

Aan de hand van de transport- en overslagkost zal het economisch haalbaarheidsgebied uitgezet worden. De transportkost is de kost die rechtstreeks veroorzaakt wordt door het transport van goederen van de leverancier naar de klant. Bij het multimodaal vervoer is er nog een extra kost, namelijk de overslagkost, voor het overslaan van de goederen van de vrachtwagen naar een alternatieve modus, zoals het spoor of de binnenvaart en omgekeerd.

In het **vijfde hoofdstuk** volgt een uiteenzetting van de externe effecten van het vrachtvervoer. Het gaat om kosten die niet gedragen worden door de ondernemer. Ze worden meestal niet via het prijsmechanisme aangerekend aan de consument en worden bijgevolg afgewenteld op de maatschappij nu of in de toekomst. In dit hoofdstuk zullen de marginale externe kosten voor ongevallen, congestie, milieu (geluidshinder, luchtverontreiniging en klimaatverandering) en infrastructuur besproken worden. De waardering van de externe effecten behoort grotendeels tot de normatieve economie. Niet ieder individu hecht evenveel belang aan het milieu en de kwaliteit van het hedendaags leven. Vandaar is de schatting van deze kosten subjectief. Wanneer ze

kwantitatief worden ingeschat, blijkt dat voor het jaar 2010 de marginale externe kosten van het wegtransport bijna drie keer zo hoog zijn als deze van de binnenvaart en het spoorvervoer. Wanneer de overheid de optimale beslissing wil stimuleren omtrent de keuze van de vervoersmodus voor de gehele samenleving, zal de externe kost van de transportmodi steeds in acht moeten genomen worden. Het maatschappelijk haalbaarheidsgebied vergelijkt daarom beide transportalternatieven op basis van de sociale kost die zowel de economische als de externe kost omvat. Het is de taak van de overheid om dit maatschappelijk optimum te bereiken.

Het **zesde hoofdstuk** bespreekt de toekomstige vervoertrends voor België op basis van een referentiescenario ontwikkeld door het Federaal Planbureau in samenwerking met de Federale Overheidsdienst (FOD) Mobiliteit en Vervoer. Hierbij wordt een beeld geschetst van hoe de toekomst inzake externe kosten van transport er kan uitzien tegen 2030. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van mogelijke overheidsmaatregelen, die zowel een modal shift als comodaliteit nastreven binnen een duurzaam beleidskader om de ongewenste externe effecten van transport te reduceren. Een modalshiftbeleid is gericht op het beperken van de groei van het wegvervoer ten voordele van het spoor en de binnenvaart, terwijl comodaliteit zich richt op de efficiënte inzet van verschillende vervoersmodi of een combinatie daarvan. Enkele beleidsmaatregelen die aan bod komen om het voorgestelde beleid uit te voeren zijn het internaliseren van externe kosten, het verlenen van subsidies en het aanpassen van de wetgeving.

In **hoofdstuk zeven** zal op basis van een algemeen wiskundig model een vergelijking worden gemaakt tussen twee mogelijke transporttrajecten, namelijk een unimodaal en een multimodaal traject. Het haalbaarheidsmodel is gebaseerd op twee verhoudingen, namelijk p en q . De waarde p geeft de verhouding weer van de variabele kost per tonkm tussen het multimodaal natransport en het unimodaal transport, terwijl q de verhouding is van de vaste kost per ton van vertrekplaats A naar eindterminal T van het multimodaal vervoer ten opzichte van het unimodaal vervoer.

Bij de bespreking van de haalbaarheidsfiguren zal steeds de breakeven figuur getoond worden. Punten gelegen op de rand van deze figuur geven aan dat het multimodaal traject even voordelig is als het unimodaal traject. Het algemeen haalbaarheidsgebied zal onderzocht worden voor twee situaties, namelijk voor een verhouding van de variabele kost per tonkm tussen het multimodaal natransport en het unimodaal transport gelijk aan 1 en groter dan 1. Om het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer te bepalen, dient de waarde van q steeds kleiner te zijn dan 1.

De eerste situatie, waarbij verhouding p gelijk is aan 1, is praktisch gezien weinig realistisch. De tweede situatie daarentegen zal zeker vanuit economisch standpunt meer voorkomen. Het is namelijk zo dat de transportkost per tonkm van het natransport meestal duurder is dan deze van het unimodaal vervoer. Aangezien het rechtstreeks vervoer over een langere afstand plaatsvindt, zal de transportkost per tonkm afnemen wegens schaalvoordelen. Deze verhouding tussen de

variabele transportkosten kan zich onder andere voordoen bij het vervoer in hetzelfde land. Bij de grafische voorstelling van de eerste en de tweede situatie wordt respectievelijk een hyperbool en een eivormige figuur rond de tweede terminal bekomen.

Tevens zal de verandering van het gebied geanalyseerd worden bij een wijzigende verhouding van de kost tussen het multimodaal en unimodaal vervoer. Daarna wordt aan de hand van positieve en negatieve equiprofitlijnen nagegaan hoeveel winst of verlies het multimodaal traject genereert in vergelijking met het unimodaal traject. Deze equiprofitlijnen kunnen zowel relatief als absoluut beschouwd worden. Om onzekerheden in het goederenvervoer in rekenschap te brengen, onder andere files en ongevallen in het wegvervoer, worden eveneens equiprofitgebieden ontwikkeld. Een equiprofitgebied geeft aan binnen welke regio het haalbaarheidsgebied kan variëren bij stochastische kostenwaarden.

In **hoofdstuk acht** zal het algemeen haalbaarheidsmodel op vier te onderscheiden domeinen onderzocht worden. Dit betekent dat er vier vergelijkingscriteria gehanteerd zullen worden om het unimodaal met het multimodaal vervoer te vergelijken, meerbepaald de economische, sociale, energetische en ecologische kost. De haalbaarheidsgebieden worden dan berekend op basis van een gekozen vergelijkingscriterium en binnen de gemaakte assumpties. Hierdoor kan nagegaan worden welk transporttraject, multimodaal of unimodaal, het meest rendabel is vanuit het gekozen standpunt. In het laatste gedeelte van dit hoofdstuk zal aan de hand van relatieve equiprofitlijnen gelijktijdig onderzocht worden op welke locaties een bepaald energetisch, ecologisch of maatschappelijk voor- of nadeel gegenereerd wordt gepaard gaande met een economisch voor- of nadeel, wanneer multimodaal getransporteerd wordt.

Hoofdstuk negen veronderstelt dat men bij het multimodaal vervoer geconfronteerd wordt met de keuze tussen meerdere eindterminals in de omgeving van de bestemming. In dit hoofdstuk zal vanuit economisch standpunt de keuze van twee mogelijke eindterminals worden geanalyseerd. Vervolgens zal aan de hand van relatieve equiprofitlijnen het winst- of verliespercentage nagegaan worden van beide eindterminals.

In **hoofdstuk tien** zal het wiskundig haalbaarheidsmodel aan de hand van een toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V. praktisch geïllustreerd worden. Eerst volgt er een voorstelling van de transportonderneming en een beschrijving van het geanalyseerde traject. Hierna wordt aan de hand van de modellen in hoofdstuk acht de haalbaarheid onderzocht van het multimodaal traject op basis van de vier vergelijkingscriteria. Tenslotte zal via absolute equiprofitlijnen gelijktijdig nagegaan worden hoeveel het economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch kostenvoor- of nadeel bedraagt in absolute termen indien multimodaal getransporteerd wordt.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

Samenvatting

Inhoudsopgave

Lijst met afkortingen

Lijst met figuren

Lijst met tabellen

Hoofdstuk 1: Probleemstelling goederenvervoer	1
1.1 Praktijkprobleem	1
1.2 Redenen voor overheidsoptreden bij het transportgebeuren	3
1.2.1 <i>Het niet verrekenen van externe kosten door de onderneming</i>	3
1.2.2 <i>Toekomstvisie</i>	4
1.2.3 <i>Transgenerationale solidariteit</i>	5
1.2.4 <i>Transnationale solidariteit</i>	6
1.2.5 <i>Sociaal argument</i>	8
1.2.6 <i>Technologisch multiplicatoreffect</i>	8
1.2.7 <i>Sociaal multiplicatoreffect</i>	8
1.3 Centrale onderzoeksvraag	9
1.4 Deelvragen	9
1.5 Onderzoeksopzet	10
Hoofdstuk 2: Bespreking van het goederenvervoer in de economie	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Drie aspecten van de economie en hun rol in de haalbaarheidstudie	11
2.2.1 <i>Normatief aspect</i>	11
2.2.2 <i>Wetenschappelijk aspect</i>	12
2.2.3 <i>Wiskundig aspect</i>	13
Hoofdstuk 3: Het wereldwijde belang van de ecologie	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Ecologische evolutie en de impact van de mens op het CO ₂ -gehalte	14
3.3 Gevolgen op wereldschaal	16
3.4 Situatie voor Vlaanderen	17
3.4.1 <i>Aandeel van de verschillende broeikasgassen</i>	17
3.4.2 <i>Invloed van het transport</i>	18

3.5 Verdrag van Kyoto	22
3.6 Ecologie wint aan belang in de bedrijfswereld.....	23
Hoofdstuk 4: De interne kosten van het goederenvervoer	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Transportkosten	26
4.3 Kosten van goederenbehandeling	27
4.4 Voorraadkosten	27
4.5 Kosten van voorraadtekort	31
4.6 Verpakkingskosten.....	31
4.7 Kosten van orderbehandeling en administratie	32
4.8 Instelkosten	32
4.9 Kosten van klantenservice.....	32
4.10 Kosten van vestigingsplaats.....	33
4.11 Kwalitatieve elementen	33
Hoofdstuk 5: De externe kosten van het goederenvervoer	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Marktmechanisme.....	36
5.3. Bespreking externe kostencomponenten	37
5.4 Marginale congestiekosten	38
5.5 Marginale ongevalkosten.....	41
5.6 Marginale milieukosten	42
5.6.1 Kost van geluidshinder	42
5.6.2 Kost van luchtverontreiniging.....	47
5.6.3 Kost van klimaatverandering.....	56
5.7 Marginale infrastructuurkosten.....	58
5.8 Overige externe kosten.....	59
5.9 Evolutie externe kosten tot 2030.....	61
Hoofdstuk 6: Overheidsbeleid	62
6.1 Inleiding	62
6.2 Toekomstvooruitzichten voor transport in België: referentiescenario.....	62
6.3 Mogelijke overheidsmaatregelen	65
6.3.1 Internaliseren van externe kosten	66
6.3.2 Subsidies	70
6.3.3 Optimalisatie van verkeersinfrastructuur	71
6.3.4 Aanpassen van de wetgeving	72
6.3.5 Promotie voeren voor alternatieve transportmodi	73

6.3.6 Ingrijpen op de vervoerskeuze bij ondernemingen.....	73
6.3.7 Ruimtelijke ordening.....	74
6.4 Toekomstig overheidsbeleid	74
6.4.1 Europees beleid.....	74
6.4.2 Federaal beleid.....	75
6.4.3 Vlaams beleid	76

Hoofdstuk 7: Algemene haalbaarheidsgebieden voor multimodaal vervoer in geval van één eindterminal **77**

7.1 Inleiding	77
7.2 Werkwijze algemeen haalbaarheidsmodel	78
7.3 Bepaling van de rand van het haalbaarheidsgebied	85
7.3.1 Vergelijkingen voor het bepalen van de rand	85
7.3.2 Voorwaarde opdat de oplossing toegelaten is.....	86
7.3.3 De oplossing Y	86
7.3.4 Bepaling grenspunten op de x -as	88
7.4 Rand van het algemeen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p=1$	89
7.5 Rand van het algemeen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p>1$	92
7.6 Bespreking veranderde verhouding q in de situatie waar $p=1$	94
7.7 Bespreking variaties van p en q in de situatie waar $p>1$	95
7.8 Bespreking algemeen haalbaarheidsmodel op basis van equiprofitlijnen	99
7.8.1 Bespreking absolute equiprofitlijnen voor de situatie $p=1$	99
7.8.2 Bespreking relatieve equiprofitlijnen voor de situatie $p>1$	100
7.9 Bespreking algemeen haalbaarheidsmodel op basis van equiprofitgebieden	101

Hoofdstuk 8: Haalbaarheidsmodel op basis van de vier vergelijkingscriteria **109**

8.1 Inleiding	109
8.2 Situatieschets.....	109
8.3 Haalbaarheidsmodel op basis van de economische kost	111
8.4 Haalbaarheidsmodel op basis van de sociale kost.....	113
8.5 Haalbaarheidsmodel op basis van de energetische kost	116
8.6 Haalbaarheidsmodel op basis van de ecologische kost	121
8.7 Vergelijking haalbaarheidsmodel op basis van de economische, sociale, energetische en ecologische kost	125
8.8 Vergelijking economisch en ecologisch haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen	128
8.9 Vergelijking economisch en energetisch haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen	130

8.10 Vergelijking economisch en maatschappelijk haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen	133
---	-----

Hoofdstuk 9: Algemene haalbaarheidsgebieden voor multimodaal vervoer in geval van meerdere eindterminals **135**

9.1 Inleiding	135
---------------------	-----

9.2 Situatieschets	135
--------------------------	-----

9.3 Vergelijking tussen multimodaal traject 1 en 2	136
--	-----

Hoofdstuk 10: Toepassing bij Transport Gheys N.V. **140**

10.1 Inleiding.....	140
---------------------	-----

10.2 Voorstelling Transport Gheys N.V.....	140
--	-----

10.3 Beschrijving toepassing	143
------------------------------------	-----

10.4 Uitwerking toepassing op basis van de economische kost	146
---	-----

10.5 Uitwerking toepassing op basis van de sociale kost.....	150
--	-----

10.6 Uitwerking toepassing op basis van de energetische kost.....	153
---	-----

10.7 Uitwerking toepassing op basis van de ecologische kost	156
---	-----

10.8 Vergelijking economisch, sociaal, energetisch en ecologisch haalbaarheidsgebied.....	159
---	-----

Hoofdstuk 11: Conclusies en aanbevelingen **162**

Lijst van geraadpleegde werken **170**

Lijst van bijlagen **177**

Lijst met afkortingen

- J= Joule= de SI-eenheid van energie. 1 J is de (kinetische) energie van 2 kg die een snelheid heeft van 1 m/s.
- g= gram
- μ = micro= 10^{-6}
- k= kilo= duizend= 10^3
- M= mega= miljoen= 10^6
- G= giga= miljard= 10^9
- P= peta= 10^{15}
- m= meter
- km= kilometer
- tonkm= tonkilometer= vervoer van één ton goederen over een afstand van één km
- reizigerskm= reizigerskilometer= een kilometer afgelegd door een reiziger
- voertuigkm= voertuigkilometer= een kilometer afgelegd door een voertuig
- u= uur (h is de SI-eenheid van uur. In deze masterproef wordt echter het symbool u gebruikt om de duur van iets aan te geven.)
- EUR= euro
- ppm= parts per million= deeltjes per miljoen deeltjes
- ppb= parts per billion= deeltjes per miljard deeltjes
- dB= decibel= 10^{-1} Bel
- dB(A)= A-gewogen waarde van het geluidsniveau. De dB(A) is de grootte waarin de geluidsindruk in de meeste gevallen wordt weergegeven zodra het geluid in verband staat met de menselijke waarneming.
- log= de logaritme met grondtal 10. De logaritme x van een positief getal y is de exponent waartoe men het getal 10 moet verheffen om y te bekomen: $x=\log y \Leftrightarrow y=10^x$
- TEU= Twenty Feet Equivalent Unit. Dit is de maateenheid van containertransport. Met deze eenheid wordt de laadcapaciteit aangegeven. Eén TEU is gelijk aan een container van 20 voet lang, 8 voet breed en 8,5 voet hoog. Dit komt overeen met een lengte van 6,1 meter, een breedte van 2,4 meter en een hoogte van 2,6 meter.
- W= Watt= de SI-eenheid van vermogen. De grootte vermogen is de energie of de arbeid die geleverd wordt per tijdseenheid.

Lijst met figuren

Figuur 1: Voorspelling van de groei van het goederentransport in Europa.....	2
Figuur 2: Evolutie van het energiegebruik door transport in Vlaanderen	6
Figuur 3: Evolutie wereldenergieverbruik voor de periode 1983-2008	7
Figuur 4: Evolutie van de temperatuurschommeling op aarde tussen het jaar 1000 en 2000	16
Figuur 5: Evolutie van het CO ₂ -gehalte wereldwijd	16
Figuur 6: Aandeel van CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O en F-gassen in de totale broeikasgasemissie in Vlaanderen in 2008.....	17
Figuur 7: Bijdrage van de verschillende sectoren in de totale broeikasgasemissie in Vlaanderen in 2008.....	19
Figuur 8: Aandeel van de verschillende sectoren in de totale CO ₂ -emissie in Vlaanderen in 2008 .	19
Figuur 9: Evolutie CO ₂ -emissie van diesel, benzine, LPG en wegtransport in België	22
Figuur 10: Cyclusvoorraad bij bestelhoeveelheid Q	30
Figuur 11: Marktmechanisme en sociaal optimum.....	37
Figuur 12: Weergave van verband tussen geluidsintensiteit en afstand tot geluidsbron.....	44
Figuur 13: Aandeel van het weg-, vliegtuig- en spoorverkeer en de scheepvaart in de totale CO-, TSP-, SO ₂ -, NO _x (NO ₂)-, NMVOS-, CH ₄ - en N ₂ O- emissies door transport in Vlaanderen in 2008...	49
Figuur 14: Evolutie van de lood- en benzeenemissie door transport in Vlaanderen van 1995 tot 2007.....	56
Figuur 15: Weergave van totale externe milieu-, congestie- en ongevalkosten	58
Figuur 16: Externe milieukosten van alle levenscycli	60
Figuur 17: Evolutie van het aandeel van de transportmiddelen	63
Figuur 18: Evolutie emissies van het personen- en goederenvervoer in België.....	65
Figuur 19: Voorstelling van het unimodaal en het multimodaal transporttraject.....	79
Figuur 20: Grafische weergave van het uni- en multimodaal vervoer	80
Figuur 21: Grafische voorstelling van de breakeven hyperbool.....	91
Figuur 22: Grafische weergave van de breakeven eivormige figuur	94
Figuur 23: Grafische voorstelling van de invloed van een veranderende verhouding q op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien p=1.	95
Figuur 24: Grafische weergave van absolute equiprofitlijnen indien p=1.....	100
Figuur 25: Grafische weergave van relatieve equiprofitlijnen indien p>1.	101
Figuur 26: Weergave van een mogelijke vorm van de bèta-verdeling.....	103
Figuur 27: Grafische voorstelling van het breakeven haalbaarheidsgebied voor de meest voordelige, gemiddelde en meest nadelige schatting	105
Figuur 28: Grafische voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor de meest voordelige, gemiddelde en meest nadelige schatting bij een meerkost van 5%.....	107

Figuur 29: Grafische voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor de meest voordelige, gemiddelde en meest nadelige schatting bij een minderkost van 5%	108
Figuur 30: Grafische voorstelling unimodaal en multimodaal binnenvaarttraject	110
Figuur 31: Weergave breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de economische kost.....	112
Figuur 32: Voorstelling breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de sociale kost.....	115
Figuur 33: Voorstelling breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de economische en de sociale kost	116
Figuur 34: Weergave breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de energetische kost	120
Figuur 35: Voorstelling breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de ecologische kost	124
Figuur 36: Voorstelling breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de vier kosten	126
Figuur 37: Voorstelling nieuwe breakeven haalbaarheidsfiguur op basis van de vier kosten.....	127
Figuur 38: Voorstelling relatieve equiprofitlijnen voor het economisch en ecologisch haalbaarheidsgebied	129
Figuur 39: Voorstelling relatieve equiprofitlijnen voor het economisch en energetisch haalbaarheidsgebied	131
Figuur 40: Voorstelling relatieve equiprofitlijnen voor het economisch en maatschappelijk haalbaarheidsgebied	133
Figuur 41: Grafische voorstelling van de keuze tussen twee eindterminals	136
Figuur 42: Voorstelling breakeven figuur en relatieve equiprofitlijnen twee eindterminals	138
Figuur 43: Voorstelling opsplitsing haalbaarheidsgebied voor de twee multimodale trajecten.....	138
Figuur 44: Kanaalterminal voor verpakte of stukgoederen van Transport Gheys N.V. in Mol	141
Figuur 45: Kanaalterminal voor bulkgoederen van Transport Gheys N.V. in Mol.....	141
Figuur 46: Het binnenschip 'Mustang' bij Transport Gheys N.V.....	142
Figuur 47: Lossen van het binnenschip bij Transport Gheys N.V. in Mol.....	144
Figuur 48: Laden van de vrachtwagen bij Transport Gheys N.V. in Mol.....	144
Figuur 49: Grafische voorstelling uni- en multimodaal vervoer bij Transport Gheys N.V.	145
Figuur 50: Voorstelling van economisch haalbaarheidsgebied	148
Figuur 51: Voorstelling van relatieve equiprofitlijnen.	149
Figuur 52: Weergave van het effect op het economisch haalbaarheidsgebied bij een extra congestiekost voor het rechtstreeks wegvervoer.....	150
Figuur 53: Voorstelling van haalbaarheidsgebied op basis van sociale kost.	152
Figuur 54: Voorstelling van haalbaarheidsgebied op basis van de economische kost en de sociale kost.	153
Figuur 55: Voorstelling van haalbaarheidsfiguur op basis van de energetische kost.....	156
Figuur 56 : Voorstelling van haalbaarheidsfiguur op basis van de ecologische kost	158
Figuur 57: Voorstelling van haalbaarheidsgebied op basis van de vier kosten.....	159
Figuur 58: Geografische voorstelling.....	160
Figuur 59: Voorstelling van de absolute equiprofitlijnen.	161

Lijst met tabellen

Tabel 1: Absolute evolutie van het goederenvervoer in Vlaanderen	1
Tabel 2: Het verschil in emissies tussen het weg- en binnenvaartvervoer	4
Tabel 3: Energiegebruik van verschillende transportmodi	5
Tabel 4: Gemiddelde CO ₂ -emissie van verschillende transportmodi bij bulkvervoer	20
Tabel 5: Gemiddelde CO ₂ -emissie van verschillende transportmodi bij non-bulkvervoer	21
Tabel 6: Schatting marginale externe kosten voor de weg, het spoor en de binnenvaart	38
Tabel 7: Berekening van de congestiekost op basis van de speed/flow relatie	39
Tabel 8: De emissie van CO, TSP, SO ₂ , NO _x (NO ₂), NMVOS, CH ₄ en N ₂ O door het weg-, vliegtuig- en spoorverkeer en de scheepvaart in Vlaanderen in 2008	49
Tabel 9: Evolutie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen in de periode 1995-2007	53
Tabel 10: Emissie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen per modus en type bron	53
Tabel 11: Evolutie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen per modus en type bron	54
Tabel 12: Evolutie totale marginale externe kosten voor de weg, het spoor en de binnenvaart tot het jaar 2030	61
Tabel 13: Evolutie marginale externe congestiekosten wegvervoer tussen 2005 en 2030 in België: referentiescenario	64
Tabel 14: Vergelijking tussen de belastingen en de marginale externe congestiekosten en milieukosten van luchtverontreiniging en klimaatverandering	67
Tabel 15: Voor- en nadelen van de tijdsgerelateerde en afstandsgelateerde heffing	68
Tabel 16: Invoering van de Euronormen voor personenwagens en vrachtwagens	70
Tabel 17: Aantal ladingen en lossingen op de Vlaamse binnenwaterwegen	71
Tabel 18: Overzicht van de invloed van variaties van p en q op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p > 1$	97-98

Hoofdstuk 1: Probleemstelling goederenvervoer

1.1 Praktijkprobleem

Door de verkeerstoename geraken onze wegen steeds meer verzadigd. De groei van het wegverkeer zorgt reeds vandaag de dag voor een aantal problemen. We denken dan vooral aan de negatieve impact van dit verkeer op het milieu, aan het grote aantal files en aan de ongevallen. Een belangrijke factor daarbij is de toename van het goederenvervoer langs de weg. Dit vervoer langs de weg kan niet volledig vervangen worden door vervoer langs andere modi, omwille van de bereikbaarheid. Vandaar is multimodaal vervoer aangewezen om het vrachtvervoer langs de weg te reduceren. Bij multimodaal vervoer worden verschillende transportmodi gecombineerd, bijvoorbeeld twee soorten wegvervoer, spoor/wegvervoer, binnenvaart/wegvervoer of pijpleidingen/binnenvaart.

In het verleden is er in Vlaanderen een voortdurende absolute toename geweest van het goederenvervoer langs de weg. Hiervoor wordt verwezen naar tabel 1 die de absolute evolutie weergeeft van het goederenvervoer in Vlaanderen over de weg, via de binnenvaart en via het spoor in miljard tonkilometer voor de jaren 1995 en 2000-2007.

Tabel 1: Absolute evolutie van het goederenvervoer in Vlaanderen via de verschillende transportmodi in 1995 en 2000-2007 (in miljard tonkm) (MIRA, 2009a)

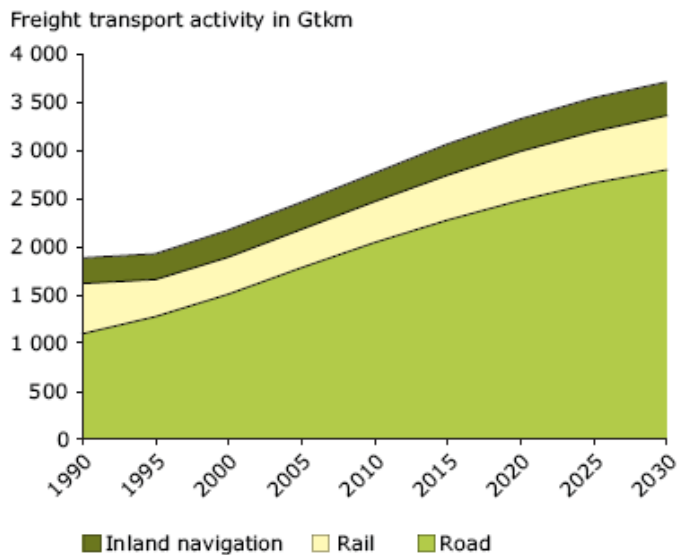
Miljard tonkm	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Weg	24,54	27,95	29,32	31,34	31,52	32,91	33,90	35,77	37,47
Binnenvaart	4,19	5,85	6,12	6,36	6,51	6,77	6,62	6,45	6,56
Spoor	3,24	3,62	3,32	3,38	3,48	3,53	3,94	4,06	3,50
Totaal	31,97	37,42	38,76	41,08	41,51	43,21	44,47	46,28	47,53

We merken dat het aantal tonkm in de periode 1995-2007 toegenomen is met ongeveer:

- 49% voor het geheel,
- 53% voor het wegtransport,
- 57% voor de binnenvaart,
- 8% voor het spoorvervoer.

In het totale goederenvervoer neemt het vervoer langs de weg het grootste deel voor zich. Zo werd in Vlaanderen in 2007 79% van het vrachtvervoer via de weg getransporteerd. De binnenvaart wordt sinds 1998 gesteund door het kaaimurenprogramma van de Vlaamse overheid, een financiële aansporing voor de bouw van laad- en losinstallaties. Hierdoor ontstond er een continue toename in het vervoer per binnenschip. Tijdens de periode 2005-2007 treedt er echter een stabilisatie op (MIRA, 2009a).

Bovendien wordt verwacht dat het goederenvervoer globaal gezien nog zal toenemen de volgende jaren. De Europese Commissie (2007) voorspelt dat het goederentransport in Europa tussen 1990 en 2020 bijna zou verdubbelen met de grootste verwachte groei voor het wegvervoer, zoals zichtbaar in figuur 1 (European Environment Agency, 2008).



Figuur 1: Voorspelling van de groei van het goederentransport in Europa voor het weg- en spoorvervoer en de binnenvaart (in Gtonkm) (European Environment Agency, 2008)

Met behulp van het Multimodaal Goederenvervoermodel Vlaanderen kan het Vlaams Verkeerscentrum verkeerstromen berekenen op basis van socio-economische gegevens, vervoersstatistieken en verkeerstellingen en deze toewijzen aan het verkeersnetwerk. Ter illustratie is in bijlage 1 en 2 respectievelijk de vrachtwagen- en sloopstromen per dag in Vlaanderen opgenomen.

Volgens Blauwens, De Baere en Van de Voorde (2008) kan de dominante positie van het wegtransport toegeschreven worden aan een aantal factoren. In de eerste plaats heeft er een wijziging plaatsgevonden in het locatiebeleid van de bedrijven. Fabrieken zijn verhuisd van steden naar industriële locaties dicht bij kleinhandelaars, die in de meeste gevallen minder toegankelijk zijn voor het spoor en de binnenvaart. Een tweede factor heeft betrekking op de manier waarop het transport geïntegreerd is in de productielogistiek van bedrijven: hoe hoger de waarde van de goederen, hoe belangrijker de snelheid en flexibiliteit in transport wordt. De trend van just-in-time strategieën in de productie en levering heeft geleid tot lagere voorraadniveaus en een vraag naar flexibel, stipt transport van hoge kwaliteit. De laatste factor is de verandering in de productie van het type goederen. De daling in bulkgoederen, die gekenmerkt worden door een hoog gewicht en een lage toegevoegde waarde, bijvoorbeeld ruwe materialen en halfafgewerkte producten, heeft in het voordeel van afgewerkte producten gewerkt, zoals voedingsmiddelen en chemische producten.

Aangezien deze laatste een hogere toegevoegde waarde bezitten dan de bulkgoederen, geniet het wegtransport de voorkeur voor het vervoer ervan.

De groei van het goederenvervoer wordt echter afgeremd door de welbekende economische crisis, maar deze zal waarschijnlijk geen trendbreuk inhouden. Zo is in 2009 de globale haventrafiek in Antwerpen met 16,7% gedaald ten opzichte van het jaar 2008. Wat betreft het containervolume is er een daling waar te nemen van 16%. De vooruitzichten voor 2010 zijn voorzichtig positief, maar over mogelijke groeipercentages wordt nog niet gesproken (De Lloyd, 2009a). Voor het jaar 2010 verwacht het ING Economisch Bureau dat ook het nationale wegvervoer nog ongemakken zal ondervinden van terughoudende consumenten en investeerders wat te wijten is aan de recessie van vorig jaar. De financiële weerbaarheid van transportbedrijven wordt hierdoor fors aangetast, vooral de winstgevendheid is gedaald tot gemiddeld lage niveaus (De Lloyd, 2010a).

Uit dit alles volgt dat we ons de huidige evolutie van het goederentransport in vraag kunnen stellen. In volgende paragraaf zullen de redenen voor het overheidsoptreden aangetoond worden.

1.2. Redenen voor overheidsoptreden bij het transportgebeuren

1.2.1 Het niet verrekenen van externe kosten door de onderneming

Dikwijls is de multimodale mogelijkheid te duur of onbekend. Een mogelijke oorzaak hiervan is het niet verrekenen van externe kosten die het vervoer langs de weg met zich meebrengt. Dit zijn de kosten die niet gedragen worden door de ondernemer en hiermee zal hij dan ook geen rekening houden. Externe kosten worden meestal niet via het prijsmechanisme aangerekend aan de consument en worden bijgevolg afgewenteld op de maatschappij nu of in de toekomst. De interne of private kosten daarentegen komen ten laste van de onderneming, zoals brandstof- en personeelskosten. De ondernemingen streven daarom naar de minimalisering van deze interne kosten en dus naar het privaat optimum. De som van de interne en externe kosten wordt de sociale of de maatschappelijke kost genoemd. Het is de taak van de overheid om de maatschappelijke kost in rekening te brengen en dus te zoeken naar het maatschappelijk optimum.

De voornaamste externe kosten van het wegvervoer vloeien voort uit ongevallen, congestie, schade aan het milieu en het wegdek, het inzetten van politieagenten en het feit dat de weg zijn functie verliest als speel- en ontmoetingsplaats en ontspanningsruimte. Bij het maken van de vergelijking tussen de emissies naar de lucht afkomstig van de binnenvaart ten opzichte van het wegvervoer, kan uit tabel 2 afgeleid worden dat het wegvervoer een grotere hoeveelheid emitteert dan de binnenvaart. Hierbij zijn CO en NO_x uitstootgassen die geassocieerd worden met luchtverontreiniging en CH een broeikasgas dat medeverantwoordelijk is voor de klimaatverandering.

Tabel 2: Het verschil in emissies tussen het weg- en binnenvaartvervoer (in g/tonkm) (Macharis & Verbeke, 2004)

Chemisch element	Binnenvaart g/tonkm	Wegvervoer g/tonkm	Vershil
CO	0,12	2,25	2,13
NO _x	0,6	7,87	7,27
CH	0,07	0,92	0,85

CO=koolstofmonoxide, NO_x=stikstofoxide, CH=koolwaterstof

Wat betreft de emissie van het broeikasgas CO₂ (koolstofdioxide), geldt over het algemeen dat het vervoer over spoor en water gepaard gaat met de laagste CO₂-emissie (Smokers, den Boer, & Faber, 2007). Aangezien de CO₂-uitstoot gerelateerd is aan het energiegebruik en kleinere voertuigen minder energie-efficiënt zijn per tonkm, stoten lichte vrachtauto's en kleine binnenschepen per tonkm meer CO₂ uit dan hun grotere variant.

Uit het voorgaande kan vastgesteld worden dat de continue toename van het vervoer langs de weg leidt tot een hoge emissie van CO₂, CH, CO en NO_x. Deze bevinding impliceert dan ook dat het wegvervoer medeverantwoordelijk is voor zowel de klimaatopwarming als luchtvervuiling. Een mogelijke oplossing om de uitstootgassen terug te schroeven, is dus de overschakeling van het rechtstreekse wegtransport naar de combinatie van verscheidene transportmodi.

Indien geen aandacht wordt besteed aan het stimuleren van multimodaal vervoer, zullen de schadekosten veroorzaakt door het wegtransport alleen maar oplopen. Het vermijden van de externe kosten die gepaard gaan met het vervoer langs de weg, kan bijgevolg de belangrijkste reden vormen voor het kiezen van multimodaal vervoer. Volgens Europees commissaris voor Transport Siim Kallas zouden de operatoren uit alle vervoersmodi op termijn hun externe kosten dienen te vergoeden. Dergelijk globaal prijssysteem zou voor elke vervoersdrager in de EU absoluut prioritair zijn (De Lloyd, 2010b).

1.2.2 Toekomstvisie

Momenteel vormt het wegtransport het grootste aandeel in het totale vrachtvervoer. Gezien multimodaal vervoer slechts op kleine schaal wordt toegepast, is het vanuit economisch standpunt dikwijls nog geen rendabele activiteit. Indien het wegvervoer steeds meer gesubstitueerd zou worden door alternatieve transportmodi, kan multimodaal vervoer goedkoper worden. De onderneming zou dus steeds het effect op lange termijn moeten beschouwen, aangezien pas in de toekomst voordelen kunnen gerealiseerd worden bij een grotere toepassing van de multimodale vervoerswijze. Het probleem is echter dat de meeste ondernemers zich niet kunnen richten op de verre toekomst. Indien ze dit toch zouden doen, zouden de winstgevendheid en concurrentiepositie hieronder lijden. Vandaar is overheidstussenkomst noodzakelijk om deze drempel weg te nemen.

1.2.3 Transgenerationale solidariteit

Vanuit de denkwijze van de transgenerationale solidariteit kan men solidair zijn door de volgende generaties in rekenschap te brengen. Volgens dit ethisch standpunt dienen we ervoor te zorgen dat onze nakomelingen nog voldoende energievoorraden ter beschikking hebben. De beslissingen die nu genomen worden, houden immers gevolgen in voor onze nakomelingen.

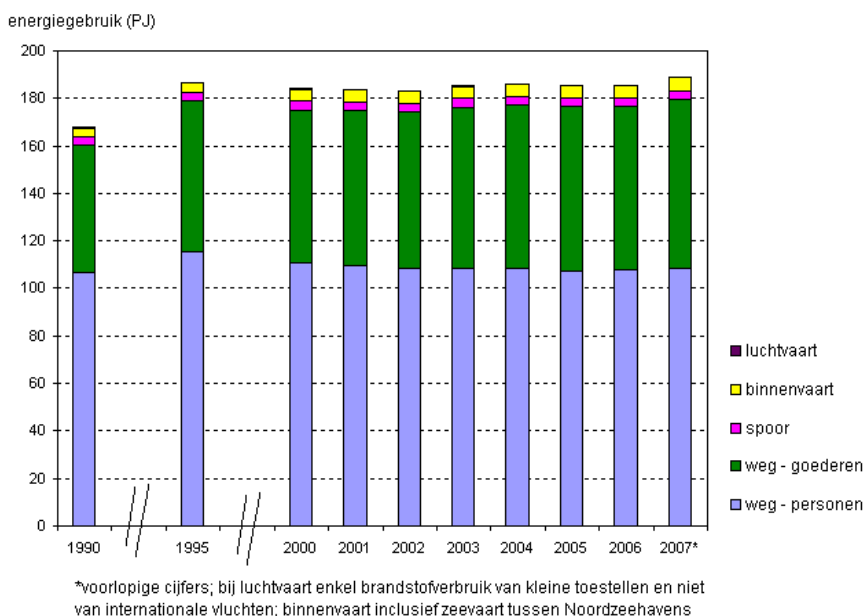
Het vervoer is vanzelfsprekend een energieverbruikende activiteit. Wanneer de scheepvaart en het spoor- en wegvervoer worden vergeleken op basis van het energiegebruik, kan geconcludeerd worden dat schepen en goederentreinen meer energie-efficiënt zijn dan vrachtwagens. Dit wordt bevestigd in tabel 3. Deze tabel geeft een vergelijking van het energiegebruik in MJ/tonkm van verschillende vervoersmodi.

Tabel 3: Energiegebruik van verschillende transportmodi (in MJ/tonkm) (SenterNovem, 2007)

Transportmiddel	Energiegebruik (MJ/tonkm)
Bestelwagen	10,7
Vrachtwagen (solo)	1,68
Vrachtwagen koeltransport	1,81
Goederentrein	0,61
Binnenvaartschip	0,6
Kustvaarder	0,28
Middelgroot schip	0,13
Groot schip bulktransport	0,07
Vliegtuig	7
Vrachtwagen (3,5-10 ton)	2,71
Vrachtwagen (10-20 ton)	1,98
Vrachtwagen (>20 ton)	1,31

Figuur 2 toont de evolutie van het energiegebruik door transport in Vlaanderen per modus in 1990, 1995 en 2000-2007. Uit deze figuur wordt duidelijk dat een groot deel van het energiegebruik kan toegeschreven worden aan het wegverkeer, met name 57% voor het personenverkeer en 38% voor het goederenvervoer. Als gevolg van de toenemende activiteit is er bij het goederenvervoer langs de weg een toename waar te nemen van het energieverbruik van 33,4% ten opzichte van 1990. Ten opzichte van 1990 is het totale energiegebruik van de vervoerssector toegenomen met 12,6%. In 2007 had de transportsector een aandeel van 11,7% (188,8PJ) in het totale energieverbruik van Vlaanderen. Het energiegebruik van het spoor bedroeg slechts 3,8 PJ in Vlaanderen in 2007. De verklaring hiervoor is het grotere gebruik van elektrische motoren, die veel efficiënter zijn dan dieselmotoren. Het energiegebruik door de binnenvaart groeide met 40,3% in de periode 1995-2007 en bedroeg slechts 5,6 PJ in 2007 (MIRA, 2009b).

Vanuit ethisch perspectief is het niet te verantwoorden om nu alle voorraden aan fossiele brandstoffen te verbruiken. Gezien de transgenerationale solidariteit als doel heeft om zo duurzaam mogelijk om te springen met fossiele brandstoffen, is het in dit opzicht dus beter om het wegvervoer te reduceren en steeds meer over te schakelen naar het multimodaal vervoer zodanig dat de maatschappij in de toekomst langer leefbaar blijft. Zelfs als het multimodaal transport economisch gezien niet voordelig blijkt te zijn, kan de transgenerationale solidariteit toch als argument dienen voor de overheid om multimodaal vervoer te stimuleren.



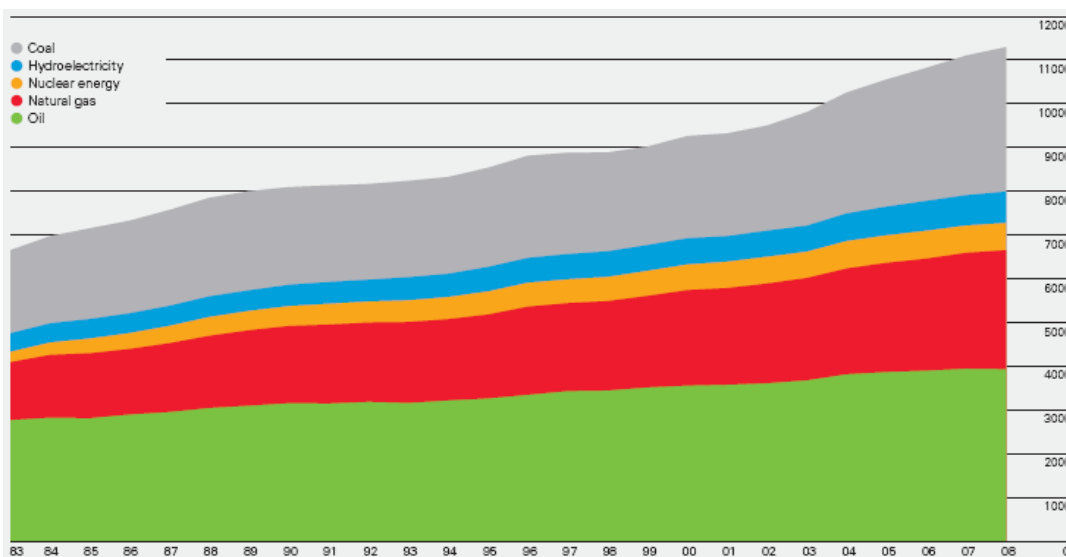
PJ	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007*
Weg - personen	106,8	115,5	110,5	109,4	108,4	108,6	108,4	107,0	107,7	108,3
Weg - goederen	53,3	63,5	64,5	65,3	65,9	67,8	68,7	69,5	68,8	71,1
Spoor	3,5	3,2	4,0	3,9	3,6	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8
Binnenvaart	4,0	4,1	4,9	5,1	5,2	5,2	5,4	5,3	5,2	5,6
Luchtvaart	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Figuur 2: Evolutie van het energiegebruik door transport in Vlaanderen opgesplitst per modus in 1990, 1995 en 2000-2007 (in PJ) (MIRA, 2009b)

1.2.4 Transnationale solidariteit

Bij deze vorm van solidariteit wordt niet alleen met onze rechtstreekse nakomelingen rekening gehouden, maar ook met de armere landen in de wereld. Zij dienen ook over de nodige grondstoffen te beschikken. Vanuit deze ethische instelling zou men dus nog steeds zuinig moeten omgaan met de energievoorraden, maar nu op wereldschaal. Zelfs als het multimodaal vervoer niet het voordeligst blijkt te zijn op basis van de drie voorgaande redenen, kan de transnationale solidariteit toch een belangrijke overheidsreden vormen om multimodaal vervoer toe te passen. Indien de vraag van de rijkere landen naar grondstoffen daalt, zal immers de prijs dalen zodanig dat de armere landen deze grondstoffen gemakkelijker kunnen verwerven.

Indien de huidige mondiale productiehoeveelheid van fossiele brandstoffen blijft aanhouden, zullen de ontginbare oliereserves nog tot 2045 volstaan. Voor aardgas is er nog een reserve voor 63 jaar en de steen- en bruinkoolreserves zijn nog voldoende voor 374 jaar als de bestaande winning blijft behouden (MIRA, 2007a). Echter de totale wereldwijde energieconsumptie kent een stijgend verloop, zoals zichtbaar in figuur 3. Deze figuur toont de evolutie van het wereldenergieverbruik van olie, aardgas, nucleaire energie, hydro-elektriciteit en steenkool in miljoen ton olie equivalent voor de periode 1983-2008. Volgens het Statistical Review of World Energy van BP was in 2008 de mondiale consumptie van deze energiebronnen met 1,4% toegenomen ten opzichte van 2007. Het groene gedeelte geeft de consumptie van olie weer. Het is duidelijk dat olie de dominante energievorm is op aarde.



Figuur 3: Evolutie wereldenergieverbruik van aardolie, aardgas, nucleaire energie, hydro-elektriciteit en steenkool voor de periode 1983-2008 (in miljoen ton olie equivalent) (BP, 2009)

In de Europese Unie kan 30% van het totale energieverbruik worden toegeschreven aan het vervoer. De vervoerssector is voor 98% afhankelijk van aardolie en goed voor ongeveer 71% van de totale olieconsumptie in de EU. 60% van deze olie wordt verbruikt door het wegvervoer (Europese Commissie, 2006). Dit betekent dan ook dat een verschuiving van het wegvervoer naar meer energie-efficiënte modi, zoals het spoor en het binnenschip, wenselijk is om zodanig ook de armere landen te kunnen blijven voorzien van fossiele brandstoffen in de toekomst.

Bovendien zal de groei van de wereldbevolking en het streven naar een verhoogde levensstandaard ertoe leiden dat de mondiale energievraag de volgende decennia aanzienlijk zal toenemen. Zonder nieuwe maatregelen zou in 2030 de wereldwijde energiebehoefte maar liefst 55% hoger zijn dan deze in 2005, waarbij China en India 45% van de toename voor hun rekening nemen (International Energy Agency, 2007). Om de continuïteit van de energievoorziening wereldwijd te waarborgen, zou dus het potentieel van de verschillende vervoerswijzen optimaal moeten benut worden.

1.2.5 Sociaal argument

Het sociaal aspect kan ook een rol spelen in het multimodaal vervoer. Hierbij wordt de vraag gesteld of multimodaal vervoer leidt tot meer werkgelegenheid. Het is zeker dat er meer onderzoek en ontwikkeling zal plaatsvinden bij multimodaal vervoer dan bij wegvervoer, waardoor hoogwaardige jobs zullen ontstaan in de onderzoekssector. Het doel hiervan is om het verschil in technologie met de vrachtwagen weg te werken en om het wegvervoer niet te laten toenemen. Dit kan opnieuw een stimulans vormen voor het opzetten van een multimodaal vervoerssysteem.

1.2.6 Technologisch multiplicatoreffect

Een volgend aspect inzake multimodaal vervoer, meer specifiek de scheepvaart, heeft betrekking op de toekomstige technologische ontwikkelingen. Zoals reeds in paragraaf 1.2.2 is aangehaald, wordt het wegvervoer op grote schaal toegepast, waardoor de huidige technologie van een vrachtwagen zich op een veel hoger niveau bevindt in vergelijking met dat van een binnenvaartschip. Er zijn dus nog vele technologische uitdagingen verbonden aan het multimodaal vervoer, bijvoorbeeld het verbeteren van de aard van binnenschepen, van de terminals en de kranen. Wanneer steeds meer goederen via de binnenvaart vervoerd worden, zal na verloop van tijd het technologieniveau van de scheepvaart verbeterd zijn. De technologie kan dan eventueel naar andere sectoren overgeheveld worden, bijvoorbeeld in heftrucks. Dit heet dan het technologisch multiplicatoreffect.

1.2.7 Sociaal multiplicatoreffect

Zoals reeds eerder aangehaald, zal het onderzoek naar technologische verbeteringen bij multimodaal vervoer veel ruimer zijn dan het onderzoek naar verbeteringen voor vervoer langs de weg. Bovendien zijn de onderzoekscentra voor verbeteringen van vrachtwagenmotoren niet gelegen in België. Indien de onderzoekscentra voor verbeteringen van scheepmotoren in België geconcentreerd zouden zijn, zou dit leiden tot meer werkgelegenheid en een hoger inkomen. Aldus bestaat de kans dat consumenten meer geld besteden aan bijvoorbeeld de horecasector, wat op zijn beurt zorgt voor een grotere werkgelegenheid in deze sector.

Als conclusie van paragraaf 1.2 geldt dat zowel de interne kosten van vervoer als de kwantitatieve evaluatie van alle redenen voor het overheidsoptreden, de basis vormen voor de sociaal-economische haalbaarheid van multimodaal transport.

1.3 Centrale onderzoeksvraag

In deze masterproef wordt de algemene haalbaarheid van multimodaal vervoer onderzocht. Eerst zullen de drie economische aspecten behandeld worden die elk hun rol hebben in het kader van deze haalbaarheidsstudie, met name een normatief, een wetenschappelijk en een wiskundig aspect. Vervolgens zal het wereldwijde belang van de ecologie samen met de invloed van het transport kort aangehaald worden. Nadien volgt er een algemene vergelijking tussen unimodaal en multimodaal vervoer op basis van de interne en externe kosten. Daarna wordt er aandacht geschonken aan de mogelijke overheidsmaatregelen om tot een maatschappelijk optimum te komen. Tevens zal een algemeen wiskundig haalbaarheidsmodel opgesteld worden voor multimodaal vervoer. Aan de hand van dit model wordt dan nagegaan welke vervoerswijze optimaal is vanuit economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch perspectief en welke kostenbesparing op deze domeinen gerealiseerd kan worden door vervoer langs de weg te substitueren door multimodaal vervoer. Door middel van een toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V. zal de haalbaarheid van het multimodaal traject per binnenschip in België onderzocht worden. Om de doelstelling van deze masterproef te kunnen realiseren, wordt de centrale onderzoeksvraag dusdanig als volgt geformuleerd:

“Onderzoek naar de haalbaarheid van multimodaal vervoer vanuit economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch perspectief.”

Met medewerking van transportonderneming Transport Gheys N.V.

1.4 Deelvragen

Om de centrale onderzoeksvraag te ondersteunen, worden in deze sectie een aantal deelvragen opgesteld. Deze deelvragen dienen om meer inzicht te verwerven in het praktijkprobleem, waardoor het praktijkprobleem op een structurele wijze kan onderzocht kan worden.

- Welke interne kosten worden veroorzaakt door het goederenvervoer langs de weg en door een multimodaal vervoerssysteem?
- Welke externe kosten kunnen onderscheiden worden bij het vervoer langs de weg en bij het multimodaal vervoer?
- Welke overheidsmaatregelen kunnen genomen worden om tot een maatschappelijk optimum te komen ?

- Indien een unimodaal traject wordt vergeleken met een multimodaal traject, hoe wordt algemeen het haalbaarheidsgebied dan grafisch weergegeven bij een constante kost per tonkm en per ton overslag? Hoe wordt de haalbaarheid beïnvloed bij een wijzigende verhouding van de kost tussen multimodaal en unimodaal vervoer?
- Welke potentiële kostenvoordelen kunnen gegenereerd worden bij het multimodale vervoerssysteem? Hoe kan dit grafisch worden weergegeven?
- Hoe kunnen stochastische kostenwaarden voor het vrachtvervoer grafisch worden voorgesteld?
- Wat is de haalbaarheid van multimodaal vervoer wanneer enkel de interne kosten worden beschouwd?
- Welke invloed heeft de internalisering van de externe kosten op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer?
- Hoe ziet het energetisch haalbaarheidsgebied eruit voor multimodaal vervoer?
- Wat is de haalbaarheid van multimodaal vervoer vanuit ecologisch perspectief?
- Wat is de economische, maatschappelijke, energetische en ecologische haalbaarheid van het multimodaal binnenvaartvervoer voor Transport Gheys N.V.?

1.5 Onderzoeksopzet

Om het onderzoek zo goed mogelijk te kunnen verrichten, wordt er eerst een literatuurstudie uitgevoerd naar de algemene, theoretische aspecten van multimodaal vervoer. Om dit te kunnen verwezenlijken, zal er vooral gesteund worden op artikels, boeken en informatie op het internet. Een volgende onderzoeksstrategie houdt in dat er aan de hand van een analytisch model, een algemeen haalbaarheidsgebied voor het multimodaal traject wordt afgeleid voor bepaalde assumpties. Het model wordt vervolgens aan de hand van een toepassing bij Transport Gheys N.V. geïllustreerd. De belangrijkste bijdrage van deze transportonderneming is het leveren van realistische waarden voor de kostenparameters.

Hoofdstuk 2: Bespreking van het goederenvervoer in de economie

2.1 Inleiding

Economie en vervoer zijn nauw met elkaar verbonden. Een moderne economie zonder vervoer is ondenkbaar geworden. De vervoerssector is immers een dienstverlenende sector die instaat voor verplaatsing van personen en goederen. Tevens heeft de sector een impact op de tewerkstelling.

In dit hoofdstuk zullen de drie economische aspecten (volgens Werner Sombart) behandeld worden die elk hun rol hebben in het kader van de haalbaarheidstudie, met name een normatief, een wetenschappelijk en een wiskundig aspect. In wat volgt zullen deze aspecten worden beschreven met enkele voorbeelden die van praktisch belang kunnen zijn bij de keuze van het transport van goederen. De rol van de overheid zal hierbij een grote invloed uitoefenen op de keuze van de transportmodi.

2.2 De drie aspecten van de economie en hun rol in de haalbaarheidstudie

Volgens Werner Sombart (1863-1941), een Duitse econoom, socioloog en geschiedkundige, heeft de economie verscheidene aspecten: een normatief, een wetenschappelijk en een wiskundig. Deze zullen hieronder worden besproken.

2.2.1 Normatief aspect

Het normatief aspect van de economie onderzoekt wat men wil bereiken, rekening houdend met specifieke waarderingsoordelen (De Clercq, 2006). Deze waardeoordelen zijn subjectief en staan centraal in een normatieve economie. Om dit normatief aspect te verduidelijken, kunnen bijvoorbeeld de doelstellingen van de politieke partijen beschouwd worden. Deze doelstellingen zijn subjectief, aangezien iedere politieke partij andere prioriteiten legt.

Zo is de liberale partij (Open VLD) in grote mate voor een toename van de totale productie, zodanig dat iedereen er beter van wordt. Aldus zal deze partij de voorkeur geven aan de vrije markteconomie. Een correct werkende vrije markt zou normaal moeten leiden tot concurrentie met als gevolg lagere prijzen en een hogere kwaliteit van producten en diensten. Volgens Open VLD is de vrije markt dus de beste welvaarts garantie (Open VLD, 2009).

De socialistische partij (SP.A) tracht eerder sociale ongelijkheden weg te werken. Als gevolg hiervan streeft ze onder andere naar een verhoging van de lagere inkomens. Volgens de SP.A kan de vrije markt niet automatisch alle problemen regelen en is liberalisering geen oplossing. Vermits

de vrije markt niet leidt tot gelijke kansen, zal deze dus bijgestuurd moeten worden, wat de verantwoordelijkheid is van de overheid (SP.A, 2009). Een mogelijk gevolg hiervan is een planeconomie, een economie waar de overheid de meeste beslissingen neemt.

De ecologische partij (Groen!) daarentegen legt meer nadruk op het milieu. Deze partij streeft naar een leefbare wereld voor iedereen. Groen! wil de ecologische uitdagingen, met name de klimaatsverandering, ernstig nemen. Vandaar stimuleren zij onder andere duurzame energie, minder verspilling en minder olieafhankelijkheid. Het doel van deze groene partij is dus om een groenere maatschappij te creëren (Groen!, 2009).

De CD&V streeft grotendeels een gemengde economie na.

De partijen zullen via hun doelstellingen en programma's indirect de transportbeslissingen beïnvloeden. Wanneer de overheid zich betreft in de economische activiteiten, zullen er hoogstwaarschijnlijk subsidies verleend worden bij gebruik van bepaalde vervoersmodi of strengere maatregelen genomen worden wat betreft het goederentransport. Een ander voorbeeld waarop de normatieve economie kan terugslaan, is de vraag in welke mate de overheid aandacht schenkt aan de ecologische aspecten. De overheid kan bijvoorbeeld de maatregel nemen om de transportgerelateerde CO₂-uitstoot te verminderen, wat opnieuw gevolgen zal inhouden voor de vervoersbeslissingen.

De haalbaarheidstudie kan uitgevoerd worden volgens verscheidene normen. In deze eindverhandeling zal de haalbaarheid voor multimodaal vervoer onderzocht worden op basis van interne en maatschappelijke kosten. Tevens zal de haalbaarheidstudie uitgevoerd worden vanuit een ecologisch en een energetisch standpunt.

2.2.2 Wetenschappelijk aspect

Het wetenschappelijk aspect van de economie steunt op waarnemingen en is bijgevolg objectief. Hier worden metingen verricht met betrekking tot kosten en wordt een antwoord gegeven op de vraag: hoe gedraagt de mens en/of natuur zich? Hierin kan een natuur- en menswetenschappelijk aspect worden onderscheiden.

Het *natuurwetenschappelijk* aspect verwijst naar de impact op de natuur van onder andere het energieverbruik, de luchtvervuiling en de evolutie van de kwantiteit van het vervoer. De gevolgen van een bepaalde overheidsmaatregel voor de natuurlijke omgeving zijn vrij eenvoudig te bepalen. Zo stelt de invoering van de Euronormen maximumgrenzen voor de uitstoot van NO_x, CO, onverbrande koolwaterstoffen en fijne stofdeeltjes uit dieselmotoren.

Wat nog belangrijker is in de economie en bij het vervoer is het *menswetenschappelijk* aspect: hoe gedraagt de mens zich bij bepaalde overheidsmaatregelen? Een praktisch voorbeeld hiervan is het meten van de CO₂-uitstoot van de verscheidene vervoersmodi. De bekomen resultaten kunnen dan helpen bij het bepalen hoeveel subsidies vereist zijn wanneer men verschillende transportmodi combineert om de CO₂-uitstoot met een specifieke hoeveelheid te reduceren. Het gevolg van deze overheidsmaatregel op de mens is moeilijker te bepalen, daar het gedrag van de mens onzeker is en van bepaalde factoren afhangt, zoals de economische situatie (hoog- of laagconjunctuur).

Hoofdstuk 10 van deze eindverhandeling zal zich toelagen op het wetenschappelijk aspect van de economie aan de hand van een toepassing bij Transport Gheys N.V.. Dit deel steunt op waarnemingen over de kosten van het goederentransport.

2.2.3 Wiskundig aspect

Het laatste aspect van de economie omvat de wiskundige economie, die betrekking heeft op noodzakelijke gevolgen. Deze economie steunt niet op waarnemingen, maar op logisch wiskundig redeneren.

In deze masterproef zullen de bekomen transportkosten van Transport Gheys N.V. aangewend worden om achtereenvolgens de haalbaarheidsgebieden voor multimodaal vervoer te bepalen. Dit vormt een mooie toepassing van het wiskundig aspect.

Hoofdstuk 3: Het wereldwijde belang van de ecologie

3.1 Inleiding

Men kan de opwarming van onze aarde niet meer wegdenken uit de huidige actualiteit. Steeds meer mensen zijn begaan met het welzijn van onze planeet. Zo zou in 2009 volgens de Britse premier Gordon Brown Europa hard getroffen worden door de klimaatcrisis. Groot-Brittannië heeft in het verleden nog nooit een leidende rol opgenomen in het klimaatdebat. De interesse in de klimaatverandering is ontstaan tijdens een tweedaagse bijeenkomst in oktober 2009 in Londen van de zeventien meest vervuilende economieën ter wereld, waaronder Japan, de VS en Rusland. Deze laatste drie landen stoten gezamenlijk ruim 80% uit van alle broeikasgassen ter wereld. De landen waren bijeengekomen in Londen om een gezamenlijk standpunt te bepalen voor de conferentie van Kopenhagen in december. Wanneer de klimaatverandering niet snel wordt aangepakt, gaan we volgens de Britse premier een catastrofale toekomst tegemoet met dodelijke hittegolven, overstromingen en droogtes. In 2003 vielen reeds 35.000 doden door een hittegolf in Europa. Dit zou een dagelijks fenomeen kunnen worden in de toekomst. Brown beweert dat de kosten van de klimaatopwarming groter zullen uitvallen dan die van de Grote Depressie en de twee wereldoorlogen samen ("Wereld op rand van catastrofe", 2009).

Zoals reeds eerder aangehaald, stoot het wegvervoer een grote hoeveelheid gassen uit. De voornaamste gassen die geassocieerd worden met luchtvervuiling zijn CO (koolstofmonoxide), NO_x (stikstofoxide), SO₂ (zwaveldioxide) en kleine roetdeeltjes. Klimaatverandering wordt eerder geïnitieerd door de emissie van CO₂ (koolstofdioxide). Vanuit de wereldwijde bezorgdheid over de opwarming van onze aarde zou de overschakeling van rechtstreeks wegvervoer naar multimodaal vervoer via het binnenschip of het spoor, gestimuleerd kunnen worden. In dit hoofdstuk wordt eerst een globaal beeld geschetst over de ecologische evolutie van onze aarde samen met de rol van de mens hierin en de mogelijke impact hiervan op wereldschaal. Vervolgens zal de ecologische situatie voor België worden nagegaan samen met de invloed van de transportsector. Het verdrag van Kyoto, met als doel de uitstoot van broeikasgassen te beperken, zal hierbij ook aan bod komen. Tenslotte wordt het belang van de ecologie in de bedrijfswereld aangehaald samen met enkele praktijkvoorbeelden.

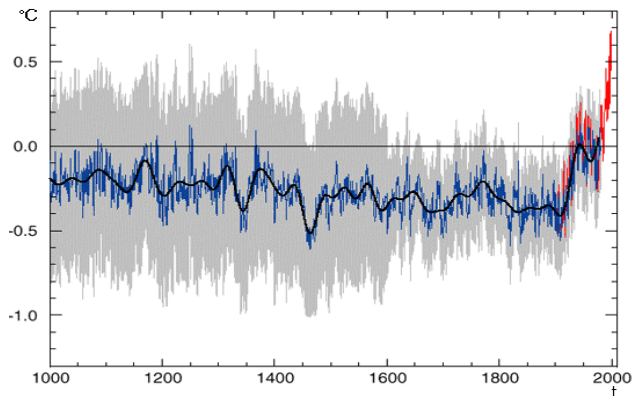
3.2 Ecologische evolutie en de impact van de mens op het CO₂-gehalte

Volgens Hanson en Kennedy (2006) kan men aan de hand van ijslagen het CO₂-gehalte in de atmosfeer bepalen tot 50 miljoen jaar geleden. Ze vermelden dat er een duidelijk verband bestaat tussen de globale temperatuurstijging en de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Zo bevond zich 50 miljoen jaar geleden 1000 ppm CO₂ in de lucht met een hogere temperatuur en een hoger

zeeniveau ten opzichte van nu als gevolg. De lagere levensvormen, zoals dieren en planten, nemen CO₂ uit de lucht op en deze wordt in de aarde opgeslagen. De corresponderende daling in temperatuur leidde tot de ontwikkeling van ijsbergen in Antarctica zo'n 30 à 40 miljoen jaar geleden. Tevens daalde door deze lagere levensvormen het CO₂-gehalte in de atmosfeer tot ± 290 ppm een 3 à 4 miljoen jaar geleden. De natuur brengt, exclusief de mens, ongeveer 755 Gton CO₂ per jaar in de lucht en verwerkt jaarlijks ongeveer 770 Gton. Dit betekent dat het CO₂-niveau ieder jaar met 15 Gton verminderde zolang er geen menselijke activiteiten werden uitgevoerd.

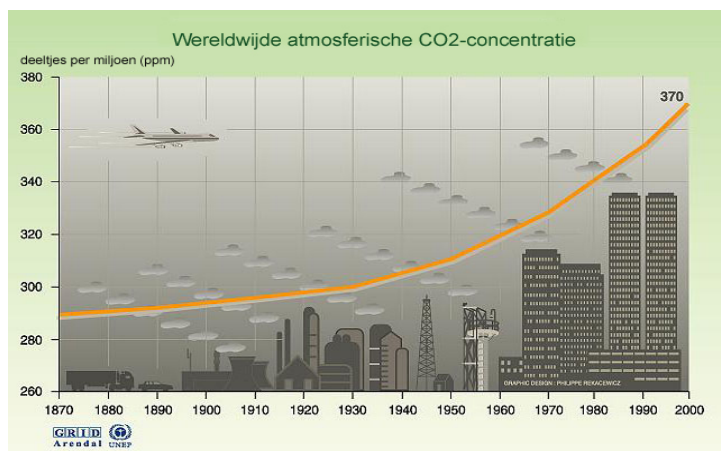
Na de Industriële Revolutie in 1750 begon de mens een grotere impact te hebben op de natuur, vooral via de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals steenkool, aardolie en gas om aan de alsmaar groeiende energiebehoefte te kunnen voldoen. De geassocieerde uitstoot van CO₂ zorgt zo voor een aanzienlijke versterking van het natuurlijk broeikaseffect, met een geleidelijke klimaatverandering tot gevolg. Het broeikaseffect is een natuurlijk verschijnsel dat er net voor zorgt dat de temperatuur op het aardoppervlak +15°C bedraagt in plaats van -18°C. Voor de Industriële Revolutie bedroeg de CO₂-concentratie in de atmosfeer 280 ppm. Heden brengen de menselijke activiteiten 30 Gton CO₂ per jaar de lucht in of dus gemiddeld 5 ton CO₂ per persoon. Het is evident dat deze vaststelling problemen met zich meebrengt. Vermits de natuur slechts 15 Gton CO₂ extra per jaar kan opnemen, leiden de menselijke activiteiten tot een jaarlijkse toename van 15 Gton CO₂ van de reeds aanwezige concentratie in de atmosfeer. In 2005 bedroeg het CO₂-niveau 379 ppm, wat een toename impliceert van ruim 35% ten opzichte van het jaar 1750 (Federale dienst Klimaatverandering, 2009). Volgens Hanson en Kennedy (2006) heeft de atmosferische concentratie van CO₂ de voorbije 10 miljoen jaar de waarde van 379 ppm nog nooit overschreden. De CO₂-concentratie stijgt jaarlijks ongeveer met 2 ppm, waardoor het huidig CO₂-niveau ongeveer 390 ppm bedraagt (Reay & Pidwirny, 2010).

Figuur 4 toont dat de snelheid en de duur van de opwarming in de 20ste eeuw immens groter waren in vergelijking met de voorgaande eeuwen. De jaren '90 waren de warmste jaren met 1998 het warmste jaar van het millennium (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001).



Figuur 4: Evolutie van de temperatuurschommeling op aarde tussen het jaar 1000 en 2000 via gegevens van thermometers (rood) en van jaarringen van bomen, korallen, ijskappen en historische bronnen (blauw). De blauwe curve geeft voor ieder jaar de temperatuurafwijking weer van het gemiddelde voor 1961 tot 1990 voor het Noordelijk halfrond. De zwarte curve vertegenwoordigt de gemiddelde temperatuurafwijking over 50 jaar van het gemiddelde voor 1961 tot 1990 voor het Noordelijk halfrond. De grijze zone vertegenwoordigt het 95% betrouwbaarheidsinterval voor de jaarlijkse data (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001).

Figuur 5 toont de steeds snellere toename van de CO₂-concentratie vanaf het begin van de industrialisatie. Wanneer figuur 4 en 5 worden vergeleken met elkaar, kan geconcludeerd worden dat het CO₂-gehalte in de atmosfeer alsook de temperatuur vanaf 1870 een wezenlijke toename kennen.



Figuur 5: Evolutie van het CO₂-gehalte wereldwijd (in ppm) (UNEP/ GRID-Arendal, 2000a) (eigen bewerking)

3.3 Gevolgen op wereldschaal

Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zal de temperatuur op aarde tegen het jaar 2100 variërend van 1,4 tot 5,8 °C zijn toegenomen ten opzichte van het jaar 1990. Naast deze temperatuurstijging wijzen projecties van het IPCC ook op toenemende neerslag, een stijgend niveau van de oceanen door de uitzetting van het zeewater enerzijds en het smelten van gletsjers

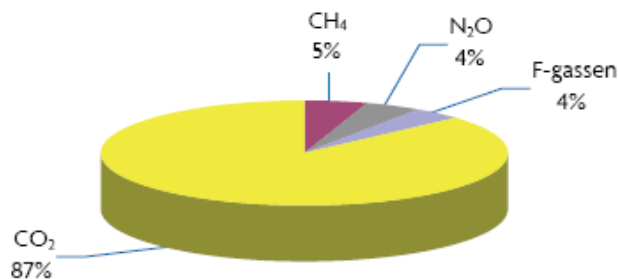
en van het ijs in Groenland en Antarctica anderzijds. Wat betreft dit onderwerp bestaat er nog vrij veel onzekerheid waardoor de marges van de stijging van de zeespiegel voor de periode 1990-2100 divergeren van 9 tot 88 cm. De opwarming van de aarde zou tevens kunnen zorgen voor een verandering in de zeestromingen met een eventuele stopzetting van de Golfstroom als gevolg. Dit zou paradoxaal genoeg de opwarming in onze streken kunnen matigen waardoor Noord-Europa uiteindelijk zou afkoelen. Voor de 21^{ste} eeuw voorspelt men geen stopzetting van de Golfstroom, maar wel een vertraging van de circulatie in de oceanen (van Ypersele & Marbaix, 2004).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het noodzakelijk is om voldoende aandacht te besteden aan de klimaatsverandering en dat men maatregelen moet nemen om de mondiale uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen. Bijlage 3 toont een samenvatting van de mogelijke impact van de klimaatverandering wereldwijd.

3.4 Situatie voor Vlaanderen

3.4.1 Aandeel van de verschillende broeikasgassen

Het belangrijkste broeikasgas in Vlaanderen is koolstofdioxide (CO₂), dit gas vertegenwoordigt 87% van de totale broeikasgasemissies in 2008. Enkele andere belangrijke broeikasgassen zijn methaan (CH₄:5%), distikstofoxide (N₂O:4%) en de F-gassen (gefluoreerde gassen:4%). Deze bevindingen worden weergegeven in figuur 6.



Figuur 6: Aandeel van CO₂, CH₄, N₂O en F-gassen in de totale broeikasgasemissie in Vlaanderen in 2008 (in %) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009)

De aanwezigheid van F-gassen (HFK's, PFK's en SF₆) in de atmosfeer wordt volledig verklaard door het menselijk handelen. De eerste ozonafbrekende stoffen, met name de CFK's (chloorfluorkoolstoffen) werden vanaf de jaren '50 gebruikt in koelsystemen. Nadat de schadelijke werking van de CFK's aan het licht kwam, met name de ontwikkeling van het ozongat, werden de HCFK's (chloorfluorkoolwaterstoffen) en nadien de HFK's (fluorkoolwaterstoffen) ontwikkeld als vervangproducten. Bij de HCFK's werd een deel van de waterstofatomen niet vervangen door chloor waardoor ze een lagere ozonafbrekende werking hebben dan de CFK's (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Nadien ontstonden de HFK's. Daar zij geen chlooratomen meer bevatten, tasten zij de ozonlaag niet meer aan. Ze dragen echter wel bij tot het broeikaseffect. Een

ander vervangproduct van de CFK's zijn de PFK's (perfluorkoolwaterstoffen). HFK's en PFK's worden momenteel gebruikt in onder andere koelinstallaties, airco's, schoonmaakmiddelen en brandblusapparaten (Federale dienst Klimaatverandering, 2009).

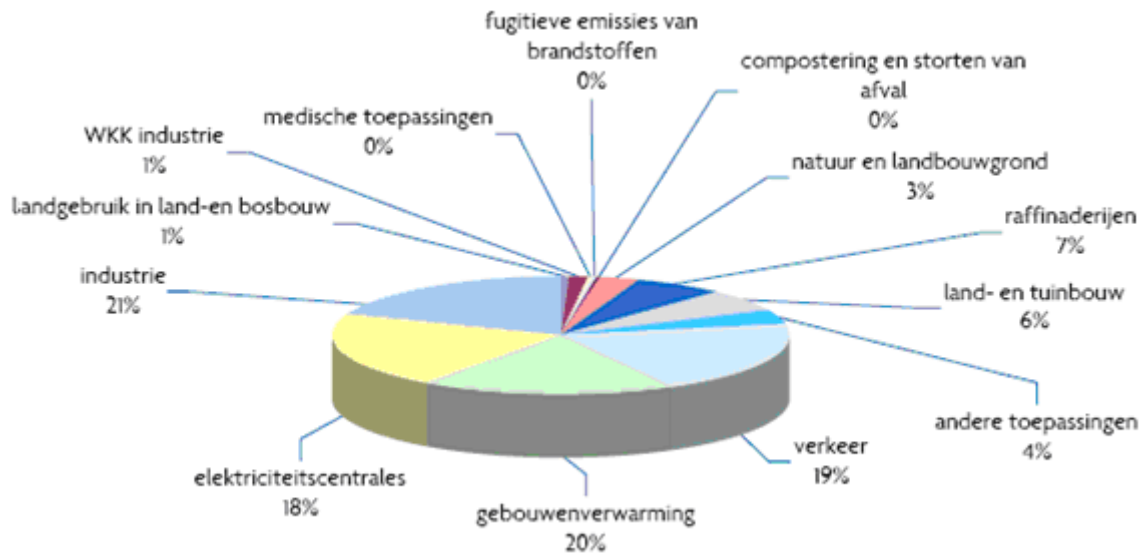
De broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O zijn van nature aanwezig in de atmosfeer. Zij absorberen dus gedeeltelijk de warmte die de aarde uitstraalt. De menselijke activiteiten zorgen echter voor een toename van de concentratie van deze broeikasgassen en versterken hierdoor het natuurlijke broeikaseffect. Zo is iets meer dan de helft van de totale uitstoot van CH₄ afkomstig van menselijke activiteiten, waaronder de landbouw, de behandeling van het huishoudelijk afval en de exploitatie en distributie van aardgas. De concentratie van methaan is sinds 1750 met 150% toegenomen van 700 naar 1774 ppb in 2005 en is verantwoordelijk voor ongeveer 20% van het broeikaseffect. Bovendien heeft het een opwarmend vermogen per ppb dat ongeveer 21 keer groter is dan dat van CO₂ (Federale dienst Klimaatverandering, 2009).

De uitstoot van N₂O door menselijke activiteiten is afkomstig van onder andere landbouw, chemische industrie en de verbranding van fossiele brandstoffen voor huisverwarming en transport. Momenteel is de concentratie ongeveer 16% hoger dan in 1750 en toegenomen van 270 naar 319 ppb in 2005. Het gas is verantwoordelijk voor ongeveer 6% van het broeikaseffect, en heeft een opwarmend vermogen per ppb dat 310 keer hoger is dan CO₂ (Federale dienst Klimaatverandering, 2009).

Koolstofdioxide wordt in grote mate door de menselijke activiteiten veroorzaakt, meerbepaald door het opwekken van energie via verbranding van fossiele brandstoffen zoals steenkool, aardolie en aardgas. Maar ook ontbossing, industriële processen zoals de productie van cement en kalk en activiteiten in de petrochemie en de metaalnijverheid dragen hiertoe bij. Dit gas heeft een aandeel van meer dan 50% in het broeikaseffect en heeft hierdoor het grootste aandeel (Federale dienst Klimaatverandering, 2009).

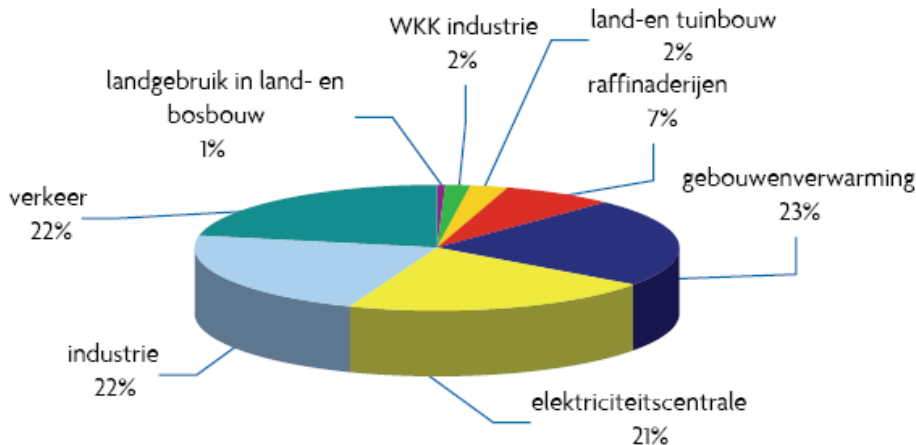
3.4.2 Invloed van het transport

Alle energieverbruikende activiteiten op basis van fossiele brandstoffen zijn samen verantwoordelijk voor ongeveer 2/3 van de totale broeikasgasemissies door de mens, en meer specifiek voor meer dan 80% van de totale CO₂-uitstoot wereldwijd (Federale dienst Klimaatverandering, 2009). Wanneer in figuur 7 de verschillende sectoren in Vlaanderen in 2008 worden vergeleken, zien we dat het transport verantwoordelijk is voor 19% van de totale uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O en F-gassen). Dit impliceert een toename van 5% ten opzichte van het jaar 1990. Naast transport hebben in 2008 de industrie (21%), de gebouwenverwarming (20%) en de elektriciteitscentrales (18%) een grote bijdrage in de totale broeikasgasemissies in Vlaanderen.



Figuur 7: Bijdrage van de verschillende sectoren in de totale broeikasgasemissie in Vlaanderen in 2008 (in %) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009)

In de periode 1990-2008 is het aandeel van F-gassen, CH₄ en N₂O in de totale emissie gedaald met respectievelijk 8%, 2% en 3%, terwijl dit van CO₂ met 13% is toegenomen. De stijgende trend van de CO₂-emissie kan voornamelijk worden toegeschreven aan het transport. Uit figuur 8 kan afgeleid worden dat de transportsector goed is voor 22% van de totale CO₂-emissie in 2008 in Vlaanderen. Ten opzichte van 1990 is dit een toename van 3% (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009).



Figuur 8: Aandeel van de verschillende sectoren in de totale CO₂-emissie in Vlaanderen in 2008 (in %) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009)

In 2008 werd door het wegverkeer in Vlaanderen 12.950 kton CO₂ uitgestoten. De emissie van CO₂ door de binnenvaart en dieseltreinen bedroeg toen respectievelijk 236.470 ton en 68.090 ton

(Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de emissie van CO₂ hoofdzakelijk kan toegeschreven worden aan het vervoer langs de weg.

Om de emissie van CO₂ per tonkm van de diverse modaliteiten te kunnen vergelijken, dient een onderscheid gemaakt te worden tussen bulk- en non-bulkvervoer. Bulkvervoer is het vervoer van grote hoeveelheden homogene onverpakte vaste stoffen of vloeistoffen, zoals veevoeder en melk. Non-bulktransport daarentegen omvat stukgoed en containers en heeft over het algemeen een lagere dichtheid dan bulkclading. De gemiddelde CO₂-emissie per tonkm van verschillende transportmodi bij het vervoer van bulkgoederen en van non-bulkgoederen wordt aangeduid in respectievelijk tabel 4 en 5.

Tabel 4: Gemiddelde CO₂-emissie van verschillende transportmodi bij bulkvervoer (in g/tonkm) (Smokers, den Boer, & Faber, 2007)

Transportmiddel	CO₂-emissie (in g/tonkm)
Vrachtauto >20 ton	68
Trekker - oplegger	68
Elektrische trein	25
Dieseltrein	34
Binnenschip <250 ton	133
Binnenschip 250-400 ton	59
Binnenschip 400-650 ton	54
Binnenschip 650-1.000 ton	46
Binnenschip 1.000-1.500 ton	42
Binnenschip 1.500-3.000 ton	42
Binnenschip >3.000 ton	14
Bulkschip OB1	9
Bulkschip OB2	5
Tankschip OC1	19
Tankschip OC2	6

Noot: De scheepsklassen 1 en 2 verwijzen naar grootteklassen. Klasse 1 komt overeen met een gemiddelde capaciteit van 1.100 ton, klasse 2 komt overeen met een capaciteit van gemiddeld 6.500 ton.

Tabel 5: Gemiddelde CO₂-emissie van verschillende transportmodi bij non-bulkvervoer (in g/tonkm) (Smokers, den Boer, & Faber, 2007)

Transportmiddel	CO₂-emissie (in g/tonkm)
Vrachtauto <3,5 ton	659
Vrachtauto 3,5-10 ton	231
Vrachtauto 10-20 ton	123
Vrachtauto >20 ton	69
Trekker – oplegger	71
Elektrische trein	42
Dieseltrein	55
Binnenschip <250 ton	209
Binnenschip 250-400 ton	94
Binnenschip 400-650 ton	86
Binnenschip 650-1.000 ton	88
Binnenschip 1.000-1.500 ton	112
Binnenschip 1.500-3.000 ton	104
Binnenschip >3.000 ton	48
Containerschip C1	34
Containerschip C2	29
Vliegtuig 500km	2.602
Vliegtuig 1.500km	1.972
Vliegtuig 6.000km	1.736

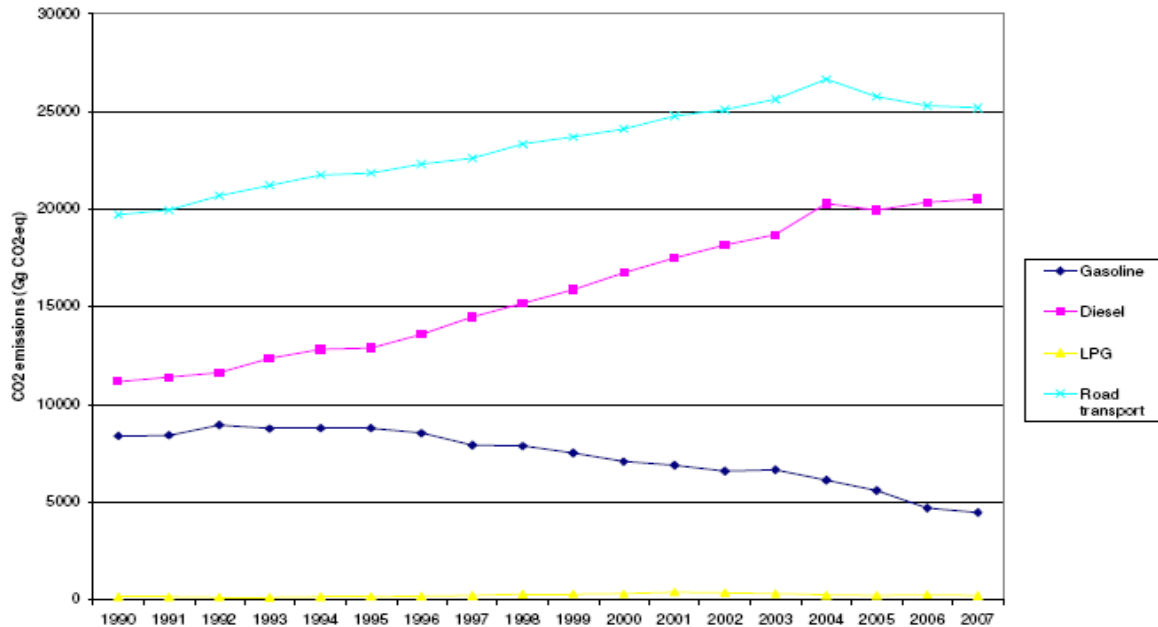
Noot: Scheepsklasse 1 komt overeen met gemiddeld 350 TEU en klasse 2 met 800 TEU.

Bij het vergelijken van tabel 4 en 5 wordt duidelijk dat de CO₂-emissie van non-bulktransport aanzienlijk hoger is dan van bulktransport. Dit wordt verklaard door de lagere dichtheid van non-bulktransport. Het handelt hier veelal om volumelading. In het non-bulkvervoer stoten lichte vrachtauto's en kleine binnenschepen meer CO₂ uit dan hun grotere variant, aangezien kleinere voertuigen meer energie-inefficiënt zijn. Over het algemeen geldt dat het vervoer over spoor en water gepaard gaat met de laagste CO₂-uitstoot (Smokers, den Boer, & Faber, 2007).

Een opvallende bevinding in tabel 5 is dat voor binnenschepen met een laadvermogen tussen 650 en 3.000 ton een hogere CO₂-emissie geldt dan voor het kleinere binnenschip 400-650 ton. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de grotere binnenschepen verouderd en hierdoor minder brandstofefficiënt zijn dan de nieuwe, kleinere scheepstypen.

De uitstoot van CO₂ hangt ook rechtstreeks samen met het verbruik. De CO₂-productie bedraagt ongeveer 2.400 g per liter benzine en 2.700 g per liter diesel. Aldus produceert een liter diesel meer CO₂ dan een liter benzine. Diesel bevat echter meer energie per liter en laat dus toe meer afstand af te leggen met eenzelfde volume brandstof (Febiac, 2007). Er is een merkbare

overschakeling van benzine naar dieselmotoren in België. Deze verandering wordt gereflecteerd in hun CO₂-emissies en wordt weergegeven in figuur 9.



Figuur 9: Evolutie CO₂-emissie van diesel, benzine, LPG en wegtransport in België (in Gg) (VMM, Vito, AWAC, IBGE-BIM, IRCEL, ECONOTEC, 2009)

3.5 Verdrag van Kyoto

Om de emissie van broeikasgassen in de atmosfeer te reduceren, zijn hieromtrent in 1997 internationale afspraken gemaakt tussen de deelnemende landen in het Japanse Kyoto. Zo is het Protocol van Kyoto tot stand gekomen. De in het protocol aangevane reductieverplichtingen hebben betrekking op zes broeikasgassen, met name CO₂, N₂O, CH₄ en de F-gassen (HFK's, PFK's en SF₆). Volgens het Kyotoprotocol moeten de ontwikkelde landen de gezamenlijke uitstoot in de periode 2008-2012 terugschroeven met 5,2% ten opzichte van hun niveau in het referentiejaar 1990 (Nationale Klimaat Commissie, 2007). Hierbij treden wel verschillen op tussen de individuele landen wat betreft de reductiedoelstelling. De toegestane uitstoot tijdens de periode 2008-2012 wordt bepaald op basis van het niveau van de emissies van het referentiejaar.

De ondertekening van het Protocol in Kyoto in 1997 was de eerste aanzet. Nochtans trad het verdrag enkel in werking wanneer 55 landen het Protocol ratificeerden en wanneer hierbij de gemeenschappelijke CO₂-uitstoot van de geïndustrialiseerde landen minstens 55% bedroeg van de totale uitstoot van de hele geïndustrialiseerde wereld (in het referentiejaar 1990). Mits de Verenigde Staten het verdrag niet bekrachtigden en bovendien wereldwijd ongeveer een derde van de CO₂-uitstoot voor hun rekening nemen, werd het behalen van de tweede drempel afhankelijk

van de ratificatie door Rusland, verantwoordelijk voor ruim 17% van de CO₂-uitstoot in 1990. Uiteindelijk vond de goedkeuring van het Protocol door Rusland plaats op 18 november 2004 waardoor de gemeenschappelijke CO₂-uitstoot van alle deelnemende industrielanden tot 61,6% oplom. Vandaar is het Verdrag van Kyoto sinds 16 februari 2005 officieel van kracht kunnen gaan (Federale dienst Klimaatverandering, 2009).

België ondertekende het protocol op 29 april 1998 en de ratificatie gebeurde in mei 2002 (Federale dienst Klimaatverandering, 2009). Onder dit protocol zou België in de periode 2008-2012 de emissie van broeikasgassen met 7,5% moeten verminderen ten opzichte van het niveau van 1990 (Nationale Klimaat Commissie, 2007). Volgens de Vlaamse Milieumaatschappij (2009) blijkt er in de periode 1990-2008 een daling te zijn van de broeikasgasemissies van 8%. De keuze van 1995 als referentiejaar voor de F-gassen in plaats van 1990 zoals voor de andere broeikasgassen leidt tot een daling van 9% van de emissies in 2008 in vergelijking met 1990. Dit betekent dat in 2008 de totale uitstoot zich onder de Kyotodoelstelling bevond, de vraag is echter of dit resultaat de volgende jaren kan behouden worden.

In 2012 is de termijn van het Kyoto-protocol verstreken. Om de strijd tegen de klimaatverandering en de opwarming van de aarde verder te zetten, is er een nieuw akkoord nodig. Op de conferentie in Kopenhagen in december 2009 werd door verscheidene staats- en regeringsleiders onderhandeld over de vernieuwing van het klimaatakkoord. Ondanks vele vergaderingen werd er geen bindend internationaal klimaatverdrag tegen eind 2010 afgesloten. Wegens wantrouwen tussen de verschillende landen bleek een echt akkoord onmogelijk. Hierbij betreft het vooral de houding van China en de VS. Volgens het Westen ligt de schuld bij China, vermits zij de allergrootste vervuiler zijn en niet toestaan dat de rest van de wereld hun inspanningen kan controleren. Volgens president Barack Obama zou de klimaatregeling een negatieve impact hebben op de economie. Hij zou als dusdanig geen enkele Amerikaanse job willen opofferen in het voordeel van het klimaat (Van Vlierden, 2009). In plaats van een bindend verdrag, werd het niet meer dan een vage verbintenis. De voornaamste elementen uit het 'Copenhagen Accord' zijn: beperking van de opwarming tot 2°C zonder dat hiervoor een streefdatum bepaald is en een wereldwijde daling van de uitstoot van broeikasgassen met 50% tegen 2050. Hierbij zouden de rijke landen zich engageren om tegen 2050 hun uitstoot terug te dringen met 80% (Huisman, 2009).

3.6 Ecologie wint aan belang in de bedrijfswereld

Volgens Knuth (2008) is duurzaamheid en economisch succes sterk aan elkaar verbonden. In steeds meer industrieën blijken duurzame bedrijfspraktijken de sleutel te zijn tot succes. Ondernemingen die, ondanks de toenemende schaarste aan bronnen en energieprijzen, kiezen om de juiste technologieën en efficiënte energiebesparende concepten toe te passen, kunnen hieruit voordeel halen. Enerzijds zullen bedrijven die niet op een milieubewuste, ethische manier

handelen, het risico lopen op verlies. Anderzijds zullen de ondernemingen die wel op een duurzame manier opereren een essentieel conflict ervaren tussen de onmiddellijke en de langetermijnbehoefte van hun klanten. Een voorbeeld hiervan in de transportwereld is de eis van klanten voor snelle leveringen. Om aan deze eis te voldoen zal gebruik gemaakt worden van een snelle vervoerswijze, namelijk de vrachtwagen. Doch vanuit het langetermijnperspectief heeft dit wegvervoer een milieuvervuilend effect en een negatieve impact op de omgeving, waardoor de langetermijnbehoefte van duurzaamheid niet wordt bevredigd.

De impuls om de richting van duurzaamheid te volgen wordt gecreëerd door de marktvrage of, indien deze onvoldoende is, door de overheid. De overheid kan dit milieubewuste gedrag stimuleren door financiële ondersteuning te bieden voor nieuwe technologieën of door sancties op te leggen tegen onaanvaardbaar gedrag.

De vervoersmaatschappij DHL (genoemd naar de drie oprichters Dalsey, Hillblom en Lynn) is wereldmarktleider op het gebied van internationale expresbezorging en logistiek en heeft zich bijvoorbeeld geëngageerd om milieubewuster te ondernemen. Zo heeft de logistieke dienstverlener in 2008 vijftig bestelwagens aangeschaft die rijden op aardgas. DHL wil hiermee de totale CO₂-uitstoot van al zijn voertuigen in 2020 met 30% hebben verminderd (Berkheij, 2008). Ook in de modewereld worden initiatieven genomen om de milieu-impact te reduceren. Eén van de meest opvallende voorbeelden is de Earthkeeper van Timberland, de schoen met de kleinste ecologische voetafdruk. De Earthkeepers collectie is gemaakt van de meest ecologische grondstoffen, meer bepaald zolen van gerecycleerd rubber en gerecycleerd of biologisch katoen. Onder het motto 'doing well and doing good' zet Timberland zich dus in voor een schoon milieu en een betere maatschappij. Met deze ecologische filosofie tracht de onderneming consumenten bewust te maken van de milieuproblematiek en hen zodanig de bedrijven aansprakelijk te houden voor hun beleid. Vandaar heeft Timberland de 'Green Index' ingevoerd. Deze index meet de milieu-impact van de producten en geeft de consument een zo goed mogelijk beeld van de 'ecologische voetafdruk'. Een lager cijfer van de 'Green Index', betekent een hogere milieuscore ("Timberland lanceert Earthkeepers collectie", 2010). Een ander voorbeeld heeft betrekking op de Jobat-Eco Award. Dit is de prijs die wordt toegekend aan het groenste bedrijf in België. Op die manier worden ondernemingen aangespoord om ecologisch te handelen zodanig dat dit hun reputatie ten goede komt.

Hoofdstuk 4: De interne kosten van het goederenvervoer

4.1 Inleiding

Ondernemingen hebben nood aan transport. Het vervoer van goederen kan op verschillende wijzen gebeuren: via de weg, het spoor, de binnen-, lucht- en zeevaart, via pijpleidingen of via een combinatie van deze modi, of dus het multimodaal vervoer. Om er nu voor te zorgen dat de juiste vervoersbeslissing genomen wordt, is het van belang de kost van het transport te kennen. Wanneer transportbeslissingen genomen worden vanuit het standpunt van de onderneming die transport vraagt en hiervoor een professionele vervoerder inschakelt, dienen ook andere kosten buiten de transportkost in beschouwing te worden genomen. De onderneming zal rekening houden met de totale logistieke kost, die beïnvloed wordt door de transportbeslissing. Immers, wanneer de onderneming staat voor de keuze tussen meerdere transportmodi, zal niet noodzakelijk gekozen worden voor die oplossing met de laagste transportkost. De onderneming zal ook aandacht schenken aan de mogelijke impact van de specifieke transportbeslissing op andere logistieke kosten, zoals voorraad- en verpakkingskosten (Blauwens et al., 2008).

In dit hoofdstuk zullen de interne of private kosten worden aangehaald. Dit zijn de kosten die direct ten laste vallen van de transportgebruiker. Deze zal zijn vervoersbeslissing voornamelijk baseren op de interne kosten van transport. Bijgevolg streeft een onderneming het privaat optimum na. Om de juiste vervoersbeslissing te kunnen maken, dienen echter zowel de private als de externe kosten in rekening gebracht te worden. Het probleem is echter dat de ondernemer wel rekening wil houden met de externe kosten, maar omwille van de concurrentie is dit uitermate moeilijk. Indien de onderneming de externe kosten toch zou dragen, zou zijn concurrentiepositie sterk afnemen. De bespreking van deze externe kosten komt aan bod in hoofdstuk 5.

Volgens Blauwens et al. (2008) bestaat de logistieke kost uit de volgende kostencomponenten:

- 1) Transportkosten
- 2) Kosten van goederenbehandeling
- 3) Voorraadkosten
- 4) Kosten van voorraadtekort
- 5) Verpakkingskosten
- 6) Kosten van orderbehandeling en administratie
- 7) Instelkosten
- 8) Kosten van klantenservice
- 9) Kosten van vestigingsplaats

In het volgende deel van dit hoofdstuk zullen deze kostenelementen besproken worden.

4.2 Transportkosten

De transportkosten vormen het deel van de logistieke kosten die rechtstreeks veroorzaakt worden door het transport van goederen van de leverancier naar de klant. Voor een onderneming die een professionele vervoerder of een transportbedrijf inhuurt voor de uitvoering van zijn transport, bestaan de transportkosten uit de overeengekomen vervoersprijs. Wanneer de onderneming in haar eigen transport voorziet, zullen de transportkosten gelijkgesteld worden aan de kosten die rechtstreeks veroorzaakt worden binnen deze onderneming. De transportkosten kunnen in dit geval onderverdeeld worden in twee categorieën, namelijk tijds- en kilometerkosten (Blauwens et al., 2008).

Tijdskosten omvatten de kosten die voortvloeien uit het voorbijgaan van de tijd en zijn niet gebonden aan het aantal afgelegde kilometers. Ze ontstaan dus tijdens het verplaatsen, laden, lossen, stilstaan of bij vertraging. De totale tijdskosten worden bepaald door het aantal te verrichten uren. Het aantal uren dat een opdracht in beslag heeft genomen, is dus de maatstaf om tijdskosten aan de afzonderlijke vervoersprestaties toe te wijzen. Voorbeelden van deze tijdskosten zijn onder andere het loon van de bestuurders van de transportmodi, verzekering voor voertuigen, huur van magazijnen en het loon van de werknemers op de administratieve diensten (Blauwens et al., 2008).

Kilometerkosten komen slechts voor wanneer het voertuig zich verplaatst. Ze ontstaan dus enkel wanneer er kilometers worden afgelegd en, in tegenstelling tot tijdskosten, niet tijdens stilstand, lossen, laden of vertraging. Deze kosten kunnen worden toegewezen aan iedere vervoersprestatie op basis van de gereden kilometers. Voorbeelden van deze kilometerkosten zijn onder meer brandstofverbruik, onderhoud van de transportmodi dat regelmatig terugkeert na een bepaalde afgelegde afstand, eventueel kilometervergoeding van het personeel en slijtage (Blauwens et al., 2008).

Ongetwijfeld zullen er enkele transportkosten zijn die, ten gevolge van hun aard, niet goed passen in de indeling van tijds- en kilometerkosten. Ze zijn noch met het aantal uren, noch met de afgelegde kilometers gerelateerd. Voorbeelden hiervan zijn commissielonen, verblijfskosten van bemanningen, tol- en havengelden. Deze kosten zullen achteraf toegevoegd worden aan de kostenberekening (Blauwens et al., 2008).

Indien louter naar de transportkosten wordt gekeken, zal men steeds opteren voor het traagste transportmiddel met de hoogste laadcapaciteit, waardoor een grote hoeveelheid kan vervoerd worden met schaalvoordelen als gevolg. Transport via een binnenschip bijvoorbeeld kost veel

minder dan het vervoer via de weg (Blauwens et al., 2008). Het is evident dat ook andere logistieke factoren in acht moeten worden genomen dan enkel deze transportkost, want het gebruik van trage modi leidt op zijn beurt tot bijvoorbeeld hoge voorraadkosten. In bijlage 4 en 5 worden de componenten van de transportkost weergegeven voor het vervoer langs de weg en via de binnenvaart.

4.3 Kosten van goederenbehandeling

De behandelingskost van de goederen ontstaat bij het laden, lossen of overslaan van de lading. Deze kost kan ondermeer betrekking hebben op de personeelskost, de financiering en onderhoud- en herstellingskosten van de terminalinfrastructuur en de overslagtechnieken en andere kosten zoals energie en verzekering.

Bij multimodaal vervoer zullen de behandelingskosten meestal hoger liggen ten opzichte van het rechtstreeks wegvervoer. Dit kan verklaard worden doordat er extra overslagpunten vereist zijn. Zoals reeds eerder vermeld heeft het transport van A naar B per binnenschip een relatief lage kost per ton. Echter, de extra handelingen, zoals de overslag, maakt multimodaal vervoer uiteindelijk toch vaak duurder dan wegtransport. Momenteel is de overslagkost een belangrijke hinderpaal. Om deze kost terug te dringen, zou men kunnen investeren in nieuwe overslagtechnieken of terminals.

4.4 Voorraadkosten

De derde categorie van logistieke kosten die sterk gerelateerd zijn aan transportbeslissingen, zijn de voorraadkosten. Bij het maken van een keuze tussen de verschillende transportmodaliteiten, zal er een afweging plaatsvinden tussen de voorraad- en de transportkosten. Indien de onderneming wenst de voorraadkost te optimaliseren, kiest ze best voor een snel transportmiddel met een beperkte laadcapaciteit zodanig dat de kleine hoeveelheid goederen korte tijd onderweg zijn met lage voorraadkosten als gevolg. In dit geval zal gekozen worden voor het weg- of luchtvervoer. Hierbij worden hogere transportkosten aanvaard om de voorraadkosten te reduceren. Omgekeerd, het vervoer van goederen via een trage transportmodus met grote laadcapaciteit, zoals de binnenvaart of het spoorvervoer, zal gepaard gaan met lage transportkosten en dus ook hogere voorraadkosten. De voorraadkosten zullen hoger zijn voor deze modi, omwille van een grotere vervoerde hoeveelheid en de langere tijd die nodig is om de goederen te vervoeren (Blauwens et al., 2008). In het multimodaal vervoer kan de terminal echter wel dienen als een goedkope opslagplaats. Een terminal in het achterland zal de goederen goedkoper in voorraad kunnen houden dan bijvoorbeeld een drukke zeehaven.

Voordat we overgaan naar de verschillende voorraadtypes die beïnvloed worden door transport, zal eerst de kost voor het aanhouden van goederen in voorraad nader bekeken worden. Deze kost dient gekend te zijn om de juiste afweging te kunnen maken tussen voorraad- en transportkosten.

De voorraadkost bestaat uit de volgende vier componenten:

- a) Intrest- of kapitaalkosten
- b) Verzekeringskosten of kost voor risico
- c) Ontwaardingkosten van de goederen
- d) Magazijnkosten

In wat volgt worden de componenten elk afzonderlijk besproken.

a) Intrest- of kapitaalkosten

Aan goederen in voorraad zit kapitaal verbonden dat niet aangewend kan worden voor alternatieve beleggingen. Hierdoor verliest men intrest, wat ook wel verdorven intrest wordt genoemd (Blauwens et al., 2008). Bovendien is het voor het bepalen van de intrestkost niet van belang of goederen zich bevinden in transport of op de plaats van bestemming, aangezien in beide gevallen het kapitaal vastzit. Volgens Blauwens et al. (2008) worden de Westerse landen gekenmerkt door een gemiddelde reële intrestvoet van ongeveer 4%. Dit percentage zou een onderneming als basis kunnen nemen bij de berekening van de reële intrestkost van de voorraad. Nochtans dient men hierbij op te merken dat er verschillen zullen bestaan tussen bedrijven.

b) Verzekeringskosten of kost voor risico

Wanneer de onderneming de goederen verzekert tegen diefstal en brand en als bovendien de verzekeringspremie afhankelijk is van het aantal opgeslagen eenheden in voorraad, vormt de bijkomende jaarlijkse premie per eenheid van het goed ook een element van de jaarlijkse voorraadkost. Indien de ondernemer zich verzekert tegen deze risico's, zal de betaalde premie verrekend worden in de voorraadkost. Indien de onderneming zich niet verzekert en een risico loopt, zal dit risico nog steeds moeten verrekend worden in de kost van voorraadhouding. Dit is uiteraard geen eenvoudige taak voor de onderneming. De verzekeringskost wordt daarom meestal als minder belangrijk beschouwd.

c) Ontwaardingskosten van de goederen

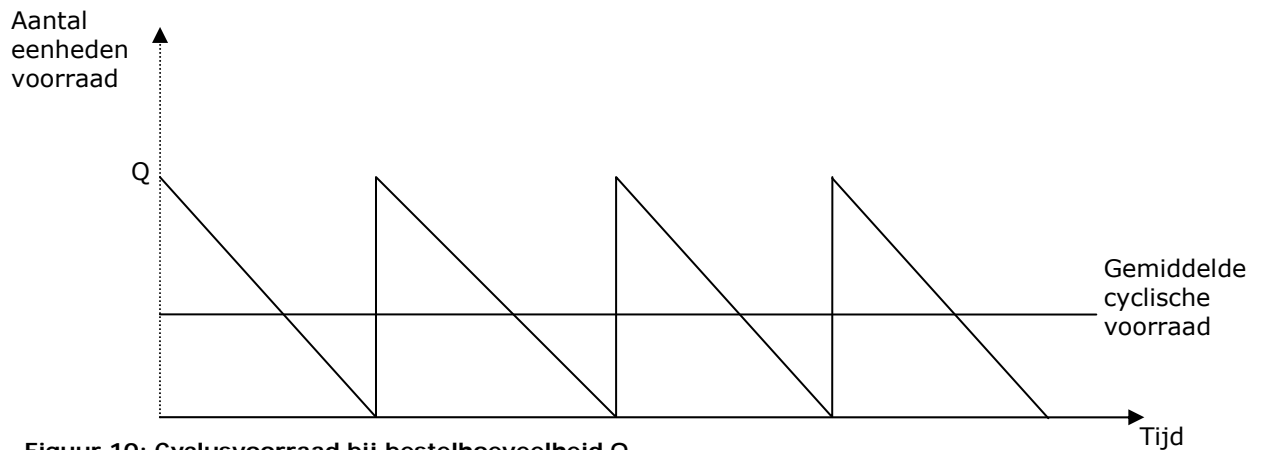
Goederen kunnen ontwaarden door fysische achteruitgang (natuurlijke aftakeling), of de economische veroudering. De economische ontwaarding is het belangrijkste en heeft betrekking op hoe snel de waarde van het product vermindert ten gevolge van de introductie van nieuwe producten op de markt. De economische ontwaardingskosten zijn sterk afhankelijk van het type product en worden bepaald door de levensduur ervan. In de computermarkt bijvoorbeeld of bij modekleding zijn de economische ontwaardingskosten enorm hoog, aangezien deze items na enkele maanden of jaren hun volledige waarde verliezen ten gevolge van technische innovatie of nieuwe trends. In andere gevallen is de ontwaarding van de goederen gelijk aan nul. Het in voorraad houden van ijzererts of van auto-onderdelen in een autofabriek die nog ruime tijd hetzelfde model zal produceren, houdt geen risico in op veroudering. De economische ontwaardingskost vormt de belangrijkste factor in de jaarlijkse voorraadkost (Blauwens et al., 2008).

d) Magazijnkosten

De laatste kostencomponent in de voorraadkost vormt de magazijnkost. Wanneer de onderneming niet over een eigen opslagplaats beschikt om goederen te stockeren, zal hij een magazijn huren. Dit komt regelmatig voor bij zeehavens, luchthavens of distributiecentra. In dit geval zal er een vergoeding moeten betaald worden. Deze vergoeding zal bepaald worden door het bedrag dat gevraagd wordt door de eigenaar van het magazijn voor de opslag per ton, per m³ of per eenheid van het product. Wanneer de vervoersgebruiker wel beschikt over een eigen opslagruimte, zullen de hieruit voortvloeiende kosten nog steeds moeten verrekend worden in de voorraadkost. Het betreft kosten zoals intrest, afschrijving, verwarming, verlichting en onderhoud.

Blauwens et al. (2008) maken ook nog een onderscheid tussen verscheidene types van voorraad. In het onderstaande zullen enkel de types, die het meest beïnvloed worden door het transport, toegelicht worden. Deze zijn de cyclusvoorraad, de in transit voorraad en de veiligheidsvoorraad.

Een eerste voorraadtype is de **cyclusvoorraad**. Het bestellen van goederen door een onderneming gebeurt meestal in een hoeveelheid die gedurende een bepaalde periode voldoet aan haar behoeften. Vandaar zullen de geleverde goederen bij aankomst voor een tijd opgeslagen worden in de voorraad. De evolutie van deze voorraad wordt gekenmerkt door een cyclisch patroon, zoals aangegeven op figuur 10. Bij aankomst van de goederen bedraagt het cyclische voorraadniveau de totale bestelde hoeveelheid Q . Daarna zal de cyclusvoorraad afnemen met het tempo waarmee de goederen geconsumeerd worden. Op het moment dat de cyclusvoorraad uitgeput is, vindt een nieuwe voorraadaanvulling plaats. Hieruit kan worden afgeleid dat gemiddeld de helft van de bestelhoeveelheid in cyclische voorraad ligt.



Figuur 10: Cyclusvoorraad bij bestelhoeveelheid Q

Zoals reeds eerder vermeld, houdt de transportbeslissing gevolgen in voor de voorraadkosten. Wanneer men transportkosten wil besparen door te kiezen voor een transportmiddel met een grote laadcapaciteit, zullen de cyclische voorraadkosten oplopen. Enkel door in kleine hoeveelheden te vervoeren, kunnen de desbetreffende voorraadkosten verminderen (Blauwens et al., 2008).

Tijdens het transport worden de goederen gestockeerd in het transportmiddel. Dit wordt de **in transit voorraad** genoemd, ook al zijn de goederen onbeschikbaar. Ze worden voor de volledige transporttijd in voorraad gehouden. Dit voorraadtype zal dus voorraadkosten veroorzaken gedurende deze tijd, namelijk intrest-, verzekering-, en ontwaardingskosten. Enkel de magazijnkost valt niet onder de voornoemde kost, aangezien de goederen zich bevinden in de transportmodus. De in transit voorraad mag niet worden onderschat. In volume kan het zelfs de cyclusvoorraad overstijgen. Als een onderneming bijvoorbeeld zijn voorraad maandelijks aanvult, dan zal een gemiddelde van één ton goederen in cyclusvoorraad blijven voor slechts veertien dagen. Wanneer de goederen van overzee moeten komen, is het mogelijk dat de totale transporttijd langer kan bedragen dan veertien dagen. Als gevolg zal de in transit voorraad groter zijn dan de cyclusvoorraad, omdat de goederen langer aanwezig zijn in het transportmiddel dan in de cyclische voorraad (Blauwens et al., 2008).

Het effect van in transit voorraadkosten op transportbeslissingen is verschillend van het effect van de kosten van cyclusvoorraad. De kosten van cyclusvoorraad moedigen het transport in kleine ladingen aan, terwijl de voorraadkost tijdens vervoer een sneller transportmiddel aansporen. Het verschil wordt snel overkeken, aangezien de snelste transportmodi ook het kleinste laadvermogen hebben, maar in feite gaat het om twee verschillende zaken (Blauwens et al., 2008).

Aangezien multimodaal vervoer gewoonlijk trager verloopt dan het rechtstreekse wegvervoer omwille van de extra overslagpunten, kunnen we besluiten dat de voorraadkosten tijdens transport in het nadeel spelen van multimodaal vervoer.

Veiligheidsvoorraad, ook wel buffervoorraad genoemd, is de voorraad die aangehouden wordt bovenop de cyclusvoorraad. Het idee is om een reserve aan te houden bij onzekerheid over de vraag vanwege klanten of over de tijdspanne tussen het moment waarop de bestelling geplaatst wordt en de werkelijke levering van de goederen. Aangezien fluctuaties in ieder van de voornoemde situaties moeilijk voorspeld kunnen worden, zal de onderneming bewust niet wachten tot het voorraadniveau gedaald is tot nul. Bestellingen worden eerder geplaatst zodanig dat de aankomst van de bestelling voorzien wordt op het moment dat het huidige voorraadniveau zich bevindt op het niveau van de veiligheidsvoorraad (Blauwens et al., 2008). De kost voor het aanhouden van een veiligheidsvoorraad is afhankelijk van het gewenste serviceniveau. Hoe hoger het serviceniveau, hoe hoger de veiligheidsvoorraad zal zijn en dus ook de bijhorende kost.

4.5 Kosten van voorraadtekort

De kosten van een voorraadtekort hebben betrekking op de kosten die resulteren uit de tijdelijke uitputting van de voorraad van een goed. Hierdoor zal een order gerelateerd aan dit product niet kunnen gerealiseerd worden. In dit geval bestaan er twee opties: de uitvoering van een order uitstellen totdat het goed opnieuw in voorraad is of het order afwijzen. De kosten van een voorraadtekort bestaan ondermeer uit een daling in klantenservice, het stilstaan van machines en de onderbreking in de productie (Blauwens et al., 2008).

Er dient wel opgemerkt te worden dat voorraadkosten en de kosten van een voorraadtekort een tegenwerkend effect hebben. Wanneer bijvoorbeeld de onderneming beslist om een kleinere veiligheidsvoorraad aan te houden, zullen de voorraadkosten lager zijn, maar de kost van een voorraadtekort hoger (Blauwens et al., 2008).

4.6 Verpakkingskosten

Transportbeslissingen hebben ook een invloed op verpakkingskosten. Alvorens het transport plaatsvindt, dient het grootste deel van de goederen immers verpakt te worden. Voor sommige transporten zijn goedkope verpakkingen vereist, zoals onder meer het geval is bij bulk- of tankvervoer. Het stukvervoer daarentegen vereist een duurdere verpakking (Blauwens et al., 2008).

4.7 Kosten van orderbehandeling en administratie

Wanneer de goederen in kleine kwantiteiten worden verzonden, zullen de kosten van orderbehandeling en administratie toenemen. Om die reden trachten bedrijven bestellingen te groeperen, zodanig dat de verzendkwantiteit toeneemt. Hieruit kan afgeleid worden dat ondernemingen die de kosten van orderbehandeling en administratie willen beperken, een voorkeur hebben voor transportmodi met een grote laadcapaciteit.

Tot slot kan nog vermeld worden dat het belang van de orderbehandeling- en administratiekost steeds afneemt in de totale logistieke kost. Dit kan grotendeels verklaard worden door steeds toenemende automatisatie, waardoor de orderbehandeling en administratie een minder arbeidsintensief proces is geworden (Blauwens et al., 2008).

4.8 Instelkosten

Instelkosten zijn kosten die ontstaan wanneer de onderneming overschakelt van het ene naar het andere product. Bij deze omschakeling gaat onder andere tijd verloren en zijn andere materialen vereist. Transport- en voorraadbeslissingen hebben een mogelijk effect op deze instelkosten, aangezien de keuze van de batchgrootte beïnvloed wordt door de leveringshoeveelheid. Door te vervoeren in grote kwantiteiten kan bespaard worden op de instelkosten. De cyclus voorraadkost daarentegen zal dan toenemen. Bijgevolg dient er een afweging gemaakt te worden tussen instelkosten en cyclus voorraadkosten bij het bepalen van de juiste partijgrootte (Blauwens et al., 2008).

4.9 Kosten van klantenservice

Transportbeslissingen kunnen niet alleen een invloed uitoefenen op klantenservice via levertijden en voorraadaanhouding, maar ook via de behandeling van de goederen en de manier waarop klanten na aankoop van het goed nog worden bijgestaan. Wanneer klantenservice primeert, hebben de meeste ondernemingen de voorkeur voor eigen vervoer of voor een beperkte groep professionele vervoerders met ervaring in het transport van deze specifieke goederen. Het toevallig selecteren van transportfirma's enkel op basis van prijs, zou een te groot risico op klantenverlies betekenen. Zelfs voor goederen die geen speciale waarde bezitten en dus geen speciale zorg of ervaring vereisen, worden servicestandaarden als belangrijk geacht. Zo is in de Europese Unie, waar de transportmarkt onderhevig is aan competitie tussen vervoerders van verschillende lidstaten, de taal die de bestuurder machtig is, een belangrijke factor voor de klant en een mogelijke reden om te opteren voor vervoerders binnen hetzelfde land (Blauwens et al., 2008).

4.10 Kosten van vestigingsplaats

De totale logistieke kosten van een onderneming kunnen aanzienlijk beïnvloed worden door haar vestigingsplaats. Het betreft hierbij niet enkel de landprijzen, maar ook de loonniveaus, beschikbaarheid van gekwalificeerd personeel, kost van openbare voorzieningen en belastingniveaus die geassocieerd zijn met de locatie van de onderneming (Blauwens et al., 2008). Tevens heeft de ligging van de onderneming een invloed op de vervoersbeslissing. Zo kan de heffing van tolgeden in de nabijheid van de onderneming er toe leiden dat de transportgebruiker kiest voor het spoorvervoer als alternatief voor het wegvervoer om zo te ontsnappen aan de tolheffing.

4.11 Kwalitatieve elementen

Naast de kwantitatieve aspecten van transport die in de vorige paragrafen werden besproken, zijn er ook een aantal kwalitatieve elementen die de keuze van een modaliteit voor het goederentransport beïnvloeden. Voorbeelden van kwaliteitsattributen zijn onder meer de snelheid, flexibiliteit, betrouwbaarheid en veiligheid van de vervoersmodus. Hieronder volgt een vergelijking tussen het wegvervoer en de binnenvaart op basis van de voorgaande criteria.

Snelheid

De binnenvaart wordt vaak bestempeld als een trage transportmodus, aangezien de gemiddelde snelheid van een binnenschip beduidend lager ligt dan die van een vrachtwagen of trein. Wanneer echter de vervoerde hoeveelheid in rekening wordt gebracht, verkrijgt men een totaal ander beeld. Zo kan de Nederlandse binnenvaart in minder dan 24u 50.000 ton van Rotterdam naar Nijmegen vervoeren. Vanuit dit opzicht kan geen enkel ander vervoersmiddel deze snelheid evenaren (Meuwissen I.M.P, 2005).

Flexibiliteit

Wat betreft flexibiliteit scoort het wegvervoer ten opzichte van de binnenvaart beduidend beter. Een vrachtwagen zal zich bijvoorbeeld snel kunnen aanpassen aan veranderende locaties of wensen van de klant, mede door het uitgebreid wegennetwerk in België. De waterinfrastructuur daarentegen biedt niet altijd de mogelijkheid om de meest efficiënte route van A naar B af te leggen of om uit te wijken naar andere routes.

Betrouwbaarheid

Vandaag de dag is voor vele bedrijven de betrouwbaarheid van een voorspelbare aankomsttijd van belang en niet zozeer de snelheid van de transportmodus (Meuwissen I.M.P, 2005). Ten gevolge van toenemende congestie in het wegverkeer scoort het vervoer over water als dusdanig beter dan

het vervoer langs de weg. Volgens Vannieuwenhuysse en Misschaert (2006a) hebben studies berekend dat vrachtwagens door files gemiddeld meer dan 10% van de tijd zouden stilstaan. Vooral voor ondernemingen waar een stipte levering van cruciaal belang is, bijvoorbeeld de medische sector, vormt de betrouwbare voorspelling van de transporttijd een belangrijke troef van de binnenvaart.

Veiligheid

Het vervoer per binnenschip is tot nog toe de veiligste vervoersmodaliteit. Op de waterweg zijn het personen- en goederenvervoer bijna volledig gescheiden, waardoor optimaal gebruik van de aanwezige infrastructuur mogelijk is. Het aantal diefstallen is laag ten opzichte van alle andere transportmodaliteiten, daar het schip relatief moeilijk bereikbaar is en continu onder toezicht staat van schipper en bemanning. Ook worden steeds meer gevaarlijke stoffen via het water vervoerd, omdat aangepaste schepen voldoen aan strenge voorschriften en binnenvaartschippers goed zijn opgeleid en regelmatig worden bijgeschoold inzake het vervoer van de specifieke goederen (Meuwissen I.M.P, 2005).

Hoofdstuk 5: De externe kosten van het goederenvervoer

5.1 Inleiding

Het goederenvervoer en vooral het vervoer langs de weg brengt heel wat ongewenste effecten met zich mee. Hierbij denken we ondermeer aan geluidshinder, luchtverontreiniging, klimaatverandering, congestie, ongevallen, plaatsinname van de weg die vroeger speel- en ontmoetingsplaats was en -in geval van zware vrachtwagens- schade aan het wegdek. De schade die gepaard gaat met deze ongewenste effecten kan worden uitgedrukt in monetaire termen en worden externe kosten genoemd (De Ceuster, 2004). De sociale kost van transport omvat zowel de interne als de externe kostenelementen die komen kijken bij het voorzien van transport. Zoals vermeld in hoofdstuk 4, is de interne kost van transport de directe kost die gedragen wordt door de transportgebruiker. De externe kosten van transport verwijzen naar kosten die door de gebruiker niet in rekschap worden gebracht. Dit zijn bijgevolg kosten die de transportgebruiker veroorzaakt aan derden, zonder het volledige bedrag hiervoor te betalen. Daar deze externe kostenelementen niet volledig in de prijs worden aangerekend, is er een grote vraag naar wegtransport. Om deze vraag in te perken, dienen alle veroorzaakte externe kosten doorgerekend te worden in de prijs die de vervuiler betaalt of dus geïnternaliseerd te worden (Blauwens et al., 2008). Negatieve effecten van het transport vallen immers ten laste van de gehele maatschappij, zonder dat hiervoor betaald wordt.

Uit een studie die Transport & Mobility Leuven uitvoerde in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij blijkt dat via de huidige belastingen op het wegverkeer slechts een deel van de externe kosten worden doorgerekend aan de weggebruiker. Dit argument wordt vaak gebruikt voor de toepassing van het wegvervoer. Indien de overheid er voor zou opteren om alle kosten van het wegvervoer door te rekenen aan de gebruiker, dan zouden de verkeersbelastingen moeten verdrievoudigen. Hierbij zouden dan weggebruikers die hoge externe kosten veroorzaken, ook zwaarder moeten belast worden (De Ceuster, 2004). Op die manier kunnen de negatieve effecten die weggebruikers veroorzaken, gereduceerd worden.

In het algemeen houdt niemand rekening met de negatieve effecten in zijn beslissing om aan het verkeer deel te nemen. Men kiest steeds op basis van interne kosten. Wanneer men de optimale beslissing wil maken omtrent de keuze van de vervoersmodus voor de gehele samenleving, zal de externe kost van de transportmodi steeds in acht moeten genomen worden. Het is de verantwoordelijkheid van de overheid om regels op te leggen opdat deze externe kosten verhaald worden op de vervoersgebruiker. Enkel wanneer de transportgebruiker de volledige kost zal dragen, zal hij immers de juiste vervoersbeslissing nemen. In dit hoofdstuk zullen de verschillende externe kostencomponenten besproken worden.

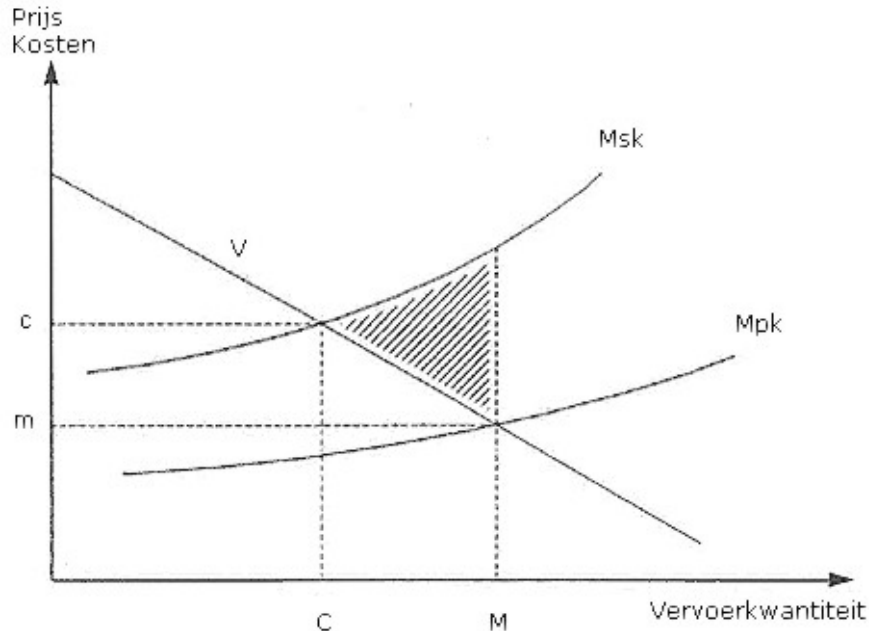
5.2 Marktmechanisme

Meestal zijn externe kosten geen monetaire kosten van oorsprong. Om ze te kunnen waarderen, dient de schade (in gram, tijd,...) omgerekend te worden naar geldeenheden. Deze berekening is vrij complex en bevat nog vrij veel onzekerheden. Een mogelijke opdeling van externe kosten is het verschil tussen de gemiddelde en de marginale externe kosten. De gemiddelde externe kost verwijst naar de kost die alle gebruikers samen veroorzaken tijdens een bepaalde periode, per voertuigkilometer, tonkilometer of een andere maatstaf. Deze kost is interessant wanneer men verschillende transportmodi gaat vergelijken met elkaar. De marginale externe kosten zijn de kosten die een extra voertuigkilometer of andere maatstaf teweegbrengt. Deze kost is interessant wanneer men het optimale belastingniveau wenst te bepalen. Het maatschappelijk optimum wordt immers bereikt als de marginale externe kosten gelijk zijn aan de belastingen. In deze situatie is het transportsysteem optimaal, want de transportgebruiker houdt in zijn verkeersgedrag via de belastingen rekening met de negatieve effecten die hij veroorzaakt voor derden (De Ceuster, 2004).

Met de compensatie voor externaliteiten beoogt men zowel de financiële voordelen als de vermindering van schadelijke activiteiten. Immers, de opzet van het heffen van belasting op de externe kosten van transport is de transportgebruiker ontmoedigen om te kiezen voor een vervoersmiddel met een hoge sociale kost. Het doel van deze belasting is niet om de personen te vergoeden die getroffen worden door de externe kosten. De overheid zal eerder het belastinggeld op de meest aangewezen manier spenderen, door bijvoorbeeld te investeren in het wegennet (Blauwens et al., 2008).

Het is duidelijk dat externe kosten het marktmechanisme verstoren. Transport zal niet uitgeoefend worden tegen de marginale sociale kost, maar tegen de marginale private kost. Doordat de economie geen marktmechanisme heeft om de externe kosten aan te rekenen in de prijs die de transportgebruiker moet betalen, ontstaat er overconsumptie. Dit marktmechanisme wordt getoond in figuur 11. Op de horizontale as staat de vervoerkwantiteit, bijvoorbeeld het aantal voertuigen op een bepaald moment of het aantal ton dat getransporteerd wordt. Op de verticale as staat de prijs en de kost per eenheid transport. De curve V is de vraag naar transport. Zoals zichtbaar in figuur 11 is de marginale private kostprijs van transport (Mpk) kleiner dan de marginale sociale kostprijs van transport (Msk), waardoor het sociaal optimum niet wordt bereikt en er overconsumptie ontstaat. Bij marktevenwicht bekomt men de vervoerkwantiteit M in plaats van de maatschappelijke optimale vervoerkwantiteit C. De resulterende overproductie M-C, wat wordt aangeduid door het gearceerde deel, veroorzaakt een welvaartsverlies voor de gehele maatschappij. Om dit welvaartsverlies te voorkomen, kunnen externe kosten gecompenseerd worden in de vorm van belastingen. Hierbij is het vereist dat het belastingniveau exact moet overeenstemmen met de externe kosten. Op die manier zal de marginale private kostencurve

(Mpk) naar boven verschuiven en samenvallen met de marginale sociale kostencurve (Msk). Echter in praktijk is de belasting op een bijkomende transporteenheid meestal onvoldoende om de externe kosten te compenseren (Blauwens et al., 2008).



Figuur 11: Marktmechanisme en sociaal optimum (Blauwens et al., 2008)

5.3. Bespreking externe kostencomponenten

De externe kosten die voortvloeien uit het goederenvervoer, kunnen in verschillende componenten ingedeeld worden en zullen hierna behandeld worden. Vooraf moet duidelijk zijn dat het begrip marginale externe kost aan twee voorwaarden moet voldoen. Ten eerste moet het effect marginaal zijn. Dit houdt in dat de kost moet veroorzaakt worden door een bijkomende transportgebruiker en dat de kost enkel zal veranderen als de transportkwantiteit ook wijzigt. Ten tweede moet het effect extern zijn. Dit betekent dat de bijkomende transportgebruiker negatieve effecten veroorzaakt aan derden, zonder hiervoor een prijs te betalen (Blauwens et al., 2008). De marginale kostprijs is de juiste maatstaf, omdat de beslissing van de vervoersgebruiker of hij de laatste verplaatsing zal doen, afhangt van de kostprijs van deze laatste verplaatsing (De Brabander, 2005).

De marginale externe kostprijs van het goederenvervoer bestaat uit:

- Marginale congestiekosten
- Marginale ongevalkosten
- Marginale milieukosten
- Marginale infrastructuurkosten

Tabel 6 geeft een schatting van de marginale externe kosten voor het jaar 2010. Hieruit blijkt dat de marginale externe kosten van het wegtransport bijna drie keer zo hoog zijn als deze van de binnenvaart en het spoorvervoer. Dit betekent dan ook dat vooral het wegvervoer haar maatschappelijk optimum niet bereikt, waardoor de vraag naar vervoer langs de weg veel groter is dan bij het gebruik van een correcte prijszetting. Het internaliseren van deze externe effecten kan dus beschouwd worden als een belangrijk instrument om multimodaal vervoer te stimuleren.

Bovendien kan aangenomen worden dat de externe kosten die een directe impact hebben op het hedendaagse leven, onder meer de ongeval- en congestiekosten, door de mens als belangrijker aanzien worden dan bijvoorbeeld de kost van klimaatwijziging. De reden hiertoe is dat de mens geneigd is zich steeds centraal te stellen. Het negatieve effect op het klimaat zal geen directe gevolgen inhouden voor de mens, maar komt wel in de toekomst tot uiting, zoals reeds besproken is in hoofdstuk 3. Door dit standpunt ontstaat er een verminderde aandacht voor het milieu zodanig dat het negatief effect van de klimaatwijziging ondergewaardeerd wordt in de totale externe kosten van het transport. Deze vaststelling wordt bevestigd in tabel 6. Hieruit kan immers geconcludeerd worden dat de klimaatkosten een klein deel vertegenwoordigen van de totale marginale externe kosten. Uiteraard behoort de waardering van de externe effecten grotendeels tot de normatieve economie. Niet ieder individu hecht evenveel belang aan een specifieke impactcategorie. Vandaar is de schatting van de marginale externe kosten zeer subjectief.

Tabel 6: Schatting marginale externe kosten voor de weg, het spoor en de binnenvaart (in Eurocent/tonkm) voor het jaar 2010 (De Nocker & Broekx, 2004)

Impactcategorie	Weg	Spoor	Binnenschip
Ongevallen	0,32	0,11	-
Lucht	0,15	0,30	0,49
Klimaat	0,23	0,06	0,06
Geluid	0,06	0,09	-
Congestie	0,75	0,02	-
LCA impacts	0,27	0,04	0,08
Andere impacts	pm	pm	pm
Subtotaal	1,77	0,62	0,63

Legende : - = verwaarloosbaar; pm = pro memorie

In wat volgt worden de verscheidene externe kostencomponenten apart besproken.

5.4 Marginale congestiekosten

Een eerste component in de marginale externe kostprijs is de congestiekost. Congestie betekent dat één transportgebruiker anderen hindert. De congestiekost kan gedefinieerd worden als de kost van additioneel tijdverlies, hoger brandstofverbruik, groter ongemak en ongevallen veroorzaakt door een bijkomende transportgebruiker aan de andere gebruikers. De kost van ongevallen wordt

reeds bij de marginale ongevalkost in rekening gebracht en zal hier genegeerd worden. De kost voor de vervoersgebruiker zelf, zoals tijdverlies en hoger brandstofverbruik, is reeds vervat in de interne transportkost.

De belangrijkste component van de congestiekost vormt het tijdverlies voor derden in het verkeer. Een groter verkeersvolume veroorzaakt immers een lagere snelheid en bijgevolg tijdverlies. Vandaar spreekt men ook van tijdskosten. Om de kost van congestie te kunnen bepalen, dient het tijdverlies te worden berekend veroorzaakt aan derden door een additionele gebruiker. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen twee verschillende scenario's. Indien de bijkomende transportgebruiker enkel zorgt voor trager verkeer, zal de speed/flow relatie gebruikt worden voor de berekening van de congestiekost. Indien er zich een rij of file gevormd heeft, zal gebruik gemaakt worden van de "queueing theory" (Blauwens et al., 2008).

De speed/flow relatie zal, zoals eerder vermeld, gebruikt worden wanneer congestie bestaat uit een vermindering in snelheid. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van volgend vereenvoudigd voorbeeld. Veronderstel een 2x3 autoweg waarbij de gemiddelde snelheid (V in km/u) wordt weergegeven als volgende functie:

$$V = 105 - 0,005833x \quad \text{voor } x \leq 1200$$

$$V = 98 - 0.025(x-1200) \quad \text{voor } 1200 < x \leq 2000$$

x staat voor de traffic flow per rijstrook en per uur. Indien x meer dan 2000 voertuigen bedraagt, zal er file ontstaan en is de speed/flow relatie ongeldig.

Tabel 7: Berekening van de congestiekost op basis van de speed/flow relatie (Blauwens et al., 2008)

(1) Vehicles per hour and per lane x	(2) Speed (km/h)	(3) Driving time for 1 km (minutes)	(4) Time difference (minutes)	(5) Time loss caused to others (minutes)	(6) Levy (EUR/km)
199	103,84	0,577817			
200	103,83	0,577849	0,000032	0,006460	0,00065
1199	98,01	0,612209			
1200	98,00	0,612245	0,000036	0,043693	0,00437
1499	90,53	0,662800			
1500	90,50	0,662983	0,000183	0,274458	0,02745
1999	78,03	0,768984			
2000	78,00	0,769231	0,000246	0,492692	0,04927

Om nu de marginale externe congestiekosten te bepalen, wordt verwezen naar tabel 7. Hier wordt de impact op het tijdverlies voor de andere weggebruikers van een bijkomend voertuig in vier

situaties voorgesteld. In de eerste situatie komt het 200^{ste} voertuig bij in het verkeer waarin zich initieel 199 voertuigen bevinden. In de tweede situatie komt het 1200^{ste} voertuig bij in het verkeer waarin zich initieel 1199 voertuigen bevinden. De derde en vierde situatie kunnen analoog geïnterpreteerd worden. Indien er van wordt uitgegaan dat 1 minuut een waarde heeft van 0,1 EUR, kunnen de marginale congestiekosten per km berekend worden. Uit tabel 7 kan vastgesteld worden dat naarmate de snelheid vermindert, doordat extra voertuigen worden toegevoegd, de kost per km toeneemt. Dit betekent dan ook dat indien een belasting wordt ingevoerd, ter vermindering van de congestie, deze aangepast zal moeten worden aan verschillende situaties. Bij 200 voertuigen per uur en per rijstrook, zal de heffing 0,00065 EUR per km bedragen, terwijl bij een traffic flow van 2000 de correcte belasting 0,04927 EUR per km bedraagt (Blauwens et al., 2008).

Tabel 7 geldt natuurlijk enkel voor deze specifieke speed/flow relatie. Voor een ander type weg zal bijgevolg ook een andere speed/flow relatie gelden.

Een te grote vraag bij een beperkte capaciteit van het transportsysteem heeft verschillende effecten. Zoals reeds vermeld is er de stijging van de reistijd, wat de belangrijkste impact is van congestie. Een volgend effect is de kost van het voertuig en de operationele kost, zoals de slijtage van het materiaal en de kost van personeel. Overige effecten zijn de onaangenaamheid in overvolle systemen, bijkomende brandstofkosten en de betrouwbaarheid. Tenslotte is er nog het effect van schaarste. Dit komt echter enkel voor bij infrastructuur waarbij de toegang is geregeld, bijvoorbeeld bij treinvervoer. De opportuiniteitskost voor de dienstverleners voor de niet beschikbaarheid van de gewenste vertrek- en aankomsttijden wordt dan schaarsheidskost genoemd. Ook wordt soms het Mohring-effect aangehaald. Dit is het effect dat voortvloeit uit positieve externaliteiten van verbeterde of bijkomende services geïnitieerd door nieuwe gebruikers, maar die voordelen leveren aan gebruikers die het vervoerssysteem reeds gebruiken (CE Delft, 2008). Zo kunnen extra gebruikers van het spoorvervoer bijvoorbeeld bijdragen tot een hogere frequentie van treinen of het bouwen van nieuwe spoorlijnen waarvan zowel nieuwe als huidige gebruikers kunnen genieten (Blauwens et al., 2008).

Volgens de Europese Commissie (European Commission, 1995 in van Goeverden (2009)) is de congestiekost de grootste externe kostenpost. Deze kost zou in Europa gelijk zijn aan ongeveer 2% van het BNP.

Zoals reeds eerder aangehaald, bestaat de congestiekost vooral uit het tijdverlies voor derden. De financiële waarde voor die tijd is echter voor de verschillende groepen reizigers anders. Volgens Logghe en Vanhove (2004) wordt de hoogste waarde toegekend aan vrachtwagens. Voor een vrachtwagen is men gemiddeld bereid 46 EUR te betalen om een uur te winnen. Zakenreizigers hebben 22 EUR over om een uur sneller te arriveren, terwijl de waarde voor pendelaars en voor

overige automobilisten wordt vastgelegd op respectievelijk 6 EUR en 4 EUR. In België verloren personenauto's 8,3 miljoen uren en vrachtwagens 900.000 uren in de file in het jaar 2002. Wanneer verder wordt gerekend, levert dit een filekost op van 114 miljoen EUR voor 2002.

5.5 Marginale ongevalkosten

De marginale externe ongevalkosten zijn de extra ongevalkosten die veroorzaakt worden voor de gehele maatschappij door een bijkomend vervoersgebruiker. Het risico dat de additionele vervoersgebruiker persoonlijk loopt, is al door hem in consideratie genomen en is dus geen externe kost. Een groot deel van de externe ongevalkosten is reeds geïnternaliseerd via de verzekering, maar niet alle kosten worden hierdoor gedekt. De schadekosten, zoals medische kosten en arbeidsongeschiktheid, vallen ten laste van de maatschappij en maken deel uit van de externe kost (De Ceuster, 2004). De externe ongevalkost is bijgevolg gelijk aan de sociale kost veroorzaakt door het verkeersongeval minus de verzekeringsvergoeding die wordt uitgekeerd (CE Delft, 2008).

Volgens De Ceuster (2004) bestaat de volledige sociale ongevalkost uit de bereidheid tot betalen van zowel de voertuigbestuurder, zijn familie en vrienden om een ongeval te vermijden enerzijds en de zuivere economische kost of "cold-blooded cost" anderzijds. De "cold-blooded cost" is het extern kostengedeelte waarvoor de maatschappij opdraait en verwijst naar de kost van productieverlies, kost voor de ambulance, de politie en de medische kosten. Het productieverlies voor de maatschappij dient wel te worden verminderd met de netto actuele waarde van de consumptie van het slachtoffer. Het heeft dus betrekking op het netto en niet het bruto productieverlies (De Borger & Proost, 1997). Het interne deel van de sociale kost omvat het eigen toegenomen risico en de bereidheid tot betalen ervoor van zichzelf en van familie en vrienden. Een ander deel dat als intern kan worden beschouwd is het verhoogde risico bij de andere voertuigen. Deze kost zit vervat in de verzekeringspremie (De Ceuster, 2004).

Volgens Blauwens et al. (2008) is de kost van het productieverlies voor de maatschappij een twijfelachtig argument in een economie met een hoge werkloosheidsgraad. In deze situatie zal een vacature snel ingevuld worden, waardoor de externe kost van productieverlies verdwijnt.

De medische kost die veroorzaakt wordt bij een ongeval, wordt grotendeels doorgeschoven aan een derde partij, namelijk de ziekteverzekering. Om deze kost correct door te rekenen, zou men de kost die ontstaat na het accident moeten vergelijken met de kost wanneer het individu niet betrokken zou zijn in het ongeval. De correcte analyse bestaat erin de verwachte medische kosten voor het verkeersslachtoffer gedurende de rest van zijn leven te vergelijken met de medische kosten die normaal zouden moeten betaald worden wanneer hij niet betrokken zou zijn in het ongeval. Het is duidelijk dat ieder ongeval een ander resultaat oplevert. Een fataal ongeval bijvoorbeeld zal minder duur zijn voor de ziekteverzekering dan een ongeval waarin de betrokkene

intensieve medische zorgen nodig heeft. Dergelijke vergelijkingen voor de totaliteit van ongevallen zijn tot nog toe niet gemaakt (Blauwens et al., 2008).

Voor zware vrachtwagens is de kost voor ongevallen het hoogst. Dit kan verklaard worden door de schade die een zware vrachtwagen veroorzaakt aan de omgeving bij een ongeval (De Nocker & Broekx, 2004). Het is duidelijk dat de zwakke weggebruikers een belangrijk aandeel vormen in dodelijke ongevallen met zware vrachtwagens. Vooral ten aanzien van deze groep weggebruikers ontstaat door het vervoer via water een veiligere verkeerssituatie (De Scheepvaart & Waterwegen en Zeekanaal, 2009). Bij een ongeluk met een binnenschip is de schade aan personeel en materiaal vrij beperkt (Europese Gemeenschappen, 2003). Voor binnenschepen is de ongevalkost dan ook verwaarloosbaar.

In 2006 in België telde het wegverkeer 1.069 dodelijke slachtoffers waarvan 132 betrokken waren bij een ongeval met een zware vrachtwagen (De Scheepvaart & Waterwegen en Zeekanaal, 2009). In Vlaanderen worden op de kanalen 7 ongevallen per Gtonkm waargenomen, terwijl dit voor het wegvervoer jaarlijks gemiddeld 150 bedraagt per Gtonkm. Wat betreft het spoor ligt het ongevallencijfer een factor 10 lager ten opzichte van het wegvervoer. Het aantal dodelijke ongevallen in de binnenvaart ligt ten opzichte van het vervoer langs de weg een factor 240 lager en voor het aantal zwaargewonden zelfs een factor 1300 (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004).

5.6 Marginale milieukosten

De marginale externe milieukost bestaat uit negatieve effecten op mens en milieu die niet worden vergoed door de transportgebruiker. Binnen deze milieukost kunnen volgende kostencategorieën onderscheiden worden: de schade die geluidshinder (inclusief vibraties) veroorzaakt aan de mens, de schade die voortvloeit uit de luchtverontreiniging en de klimaatverandering voor mens en milieu. Deze zullen hieronder apart behandeld worden.

5.6.1 Kost van geluidshinder

Van alle milieukosten veroorzaakt door het transport, wordt geluidshinder geacht het belangrijkste te zijn (Blauwens et al., 2008). Zoals reeds eerder aangehaald, behoort het toekennen van zulk waardeoordeel tot de normatieve economie. Niet ieder individu stelt immers dezelfde prioriteiten.

De kost van geluidshinder door transport veroorzaakt twee soorten negatieve effecten, namelijk de storingskost en de gezondheidskost. De storingskost heeft betrekking op onder andere ongemak en vermindering van plezier, genot en comfort. Het andere ongewenste effect is de gezondheidskost, meer bepaald de kost voor fysieke gezondheidsschade. Deze kost kan resulteren in verschillende

type kosten, onder andere medische kosten, kost van productiviteitsverlies en verhoogde mortaliteit. Bij een geluid hoger dan 60 dB(A) kan er stress ontstaan, zoals verandering van hartslagfrequentie of verhoogde bloeddruk, terwijl een geluidsniveau vanaf 85 dB(A) gehoorschade kan veroorzaken. Bovendien kan de blootstelling aan geluid door transport een invloed hebben op de slaapkwaliteit (CE Delft, 2008).

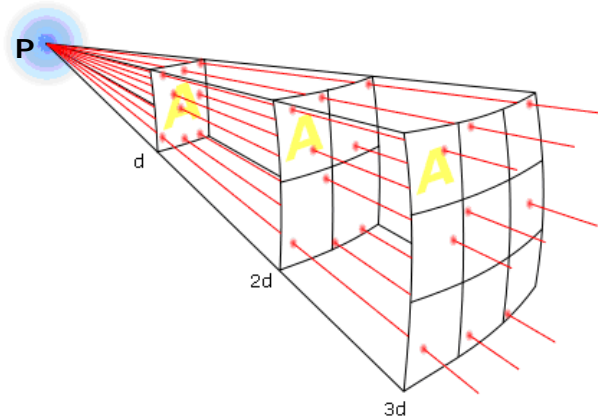
Om nu de kost van geluidshinder veroorzaakt door het wegverkeer te kunnen meten, kan gebruik gemaakt worden van de vergelijking die het geluidsniveau weergeeft. Om deze vergelijking af te leiden, zullen eerst enkele begrippen uit de natuurkunde gespecificeerd worden.

De sterkte van een geluidsbron is afhankelijk van de hoeveelheid geluidsenergie die de bron per seconde uitzendt, dit wordt het geluidsvermogen genoemd. Het geluidsvermogen van de bron is echter geen goede maat voor de waargenomen geluidsindruk. Een geluidsbron, in dit geval een voertuig, bevindt zich meestal op een bepaalde afstand d . Hoe groter de afstand tot dit voertuig, hoe kleiner de waargenomen geluidsindruk. Het door het voertuig uitgezonden geluidsvermogen P verspreidt zich namelijk in de loop van de tijd over een steeds groter oppervlak A . Hoe groter dat oppervlak A , hoe kleiner het geluidsvermogen per m^2 van dat oppervlak, ook wel geluidsintensiteit genoemd, en des te kleiner is de waargenomen geluidsindruk. Een betere maat voor de waargenomen geluidsindruk is daarom de geluidsintensiteit I :

$$I = \frac{P}{A}$$

In deze formule is I de geluidsintensiteit (in W/m^2), P het geluidsvermogen van de bron (in W) en A de oppervlakte (in m^2) waarover het geluidsvermogen zich heeft verspreid.

De geluidsintensiteit I neemt in een volledig open ruimte af met het kwadraat van de afstand d tot de geluidsbron. Dit betekent dat I omgekeerd evenredig is met d^2 . In deze situatie plant het geluid zich in alle richtingen even sterk voort, het geluid is hier isotroop. Voor druk verkeer langs de weg zal dit omgekeerd evenredig verband licht verschillend zijn, aangezien het hier gaat om een lijnvormige geluidsbron. Zo plant het geluid bij het wegvervoer zich het sterkst voort in de horizontale richting en minder sterk in de verticale richting, het geluid is hier anisotroop. De geluidsintensiteit vermindert dan met een waarde gelegen tussen d en d^2 . Bij de afleiding van de vergelijking voor het geluidsniveau wordt verondersteld dat het geluid isotroop is om zodanig één vergelijking te bekomen. Figuur 12 geeft het verband weer tussen de geluidsintensiteit en de afstand tot de geluidsbron bij een isotrope voortplanting van het geluid.



Figuur 12: Weergave van het verband tussen de geluidsintensiteit I en de afstand d tot de geluidsbron indien het geluid zich isotroop voortplant. Naarmate de afstand tot deze bron toeneemt, zal het geluidsvermogen P dat de bron in een bepaalde richting uitzendt, zich verspreiden over een steeds groter wordend oppervlak A waardoor de geluidsintensiteit afneemt. De geluidsintensiteit is omgekeerd evenredig met d^2 bij een isotrope voortplanting van het geluid.

De geluidsintensiteit wordt in de praktijk meestal niet rechtstreeks als maat voor de geluidsindruk gehanteerd. De door het gehoororgaan waarneembare geluidsintensiteit heeft een groot bereik: van 10^{-12} W/m² bij de gehoordrempel tot zo'n 10 W/m² in de buurt van de pijngrens. Voor het menselijk gehoor zijn echter eerder relatieve veranderingen maatgevend. Algemeen veroorzaakt eenzelfde relatieve verandering van de geluidsintensiteit eenzelfde absolute verandering van onze waarnemingsindruk. Een verdrievoudiging van een geluidsintensiteit van bijvoorbeeld 10^{-5} W/m² is voor het gehoor ongeveer een evengrote verandering als wanneer de geluidsintensiteit van 10^{-7} W/m² verdrievoudigt. Vermits de waarneming van het geluid evenredig is met de logaritme van de geluidsintensiteit, kan volgende formule gebruikt worden:

$$L_p = 12 + \log I$$

In deze formule is L_p het geluidsniveau of dus de geluidswaarneming door de mens, uitgedrukt in Bel. Indien de geluidsintensiteit bijvoorbeeld gelijk is aan 10^{-12} W/m², dan bedraagt $L_p = 0$ Bel.

Een dergelijk logaritmisch verband heeft als kenmerk dat een vergroting of verkleining van de geluidsintensiteit met een factor 10 een verhoging of verlaging impliceert van 10 decibel. Zo geldt bij een geluidsintensiteit van 1 W/m² een geluidsniveau van 12 Bel. Bij een tienmaal zo kleine geluidsintensiteit, dus $I=0,1$ W/m², hoort een geluidsniveau van 11 Bel. Hieruit blijkt dat als de geluidsintensiteit tienmaal zo klein wordt, het geluidsniveau met 1 Bel of dus 10 decibel afneemt.

Om L_p verder te bepalen, dient enkel nog de term I uitgewerkt te worden. Hiertoe zal het begrip vermogen verder in detail uitgewerkt worden. De grootte vermogen is de energie of de arbeid die geleverd wordt per tijdseenheid. Doordat voertuigen in het verkeer bewegen, bezitten zij

bewegingsenergie of kinetische energie (E_k). Deze energie is recht evenredig met de massa m en het kwadraat van de snelheid v van het voertuig:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Waarbij:

E_k = kinetische energie (in Joule)

m = massa van het voertuig (in kg)

v = snelheid van het voertuig (in m/s)

Uitgaande van de assumptie dat het aantal voertuigen in het verkeer gelijk is aan q , is het geluidsvermogen en dus ook de geluidsintensiteit recht evenredig met $q \cdot v^2$.

Bovenstaande bewijsvoering impliceert dat de geluidsintensiteit recht evenredig is met verhouding $\frac{q \cdot v^2}{d^2}$. Bij deze constante verhouding hoort een evenredigheidsconstante (C).

De geluidsintensiteit (in W/m^2) kan dan gegoten worden in volgende formule:

$$I = C \cdot \frac{q \cdot v^2}{d^2}$$

Het geluidsniveau L_p uitgedrukt in Bel wordt dan weergegeven door volgende vergelijking:

$$\Rightarrow L_p = 12 + \log I$$

$$\Rightarrow L_p = 12 + \log C \cdot \frac{q \cdot v^2}{d^2}$$

$$\Rightarrow L_p = 12 + \log C + \log q + 2 \log v - 2 \log d$$

Indien vervolgens de term ' $12 + \log C$ ' als een constante c wordt beschouwd, kan bovenstaande vergelijking worden vereenvoudigd tot:

$$\Rightarrow L_p = c + \log q + 2 \log v - 2 \log d$$

L_p uitgedrukt in decibel of in dB(A) geeft L_{eq} :

$$\Rightarrow L_{eq} = 10L_p = 10c + 10 \log q + 20 \log v - 20 \log d$$

Waarbij :

L_{eq} = het geluidsniveau in dB(A)

L_p = het geluidsniveau in Bel

c = constante

q = het verkeersvolume of het aantal voertuigen in het verkeer

v = snelheid in km/u

d = afstand tot het voertuig in meter

Zoals reeds eerder aangehaald, werd verondersteld dat het geluid zich isotroop voortplant, dus zowel horizontaal als verticaal op dezelfde wijze, waardoor de coëfficiënt horende bij ' $\log d$ ' gelijk is aan 20. Indien het geluid zich enkel in de horizontale richting zou voortplanten, wordt deze coëfficiënt gelijk aan 10. Aangezien het geluid bij het wegvervoer zich niet in alle richtingen even sterk voortplant, zal deze coëfficiënt eerder gelegen zijn tussen 10 en 20.

Op basis van bovenstaande vergelijking voor L_{eq} kan de marginale toename van het geluidsniveau in dB(A) berekend worden bij een bepaalde relatieve toename van het verkeersvolume. Hiervoor dient L_{eq} afgeleid te worden naar q :

$$\Rightarrow \frac{dL_{eq}}{dq} = \frac{d10\log q}{dq} = \frac{d\ln q}{dq} \times \frac{10}{\ln 10} = \frac{10}{q \ln 10} \quad \text{met } \log_{10} q = \frac{\ln q}{\ln 10}$$
$$\Rightarrow \boxed{\frac{dL_{eq}}{dq} = \frac{dq}{q} \times 4,34}$$

Waarbij:

dL_{eq} = toename van het geluidsniveau in dB(A)

$\frac{dq}{q}$ = relatieve toename van het verkeersvolume

Indien de verkeersdrukke bijvoorbeeld toeneemt met 5%, dan zal, ongeacht de grootte van het initieel verkeersvolume, het aantal dB(A) steeds toenemen met:

$$dL_{eq} = 0,05 \times 4,34 = 0,217 \text{ dB(A)}$$

Tevens kan aan de hand van bovenstaande vergelijking voor L_{eq} geconstateerd worden dat een bijkomende auto een tweevoudig effect heeft op L_{eq} . Enerzijds zal q toenemen waardoor het geluidsniveau toeneemt, anderzijds zal door toenemende congestie (q is immers toegenomen) v dalen waardoor het geluid dan weer terug vermindert. De beschreven situatie zal zich voordoen bij druk wegverkeer. 's Nachts, bij minder druk verkeer, zal een bijkomend voertuig enkel q doen toenemen en geen impact hebben op v , zodanig dat L_{eq} zal toenemen. Om nu het geluidsniveau om te rekenen in monetaire termen, kan de hedonische methode gehanteerd worden (Blauwens et al., 2008). Deze methode wordt vaak toegepast op de grond-, woning- en arbeidsmarkt. Hierbij worden prijsverschillen geobserveerd welke toe te schrijven zijn aan bepaalde karakteristieken van de omgeving, zoals onder andere luchtvervuiling en geluidsoverlast. De hedonische methode tracht aan de hand van statistische technieken te verifiëren in welke mate het prijsverschil van de woning toe te schrijven is aan een specifiek verschil in de kwaliteit van het milieukeurmerk. Er wordt gebruik gemaakt van een regressie-analyse op de prijzen van de woningen en een aantal

verklarende variabelen. De bekomen regressiecoëfficiënt van het milieukekenmerk (bijvoorbeeld geluidshinder) levert informatie over de betalingsbereidheid voor dit kenmerk en wordt de hedonische prijs genoemd (Van Humbeeck, De Nocker, Int Panis, Torfs, 2000). Uit onderzoek blijkt dat indien L_{eq} gemiddeld genomen met 1 dB(A) toeneemt, de waarde van een woning daalt met 0,47% (Blauwens et al., 2008). Bijgevolg hangt de externe kost van geluidshinder af van de waarde van het woongebied.

Onderzoek in Europa toont aan dat de marginale externe kosten van het wegverkeer 's nachts hoger zijn dan overdag. De reden hiertoe is dat er 's nachts een zachter achtergrondgeluid is, zodanig dat het verkeersgeluid meer opvalt, en dus meer hinder veroorzaakt (De Ceuster, 2004). Bovendien werden berekeningen uitgevoerd door INFRAS en IWW (2004) wat betreft de marginale kost van geluidsoverlast per voertuigkilometer in verschillende verkeerssituaties voor het Europese wegtransport. Hieruit blijkt dat op het platteland de resultaten variëren tussen 60 EUR/Gm (=0,06 EUR/1000km) voor een personenauto in druk verkeer overdag en 2310 EUR/Gm (=2,31 EUR/1000km) voor een zware vrachtwagen 's nachts bij weinig verkeer. In de stedelijke omgeving liggen de geassocieerde waarden veel hoger: 7630 EUR/Gm (=7,63 EUR/1000km) voor een personenauto en 309.820 EUR/Gm (=309,82 EUR/1000km) voor een zware vrachtwagen.

Bij dichtbevolkte en geïndustrialiseerde regio's zoals Vlaanderen is geluidslast een belangrijke bedreigende factor geworden van onze levenskwaliteit. In Vlaanderen wordt de geluidshinder afkomstig van het wegverkeer bepaald door het meten van het bevolkingspercentage dat blootstaat aan een geluid hoger dan 65 dB(A) en dit wordt gemeten aan de gevel van de woning. Ondanks het toenemend verkeersvolume is in Vlaanderen de voorbije 10 jaar het geluidsniveau van het wegverkeer ongeveer constant gebleven. Dit kan verklaard worden door de vermindering van de snelheid omwille van het toegenomen verkeersvolume, de verbetering van het wegdek en het vervangen van oude voertuigen door stiller types (De Ceuster, 2004).

In Vlaanderen veroorzaakt het wegverkeer bij 10,7% van de bevolking extreme of ernstige geluidshinder. Voor het treinverkeer en de scheepvaart bedraagt dit percentage respectievelijk 0,9% en 0,2% (Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008). De marginale geluidskosten bij de zee- en binnenvaart zijn verwaarloosbaar, vermits de geluidsemissie laag is en de activiteit voornamelijk plaatsvindt buiten dichtbevolkte gebieden (CE Delft, 2008).

5.6.2 Kost van luchtverontreiniging

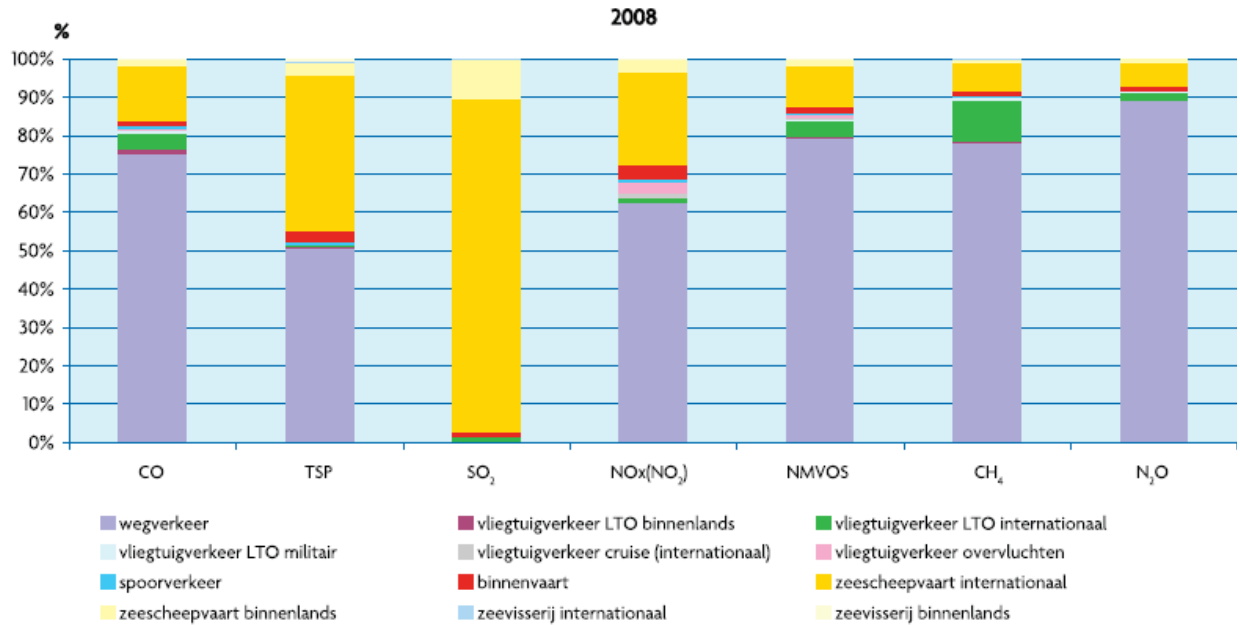
De kost van luchtverontreiniging is gerelateerd aan effecten van onder andere verzurende pollutanten, ozonprecursoren, uitlaatgassen, zoals roetdeeltjes (PM10 en PM2,5) en zware metalen (waaronder lood) en benzeen. Deze pollutanten worden niet enkel uitgestoten door het transport, maar ook door de landbouw, industrie, private huishoudens en dergelijke. De kost van

luchtvervuiling die veroorzaakt wordt door de uitstoot van de verscheidene vervuilende stoffen, kan opgedeeld worden in volgende kostencomponenten (CE Delft, 2008):

- De gezondheidskost die de impact meet op de gezondheid van de mens en het gevolg is van onder andere fijn stof (afkomstig van uitlaatgassen) en ozon. Deze kostencategorie is de meest belangrijke.
- De schade verricht aan gebouwen en materialen. Dit houdt de kost in van zowel de bevuilding van de bouwooppervlakte door kleine deeltjes en stof als de impact op materialen en gevels ten gevolge van degradatie door corrosie wat toe te schrijven is aan zure stoffen zoals NO_x en SO_2 .
- Het verlies aan landbouwvoedsel en de impact op de biosfeer. Landbouwgewassen, bossen en andere ecosystemen worden beschadigd door zure neerslag, SO_2 en ozon.
- Het effect op de biodiversiteit en ecosystemen, zoals bodem en water, door onder andere de verzuring ten gevolge van NO_x en NO_2 .

De emissies per tonkm worden enerzijds bepaald door de energie-efficiëntie van de verschillende transportmodi en anderzijds door de gebruikte technologie en de al dan niet aanwezigheid van filtertechnieken. Algemeen zijn treinen en schepen meer energie-efficiënt, maar stoten vrachtwagens minder pollutanten uit per liter brandstof omwille van de normen opgelegd door de Europese regelgeving (De Nocker & Broekx, 2004).

Figuur 13 geeft de emissies weer van CO , TSP, SO_2 , NO_x (NO_2), NMVOS, CH_4 en N_2O door de vervoerssector in Vlaanderen in 2008. Uit deze figuur kan afgeleid worden dat, uitgezonderd voor SO_2 , het wegvervoer de belangrijkste veroorzaker is van de emissies naar de lucht binnen de sector verkeer.



Figuur 13: Aandeel van het weg-, vliegtuig- en spoorverkeer en de scheepvaart in de totale CO-, TSP-, SO₂-, NO_x (NO₂)-, NMVOS-, CH₄- en N₂O- emissies door het transport in Vlaanderen in 2008 (in %) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009)

Tabel 8 toont de absolute en relatieve bijdrage van de verschillende vervoersmodi in de CO-, TSP-, SO₂-, NO_x (NO₂)-, NMVOS-, CO₂-, CH₄- en N₂O- emissies door de sector transport in Vlaanderen in 2008. CO₂ en N₂O zijn pure broeikasgassen en zullen in de volgende paragraaf behandeld worden.

Tabel 8: De emissie van CO, TSP, SO₂, NO_x (NO₂), NMVOS, CO₂, CH₄ en N₂O door het weg-, vliegtuig- en spoorverkeer en de scheepvaart in Vlaanderen in 2008 (in ton, kton en %) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009)

2008*	CO		TSP		SO ₂		NO _x (NO ₂)		NMVOS		CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	ton	%	kton	%	ton	%	ton	%
wegverkeer	33819	75	2172	51	69	0,6	68587	63	7742	80	12950	80	471	78	447	89
vliegtuigverkeer LTO binnenlands	399	0,9	9	0,2	0,436	0	3	0	12	0,1	3	0	1	0,2	0,002	0
vliegtuigverkeer LTO internationaal	1959	4	27	0,6	111	0,9	1382	1	422	4	367	2	63	11	12	2
vliegtuigverkeer LTO militair	231	0,5	5	0,1	10	0,1	110	0,1	33	0,3	31	0,2	5	0,8	0,263	0,1
vliegtuigverkeer cruise (internationaal)	96	0,2					1177	1	32	0,3	336	2				
vliegtuigverkeer overvluchten	225	0,5					3184	3	78	0,8	815	5				
spoorverkeer	274	0,6	24	0,6	2	0	1087	1	50	0,5	68	0,4	5	0,8	0,556	0,1
binnenvaart	675	2	121	3	151	1	3970	4	141	2	236	1	6	1	6	1
zeescheepvaart internationaal	6284	14	1750	41	10584	87	26281	24	1059	11	1203	7	44	7	31	6
zeescheepvaart binnenlands	758	2	143	3	1250	10	3815	3	144	2	188	1	6	1	5	1
zeevisserij internationaal	46	0,1	14	0,3	4	0	54	0	9	0,1	3	0	0,231	0	0,028	0
zeevisserij binnenlands	64	0,1	20	0,5	6	0	75	0,1	13	0,1	5	0	0,322	0,1	0,039	0
totaal	44832	100	4286	100	12188	100	109725	100	9736	100	16205	100	602	100	501	100

*: voorlopige resultaten

In wat volgt zullen enkele luchtverontreinigende stoffen afkomstig van de transportsector, met name de emissie van verzurende pollutanten, ozonprecursoren, fijn stof, lood en benzeen, nader toegelicht worden.

Emissie van verzurende polluenten

De belangrijkste polluenten door transport die bijdragen aan verzuring zijn NO_x (stikstofoxide), NH_3 (ammoniak) en SO_2 (zwaveldioxide) (MIRA, 2007b). Wanneer voor de desbetreffende polluenten hun potentieel om zuren te vormen wordt beschouwd, is NO_x de meest verzurende polluent. In 2008 had NO_x een aandeel van 43% in de totale potentieel verzurende emissie in Vlaanderen, terwijl dit voor SO_2 en NH_3 respectievelijk 28% en 29% bedroeg (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009).

De uitstoot van NO_x door de transportsector in Vlaanderen bedroeg 151kton in 1990 en is gedaald tot 109,7kton in 2008. In 2008 had de transportsector een bijdrage van 61% in de totale NO_x -uitstoot van alle sectoren in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). NO_x werd vroeger vooral door benzine- en LPG-motoren uitgestoten, maar dankzij het gebruik van katalysatoren, is dit sterk verminderd. Nu veroorzaakt vooral nog de dieselmotor de uitstoot van NO_x (De Ceuster, 2004). De emissie van NO_x per tonkm van een binnenschip is iets lager dan van een vrachtwagen in vlot verkeer en ongeveer de helft van een vrachtwagen in de file (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004). Een hoge concentratie stikstofoxiden kan een verminderde longfunctie en ademhalingsproblemen tot gevolg hebben (De Ceuster, 2004).

De emissie van NH_3 afkomstig van transport is sterk gestegen de voorbije jaren. Zo werd in 2008 762 ton NH_3 uitgestoten door transport, ongeveer 8 maal meer dan in 1990. In 2008 vertegenwoordigt de transportsector een aandeel van slechts 2% in de totale emissie van NH_3 van alle sectoren in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). De sterke toename van NH_3 kan verklaard worden door de Europese richtlijn met als doel de NO_x -uitstoot te beperken. Deze vermindering werd gerealiseerd door het inbouwen van katalysatoren bij benzinevoertuigen. Deze katalysator zorgt ervoor dat stikstofoxides gereduceerd worden tot stikstofgas waarbij het nevenproduct ammoniak ontstaat, doordat stikstofverbindingen reageren met de resten van benzinedampen.

Zwaveloxiden of SO_2 worden veroorzaakt door de verbranding van zwaveldeeltjes in brandstoffen (De Ceuster, 2004). De emissie van SO_2 door transport in Vlaanderen is gedaald van 21,8kton in 1990 tot 12,2kton in 2008. In 2008 was de transportsector goed voor 15% van de totale SO_2 -uitstoot van alle sectoren in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). De afname van SO_2 kan verklaard worden door de Europese richtlijn 98/70/EG die normen oplegt aan de samenstelling van de wegbrandstoffen. Zo mag diesel voor wegvoertuigen vanaf 2009 maximaal 10 ppm zwavel bevatten (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Door deze strenge brandstofnorm is de diesel voor het wegvervoer zwavelarmer dan deze voor de binnenvaart met als gevolg dat de binnenvaart het slechtst scoort op de uitstoot van SO_2 (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004). Indien geen nieuwe maatregelen worden genomen, zal de emissie van SO_2 per tonkm voor de binnenvaart in

2010 ongeveer 7 à 10 keer hoger liggen dan voor het wegvervoer. Als gevolg van nieuwe brandstofnormen voor scheepsbrandstoffen wordt verwacht dat dit effect gecompenseerd zal worden en de SO₂-uitstoot voor de binnenvaart vanaf 2010 zal dalen (De Scheepvaart & Waterwegen en Zeekanaal, 2009). Om het aandeel van de scheepvaart in de SO₂-emissie in de toekomst te beperken, werd richtlijn 2005/33/EG betreffende het zwavelgehalte van scheepsbrandstoffen vastgesteld. Hierin wordt bepaald dat het zwavelgehalte van brandstoffen voor zeevaart in de Noordzee maximaal 1,5% mag zijn vanaf half augustus 2007 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Een hoge concentratie van SO₂ kan schadelijk zijn voor de gezondheid (De Ceuster, 2004). Het opleggen van SO₂ normen voor de scheepvaart brengt echter een moeilijk probleem met zich mee. Het zuiveringsproces van SO₂ gaat ten koste van een hogere CO₂-uitstoot en een hogere economische kost. Hierdoor wordt het transport via schip duurder zodanig dat minder schepen en meer vrachtwagens ingezet worden met een hogere CO₂-emissie tot gevolg.

Het Antwerpse havenbedrijf heeft maatregelen getroffen inzake de SO₂-uitstoot. Zo zal de eigen vloot van de Antwerpse haven vanaf januari 2010 voor 100% worden aangedreven door zwavelarme brandstof. Deze brandstof zou 7,8% duurder zijn dan de gewone variant, maar zou de uitstoot van SO₂ in de haven met 13.860 kg per jaar verminderen (De Lloyd, 2009b).

Emissie van ozonprecursoren

Een ozonprecursor verwijst naar een stof die leidt tot de vorming van het schadelijke gas ozon (O₃) door inwerking van zonlicht. Ozon heeft een irriterend effect op ogen en longen (De Ceuster, 2004). Tevens kan het leiden tot misselijkheid en hoofdpijn. Ozon versterkt de effecten van verzuring (De Borger & Proost, 1997). Er kunnen vier ozonprecursoren afkomstig van het transport onderscheiden worden, met name CO (koolstofmonoxide), CH₄ (methaan), NO_x en NMVOS (niet-methaan vluchtige organische stoffen).

CO ontstaat bij onvolledige verbranding en brengt ademhalingsproblemen met zich mee (De Ceuster, 2004).

CH₄ of methaan draagt bij tot de ozonvorming en levert ook een belangrijke bijdrage aan het broeikaseffect (MIRA, 2007b).

NO_x zorgt naast verzuring ook voor de vorming van ozon in de onderste luchtlagen (De Ceuster, 2004).

De emissie van **NMVOS** is vooral afkomstig van oude benzinemotoren. Een aantal NMVOS kunnen bij inademing schade toebrengen aan de longfunctie en kunnen kankerverwekkend zijn (De Ceuster, 2004).

Wanneer voor deze vier polluenten gewichten worden toegekend aan hun potentieel om ozon te vormen, dan is NO_x de belangrijkste ozonprecursor. Zo heeft NO_x een aandeel van 61% in de totale ozonemissie in Vlaanderen in 2008. NMVOS draagt bij voor 26% en CO voor 9% aan de emissie van ozon (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009).

De emissies van NMVOS, CH₄ en CO door de transportsector zijn continu gedaald. Zo is in Vlaanderen het relatieve aandeel van transport in de totale uitstoot van NMVOS, CH₄ en CO afgenomen met respectievelijk 22%, 0,7% en 39% voor de periode 1990-2008 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Deze daling is voor de desbetreffende polluenten te wijten aan de Europese richtlijn, die de emissies van nieuwe voertuigen doet verminderen. Dankzij deze richtlijn zal meer gebruik worden gemaakt van onder andere katalysatoren (MIRA, 2007b). In het jaar 2008 was de transportsector goed voor slechts 0,3% van de totale emissie van CH₄, voor 15% van de totale emissie van CO en voor 11% van de totale emissie van NMVOS van alle sectoren in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). Het belang van methaan in de totale emissie van ozonprecursoren door het transport is dus miniem.

Emissie van fijn stof

Een hoge blootstelling aan fijn stof heeft een negatieve impact op onze gezondheid en aldus een belangrijke maatschappelijke kost. De transportsector, en meer specifiek het wegvervoer levert daarbij een significante bijdrage.

TSP of Total Suspended Particles is een verzamelnaam voor fijne stofdeeltjes in de lucht met een uiteenlopende samenstelling en afmeting. De deeltjes worden ingedeeld in fracties op basis van hun grootte, zoals PM₁₀ (=stofdeeltjes met een diameter kleiner dan 10 µm) en PM_{2,5} (=stofdeeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 µm) waarbij PM staat voor Particulate Matter (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). De uitstoot van PM is vooral afkomstig van dieselmotoren (De Ceuster, 2004).

Volgens de Vlaamse Milieumaatschappij (2009) (in MORA, 2009d) had het transport in Vlaanderen in 2007 een bijdrage van 25% in de totale PM₁₀-uitstoot en van 31% in de PM_{2,5}-uitstoot. De sector transport levert dus een significante bijdrage aan de emissie van PM_{2,5}. In de periode 1995-2007 daalden de emissies van PM₁₀ en PM_{2,5} door het verkeer met respectievelijk 52 en 57%. Deze evolutie wordt weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Evolutie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen in de periode 1995-2007 (VMM, 2009 in MORA, 2009d)

		1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
PM10	ton	9.131	6.595	6.199	5.837	5.609	5.380	4.861	4.635	4.410
	% tov '95	100%	72%	68%	64%	61%	59%	53%	51%	48%
PM2,5	ton	8.396	5.822	5.425	5.071	4.837	4.604	4.089	3.857	3.625
	% tov '95	100%	69%	65%	60%	58%	55%	49%	46%	43%

De stofemissies kunnen opgedeeld worden volgens twee soorten bronnen, namelijk uitlaat- en niet-uitlaat emissies. De uitlaatemissies van stof zijn gerelateerd aan brandstof, terwijl de niet-uitlaat emissies afkomstig zijn van de slijtage van onder andere banden, remmen, wegdek, bovenleidingen en rails. Uitlaatemissies van stof bestaan hoofdzakelijk uit zeer kleine deeltjes, zoals PM2,5. De stofdeeltjes van niet-uitlaat emissies daarentegen zijn groter waardoor deze emissies een groot aandeel PM10 bezitten (MIRA, 2007b).

Tabel 10 geeft de emissie weer van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen opgesplitst volgens modus en type bron (uitlaat- en niet-uitlaat emissies) in 2007. Uit deze tabel kan afgeleid worden dat het personenvervoer via de weg ruim 50% veroorzaakt van de emissie van PM10 en PM2,5. Het goederenvervoer over de weg heeft een bijdrage van ongeveer één derde in de totale vervoerssector. Het goederen- en personenvervoer via de weg tezamen zijn verantwoordelijk voor 84% van de PM10-uitstoot en 86% van de PM2,5-uitstoot. Het vervoer per spoor en via water zijn elk goed voor circa 7% van de Vlaamse fijn stofemissies door transport.

Tabel 10: Emissie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen per modus en per type bron (uitlaat- en niet-uitlaat emissie) in 2007 (VMM, 2009 in MORA, 2009d)

2007	PM10		PM2,5	
	ton	aandeel	ton	aandeel
uitlaat				
wegverkeer - goederen	1.144	26%	1.144	32%
wegverkeer - personen	1.344	30%	1.344	37%
luchtvaart - goederen&personen	40	1%	40	1%
scheepvaart - goederen	130	3%	124	3%
binnenscheepvaart - goederen	119	3%	113	3%
spoorverkeer - goederen	24	1%	23	1%
spoorverkeer - personen	4	0%	4	0%
totaal uitlaat	2.805	64%	2.792	77%
niet-uitlaat				
wegverkeer - goederen	239	5%	123	3%
wegverkeer - personen	1.001	23%	510	14%
luchtvaart - goederen&personen	40	1%	0	0%
spoorverkeer - goederen&personen	323	7%	202	6%
totaal niet-uitlaat	1603	36%	835	23%
TOTAAL TRANSPORT	4.410	100%	3.625	100%

Bovendien geeft tabel 10 aan dat de uitlaatemissies goed zijn voor 64% van de PM10-emissie en 77% van de PM2,5-emissie van transport. Tevens produceert het personenvervoer over de weg een belangrijke hoeveelheid niet-uitlaat emissies. De verklaring hiervoor ligt in het groter aantal voertuigkilometers van personenvervoertuigen ten opzichte van de andere modi. Ook de niet-uitlaat emissies van het spoor zijn niet te verwaarlozen. Als gevolg van slijtage van remmen, rails en bovenleidingen levert het spoor zelfs een grotere bijdrage in de niet-uitlaat emissies dan het goederenvervoer over de weg (MORA, 2009d).

Indien de evolutie van fijn stof naar type bron wordt beschouwd, kan een opmerkelijke trend waargenomen worden. Uit tabel 11 blijkt dat tussen 1995 en 2007 de Vlaamse uitlaatemissies van PM10 en PM2,5 door het goederen- en personenvervoer over de weg zijn gedaald met respectievelijk 61% en 69%, terwijl de niet-uitlaat emissies van het goederenvervoer over de weg de groei van het verkeersvolume volgen. Dit betekent dan ook dat de niet-uitlaat emissie steeds een groter aandeel inneemt in de totale emissie van fijn stof. Deze tendens kan beschouwd worden als positief, vermits de kleinere stofdeeltjes of PM2,5 meer schade toebrengen aan de gezondheid dan de grotere. Hoe kleiner de diameter, hoe dieper de stofdeeltjes dan kunnen binnendringen in de luchtwegen (MIRA, 2007b). In 2007 bedroeg het aandeel van de niet-uitlaat emissie van het wegvervoer van personen en goederen bijna een derde van de totale PM10-transportemissies. In 1995 was dit slechts 13% (MORA, 2009d).

Tabel 11: Evolutie van PM10 en PM2,5 door transport in Vlaanderen per modus en per type bron (uitlaat- en niet-uitlaat emissie) in 1995, 2001 en 2007 (VMM, 2009 in MORA, 2009d)

wegverkeer		PM10 (ton)			PM2,5 (ton)		
	type	1995	2001	2007	1995	2001	2007
weg - goederen	uitlaat	100%	66%	39%	100%	66%	39%
	niet-uitlaat	100%	120%	139%	100%	120%	140%
weg - personen	uitlaat	100%	54%	31%	100%	54%	31%
	niet-uitlaat	100%	100%	101%	100%	100%	101%
luchtvaart - goederen&personen	uitlaat	100%	113%	93%	100%	113%	93%
	niet-uitlaat	100%	113%	93%	-	-	-
scheepvaart tss Vl. Havens - goederen	uitlaat	100%	103%	119%	100%	103%	120%
binnenscheepvaart - goederen	uitlaat	100%	118%	103%	100%	118%	104%
spoor - goederen	uitlaat	100%	79%	53%	100%	79%	53%
spoor - goederen&personen	niet-uitlaat	100%	113%	115%	100%	113%	115%
spoor - personen	uitlaat	100%	57%	11%	100%	57%	12%

De reductie van de uitlaatemissies vindt zijn oorsprong in de strengere emissienormen (Euro 4-normeringen) voor deeltjes in uitlaatgassen van nieuwe dieselveertuigen (personenwagens en vrachtwagens). Dit houdt de installatie in van roetfilters. Ter promotie van deze roetfilters heeft de

Federale overheid sinds januari 2007 een maatregel ingevoerd waarin beslist werd om de aankoop van een dieselwagen met een maximale CO₂-emissie van 130 g/km en een roetfilter, te laten aftrekken van het belastbaar inkomen. De Vlaamse overheid heeft sinds augustus 2006 beslist dat bedrijven, die investeren in roetfilters voor hun vrachtwagens, in aanmerking komen voor een ecologiepremie, die 25 tot 35% van het investeringsbedrag bedraagt (MIRA, 2007b).

Een vrachtwagen in geval van congestie zou 80% meer roet of fijn stof uitstoten ten opzichte van een binnenschip. In vlot verkeer ligt de uitstoot per tonkm van vrachtwagens ruim 60% hoger dan voor binnenschepen. Tegen 2010 wordt verwacht dat dit verschil slechts 10% zal bedragen (De Scheepvaart & Waterwegen en Zeekanaal, 2009).

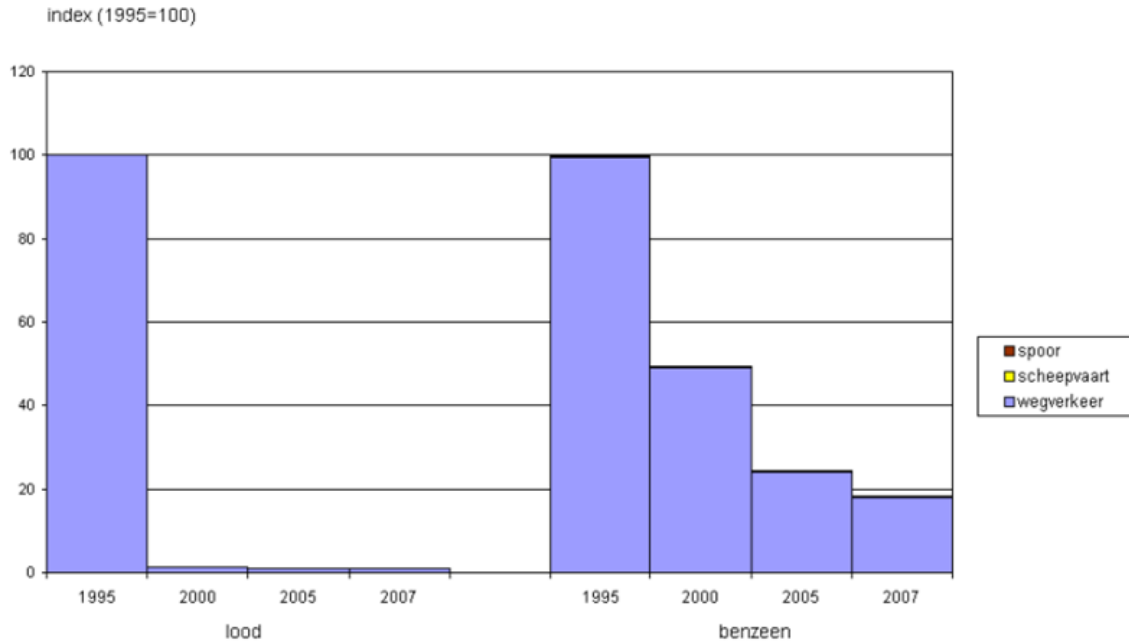
Blootstelling aan PM₁₀ kan leiden tot een verminderde longfunctie met ademhalingsproblemen tot gevolg. Bovendien kunnen ze kanker veroorzaken. Een langdurige blootstelling aan PM₁₀ en PM_{2,5} veroorzaakt hart- en luchtwegenaandoeningen en mogelijk longkanker (De Ceuster, 2004). Bijlage 6 geeft twee figuren weer die een grote gelijkenis vertonen tussen PM_{2,5} en het aantal verloren levensjaren in Europa. Uit deze figuren kan afgeleid worden dat de gemiddelde Vlaming 3 gezonde levensjaren verliest ten gevolge van blootstelling aan PM_{2,5} en dat Vlaanderen behoort tot de zwaarst getroffen regio's in Europa inzake vervuiling door fijn stof.

Emissie van lood en benzeen

De *emissie van lood* door het transport in Vlaanderen is drastisch gedaald van 69,3 ton in 1995 naar 0,6 ton in 2007. De evolutie van de loodemissie door transport in Vlaanderen tussen 1995 en 2007 is weergegeven op figuur 14. Hieruit wordt duidelijk dat het wegverkeer volledig verantwoordelijk is voor deze loodemissie. De uitstoot door de scheepvaart is verwaarloosbaar. Deze sterke daling is te danken aan de beperking van het loodgehalte in benzine door opeenvolgende Europese richtlijnen. Sinds 2000 mocht enkel nog loodvrije benzine (< 5 mg/l) op de markt gebracht worden in de EU. Het transport was in 2007 nog verantwoordelijk voor slechts 2,1% van de totale loodemissie (MIRA, 2009c).

Lood veroorzaakt ernstige gezondheidsproblemen, zoals kans op kanker en vermindering van orgaanfuncties (De Borger & Proost, 1997).

De *benzeenemissie* heeft eenzelfde dalend verloop als de NMVOS-emissie, gezien benzeen hier toebehoort (MIRA, 2007b). De uitstoot van benzeen door transport evolueerde van 2271 ton in 1995 tot 418 ton in 2007, met het grootste aandeel voor het wegvervoer (411,4 ton), zoals weergegeven op figuur 14. De Europese richtlijn 98/70/EG beperkte namelijk naast het lood- en zwavelgehalte ondermeer ook het benzeengehalte van benzine. Desondanks had de transportsector in 2007 nog een aandeel van 87% in de totale benzeenemissie in Vlaanderen (MIRA, 2009c).



Figuur 14: Evolutie van de lood- en benzeenemissie door transport in Vlaanderen van 1995 tot 2007 (MIRA, 2009c)

In Vlaanderen zijn de marginale externe kosten voor luchtvervuiling (voor NO_x , NMVOS, SO_2 , PM10 en CO) in het wegverkeer gedaald ten gevolge van de vervanging van oudere voertuigen door jongere. Hierbij kan aan zware vrachtwagens de hoogste externe kost worden toegeschreven. De externe kosten per pollutant hangen voor de meeste pollutanten af van de plaats van emissie. Zo zijn de marginale externe kosten in de piekuren en in stedelijke gebieden hoger dan in de daluren en in de niet-stedelijke gebieden. De hogere waarden zijn vooral te wijten aan de lagere snelheid van de voertuigen in de stad en in piekmomenten en door de hogere bevolkingsdichtheid in stedelijke gebieden. Dit laatste aspect zorgt er immers voor dat meer mensen blootgesteld worden aan vervuilende stoffen met hogere externe gezondheidskosten als gevolg (De Ceuster, 2004).

5.6.3 Kost van klimaatverandering

De broeikasgassen oefenen een grote invloed uit op de klimaatverandering, zoals reeds besproken is in hoofdstuk 3. De gemiddelde globale temperatuur is in de 20^{ste} eeuw met 0,6°C gestegen, er zijn gletsjers gekrompen en ook de neerslag is tussen 35° en 85° noorderbreedte toegenomen met 7 à 12%. Deze klimaatverandering wordt grotendeels toegeschreven aan menselijke activiteiten die leiden tot een verhoogde concentratie van broeikasgassen. De klimaatwijziging zal nog verscheidene eeuwen blijven voortduren, vermits broeikasgassen een lange levensduur bezitten (De Ceuster, 2004). Bovendien zou de schade als gevolg van het broeikas effect zich vooral voordoen in de armere landen en in het zuidelijk halfrond (De Nocker & Broekx, 2004).

De verandering van het klimaat door transport wordt grotendeels veroorzaakt door de emissie van broeikasgassen zoals CO₂, CH₄ en N₂O en HFK's. De HFK's dragen in kleinere mate bij tot de opwarming van de aarde.

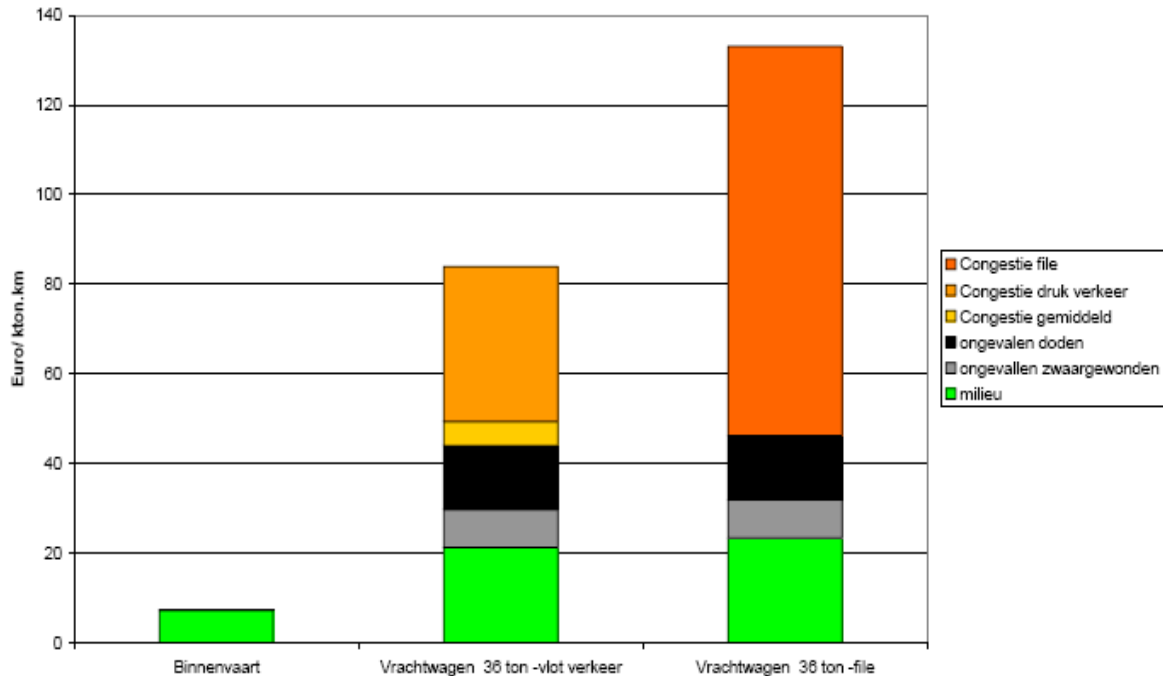
Als gevolg van een onvolmaakte verbranding in de motoren, is CO₂ de belangrijkste pollutie voor alle transportwijzen (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004). De CO₂-emissie hangt samen met de brandstofkeuze en de energie-efficiëntie, maar nauwelijks met toegevoegde technologieën zoals katalysatoren of filters. Gezien het energie-efficiënter is om goederen per trein of binnenschip te vervoeren ten opzichte van vrachtwagens, zijn hun externe kosten van klimaatverandering lager (De Nocker & Broekx, 2004). Uitlaatgassen bevatten tevens het zeer giftige koolstofmonoxide, dat bij contact met zuurstof onmiddellijk omgezet wordt in CO₂. Vandaar wordt CO beschouwd als een bijdragende factor aan de totale CO₂-uitstoot en dus aan het broeikaseffect (Blauwens et al., 2008).

In Vlaanderen is de uitstoot van N₂O of lachgas door transport gestegen van 378 ton in 1990 tot 501 ton in 2008 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009). De reden hiertoe is dat N₂O een nevenproduct is dat gevormd wordt in de katalysator van wegvoertuigen, net zoals het geval is voor ammoniak. De katalysator moet de stikstofoxides (NO₂ en NO of samen NO_x) reduceren tot stikstofgas of N₂. Door slijtage loopt deze reductiereactie echter niet meer volledig af met de emissie van N₂O tot gevolg (MIRA, 2007b). In het jaar 2008 was de transportsector verantwoordelijk voor slechts 4% van de totale uitstoot van N₂O in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2009).

Tussen 1995 en 2005 was er ook een forse toename waar te nemen van HFK's afkomstig van transport die vooral te wijten is aan de hogere aanwezigheid van airconditioning in voertuigen (MIRA, 2007b).

Zowel voor luchtvervuiling als voor klimaatverandering, gaat het meten van de kost gepaard met een hoge complexiteit. De reden hiertoe is dat de klimaatverandering, in tegenstelling tot geluidshinder dat lokaal ontstaat, een globaal effect is op lange termijn en dat luchtvervuiling zich verspreid over grote afstanden. Het broeikaseffect alsook zure regen zijn effecten op wereldschaal, waardoor de impact moeilijk gemeten kan worden. Er bestaan wel methoden om de hoeveelheid transportgerelateerde emissie te meten in verschillende omstandigheden en bij verschillende motortypen. Het plakken van een geldbedrag op deze uitstoothoeveelheid is echter veel moeilijker. Er bestaat de mogelijkheid om te werken met "shadow projects". Dit houdt in dat de kost van emissies veroorzaakt door transport zou kunnen gecompenseerd worden door een vermindering in schadelijke uitstoot van de industrie. Hierbij zou dan de kost kunnen berekend worden van de techniek die de emissie van schadelijke gassen van de industrie vermindert met net dezelfde hoeveelheid emissie uitgestoten door het wegverkeer (Blauwens et al., 2008).

Wanneer nu een vergelijking wordt gemaakt tussen het goederenvervoer via de weg en via het binnenschip op basis van de externe kost van ongevallen, congestie en milieu kan geconstateerd worden dat de binnenvaart op alle aspecten veel beter scoort. Deze bevinding wordt getoond in figuur 15.



Figuur 15: Weergave van de totale externe milieu-, congestie- en ongevalkosten voor een binnenschip en een vrachtwagen van 36 ton in vlot verkeer en in file (in EUR/ ktonkm) (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004)

5.7 Marginale infrastructuurkosten

De voorgaande externe kosten, met name de kost van congestie, ongevallen en milieu zijn de belangrijkste voor het transport. De marginale infrastructuurkost is minder significant. Het betreft de kost dat een bijkomend gebruiker veroorzaakt in termen van onderhoud van de infrastructuur (Blauwens et al., 2008).

In het wegvervoer zal de kost voor verlichting, bewegwijzering en regelmatig vast onderhoud niet toenemen bij drukker verkeer. Enkel de slijtage van het wegdek is afhankelijk van het verkeersvolume en wordt vooral veroorzaakt door een toename in zware vrachtwagens. Voor personenwagens bedraagt de marginale infrastructuurkost nul, vermits de aslast of het gewicht per as, miniem is (De Ceuster, 2004). Zware vrachtwagens daarentegen hebben een veel grotere asbelasting, die bepaald wordt door het gewicht van de vrachtwagen zelf en de lading. De belasting op zware vrachtwagens ter compensatie van de slijtage aan het wegennet mag dus niet verwaarloosd worden.

De schade aan het wegdek kan opgesplitst worden in twee soorten kosten, met name de kost om het wegdek weer te herstellen en de kost die andere transportgebruikers ondervinden omdat de weg moeilijker berijdbaar is (De Ceuster, 2004). Naast het verkeersvolume is de kost voor de schade aan het wegdek ook afhankelijk van weercondities, zoals sneeuw, regen en enorme hitte (Europese Commissie, 1995).

De slijtage aan het wegdek is proportioneel met de vierde macht van de aslast. De eenheid van een standaard aslast wordt hierbij vastgesteld op 8,2 ton. Op die manier kan een aslast omgezet worden in een equivalente standaard aslast (ESA). Eén ESA wordt aldus gedefinieerd als:

$$(W/8,2)^4$$

Waarbij W = de belasting op één as (in ton)

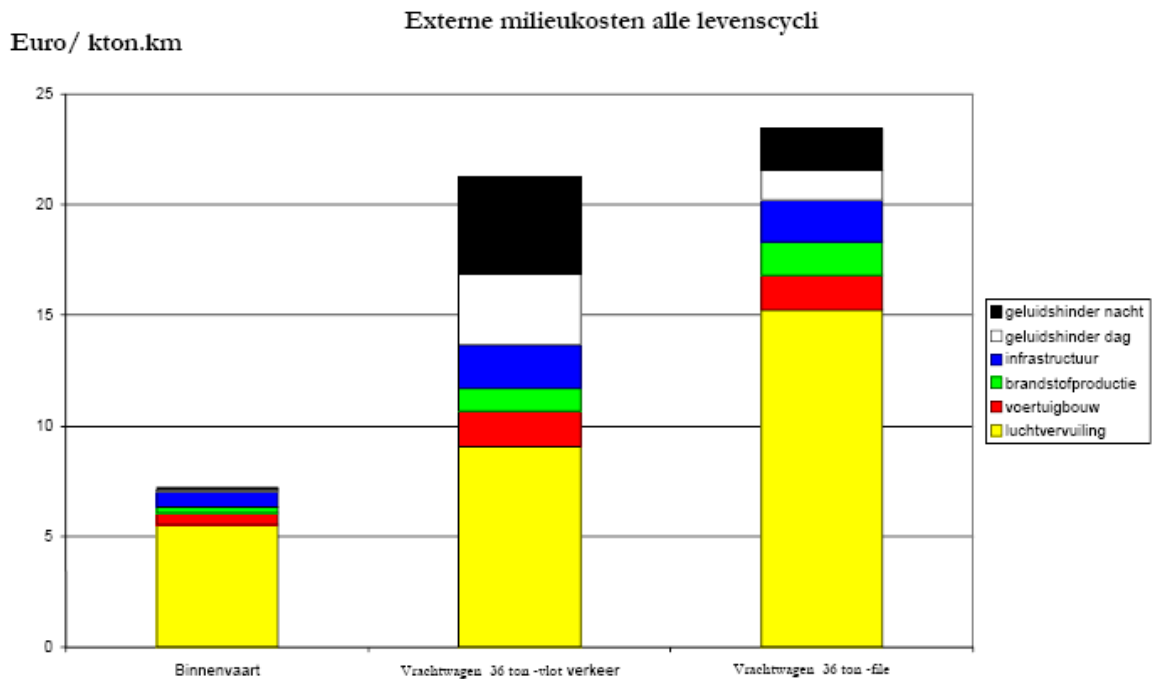
Zo is een as met een last van 10 ton equivalent met $(10/8,2)^4 = 2,21$ ESA. De belasting per ESA kan berekend worden door de werkelijke schade van de weg te vergelijken met het aantal ESA dat hij verwerkt (Blauwens et al., 2008).

Wanneer men zelf de kost voor onderhoud en aanpassingen aan de infrastructuur financiert, is deze kost niet extern. Aangezien de spoorbedrijven zelf instaan voor het onderhoud en de goede staat van hun sporen, zijn de marginale infrastructuurkosten niet extern en dus ook niet van toepassing op het spoorvervoer. De binnenscheepvaart heeft lagere externe infrastructuurkosten dan het wegtransport, aangezien de verplaatsing van het binnenschip over kanalen of rivieren niet leidt tot een bepaalde vorm van slijtage. De enige mogelijke externe kost die in consideratie zou kunnen genomen worden, is de werkingskost van de sluizen en de aftakeling van de oevers die de waterverplaatsing met zich meebrengt (Blauwens et al., 2008).

5.8 Overige externe kosten

Naast de bovenvernoemde kosten van congestie, ongevallen, milieu en infrastructuur kunnen nog andere externe effecten van transport vermeld worden. Zo zijn er externe kosten verbonden aan de aanmaak van brandstoffen en de productie van voer- of vaartuigen. Deze kosten hebben betrekking op luchtvervuiling veroorzaakt tijdens de productie en distributie van brandstoffen en voertuigen en tijdens de aanleg van infrastructuur. Ze zijn gebaseerd op levenscyclusanalyses (LCA). De externe kosten van brandstofproductie zijn logischerwijze afhankelijk van de energie-efficiëntie van de transportmodi. Door de relatief langere levensduur van de infrastructuur van de binnenvaart en de vaartuigen is de externe kost voor het vervaardigen en onderhoud van vaartuigen en de aanleg van infrastructuur voor schepen lager (De Nocker & Broekx, 2004 en Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004). Zo wordt bij een binnenschip enkel de motor regelmatig

vervangen (gemiddeld om de 13 jaar) terwijl het casco geruime tijd (gemiddeld 32 jaar) in de vaart blijft (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004). Daar vrachtvervoer over de weg minder energie-efficiënt is en vrachtwagens sneller vervangen worden, is het effect van het aanbod van brandstoffen en voertuigen op de luchtvervuiling ook groter (De Nocker & Broekx, 2004). Wanneer dus naast de negatieve externaliteiten veroorzaakt door het gebruik van de transportmodus zelf, ook de milieuschade wordt beschouwd die verbonden is aan de gehele levenscyclus, wordt het voordeel voor de binnenvaart ten opzichte van het wegvervoer nog groter, zoals aangegeven in figuur 16.



Figuur 16: Externe milieukosten van alle levenscycli voor de binnenvaart en een vrachtwagen van 36 ton in vlot verkeer en in file (in EUR/ ktonkm) (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2004)

Een andere ongewenst neveneffect betreft de kost voor de achteruitgang van de landschapskwaliteit. Deze kost wordt door twee elementen teweeggebracht. Enerzijds heeft het aanleggen van nieuwe wegen, spoorwegen of het bouwen van havens een effect op de kwaliteit en de versnippering van het landschap (De Nocker & Broekx, 2004). Door de aanleg van deze transportinfrastructuur kunnen de leefgebieden waarin verschillende soorten organismen overleven, verloren gaan en ontstaat er dus enorme ecologische schade (Blauwens et al., 2008). Anderzijds leidt het gebruik van de infrastructuur tot effecten zoals vervuiling van grondwater en gronden en tot sterfte van dieren door ongevallen (De Nocker & Broekx, 2004). Ook de infrastructuur in stedelijk gebied zorgt voor ongewenste effecten. Zo ondervinden voetgangers tijdverlies doordat ze vele wegen moeten doorkruisen en worden fietsers geconfronteerd met een gebrek aan plaats (CE Delft, 2008). Een laatste kost uit zich in het verlies aan ruimte door het aanleggen van infrastructuur. Bijgevolg verliest deze ruimte zijn functie als speel- en ontmoetingsplaats en als ontspanningsruimte voor zowel jong als oud.

Kris Peeters geeft in zijn boek 'De file voorbij' een raming van de sociaaleconomische kostprijs op 160 miljard EUR per jaar, waardoor het wegverkeer een aanzienlijke verliespost is voor de overheid. Hierbij zijn de indirecte gevolgen van het wegtransport niet meegerekend, bijvoorbeeld kankers veroorzaakt door uitlaatgassen (Van Driessche, 2010).

5.9 Evolutie externe kosten tot 2030

Tabel 12 geeft de evolutie weer van de totale marginale externe kosten voor de weg, het spoor en de binnenvaart tot het jaar 2030 samen met het aandeel van de verschillende impactcategorieën. Er werd een beperkte, voorzichtige schatting gemaakt van de ontwikkeling van de externe kosten voor luchtvervuiling tot 2030. Voor het wegvervoer wordt congestie, ongevallen en geluidshinder constant ingeschat. De kost voor luchtverontreiniging van het wegvervoer daalt reeds in 2010 zodanig dat de totale marginale externe kost 1,77 eurocent/tonkm bedraagt. Dit cijfer wordt verder aangehouden tot 2030, wat een mogelijke overschatting is. Anderzijds is het aandeel van luchtverontreiniging voor wegtransport erg beperkt zodat dit geen invloed heeft op de conclusies. Wat betreft het spoorvervoer en de binnenvaart wordt verondersteld dat ze tegen 2020 de technologische mogelijkheden volledig zouden benutten. Dit houdt in dat het vervoer via spoor en binnenschip per gebruikte liter brandstof even milieuvriendelijk wordt als het wegvervoer. Vermits het spoor en de binnenvaart energie-efficiënter zijn, worden deze modi per tonkm milieuvriendelijker dan wegvervoer (De Nocker & Broekx, 2004).

Tabel 12: Evolutie totale marginale externe kosten voor de weg, het spoor en de binnenvaart tot het jaar 2030 (in Eurocent/tonkm) en het aandeel van de impactcategorieën (in %) (De Nocker & Broekx, 2004)

Evolutie totale externe kost	Weg	Spoor	Binnenschip
2004	2,33	0,62	0,72
2010	1,77	0,62	0,63
2020	1,77	0,36	0,18
2030	1,77	0,36	0,18
Aandeel * Impactcategorie			
Ongevallen	17%	21%	-
Lucht	15%	39%	71%
Klimaat	12%	11%	12%
Geluid	3%	17%	-
Congestie	39%	4%	-
aanbod brandstoffen/ voertuigen	14%	8%	17%
Andere impacts	pm	pm	pm

Legende : - = verwaarloosbaar; pm = pro memorie

* Aandeel berekend op een gemiddelde voor de 4 bovenvermelde referentie jaren.

Hoofdstuk 6: Overheidsbeleid

6.1 Inleiding

Een efficiënt vervoerssysteem is essentieel voor een goede functionering van de economie in België. Het transport levert echter niet alleen een positieve bijdrage, maar veroorzaakt ook negatieve externaliteiten welke reeds werden aangehaald in hoofdstuk 5. Vermits de overheid streeft naar het maatschappelijk optimum, heeft het overheidsbeleid een invloed op de keuze van het vervoersmiddel. De wens van de overheid is om het gebruik van alle vervoersmodi te stimuleren en de wegen te ontlasten met zorg voor milieu en omgeving.

In dit hoofdstuk worden de toekomstige vervoertrends voor België uiteengezet op basis van een referentiescenario. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van mogelijke overheidsmaatregelen, die zowel een modal shift als comodaliteit nastreven binnen een duurzaam beleidskader, om de ongewenste externe effecten van transport te reduceren. Een modalshiftbeleid is gericht op het beperken van de groei van het wegvervoer ten voordele van het spoor en de binnenvaart, terwijl comodaliteit zich richt op de efficiënte inzet van verschillende vervoersmodi of een combinatie daarvan. In het laatste deel zal het toekomstig goederenvervoerbeleid aan bod komen op de drie beleidsniveaus, namelijk het Europees, Federaal en Vlaams niveau.

6.2 Toekomstvooruitzichten voor transport in België: referentiescenario

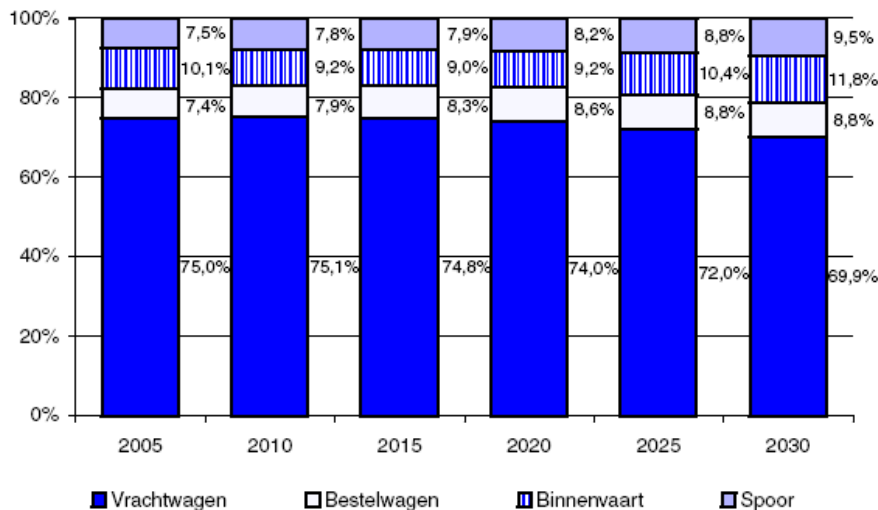
Om het overheidsbeleid te ondersteunen, heeft het Federaal Planbureau in samenwerking met de Federale Overheidsdienst (FOD) Mobiliteit en Vervoer een beeld geschetst van hoe de toekomst omtrent externe kosten van transport er kan uitzien tegen 2030.

De toekomstprognoses zijn gebaseerd op een referentiescenario waarbij wordt uitgegaan van een voortzetting van het huidig prijsbeleid en van de uitvoering van bestaande Europese richtlijnen met betrekking tot nieuwe Euronormen voor voertuigen en de toename van het gebruik van biobrandstoffen. Voor het wegvervoer wordt uitgegaan van een onveranderde capaciteit van de infrastructuur. Voor het spoorvervoer en de binnenvaart wordt een constante gemiddelde snelheid verondersteld. De evolutie van de transportvraag in het referentiescenario wordt mede bepaald door de evolutie van de transportkosten. Deze transportkost bestaat uit monetaire en tijdskosten. Deze laatste worden mede bepaald door de ontwikkeling van de verkeersstroom op de weg (Hertveldt, Hoornaert, & Mayeres, 2009).

Wat betreft het *personenvervoer* wordt verwacht dat er in 2030 30% meer trips zouden zijn dan in 2005. Dit is voornamelijk te wijten aan een toename van 40% van het aantal trips voor andere

motieven dan woon-school- en woon-werkvervoer, zoals boodschappen en vrije tijd. Het aantal reizigerskilometer zou tussen 2005 en 2030 voor het pendel- en schoolvervoer toenemen met respectievelijk 18% en 29%. Dit wordt veroorzaakt door de stijging van de gemiddelde afstand per trip. De auto blijft de dominante vervoerswijze in het personenvervoer. Het aandeel van de auto in het totaal aantal reizigerskilometer in België zou ongeveer constant blijven op 84% in de periode 2005-2030. Bovendien zal een groter aantal reizigerskm afgelegd worden door alleen rijdende automobilisten, terwijl het aandeel van de auto met meer dan één inzittende (auto pool) zou verminderen. Het aandeel van het spoorvervoer in de totale reizigerskm zou gering toenemen, terwijl het aandeel van bus, tram en metro zou afnemen. Deze laatste typen openbaar vervoer worden gekenmerkt door de lagere snelheid in het wegverkeer door toenemende congestie. (Hertveldt et al., 2009).

Bij het *goederenvervoer* zou de totale vervoerde tonnage via de weg, het spoor en de binnenvaart in België toenemen met 51% tussen 2005 en 2030, terwijl het aantal tonkm zou toenemen met 60%. De reden voor de sterkere stijging van het aantal tonkm kan worden verklaard door een toename van de gemiddelde afstand per ton die wordt afgelegd. Tevens zou volgens het referentiescenario een modale verschuiving optreden van het wegvervoer naar het vervoer per spoor en binnenschip. De groei van de vervoerstromen zou leiden tot een verminderde snelheid over de weg. Om deze reden zouden de gegeneraliseerde kosten van het wegvervoer toenemen met als gevolg dat er een verschuiving zou plaatsvinden naar de andere modi (Hertveldt et al., 2009). Meerbepaald zou het belang van de vrachtwagen in het aantal tonkm in België afnemen van 75% in 2005 tot 69,9% in 2030. Ondanks deze daling, blijft het wegvervoer nog steeds de dominante transportmodus, zoals weergegeven in figuur 17. Deze figuur toont een voorspelling van het modaal aandeel voor het goederenvervoer in het aantal tonkm in België voor de periode 2005-2030.



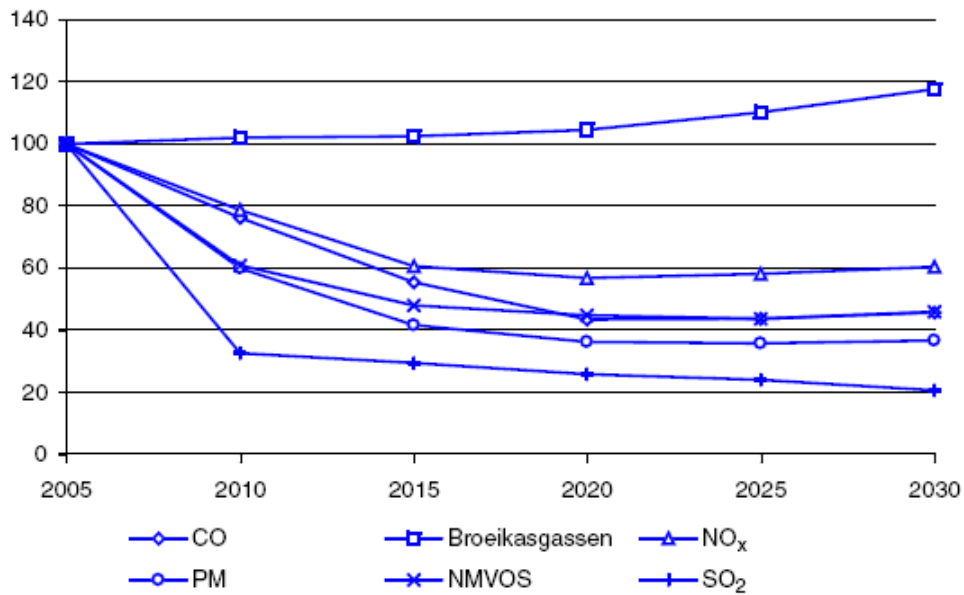
Figuur 17: Evolutie van het aandeel van de transportmiddelen in het aantal tonkm in België voor de periode 2005-2030 (in %): referentiescenario (Hertveldt et al., 2009)

Om een uitspraak te kunnen doen op gebied van *congestie*, dient het aantal voertuigkilometer beschouwd te worden op de weg. Voor deze maatstaf wordt een toename voorspeld van 37% voor vrachtwagens, 67% voor bestelwagens en 38% voor personenwagens tussen 2005 en 2030. Bijgevolg zal de gemiddelde snelheid over de weg verder dalen. In 2030 zou de gemiddelde snelheid in spits- en daluren respectievelijk 31% en 17% lager zijn dan in 2005. Als gevolg daarvan zullen de marginale externe congestiekosten, of dus de bijkomende tijdskosten die een extra weggebruiker veroorzaakt voor derden, sterk toenemen (Hertveldt et al., 2009). Het vooruitzicht voor de marginale externe congestiekosten tussen 2005 en 2030 in België wordt weergegeven in tabel 13. Uit deze tabel wordt duidelijk dat de externe congestiekost het grootst is tijdens de spits, gezien dan de verkeersstroom en de gemiddelde waarde van de tijd het grootst is. De daling van de snelheid zal dan leiden tot een verschuiving van spits- naar daluren voor het wegvervoer. Zo zou het aandeel van de spitsuren in het aantal voertuigkilometer voor vrachtwagens 24% bedragen in 2030 ten opzichte van 27% in 2005.

Tabel 13: Evolutie marginale externe congestiekosten van het wegvervoer tussen 2005 en 2030 in België: referentiescenario (Hertveldt et al., 2009)

		euro/voertuigkm	Ratio t.o.v. 2005 (reële termen)					
		2005	2010	2015	2020	2025	2030	
Spits	Auto	0,36	}	1,30	1,66	2,08	2,52	3,02
	Bus/tram/metro	0,89						
	Motor	0,27						
	Vrachtwagen	0,71						
	Bestelwagen	0,53						
Dal	Auto	0,05	}	1,24	1,51	1,82	2,19	2,62
	Bus/tram/metro	0,14						
	Motor	0,04						
	Vrachtwagen	0,11						
	Bestelwagen	0,08						

Wat betreft de invloed van transport op de *luchtverontreiniging en klimaatverandering*, kan verwezen worden naar figuur 18. Deze figuur geeft de ontwikkeling weer van de emissies van vijf pollutanten (CO, NO_x, SO₂, PM en NMVOS) en van drie broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O). De emissies van CO, NO_x, PM (enkel uitlaatemissies) en NMVOS zouden vanaf 2005 afnemen tot 2020 dankzij de introductie van schonere technologieën. Hierna zullen ze weer licht toenemen door de groei van het verkeer. Echter in 2030 zou het emissieniveau nog steeds aanzienlijk lager liggen tegenover in 2005. In 2030 zou de daling 54% bedragen voor CO, 40% voor NO_x, 63% voor PM en 54% voor NMVOS in vergelijking met 2005. De SO₂-emissie zou substantieel dalen, dankzij het gebruik van zwavelarme brandstoffen. In 2030 zou er 79% minder SO₂-uitstoot zijn dan in 2005. De uitstoot van broeikasgassen zou echter toenemen met 18%. Dit is te verklaren door de groei van het personen- en goederenvervoer die groter is ten opzichte van het effect van schonere voertuigen en biobrandstoffen.



Figuur 18: Evolutie emissies van het personen- en goederenvervoer (weg, spoor, binnenvaart) in België tussen 2005-2030 met 2005 als basisjaar: referentiescenario (Hertveldt et al., 2009)

Volgend onderdeel geeft een overzicht van mogelijke overheidsmaatregelen die in het algemeen kunnen worden genomen om de keuze van transportmodus te beïnvloeden.

6.3 Mogelijke overheidsmaatregelen

De verwachte toename van het personen- en goederenvervoer in België zal zich uiten in toenemende verkeersstromen, waardoor de verschillende verkeersnetwerken capaciteitsproblemen zullen ondervinden. Vandaar wenst MORA (Mobiliteitsraad van Vlaanderen) de verwachte toename van het goederenvervoer op te vangen binnen een duurzaam beleidskader. De Europese Commissie definieert duurzame mobiliteit als mobiliteit die veilig, efficiënt, competitief, sociaal en milieuvriendelijk is. Om de ongewenste externe effecten in te perken en de vervoersefficiëntie te verhogen is een beleid vereist dat zowel comodaliteit als modal shift nastreeft. Een modalshiftbeleid is er op gericht om de toename van het wegvervoer te beperken, ten voordele van alternatieve transportmodi, zoals het spoor en de binnenvaart. Comodaliteit richt zich op de efficiënte inzet van verschillende vervoersmodi of een combinatie daarvan. Alle transportmiddelen dienen samen de voorziene groei van het goederenvervoer op te vangen. Comodaliteit betekent dat bedrijven beslissen over de modale keuze, maar dat de overheid multimodaal vervoer moet stimuleren (MORA, 2009a). In de volgende paragrafen volgt een uiteenzetting van verschillende overheidsmaatregelen om het voorgestelde beleid uit te voeren.

6.3.1 Internaliseren van externe kosten

Een eerste overheidsmaatregel is het voeren van een prijsbeleid. Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 5 is het van cruciaal belang dat een juiste prijs wordt aangerekend aan de transportgebruiker, zodanig dat de kostprijs van vervoer voor een bepaalde vervoersmodus correct is. De twee grote systemen van prijsbeleid zijn belastingen en subsidies. De subsidiemechanismen worden behandeld in de volgende paragraaf.

De belastingsystemen kunnen diverse vormen aannemen, onder andere brandstofbelastingen, kilometerbelastingen, wegenvignetten en parkeerheffingen. Op het huidige moment betalen vervoersgebruikers een bedrag via verkeersbelastingen, BTW en accijnzen, maar vaak hangt de betaalde prijs weinig samen met de maatschappelijke kost van het transportmiddel. De Europese Commissie wenst het doorrekenen van de externe kosten van transport zo veel mogelijk te stimuleren. In het Europees parlement zijn twee kerngedachtes betreffende deze doorrekening. De eerste gedachte wenst de toerekening van de kosten aan alle vervoersmodi volgens het principe "de vervuiler betaalt". De andere wenst enkel een doorrekening voor het wegvervoer (MORA, 2009a).

De doelstelling van het internaliseren van externe kosten is om milieuvriendelijk vervoer duurder te maken en duurzaam vervoer te bevorderen. In deze paragraaf zal enerzijds een vergelijking worden gemaakt tussen de belastingen en de externe kosten voor het referentiescenario en anderzijds zal het heffen van gebruiksrechten op wegeninfrastructuur besproken worden.

Vergelijking tussen belastingen en externe kosten: referentiescenario

De transportbelastingen per kilometer dienen goed afgestemd te zijn op de marginale externe kosten. Tabel 14 geeft aan in welke mate de belastingen de marginale externe congestie- en milieukosten internaliseren voor het vervoer via de weg, het spoor en het binnenschip in 2005 en 2030 voor het eerder besproken referentiescenario. De externe milieukosten omvatten zowel de kosten voor luchtverontreiniging en klimaatverandering.

Tabel 14: Vergelijking tussen de belastingen en de marginale externe congestiekosten en milieukosten van luchtverontreiniging en klimaatverandering voor de weg, het spoor en de binnenvaart in 2005 en 2030: referentiescenario (in EUR/100 voertuigkm, reizigerskm of tonkm) (Hertveldt et al., 2009)

		Eenheid	2005			2030		
			Belasting	Externe kost	Belasting/ externe kost	Belasting	Externe kost	Belasting/ externe kost
Spits	Auto	euro/100 voertuigkm	9,05	36,90	25%	7,51	108,30	7%
	Vrachtwagen	euro/100 voertuigkm	14,31	80,00	18%	12,91	221,30	6%
	Bestelwagen	euro/100 voertuigkm	4,33	55,50	8%	3,46	162,90	2%
Dal	Auto	euro/100 voertuigkm	9,05	6,80	133%	7,51	15,20	50%
	Vrachtwagen	euro/100 voertuigkm	14,31	19,80	72%	12,91	34,90	37%
	Bestelwagen	euro/100 voertuigkm	4,33	10,30	42%	3,46	23,10	15%
Trein	Personen	euro/100 reizigerskm	-4,60	0,03		-4,41	0,02	
	Goederen	euro/100 tonkm	-0,30	0,12		-0,31	0,10	
Binnenvaart		euro/100 tonkm	0	0,40		0	0,30	

Uit tabel 14 kan afgeleid worden dat de belastingen de marginale externe kosten van congestie en milieu reeds in 2005 niet volledig internaliseren. De belasting is aanzienlijk te laag gedurende de spitsperiode. In deze situatie dekt de belasting voor vrachtwagens slechts 18% van de externe kosten. Ook tijdens de dalperiode worden de externe kosten niet volledig geïnternaliseerd, enkel de belasting op de auto was 33% te hoog. Bij een ongewijzigd prijsbeleid zou de transportbelasting in 2030 nog minder de marginale externe kost van congestie en milieu corrigeren. Dit kan verklaard worden door de verwachte toename van het goederen- en personenvervoer en dus ook de congestiekost. De externe milieukost zou aan belang verliezen in de periode 2005-2030. Ook voor het spoorvervoer en de binnenvaart is geen afstemming terug te vinden tussen de belastingen en externe kosten. De binnenvaart betaalt geen belastingen, terwijl ook hier milieukosten optreden. Aan het spoorvervoer worden exploitatiesubsidies verleend, terwijl het eveneens milieukosten veroorzaakt.

Heffen van gebruiksrechten op wegeninfrastructuur

Een andere mogelijke methode om externe kosten in rekening te brengen is het heffen van gebruiksrechten op wegeninfrastructuur. De Europese lidstaten passen momenteel twee heffingssystemen toe voor het goederenvervoer over de weg, met name een tijdsgerelateerde en afstandsgelateerde heffing of kilometerheffing. Bij het eerste traditionele systeem neemt de heffing de vorm aan van een vignet waarmee de gebruiker van het voertuig gedurende een bepaalde periode in een bepaalde zone mag rijden. Het afstandsgelateerde heffingssysteem neemt de vorm aan van een heffing per afgelegde kilometer in een bepaalde zone of op bepaalde wegen. Hierin zijn twee varianten terug te vinden: een beperkt netwerk en een nationaal netwerk.

Bij het beperkt netwerk beperkt het systeem zich tot een specifiek deel van het nationaal wegennetwerk, bijvoorbeeld enkel op autosnelwegen zoals in Duitsland. Bij de tweede variant is het systeem van toepassing op het volledige nationale netwerk van een land, bijvoorbeeld in Zwitserland waar ook een heffing gehanteerd wordt op secundaire en lokale wegen. Beide systemen laten toe om te differentiëren volgens emissienorm van het voertuig, het aantal assen en de maximaal toegelaten massa (B-Mobility, 2009). De voor- en nadelen van de twee systemen van prijszetting worden getoond in tabel 15.

Tabel 15: Voor- en nadelen van de tijdsgelateerde en afstandsgelateerde heffing (Europees Parlement, 2008 in B-Mobility, 2009)

	Tijdsgelateerde heffing	Afstandsgelateerde heffing	
		Beperkt netwerk	Volledig netwerk
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> - Lage implementatiekosten - Eenvoudig en gebruiksvriendelijk 	<ul style="list-style-type: none"> - Internalisering externe kosten mogelijk - Congestie in beperkte mate reduceerbaar - Transparant, eenvoudig - Genereren inkomsten (beperkt) 	<ul style="list-style-type: none"> - Internalisering externe kosten mogelijk - Congestie reduceerbaar - Genereren aanzienlijke inkomsten
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> - Niet effectief voor internalisering externe kosten - Onmogelijkheid terugdringen congestie - Lage inkomsten 	<ul style="list-style-type: none"> - Trafiekverschuiving naar secundaire netwerk (sluipverkeer) - Relatief grote initiële investeringskost 	<ul style="list-style-type: none"> - Aanzienlijke initiële investeringskost

Er kan geconcludeerd worden dat een tijdsgelateerde heffing, waarbij de gebruiker een vast tarief betaalt voor een vastgelegde periode, geen efficiënte vorm van prijszetting is om congestie te reduceren en niet toelaat om de heffing te differentiëren naar plaats en tijd. Vermits de afstandsgelateerde heffing gebaseerd is op geavanceerde technologie, is de implementatie van dergelijk systeem wel duurder, maar anderzijds is het wel efficiënt voor het verminderen van congestie en maakt dit systeem het mogelijk om niet-geïnternaliseerde externe kosten in de toekomst in rekening te brengen.

Oostenrijk, Tsjechië, Zwitserland en Duitsland hanteren een afstandsgebonden heffing die geldt voor alle autosnelwegen en een deel van de andere wegen. De heffing is gedifferentieerd volgens het aantal assen en eventueel de Euronorm van het voertuig. De opbrengsten van de heffing worden aangewend voor verschillende doeleinden, zoals het onderhoud van de wegen en de financiering van infrastructuur voor weg, spoor en binnenvaart (B-Mobility, 2009).

In België, Zweden, Luxemburg, Nederland en Denemarken geldt sinds 1995 een tijdsgelateerd vignetsysteem voor alle autosnelwegen, namelijk het Eurovignet. Dit vignet is van toepassing op vrachtwagens met een totaalgewicht van minstens 12 ton en is gedifferentieerd naar het aantal assen en de Euronorm van het voertuig. Het doel van dit Eurovignet is om transitverkeer te laten betalen voor het gebruik van de weginfrastructuur (B-Mobility, 2009).

In 1999 voerde de Europese Unie met de Eurovignet richtlijn (1999/62/EC) een wettelijk kader in voor tolheffing en gebruiksbelastingen op wegeninfrastructuur. In 2006 is er een nieuwe richtlijn

goedgekeurd (2006/38/EC) ter aanpassing van richtlijn 1999/62/EC. De huidige Eurovignet richtlijn heeft als doel het zware vrachtvervoer te belasten voor de gemaakte infrastructuurkosten en laat derhalve geen internalisering toe van de kosten van congestie, ongevallen, geluid en milieu. Vandaar heeft de Europese Commissie in het "Greening Transport Pakket" (8 juli 2008) een voorstel tot wijziging van richtlijnen 1999/62/EC en 2006/38/EC opgenomen (B-Mobility, 2009). Het huidige voorstel handelt over de kosten van congestie, geluid en luchtvervuiling. Het voorstel tot aanpassing wenst de milieukennmerken van het goederenvervoer te verbeteren, de interne markt vlot te laten functioneren en een gedifferentieerde doorrekening van externe kosten te promoten (MORA, 2009a). Dit voorstel kan worden samengebundeld in volgende krachtlijnen (B-Mobility, 2009):

- Het is de lidstaten toegelaten om kosten veroorzaakt door congestie, vervuiling en geluid te introduceren in de tolheffingen op vrachtwagens vanaf 3,5 ton.
- De externe kosten van ongevallen en CO₂ mogen niet geïnternaliseerd worden via de tolheffing. De Europese Commissie veronderstelt dat de externe ongevalkosten reeds voldoende geïnternaliseerd worden via bestaande verzekeringspremies en dat de CO₂-emissie reeds belast wordt via bestaande accijnzen op brandstoffen.
- De heffingen moeten steunen op een gemeenschappelijk aanvaarde methodologie en zijn beperkt tot weerhouden maximumwaarden. Om te verzekeren dat de heffingen evenredig zijn met de veroorzaakte milieuschade en met de congestie, stelt de Europese Commissie voor om een gemeenschappelijke en transparante methodologie te hanteren voor de berekening van de externe kosten.
- De tol kan geheven worden op alle wegen en niet louter op het trans-Europese wegennetwerk.
- De tolheffing moet elektronisch gebeuren om de vlotte doorstroom te verzekeren.
- De tol dient gedifferentieerd te worden naar voertuigtype, wegtype en tijdstip.
- De instantie verantwoordelijk voor het bepalen van de tol dient onafhankelijk te zijn van de instantie verantwoordelijk voor de inning van de tol.
- De inkomsten uit de tolheffing moeten worden aangewend om de congestie en het effect op het milieu van het vervoer te beperken.

Om een volledige internalisering van de externe kosten van goederenvervoer over de weg te bekomen, dient Europa het initiatief te nemen om een verplichte kilometerheffing in te voeren waarbij de tarieven gedifferentieerd zijn naar plaats en tijd (B-Mobility, 2009).

6.3.2 Subsidies

Een ander prijsinstrument dat toegepast kan worden in het goederenvervoerbeleid zijn subsidies. Meestal is het beïnvloeden van de transportkost van een transportmodus een belangrijke vorm van subsidiëring. De subsidies hebben hierin als doel om tot nog toe onbekende transportalternatieven aantrekkelijker te maken voor ondernemingen. Voorbeelden van huidige Vlaamse subsidies zijn de financiering van de overslaginfrastructuur voor de binnenvaart via het kaaimurenprogramma en het versneld introduceren van Euro 5-voertuigen via een ecologiepremie (MORA, 2009a). Hieronder worden de Euronormen en het kaaimurenprogramma nader toegelicht.

Alle voertuigen die in Europa op de markt komen, moeten voldoen aan de Euronormen die vastgelegd werden in Europese richtlijnen. Deze normen stellen maximumgrenzen voor de uitstoot van NO_x, CO, onverbrande koolwaterstoffen en fijne stofdeeltjes uit dieselmotoren (LNE, 2009). De Euronormen geven echter geen totaalbeeld over de milieuvriendelijkheid van het voertuig. Zo wordt de CO₂-emissie niet in rekening gebracht. Zoals weergegeven in tabel 16, werd in juli 1992 de eerste Europese milieunorm, de Euro 1, ingevoerd. Hoe hoger de Euronorm, hoe strenger de eisen. Sinds oktober 2008 moeten nieuwe vrachtwagens aan de Euro 5-norm voldoen. Vanaf 2014 zullen nieuwe vrachtwagens moeten voldoen aan de Euro 6-norm, waarbij ze 80% minder stikstofoxides en tweederde minder fijn stof uitstoten dan de Euro 5-wagens (MORA, 2009b).

Tabel 16: Invoering van de Euronormen voor personenwagens en vrachtwagens (MORA, 2009b)

	personenwagens	verplicht sinds	vrachtwagens	verplicht sinds
Euro1		1/7/1992	Euro1	1992
Euro2		1/1/1996	Euro2	10/1996
Euro3	nieuwe voertuigtypes alle nieuwe voertuigen	1/1/2000 1/1/2001	Euro3	10/2000
Euro4	nieuwe voertuigtypes alle nieuwe voertuigen	1/1/2005 1/1/2006	Euro4	10/2005
Euro5	nieuwe voertuigtypes alle nieuwe voertuigen	1/9/2009 1/1/2011	Euro5	10/2008
Euro6	nieuwe voertuigtypes alle nieuwe voertuigen	1/9/2014 1/9/2015	Euro6	01/2014

Om het binnenvaartnetwerk beter toegankelijk te maken, startte de Vlaamse overheid in 1998 het kaaimurenprogramma op om laad- en losinstallaties te bouwen langs bevaarbare waterwegen. Concreet houdt deze regeling in dat bedrijven die wensen gebruik te maken van de waterweg voor de aan- of afvoer van hun grondstoffen of goederen, kunnen rekenen op een cofinanciering door het Vlaamse Gewest van 80% voor de aanleg van de infrastructuur van laad- en losinstallaties. De Vlaamse overheid wordt op die manier eigenaar van de infrastructuur, maar verleent aan de private onderneming een vergunning voor het gebruik ervan. Bovendien engageert de private partner zich om een minimale overslag te garanderen op de kaaimuur. Gedurende tien opeenvolgende jaren wordt door de waterwegbeheerder de gerealiseerde overslag jaarlijks opgevolgd. Indien de private partner de beoogde jaarlijkse overslagwaarde niet blijkt te hebben gerealiseerd, is hij voor het betrokken jaar aan de waterwegbeheerder een tegemoetkoming verschuldigd (MORA, 2009c).

Eind 2006 waren 129 aanvragen goedgekeurd en reeds 55 nieuwe kaaimuren gebouwd. Op die manier werden reeds 1.893.372 vrachtwagenritten vermeden waarvan 536.740 in 2006 (MIRA, 2007b). In mei 2008 zijn er reeds 63 kaaimuren operationeel. Er werden aanvragen ingediend voor alle soorten van goederen. De meest vertegenwoordigde categorieën zijn bulk, afval en containers (MORA, 2009c).

Dankzij de ingebruikname van nieuwe laad- en losinstallaties die binnen dit kaaimurenprogramma werden gebouwd, nam in de periode 2003-2008 het aantal ladingen en lossingen op de Vlaamse binnenwaterwegen toe met respectievelijk 25% en 14%. Tabel 17 geeft deze evolutie in ton weer (MORA, 2009c).

Tabel 17: Aantal ladingen en lossingen op de Vlaamse binnenwaterwegen (in ton) (MORA, 2009c).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Lossingen	27.515.141	27.315.543	28.616.844	29.535.164	30.621.953	30.750.129	31.254.942
Ladingen	6.522.529	7.017.377	7.294.682	8.046.039	8.617.764	9.164.633	8.778.580

Om het binnenvaartvervoer te stimuleren kent de Vlaamse overheid sinds 2007 ook een subsidie van 20 EUR toe voor iedere behandelde container op een Vlaamse hinterlandterminal vanaf een binnenvaartschip (MIRA, 2007b). Aangezien in de toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V., beschreven in hoofdstuk 10, containers worden vervoerd per binnenschip, geniet ook deze firma van de subsidie.

6.3.3 Optimalisatie van verkeersinfrastructuur

Goed functionerende infrastructuurnetwerken zijn van belang om het goederentransport op efficiënte wijze te kunnen laten gebeuren. Al deze netwerken zullen in de toekomst noodzakelijk zijn om de voorziene groei van de goederenstromen te kunnen opvangen. Investerings in

alternatieve modi, zoals het spoor en de binnenvaart, moeten blijven plaatsvinden, zonder dat het wegennetwerk aan belang verliest. Optimaliseren kan geschieden door het voorzien van goed onderhoud, te investeren in nieuwe infrastructuur en het beter benutten van de bestaande capaciteit door bijvoorbeeld de herschikking van rijstroken. Het investeren in capaciteit is een typische oplossing voor de filevorming. Investerings in technologische ontwikkelingen inzake Internet, GPS-navigatie en video-conferencing is een andere manier om de transportstromen efficiënt te laten verlopen (MORA, 2009a).

6.3.4 Aanpassen van de wetgeving

Een ander beleidsinstrument is om via wetgeving een gedragsverandering te bewerkstelligen. Regulerings kunnen zich richten op minder schadelijke technologie. Voorbeelden zijn de Euronormen die reeds eerder werden behandeld, roetfilters en hybride voertuigen. Er kunnen ook verkeersreglementeringen ingevoerd worden, zoals zone 30 en maximale snelheden. Andere reguleringen kunnen betrekking hebben op de brandstoffen en werden reeds aangehaald in hoofdstuk 5 (MORA, 2009a).

Het harmoniseren van regelgeving, wat bovendien ook een belangrijke doelstelling is van de Europese Commissie, leidt tevens tot een markt die gekenmerkt wordt door een grotere concurrentie. Met behulp van deze regelgeving kan het beleid duidelijk sturen (MORA, 2009a). Zo hebben twee beleidsmaatregelen een belangrijke invloed gehad op de evolutie van de binnenvaart, namelijk de liberalisering van de binnenvaartsector en de vermindering van de vaarrechten in Vlaanderen.

Op 1 december 1998 werd in Vlaanderen de binnenvaartmarkt geliberaliseerd. De belangrijkste doelstelling van de Europese Raad was een verdere ontwikkeling en betere benutting van de binnenwaterwegen en het versterken van het concurrentievermogen. Als gevolg van de liberalisering daalde de vrachtprijzen en verdwenen de minst efficiënte ondernemingen in de sector. Daarna zijn de vrachten gaan toenemen (MORA, 2009c).

Sinds 1 januari 2000 heeft de aanzienlijke verlaging van de vaarrechten in Vlaanderen het vervoer per binnenschip op de Vlaamse waterwegen aangemoedigd. De vermindering bedraagt 90% en de scheepvaartrechten werden vastgelegd op niet meer dan één centiem per tonkm (MORA, 2009c).

Een ander voorbeeld betreft de rij- en rusttijdenreglementering voor vrachtwagenbestuurders. De rijtijdenreglementering stelt een aantal beperkingen aan de ononderbroken, dagelijkse, wekelijkse en de tweewekelijkse rijtijd. De belangrijkste hiervan zijn dat de ononderbroken rijtijd bijvoorbeeld maximaal 4u30 mag bedragen, de dagelijkse rijtijd niet meer dan 9 uur, de wekelijkse rijtijd niet meer dan 56 uur en de tweewekelijkse rijtijd maximaal 90 uur. Ook dient de bestuurder een

bepaalde tijd te rusten. De rijtijdonderbreking omvat minimum 45 ononderbroken minuten, terwijl de dagelijkse rusttijd minimum 11 ononderbroken uren dient te bevatten en de wekelijkse rusttijd minstens 45 ononderbroken uren (Hedebouw, 2008).

6.3.5 Promotie voeren voor alternatieve transportmodi

De voorbije jaren hebben alle overheden gericht op de promotie van alternatieve transportmodaliteiten. De opzet hierbij was om de kennis van bedrijven te verhogen over deze modi. Door informatie over de kenmerken, mogelijkheden, kosten en subsidies van alle vervoersmodi zo ruim mogelijk te verspreiden, kan de onderneming voor iedere goederenstroom de meest optimale modus aanwenden. Het Vlaamse promotiebeleid heeft zich gefocust op het vervoer over de waterwegen door de oprichting van "Promotie Binnenvaart Vlaanderen" en "Promotie Short Sea Shipping Vlaanderen". Het vervoer per spoor bleef echter onderbelicht in dit beleid. De promotie van alternatieve modi zal belangrijk blijven om het gebruik ervan te stimuleren. Een belangrijk punt hierbij is dat concurrentie tussen de alternatieve modi dient vermeden te worden, aangezien binnen een duurzaam kader een modale verschuiving tussen deze modi niet wenselijk is (MORA, 2009a).

6.3.6 Ingrijpen op de vervoerskeuze bij ondernemingen

Zoals reeds besproken in paragraaf 4.11 zullen ook een aantal kwalitatieve elementen doorwegen bij de vervoerskeuze. Een transportgebruiker zal zijn keuze niet louter op economische overwegingen baseren, maar ook de frequentie, betrouwbaarheid, flexibiliteit, feedback van informatie en risico op verlies of schade zullen de moduskeuze beïnvloeden.

Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt dat de transporttijd en de transportkosten de meest belangrijke beslissingscriteria zijn. De transporttijd is hierbij een doorslaggevend element. Een verhoging hiervan wordt door de onderneming als negatief gepercipieerd. Zo kan de wachttijd bij de overslag van goederen beschouwd worden als een onzekerheidsfactor die een negatief effect heeft op de betrouwbaarheid van de transportmodus (MORA, 2009a).

Zoals ook besproken in hoofdstuk 4 dient de totale logistieke kost van de modi vergeleken te worden om een optimale vervoersbeslissing te kunnen nemen. In de uiteindelijke beslissing geeft de "zekerheid" van een transportmiddel de doorslag. De overheid dient de kwalitatieve elementen dan ook in rekening te brengen bij het uitwerken van het goederenvervoerbeleid, hoewel haar invloed hierop beperkt is.

6.3.7 Ruimtelijke ordening

De gevolgen van de gebrekkige ruimtelijke ordening, die zich jaren in België heeft voorgedaan, zijn nog steeds zichtbaar voor de mobiliteit. Een betere ruimtelijke afstemming van functies is noodzakelijk. Dit houdt in dat locatietekenen beter moeten overeenstemmen met de activiteitskenmerken. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de vervoerstromen vaak sneller groeien dan voorspeld, met als gevolg dat de ruimtelijke ordening achterblijft en hierop vertraagt reageert. Binnen een Ruimtelijk Ordeningsbeleid moet ook belang gehecht worden aan een locatiebeleid voor multimodale terminals. De dichtheid van dit netwerk is in grote mate bepalend voor het succes van multimodaal vervoer (MORA, 2009a).

6.4 Toekomstig overheidsbeleid

In deze paragraaf komt het toekomstig goederenvervoerbeleid aan bod op Europees, Federaal en Vlaams beleidsniveau.

6.4.1 Europees beleid

Op Europees beleidsniveau stelt het in 2001 verschenen Witboek Transport met als titel "Het Europese vervoersbeleid tot het jaar 2010: tijd om te kiezen" zich als belangrijkste doelstelling het transport te verduurzamen. Deze verduurzaming dient plaats te vinden door het evenwicht tussen de verschillende vervoersmodi te herstellen, de congestie te beperken, de nadruk te leggen op verkeersveiligheid en het reduceren van de schadelijke effecten voor het milieu en de mens. Het Witboek Transport 2001 bevat zestig maatregelen om het voorgestelde beleid uit te voeren. De hoofdlijnen van enkele maatregelen worden hieronder weergegeven (MORA, 2009a):

- Impuls geven aan het spoor door het cabotagevervoer toe te staan en het uitbouwen van een spoornetwerk voor goederen.
- Stimuleren van zee- en binnenscheepvaart door de toegankelijkheid van het waterwegennetwerk te verhogen.
- Intermodaal vervoer tot werkelijkheid maken door onder andere het opzetten van het steunprogramma "Marco Polo".
- Verwezenlijken van het Trans-Europese netwerk.

- Vaststellen van een heffingenbeleid voor het vervoer door harmonisatie van belastingsheffing voor het wegtransport en de aanpassing van heffingen op het gebruik van infrastructuurvoorzieningen.

Marco Polo is het instrument dat de realisatie van de doelstellingen van het Witboek Transport 2001 moet ondersteunen. Het is een subsidieprogramma van de Europese Unie voor projecten die een verschuiving beogen van weg naar zee-, spoor- en binnenvaartvervoer. Hiermee wenst de Europese Commissie het aantal vrachtwagens en de congestie te verminderen en een betrouwbaarder en efficiënter goederenvervoer te realiseren. Het eerste Marco Polo programma is opgestart in 2003, liep tot 2006 en had een budget beschikbaar van 75 MEUR. Het huidige, tweede Marco Polo programma loopt van 2007 tot 2012 en voorziet in vergelijking met het eerste programma een hoger budget, namelijk 450 MEUR (MORA, 2009a).

6.4.2 Federaal beleid

Sedert de liberalisering van de binnenvaart, speelt de Federale overheid nog slechts een kleine rol in deze sector. Het Federaal beleid is grotendeels gericht op het stimuleren van het spoorvervoer. Zo wordt sinds 2005 voor het spoor/wegvervoer een subsidie voorzien om het binnenlands goederenvervoer per spoor met een minimum afstand van 50km aan te moedigen. De desbetreffende subsidie bedraagt 20 EUR per container met een bijkomend voordeel van 0,4 EUR/km. Het voorziene jaarlijks budget van de Federale overheid hiervoor is 30 MEUR (MIRA, 2007b).

De Federale regering stelt in haar regeerakkoord van 18 maart 2008 dat de regering haar inspanningen ten aanzien van het gecombineerd goederenvervoer blijft verder zetten. De uitwerking van deze doelstelling uit het regeerakkoord gebeurt in de beleidsnota 2008 van de Staatssecretaris bevoegd voor Mobiliteit. Deze beleidsnota heeft als doel het gebruik van alle vervoersmodi aan te moedigen om zodanig de wegen te ontlasten met zorg voor milieu en omgeving. Het gebruik van spoor- en waterweg dient te vergroten door de toegangswegen naar de terminals aan te passen en deze overslagplaatsen met het noodzakelijke overslagmaterieel uit te rusten. De beleidsnota 2008 Mobiliteit stelt een aantal maatregelen voor die de Federale overheid wenst te nemen (MORA, 2009a):

- De verkeersveiligheid verhogen door de implementatie van Richtlijn 2003/59/EG inzake vakbekwaamheid, aanpassing van procedures voor vergunningen van uitzonderlijk vervoer en door proefprojecten voor lange en zware voertuigen te onderzoeken.
- Het ondersteunen van de groei van het goederenvervoer per spoor en het versterken van de concurrentieverhouding van de havens door een betere kwaliteit van het verkeer te realiseren en

het peilen naar de behoeften aan en de ontwikkelingsmogelijkheden van interne logistieke centra met het oog op een betere distributie van goederen.

Naar de toekomst toe zijn er nog geen beleidswijzigingen aangekondigd, gezien de beleidsnota 2008 Mobiliteit zeer recent gepubliceerd is.

6.4.3 Vlaams beleid

Het Vlaamse mobiliteitsbeleid start vanuit het Ruimtelijk Ordeningsbeleid. Het Vlaamse regeerakkoord 2004-2009 pleit voor duurzame mobiliteitsmaatregelen. Zo werd de stimulering van de binnenvaartscheepvaart als volwaardig alternatief van het goederenvervoer over de weg opgenomen.

Het toekomstig Mobiliteitsplan wil de mobiliteit beheersen, de milieuvervuiling en milieuhinder reduceren en de bereikbaarheid en leefbaarheid van steden en dorpen garanderen. Eén van de opgesomde aandachtspunten is het ontlasten van de wegen door een deel van het goederenvervoer te verschuiven naar transport via water of per spoor (MORA, 2009a).

De maatregelen kunnen als volgt worden samengevat:

- Infrastructuurmaatregelen: uitbouwen van het hoofdwaterwegennet, aanleg van overslagmogelijkheden voor binnenvaart (kaaimurenprogramma), uitbouwen van het hoofdwegennet conform het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen
- Verkeers- en vervoersmanagement: gegarandeerde vaartijden voor de binnenvaart en het voorzien van transportdeskundigen voor ondernemingen om na te gaan of transport via spoor of binnenvaart een optie is .
- Prijsmaatregelen: het verlagen van vaarrechten voor de binnenvaart
- Promotie van binnenvaart en short sea shipping

Hoofdstuk 7: Algemene haalbaarheidsgebieden voor multimodaal vervoer in geval van één eindterminal

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal op basis van een algemeen wiskundig model een vergelijking worden gemaakt tussen twee mogelijke transporttrajecten, namelijk een unimodaal en een multimodaal traject. In het multimodaal traject is slechts één combinatie van overslagpunten mogelijk. Er wordt met andere woorden steeds gebruik gemaakt van dezelfde eindterminal. De algemene haalbaarheid voor het multimodaal vervoerssysteem zal bepaald worden door grafisch het gebied weer te geven waarbij multimodaal vervoer rendabeler is dan het unimodaal vervoer. Bij de bespreking van de haalbaarheidsfiguren zal steeds de breakeven figuur getoond worden. Punten gelegen op de rand van de figuur geven aan dat het multimodaal traject even voordelig is als het unimodaal traject. De figuur toont de regio waar de aankomstplaats van het vervoer dient gelegen te zijn opdat het desbetreffende transportalternatief het voordeligste is ten opzichte van het andere alternatief. Dit betekent dat indien de eindbestemming van het transport zich bevindt binnen het haalbaarheidsgebied van een specifiek transportalternatief, dan is dit alternatief de meest rendabele manier waarop de goederen kunnen vervoerd worden. Deze haalbaarheidsstudie zal op vier te onderscheiden domeinen onderzocht worden. Dit betekent dat er vier vergelijkingscriteria gehanteerd zullen worden om het unimodaal met het multimodaal vervoer te vergelijken, meerbepaald de economische, maatschappelijke, energetische en ecologische kost. De haalbaarheidsgebieden worden dan berekend voor ieder transportalternatief op basis van een gekozen vergelijkingscriterium. Hierdoor kan onderzocht worden welk transporttraject, multimodaal of unimodaal, het meest rendabel is vanuit het gekozen standpunt. De haalbaarheidsmodellen op basis van deze vier vergelijkingscriteria zullen in het volgend hoofdstuk aan bod komen. In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt de werkwijze en de afleiding van het algemeen wiskundig haalbaarheidsmodel gespecificeerd. Daarna zal grafisch het algemeen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer bepaald worden bij een verhouding van de variabele kost per tonkm tussen het multimodaal natransport en het unimodaal transport gelijk aan 1 en groter dan 1. Vervolgens zal de verandering van het gebied geanalyseerd worden bij een wijziging in de verhouding van de kost tussen het multimodaal en unimodaal vervoer. Hierna wordt aan de hand van positieve en negatieve equiprofitlijnen nagegaan hoeveel winst of verlies het multimodaal traject genereert in vergelijking met het unimodaal traject. Deze lijnen kunnen zowel absoluut als relatief beschouwd worden. Tenslotte zal op basis van equiprofitgebieden aangegeven worden binnen welke regio het haalbaarheidsgebied kan variëren bij stochastische kostenwaarden. Op deze wijze kunnen onzekerheden in het goederenvervoer in rekenschap worden gebracht, zoals files en ongevallen in het wegvervoer.

7.2 Werkwijze algemeen haalbaarheidsmodel

In deze paragraaf wordt de werkwijze van het algemeen haalbaarheidsmodel voor multimodaal vervoer uiteengezet in de situatie met één terminal voor vertrek en één terminal voor aankomst. Bij het bepalen van het haalbaarheidsgebied wordt steeds het volgend uitgangspunt genomen: een bepaald multimodaal transporttraject met twee maal overslag wordt vergeleken met een specifiek unimodaal transporttraject. De opzet is dus om grafisch het gebied voor te stellen dat aangeeft welk transportalternatief, bijvoorbeeld multimodaal vervoer, goedkoper is ten opzichte van het ander transporttraject, bijvoorbeeld unimodaal vervoer.

Het unimodale transporttraject wordt uitgeoefend door één transportmodus, bijvoorbeeld door een vrachtwagen, waarbij de goederen rechtstreeks vervoerd worden van de verzender naar de ontvanger.

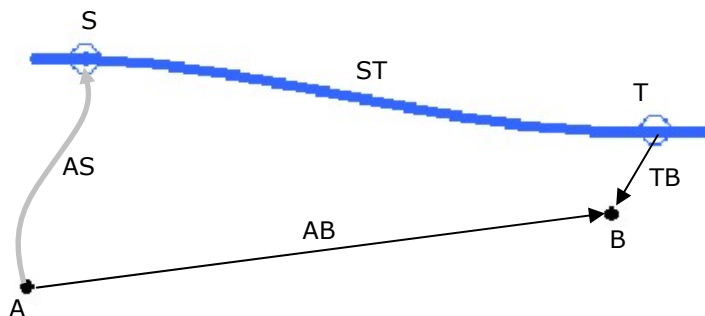
In het multimodaal transporttraject kunnen de volgende operaties teruggevonden worden: het voor- en natransport, de handelingen in de terminals en het hoofdtransport tussen de terminals. Bij het voortransport vindt het vervoer plaats van de verzender naar de eerste overslagterminal. Dit deeltraject wordt meestal verzorgd door het wegvervoer, maar dit is niet altijd noodzakelijk. Het voortransport kan ook via andere transportmodaliteiten plaatsvinden, waaronder pijpleidingen. Het hoofdtransport van de goederen vindt plaats van de eerste overslagterminal naar de tweede terminal en dit via een alternatieve modus waar verscheidene mogelijkheden voorhanden zijn. Meerbepaald kan dit transport plaatsvinden door een andere vrachtwagen, het spoor, de binnenvaart, de kustvaart, de luchtvaart of pijpleidingen. Bij het natransport worden de goederen getransporteerd van de tweede overslagterminal naar de eindbestemming. Het natransport wordt meestal uitgeoefend door het wegvervoer. Echter, net zoals bij het voortransport, kan ook in het natransport verschillende transportmogelijkheden aangewend worden. In de terminals wordt de lading van de ene transportmodus naar de andere overgeladen. Naast deze overslagfunctie, kunnen terminals nog andere functies vervullen. Eén van de belangrijkste is de opslag van de goederen. Een andere voorname functie van de terminal is de onttrekking van goederen uit moeilijk te bereiken plaatsen, zoals uit havengebieden. Ook voor de toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V. in hoofdstuk 10 zijn de net vernoemde functies het meest van toepassing.

We veronderstellen in het wiskundig model dat de goederen verzonden dienen te worden van een vaste vertrekplaats A naar een veranderlijke eindbestemming B waarbij A de verzender en B de ontvanger is. Bij het unimodale vervoer zullen de goederen rechtstreeks getransporteerd worden van A naar B waarbij de afstand gelijk is aan AB. Het multimodaal transporttraject start met het voortransport dat verloopt tussen vertrekplaats A en de eerste overslagterminal S. In terminal S worden de goederen overgeslagen naar de alternatieve modus. De desbetreffende transportmodus

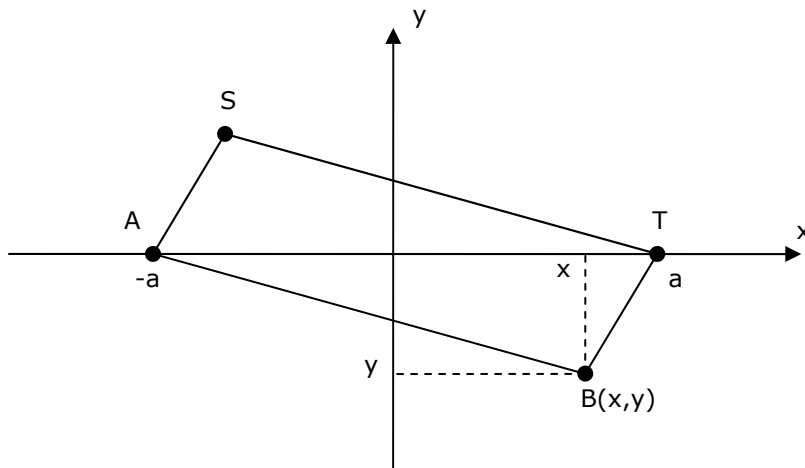
zal vervolgens het hoofdtransport uitvoeren vanaf terminal S tot de tweede overslagterminal T, die beiden gelegen zijn op een voordelige transportlijn. Het laatste gedeelte in het multimodaal vervoer omvat het natransport. Dit transport vindt plaats tussen de overslagterminal T en eindbestemming B met een afstand gelijk aan TB.

Omwille van de variabiliteit van B wordt verondersteld dat de afstanden AB en TB bij benadering recht zijn. Deze veronderstelling zal vereist zijn voor latere analytische berekeningen. Lengtes AS en ST hoeven niet recht te zijn, ze worden beschouwd als constanten. In figuur 19 wordt bovenvermelde informatie schematisch voorgesteld.

Om het rendabele gebied grafisch voor te stellen, dient een assenstelsel ingevoerd te worden. In figuur 20 is een grafische weergave van deze situatie zichtbaar. Hierbij zal enkel aan B veranderlijke x en y coördinaten toegekend worden, aangezien het doel is om grafisch het gebied te tonen waarbinnen eindbestemming B gelegen dient te zijn om voordelig multimodaal vervoer te bekomen. De overslagterminals T en S worden geacht zich steeds te bevinden op eenzelfde, vaste locatie. De beperkte geografische spreiding van de huidige terminals zal een snelle overschakeling naar een andere terminal bemoeilijken. Dit impliceert dat de afstanden AB en TB de enige veranderlijke lengtes zijn in het model. De overige afstanden AS en ST worden als vaste lengtes beschouwd. We nemen de x-as door vertrekpunt A en terminal T en de y-as als middelloodlijn die AT, welke ook gelijk is aan $2a$, in twee gelijke helften verdeelt. In figuur 20 worden de lengtes AS en ST als rechte lijnen voorgesteld, maar zoals reeds eerder aangehaald, is dit niet vereist om het wiskundig model op te stellen.



Figuur 19: Voorstelling van het unimodaal (AB) en het multimodaal transporttraject (AS, ST, TB) waarbij A de vaste vertrekplaats is, B de veranderlijke eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal transport. Afstanden AB en TB worden verondersteld recht te zijn bij benadering, vermits B veranderlijk is.



Figuur 20: Grafische weergave van het uni- en multimodaal vervoer waarbij de x-as fungeert als verbindinglijn tussen A en T en de y-as als middelloodlijn die de afstand AT (=2a) in twee gelijke helften verdeelt.

De gebruikte symbolen worden hieronder weergegeven.

Symbol	Verklaring
A	Vaste vertrekplaats (bijvoorbeeld een fabriek of opslagplaats)
B	Veranderlijke aankomstplaats (bijvoorbeeld winkels, fabrieken of particulieren)
S	Eerste overslagterminal
T	Tweede overslagterminal
AB	Afstand van A tot B (recht)
AS	Afstand van A tot S (langs de weg)
ST	Afstand van S tot T (langs de alternatieve modus)
TB	Afstand van T tot B (recht)

Uiteraard zijn varianten op dit model mogelijk, bijvoorbeeld wanneer slechts één overslag plaatsvindt. In deze situatie ligt B in terminal T en zullen de goederen enkel in terminal S overgeslagen worden. Voor B in T is het model echter niet geldig, aangezien dan voor het multimodaal vervoer geen overslag in T nodig is. Wanneer volgens het model multimodaal vervoer nergens haalbaar is, kan er dus nog wel haalbaarheid zijn in terminal T. Een andere optie houdt in dat het vervoer van A naar T via de weg plaatsvindt en vervolgens een andere vrachtwagen de goederen van T naar B transporteert. Dit zal zich voordoen wanneer het multimodaal vervoer van A naar T duurder is dan de unimodale transportwijze. Deze situaties dienen echter apart onderzocht te worden en zullen niet verder aan bod komen.

De kosten van het unimodaal en het multimodaal vervoer vormen, naast de afstanden, de andere parameters die in dit onderzoek gebruikt worden. Immers, met iedere afstand die moet afgelegd worden, namelijk AB, AS, ST en TB komt een bepaalde kost overeen.

Indien een algemene vergelijking wordt gemaakt tussen het uni- en multimodaal vervoer op basis van de kost, worden onderstaande vergelijkingen bekomen.

Voor het **unimodaal** traject wordt de kost per ton om de goederen rechtstreeks van A naar B te vervoeren weergegeven door de volgende uitdrukking:

$$K_U = c \cdot \rho + C_u$$

De kost per ton van A naar B met **multimodaal** vervoer over de terminals S en T wordt weergegeven door volgende vergelijking:

$$K_M = v_m + C_m + k \cdot r$$

Vooraleer de breakeven figuur kan geconstrueerd worden, zal de kost van het unimodaal vervoer (K_U) gelijkgesteld worden aan de kost van het multimodaal vervoer (K_M):

$$K_U = K_M$$

$$c \cdot \rho + C_u = v_m + C_m + k \cdot r$$

$$c \cdot \rho = k \cdot r + C_m - C_u + v_m$$

$$c \cdot \rho = d + k \cdot r \quad \text{met} \quad d = C_m - C_u + v_m$$

Bijgevolg wordt de grens van het haalbaarheidsgebied voorgesteld door de voorlopige formule:

$$c \cdot \rho = d + k \cdot r$$

Onderstaande tabel geeft de definiëring weer van de gebruikte symbolen.

Symbool	Verklaring
K_U	Totale kost per ton van A naar B voor unimodaal vervoer
c	Variabele kost per tonkm van A naar B voor unimodaal vervoer
C_u	Vaste kost per ton van A naar B voor unimodaal vervoer
ρ	Afstand van A tot B (in km)
K_M	Totale kost per ton van A naar B voor multimodaal vervoer over terminals S en T
v_m	De vaste kost per ton van A naar T voor multimodaal vervoer, zodat de "ton" in T beschikbaar is voor het natransport in multimodaal vervoer op dezelfde wijze als de "ton" in A beschikbaar is voor unimodaal vervoer: $v_m = v_1 + v_2 + v_3 + v_4$
v_1	Kost per ton van A naar S
v_2	Overslagkost per ton in S

v_3	Overslagkost per ton in T
v_4	Kost per ton van S naar T
C_m	Overige vaste kosten per ton van A naar B voor multimodaal vervoer
k	Variabele kost per tonkm voor het multimodaal natransport van T naar B
r	Afstand van T tot B (in km)
d	Bijkomende vaste kost per ton voor multimodaal vervoer van A naar B $d = C_m - C_u + v_m$

Om nu de uitdrukking voor de totale kost van het unimodaal vervoer (K_U) en het multimodaal vervoer (K_M) te kunnen weergeven in de grafische voorstelling, dient zowel de afstand p (=AB) als de afstand r (=TB) herleid te worden naar hun x en y coördinaten. Zoals eerder vermeld, wordt verondersteld dat de afstanden AB en TB bij benadering recht zijn. De desbetreffende afstanden dienen Euclidisch benaderd te worden opdat deze lengtes bepaald kunnen worden met behulp van de Stelling van Pythagoras in figuur 20.

Op die manier wordt voor p de volgende uitdrukking verkregen:

$$p = \sqrt{(x + a)^2 + y^2}$$

Voor r wordt de volgende uitdrukking bekomen:

$$r = \sqrt{(x - a)^2 + y^2}$$

Om nu een duidelijke vergelijking te kunnen maken tussen de kost van multimodaal vervoer en de kost van unimodaal vervoer, wordt in het wiskundig model de volgende verhoudingen gehanteerd:

$$p = \frac{k}{c} \quad \text{:Verhouding van de variabele kost per tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c)}$$

$$q = \frac{d}{2ac} \quad \text{:Verhouding van de vaste kost per ton van vertrekplaats A naar terminal T van het multimodaal vervoer (d) ten opzichte van het unimodaal vervoer (2ac) waarbij 2a gelijk is aan de afstand tussen A en T in km}$$

Om interpretatieproblemen te voorkomen werd voor de definiëring van verhouding q verondersteld dat $C_m = C_u$ zodanig dat $d = v_m$.

De verhoudingen p en q hebben als voordeel dat ze onafhankelijk zijn van het prijsniveau. Zo zal een verdubbeling van de waarden k en c tot eenzelfde verhouding van p leiden. Deze verhoudingen zullen gehanteerd worden in het wiskundig model. Afhankelijk van het beschouwde vergelijkingscriterium, kunnen de kostenverhoudingen p en q anders ingevuld worden. Enkel de

waarde voor p en q zal verschillen als een ander criterium wordt gehanteerd. De haalbaarheidsmodellen op basis van de vier vergelijkingscriteria zullen in volgend hoofdstuk besproken worden.

Bij het opstellen van het algemeen wiskundig model kunnen vier specifieke situaties geanalyseerd worden, meerbepaald:

Situatie 1 : $p \geq 1$ en $q > 1$

Situatie 2 : $p \geq 1$ en $q \leq 1$

Situatie 3 : $p < 1$ en $q > 1$

Situatie 4 : $p < 1$ en $q \leq 1$

In **situatie 1** is het multimodaal natransport per tonkm van T naar B minstens even duur als het rechtstreeks vervoer van A naar B. Hieruit volgt dat de waarde k groter is dan of gelijk is aan c zodanig dat $p \geq 1$. Deze verhouding zal het meest voorkomen in de economische analyse. Het is namelijk zo dat de transportkost per tonkm van het natransport meestal duurder is dan deze van het unimodaal vervoer. Daar het rechtstreeks vervoer over een langere afstand plaatsvindt, zal de transportkost per tonkm afnemen wegens schaalvoordelen. Situaties waarin deze verhouding zich kan voordoen is bij transport in hetzelfde land of tussen landen met vergelijkbare kosten of tussen landen waarbij het land van de bestemming gekenmerkt wordt door een hogere kost. Daar $q > 1$ is de waarde d groter dan $2ac$. Bijgevolg is de kost per ton van het multimodaal vervoer van A naar T groter als de rechtstreekse vervoerskost van A naar T. Deze situatie heeft geen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer en dus ook geen praktische betekenis.

In **situatie 2** is, net zoals in de vorige, het multimodaal natransport per tonkm minstens even duur als het unimodaal vervoer. Situatie 2 verschilt slechts van situatie 1 doordat de vaste kost per ton van het multimodaal vervoer om de goederen te brengen van A naar T ten opzichte van unimodaal vervoer goedkoper is. In de desbetreffende situatie is de waarde d kleiner dan of gelijk aan $2ac$ waardoor $q \leq 1$. Omwille van het duurdere natransport, dient de eindbestemming B zo dicht mogelijk bij de terminal T gelegen te zijn opdat multimodaal vervoer haalbaar zou zijn.

In het geval dat p gelijk is aan 1, is het multimodaal navervoer per tonkm even duur als het rechtstreeks vervoer van A naar B. Deze situatie geeft een vereenvoudigde weergave van het haalbaarheidsmodel, maar is praktisch gezien echter weinig realistisch.

In **situatie 3** is het multimodaal natransport per tonkm goedkoper dan het rechtstreeks vervoer van A naar B. In de economische analyse kan zich dit voordoen wanneer het natransport plaatsvindt in een land met een goedkopere transportkost door bijvoorbeeld een lagere loonkost. Het goederenvervoer van A naar T op multimodale wijze wordt geacht duurder te zijn als op unimodale wijze. Als gevolg hiervan heeft het multimodaal transport in deze situatie geen praktisch

belang. Immers bij $q > 1$ is het reeds duurder om de goederen multimodaal te brengen tot in terminal T. Hierdoor kan een andere vervoerswijze rendabeler worden. Zo zal het bijvoorbeeld goedkoper zijn om een ongeladen vrachtwagen in te huren vanuit een lage loonland in T en van hieruit naar A te sturen waar de goederen worden ingeladen en vervolgens vervoerd worden naar B. Wat eventueel nog goedkoper zou zijn, is om een geladen vrachtwagen in een lage loonland in T in te huren om het rechtstreeks vervoer te verzorgen naar B. Voor deze mogelijkheid is het beschreven wiskundig model echter niet geldig, gezien dit model een vergelijking maakt tussen slechts 2 opties, namelijk het multimodaal vervoer met tweemaal overslag en het unimodaal vervoer van A naar B.

In **situatie 4** is de kost van zowel het multimodaal natransport per tonkm als van het multimodaal transport per ton van A naar T lager dan de kost van het rechtstreeks vervoer. Analoog aan de vorige situatie, kan deze situatie zich voordoen wanneer goederen getransporteerd worden naar een land met een goedkopere transportkost. In deze situatie is het multimodaal transport echter wel realistisch, gezien $q \leq 1$.

In de bovenstaande vier situaties wordt verondersteld dat er in T een overslag moet gebeuren. In de speciale situatie waarbij B in T ligt, is deze overslag niet meer vereist. Eerder werd v_3 gedefinieerd als de overslagkost per ton in T. Wanneer B in T zou liggen, is v_3 gelijk aan nul met als gevolg dat ook de waarde van q kleiner wordt. Hierdoor kan multimodaal vervoer haalbaar worden in T. Tevens valt het natransport weg, waardoor de waarde k en dus ook de verhouding p nul wordt. Voor deze mogelijkheid is het beschreven wiskundig model echter niet geldig, aangezien het model net gebaseerd is op de twee verhoudingen, met name p en q .

In de volgende paragrafen zal aan de hand van analytische berekeningen enkel voor **situatie 2** de rand van het haalbaarheidsgebied grafisch bepaald worden. In het kader van deze thesis zal de rand van het gebied niet onderzocht worden wanneer $p < 1$, daar deze situatie zich zo goed als nooit zal voordoen in België. Binnen de tweede situatie kunnen twee gevallen onderscheiden worden, met name $p > 1$ en $p = 1$. Om de rand van het gebied grafisch te bepalen voor de desbetreffende situaties, dient als eerste stap de formule voor de grens van het haalbaarheidsgebied herleid te worden naar de x en y coördinaten. Deze uitwerking wordt behandeld in paragraaf 7.3. Nadat de algemene vergelijking voor de oplossing is bekomen, zal voor $p = 1$ (paragraaf 7.4.) en $p > 1$ (paragraaf 7.5.) de rand van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer bepaald worden.

7.3 Bepaling van de rand van het haalbaarheidsgebied

7.3.1 Vergelijkingen voor het bepalen van de rand

Om het breakeven gebied te bepalen, dient de formule voor de grens van het haalbaarheidsgebied verder uitgewerkt te worden:

$$K_U = K_M$$

$$c \cdot p = d + k \cdot r$$

$$p = \frac{d}{c} + \frac{rk}{c} \quad \text{aangezien} \quad \left\{ \begin{array}{l} q = \frac{d}{2ac} \quad \text{volgt hieruit dat} \quad \frac{d}{c} = 2aq \\ p = \frac{k}{c} \end{array} \right.$$

$$p = 2aq + rp$$

Bovenstaande vergelijking ingevuld met $p = \sqrt{(x+a)^2 + y^2}$ en $r = \sqrt{(x-a)^2 + y^2}$ geeft de volgende uitdrukking:

$$\sqrt{(x+a)^2 + y^2} = 2qa + p\sqrt{(x-a)^2 + y^2}$$

Door gebruik te maken van de volgende substituties kan bovenstaande vergelijking worden vereenvoudigd:

$$(x+a)^2 = W \quad (x+a)^2 + y^2 = W + Y = M$$

$$(x-a)^2 = V \quad (x-a)^2 + y^2 = V + Y = N$$

$$y^2 = Y$$

Op die manier kan de bovenstaande vergelijking als volgt worden herschreven:

$$\sqrt{M} = 2qa + p\sqrt{N}$$

Het kwadrateren van beide leden leidt tot:

$$M = 4q^2a^2 + p^2N + 4pqa\sqrt{N}$$

$$M - p^2N - 4q^2a^2 = 4pqa\sqrt{N}$$

Om de oplossing verder te zoeken worden beide leden opnieuw gekwadraterd. Hierdoor worden echter ook de oplossingen ingevoerd voor $M - p^2N - 4q^2a^2 = -4pqa\sqrt{N}$ en deze zijn ongeldig.

Vandaar is de voorwaarde voor het bestaan van de oplossing:

$$M - p^2N - 4q^2a^2 \geq 0$$

7.3.2 Voorwaarde opdat de oplossing toegelaten is

Indien M en N worden vervangen door hun oorspronkelijke uitdrukking, dan kan de voorwaarde voor het bestaan van een oplossing herleid worden als volgt:

$$\begin{aligned}
 M - p^2N - 4q^2a^2 \geq 0 \quad \text{of} \quad (x+a)^2 + y^2 - p^2(x-a)^2 - p^2y^2 - 4q^2a^2 \geq 0 \\
 x^2 + a^2 + 2ax + y^2 - p^2x^2 - p^2a^2 + 2p^2ax - p^2y^2 - 4q^2a^2 \geq 0 \\
 (1-p^2)y^2 + (1-p^2)x^2 + (1-p^2)a^2 + 2ax + 2p^2ax - 4q^2a^2 \geq 0 \quad (1)
 \end{aligned}$$

Deze voorwaarde zal omgevormd worden. Deze omvorming zal later in dit hoofdstuk van belang zijn bij het bepalen van het teken in de uitdrukking voor de oplossing.

Op basis van (1) wordt, na enkele berekeningen, volgende omvorming bekomen:

$$(p^2 - 1) \left[y^2 + (x-a)^2 - \frac{4a^2q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \right] \leq 0$$

Deze omvorming is de voorwaarde waaraan de oplossing moet voldoen of dus de bestaansvoorwaarde. Er wordt gekozen voor bovenstaande vorm, gezien de bekomen omvorming direct de termen bevat die voorkomen in de uitdrukking voor de uiteindelijke oplossing $Y=y^2$.

7.3.3 De oplossing Y

Als aan de voorwaarde voldaan is, dan kan de oplossing verder gezocht worden. Beide leden van onderstaande vergelijking mogen gekwadrateerd worden:

$$M - p^2N - 4q^2a^2 = 4pqa\sqrt{N}$$

Dit resulteert in het volgende:

$$(M - p^2N - 4q^2a^2)^2 = (4pqa\sqrt{N})^2$$

Uitwerking hiervan geeft de volgende vergelijking:

$$M^2 + 16a^4q^4 + p^4N^2 - 8a^2q^2M - 2p^2MN + 8a^2p^2q^2N = 16a^2p^2q^2N$$

Deze vergelijking wordt vervolgens uitgewerkt en M en N worden gesubstitueerd door hun oorspronkelijke uitdrukking. De uiteindelijke vergelijking voor de oplossing Y wordt dan:

$$\boxed{(1-p^2)^2 Y^2 + 2[(1-p^2)(W-p^2V) - 4a^2q^2(1+p^2)]Y + (W-p^2V)^2 - 8a^2q^2(W+p^2V) + 16a^4q^4 = 0} \quad (2)$$

Gezien vergelijking (2) een tweede graadsfunctie is van Y, kan de discriminant ook eenvoudig worden berekend.

Vergelijking (2) neemt de volgende algemene vorm aan:

$$\bar{A}Y^2 - 2\bar{B}Y + \bar{C} = 0$$

Hierin wordt gesteld dat:

$$\bar{A} = (1 - p^2)^2$$

$$\bar{B} = -\left[(1 - p^2)(W - p^2V) - 4a^2q^2(1 + p^2) \right]$$

$$\bar{C} = (W - p^2V)^2 - 8a^2q^2(W + p^2V) + 16a^4q^4$$

Op basis hiervan kan de discriminant (\bar{D}) bepaald worden aan de hand van de formule:

$$\bar{D} = (-2\bar{B})^2 - 4\bar{A}\bar{C} = 4(\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C})$$

dan wordt de nodige voorwaarde voor de oplossing (Y) als volgt verkregen:

$$Y = y^2 = \frac{2\bar{B} \pm \sqrt{4(\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C})}}{2\bar{A}} \quad \text{Of} \quad Y = y^2 = \frac{\bar{B} \pm \sqrt{\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}}}{\bar{A}}$$

Aangezien $Y = y^2 = \frac{\bar{B} \pm \sqrt{\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}}}{\bar{A}}$ dient $\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}$ herleid te worden zodanig de oplossing

$Y = y^2$ wordt uitgedrukt in termen van x. Op die manier wordt er een direct verband gezocht tussen x en y. De term $\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}$ kan worden weergegeven als volgt:

$$\begin{aligned} \bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C} = & \left[(1 - p^2)(W - p^2V) - 4a^2q^2(1 + p^2) \right]^2 - (1 - p^2)^2 \left[(W - p^2V)^2 - 8a^2q^2(W + p^2V) + 16a^4q^4 \right. \\ & \left. - 16a^2p^2q^2V \right] \end{aligned}$$

Wanneer de haakjes in bovenstaande term worden uitgewerkt en W en V gesubstitueerd worden door hun oorspronkelijke uitdrukking, wordt het volgende resultaat bekomen:

$$\sqrt{\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}} = 8a^2p^2q^2 \sqrt{1 + \frac{1 - p^2}{p^2} \left(1 - \frac{x}{aq^2} \right)}$$

Aangezien $Y = y^2 = \frac{\bar{B} \pm \sqrt{\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}}}{\bar{A}}$ en $\sqrt{\bar{B}^2 - \bar{A}\bar{C}}$ is gekend, dient enkel nog \bar{B} over \bar{A}

te worden berekend.

Wanneer W en V in de term \bar{B} gesubstitueerd worden door hun oorspronkelijke uitdrukking en daarna door \bar{A} gedeeld wordt, wordt het volgende resultaat verkregen voor \bar{B} over \bar{A} :

$$\frac{\bar{B}}{(1 - p^2)^2} = -(x - a)^2 - \frac{4a^2q^2}{p^2 - 1} \left(1 - \frac{x}{aq^2} \right) + \frac{8a^2q^2p^2}{(p^2 - 1)^2}$$

Aan de hand van de bovenstaande berekeningen kan nu de formule voor de rand van het haalbaarheidsgebied bepaald worden:

$$Y = y^2 = \frac{\bar{B}}{(1-p^2)^2} \pm \frac{\sqrt{\bar{B}^2 - (1-p^2)^2 \bar{C}}}{(1-p^2)^2}$$

Na het invullen van bovenstaande vergelijking met de bovenstaande resultaten wordt de uitdrukking voor de oplossing Y verkregen:

$$Y = y^2 = -(x-a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2-1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2-1)^2} \left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{p^2-1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Opdat er een geldige oplossing y zou bestaan, moet nog aan de volgende drie voorwaarden voldaan zijn:

1) De discriminant moet positief zijn (of nul)

$$1 + \frac{p^2-1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \geq 0 \quad \text{of} \quad (p^2-1)x \geq -aq^2$$

2) De oplossing moet toegelaten zijn. Dit betekent dat aan de eerder bekomen bestaansvoorwaarde moet voldaan zijn:

$$(p^2-1) \left[y^2 + (x-a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2-1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \right] \leq 0$$

3) De oplossing $Y=y^2$ moet positief zijn:

$$Y=y^2 \geq 0$$

7.3.4 Bepaling grenspunten op de x-as

Om de mogelijke waarden voor x te bekomen wanneer $Y=0$ zal de constante term \bar{C} gefactoriseerd worden. Op die manier worden de verschillende x-waarden bekomen.

De constante term \bar{C} werd als volgt bepaald:

$$\bar{C} = (W - p^2 V)^2 - 8a^2 q^2 (W + p^2 V) + 16a^4 q^4$$

Indien deze vergelijking verder wordt uitgewerkt en W en V vervangen worden door hun oorspronkelijke uitdrukking, wordt volgende vergelijking bekomen voor \bar{C} :

$$\bar{C} = [(1-p)x + (1+p+2q)a] \cdot [(1+p)x + (1-p-2q)a] \cdot [(1-p)x + (1+p-2q)a] \cdot [(1+p)x + (1-p+2q)a]$$

Vermits de bekomen uitdrukking voor \bar{C} gelijk moet zijn aan 0 als $y=0$ kunnen hieruit vier mogelijke waarden voor x verkregen worden:

$$y = 0 \Rightarrow x = x_1 = \frac{1}{p-1} (1+p+2q)a$$

$$\text{of } x = x_3 = \frac{1}{p-1} (1+p-2q)a$$

$$\text{of } x = x_2 = \frac{1}{p+1} (p+2q-1)a$$

$$\text{of } x = x_4 = \frac{1}{p+1} (p-2q-1)a$$

Welke waarden voor x mogen genomen worden, hangt af of de $(x,0)$ waarden voldoen aan de hogere bestaansvoorwaarde, met name:

$$(p^2 - 1) \left[y^2 + (x-a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \right] \leq 0$$

Als de bovenstaande x waarden worden omgevormd, worden de volgende grenspunten op de x -as verkregen:

$$y = 0 \Rightarrow x = x_1 = a \left(1 + 2 \frac{1+q}{p-1} \right)$$

$$\text{of } x = x_3 = a \left(1 + 2 \frac{1-q}{p-1} \right)$$

$$\text{of } x = x_2 = a \left(1 - 2 \frac{1-q}{p+1} \right)$$

$$\text{of } x = x_4 = a \left(1 - 2 \frac{1+q}{p+1} \right)$$

Van deze grenspunten zijn er telkens maximaal twee toegelaten. Deze twee bepalen dan ook het haalbaarheidsgebied op de x -as. De overige twee voldoen niet aan de bestaansvoorwaarde. Ter opmerking is x_4 in geen enkele situatie geldig, want dit punt voldoet nooit aan de bestaansvoorwaarde.

Nu de uitdrukking voor de oplossing Y is verkregen, zal voor de situaties $p=1$ en $p>1$ de rand van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer bepaald worden.

7.4 Rand van het algemeen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p=1$

In deze paragraaf wordt de rand van het haalbaarheidsgebied bepaald indien $p=1$. Dit houdt in dat het multimodaal navervoer per tonkm even duur is als het rechtstreekse vervoer van A naar B.

Om de rand van het gebied te bepalen zal $p=1$ ingevuld worden in de eerder bekomen vergelijking voor de oplossing Y :

$$(1-p^2)^2 Y^2 + 2[(1-p^2)(W-p^2V) - 4a^2q^2(1+p^2)]Y + (W-p^2V)^2 - 8a^2q^2(W+p^2V) + 16a^4q^4 = 0$$

Wanneer $p=1$ wordt ingevuld in bovenstaande vergelijking en W en V gesubstitueerd worden door hun oorspronkelijke uitdrukking, wordt het volgende bekomen:

$$-16a^2q^2Y + [(x+a)^2 - (x-a)^2]^2 - 8a^2q^2[(x+a)^2 + (x-a)^2] + 16a^4q^4 = 0$$

Indien bovenstaande vergelijking wordt uitgewerkt naar y^2 wordt het volgende resultaat verkregen:

$$y^2 = \frac{1-q^2}{q^2}(x^2 - a^2q^2)$$

Na omvorming van bovenstaande uitdrukking wordt de volgende vergelijking bekomen:

$$\left(\frac{x}{aq}\right)^2 - \left(\frac{y}{a\sqrt{1-q^2}}\right)^2 = 1$$

Deze vergelijking is de vergelijking van een hyperbool. Om dit te verduidelijken kan gebruik gemaakt worden van de parameters α en β :

$$\alpha = aq \quad \text{en} \quad \beta = a\sqrt{1-q^2}$$

De gelijkheid wordt dan:

$$\left(\frac{x}{\alpha}\right)^2 - \left(\frac{y}{\beta}\right)^2 = 1$$

Indien bovenstaande vergelijking wordt uitgewerkt naar y wordt het volgende bekomen:

$$y = \pm \frac{\sqrt{1-q^2}}{q} (\sqrt{x^2 - a^2q^2})$$

Aan de hand van deze vergelijking kan de hyperbool worden afgebeeld. Bij iedere x waarde komt nu een bepaalde y waarde overeen. Het enige dat nog moet aangetoond worden, is het feit dat de gezochte meetkundige locatie correspondeert met de rechterzijde van de hyperbool.

Opdat er een geldige oplossing y zou bestaan, moet de oplossing toegelaten zijn. Dit betekent dat:

$$(1-p^2)y^2 + (1-p^2)x^2 + (1-p^2)a^2 + 2ax + 2p^2ax - 4q^2a^2 \geq 0$$

Daar $p=1$, dient $x > 0$ zodanig dat de oplossing toegelaten is. Dit houdt in dat de gezochte meetkundige locatie overeenkomt met de rechterzijde van de hyperbool.

Het snijpunt van de hyperbool met de positieve x-as kan verkregen worden door de y waarde gelijk te stellen aan nul.

$$\Rightarrow y = 0 \text{ stellen in de vergelijking } \left(\frac{x}{aq}\right)^2 - \left(\frac{y}{a\sqrt{1-q^2}}\right)^2 = 1$$

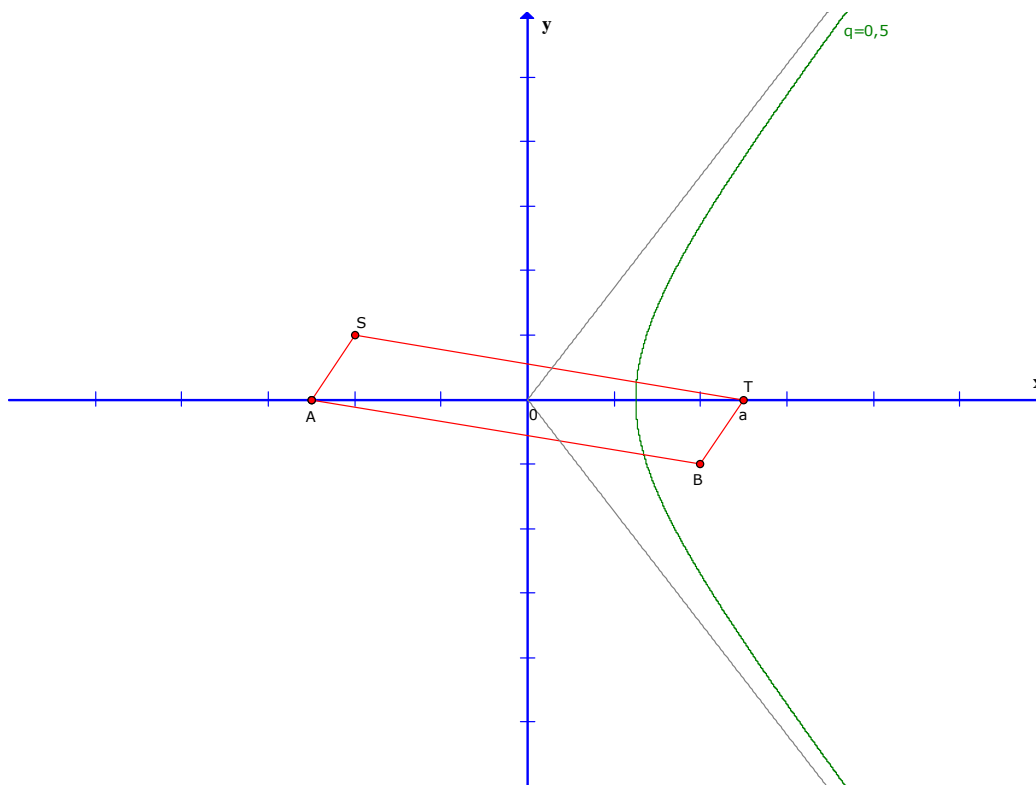
De hyperbool snijdt de positieve x-as dan in het punt: $x = aq$

De hyperbool convergeert voor grote $|x|$ en $|y|$ waarden naar de asymptoten. De asymptoten worden berekend door de vergelijking van de hyperbool gelijk te stellen aan nul. Hierdoor komt de vergelijking van de asymptoten overeen met volgende gelijkheid:

$$y = \pm \frac{\beta}{\alpha} x \text{ of } y = \pm \frac{a\sqrt{1-q^2}}{aq} x$$

De brandpunten van de hyperbool komen overeen met de locatie van onderneming A en terminal T.

De hyperbool grafisch weergegeven geeft de volgende figuur:



Figuur 21: Grafische voorstelling van de breakeven hyperbool in het groen met $q = 0,5$ en de asymptoten in het grijs. A is de verzender, B de bestemming en S en T zijn de terminals die noodzakelijk zijn bij het multimodaal vervoer. Indien B gelegen is aan de rechterzijde van de hyperbool dan is het multimodaal vervoer voordeliger. Indien B zich links bevindt van de hyperbool, is het unimodaal vervoer rendabeler. Vermits B in dit geval rechts gelegen is van de hyperbool, is het voordeliger om gebruik te maken van het multimodaal traject.

Zoals zichtbaar in figuur 21 is punt B gelegen aan de rechterkant van de hyperbool. Dit houdt in dat het multimodaal vervoer voordeliger is dan het unimodaal vervoer. Indien B zich zou bevinden aan de linkerkant van de hyperbool, is het rechtstreeks transport rendabeler dan het multimodaal transport.

7.5 Rand van het algemeen haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p > 1$

In deze paragraaf wordt de rand van het haalbaarheidsgebied bepaald indien $p > 1$. Dit betekent dat het multimodaal navervoer per tonkm duurder is dan het rechtstreeks vervoer van A naar B.

Om de rand van het gebied te bepalen zal nagegaan moeten worden welk teken in de uitdrukking voor de oplossing Y van toepassing is. De uitdrukking voor de oplossing Y wordt als volgt weergegeven:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Opdat er een geldige oplossing y zou bestaan, moet aan drie voorwaarden voldaan zijn:

1) De discriminant moet positief zijn:

$$1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \geq 0 \quad \text{of} \quad (p^2 - 1)x \geq -aq^2 \quad \text{of} \quad x \geq \frac{-aq^2}{p^2 - 1}$$

Daar $p > 1$, dient $x > 0$ zodanig dat aan deze eis altijd voldaan is.

2) De oplossing moet toegelaten zijn. Dit betekent dat:

$$(p^2 - 1) \left[y^2 + (x - a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \right] \leq 0$$

Vermits $(p^2 - 1)$ steeds positief is als $p > 1$ dient de term

$$y^2 + (x - a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \leq 0$$

Gezien uit de uitdrukking van de oplossing Y blijkt dat:

$$y^2 + (x-a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) = \frac{8a^2 q^2 p^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

$$\text{en daar } y^2 + (x-a)^2 - \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) \leq 0$$

$$\text{dient } \frac{8a^2 q^2 p^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 \pm \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right] \leq 0$$

Hieruit kan dan ook besloten worden dat de uitdrukking voor de oplossing Y het negatief teken dient te hebben.

3) De oplossing Y moet positief zijn:

$$Y \geq 0$$

De meetkundige plaats van de vergelijking zal een eindig en gesloten gebied zijn. Vertrekkende van de formule voor de grens van het haalbaarheidsgebied ($\rho = 2aq + rp$), kunnen de twee snijpunten op de positieve x-as als volgt berekend worden:

De kleinste positieve x waarde waar multimodaal vervoer haalbaar is en waarvoor geldt dat $y=0$, stemt overeen met:

$$\rightarrow x \leq a \text{ waarbij geldt dat } \rho = x+a \text{ en } r = -x+a$$

$$\rightarrow x+a = 2aq + p(-x+a)$$

$$\text{Uitwerking hiervan naar x levert: } x = x_2 = a \left(1 - 2 \cdot \frac{1-q}{p+1} \right)$$

Vervolgens wordt nagegaan als de figuur wel een gesloten gebied is door een tweede positieve x waarde te zoeken waarvoor geldt dat $y=0$:

$$\rightarrow x \geq a \text{ waarbij geldt dat } \rho = x+a \text{ en } r = x-a$$

$$\rightarrow x+a = 2aq + p(x-a)$$

$$\text{Uitwerking hiervan naar x levert: } x = x_3 = a \left(1 + 2 \cdot \frac{1-q}{p-1} \right)$$

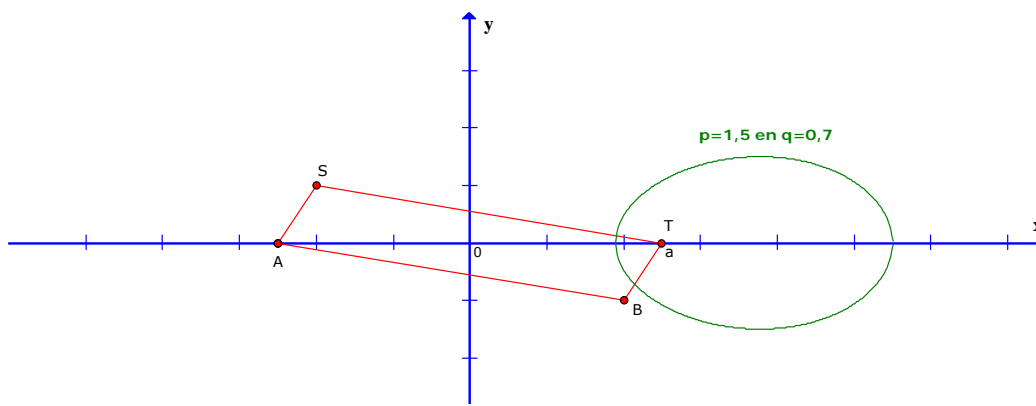
Hieruit kan besloten worden dat het haalbaarheidsgebied een gesloten en eindig gebied is met volgende snijpunten met de x-as:

$$x_2 = a \left(1 - 2 \frac{1-q}{p+1} \right) \quad \text{en} \quad x_3 = a \left(1 + 2 \frac{1-q}{p-1} \right)$$

De vergelijking van de eivormige figuur wordt dan:

$$Y = y^2 = -(x-a)^2 + \frac{4a^2q^2}{p^2-1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2p^2q^2}{(p^2-1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2-1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Indien de vergelijking grafisch wordt weergegeven, wordt de volgende eivormige figuur bekomen:



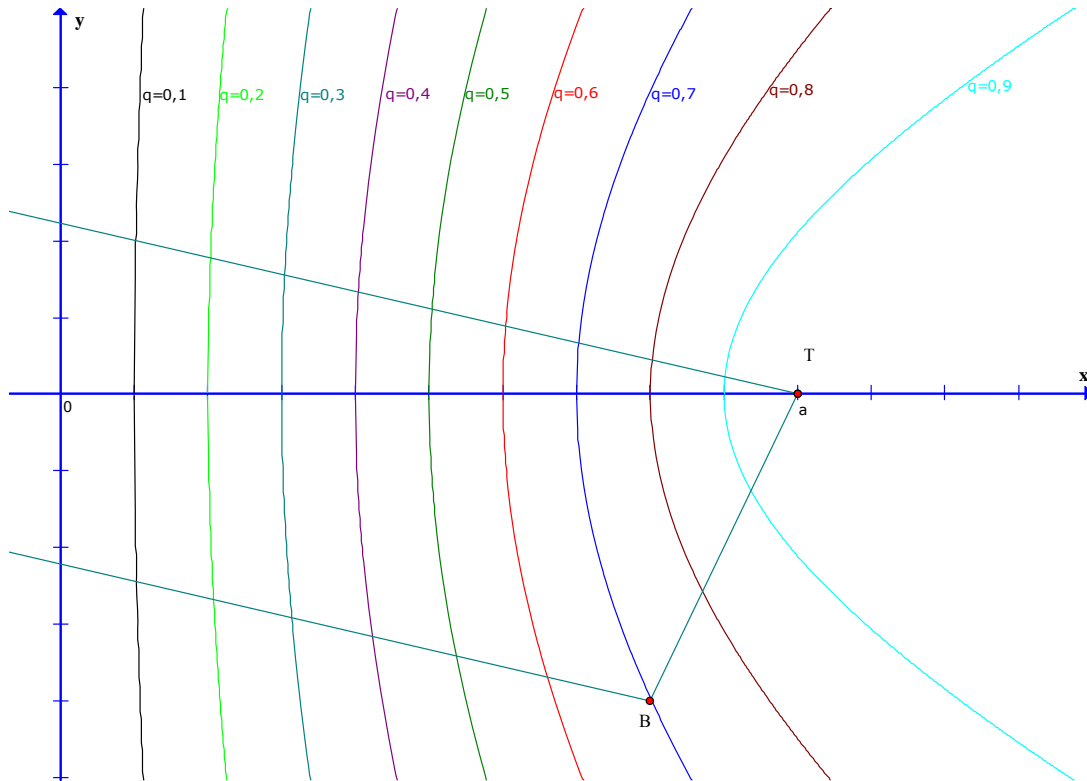
Figuur 22: Grafische weergave van de breakeven eivormige figuur waarbij $p=1,5$ en $q=0,7$. A is de verzender, B de bestemming en S en T zijn terminals die noodzakelijk zijn bij het multimodaal vervoer. Indien B binnen de eivormige figuur is gepositioneerd, dan is het multimodaal vervoer voordeliger. Indien B gelegen is buiten de eivormige figuur, dan is het rechtstreekse transport voordeliger. Vermits B zich in dit geval bevindt buiten de eivormige figuur, is het voordeliger om gebruik te maken van het unimodale vervoerssysteem.

Indien eindbestemming B zich bevindt in het eivormig gebied, is de multimodale transportwijze voordeliger dan de unimodale vervoerswijze. Indien B gelegen is buiten de eivormige figuur, zal het rendabeler zijn om unimodaal te vervoeren. Vermits B in figuur 22 zich bevindt buiten de eivormige figuur, is het voordeliger om gebruik te maken van het unimodale vervoerssysteem.

7.6 Bespreking veranderende verhouding q in de situatie waar $p=1$

In figuur 23 wordt de invloed weergegeven van een verandering in de verhouding q op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p=1$. Uit deze figuur wordt duidelijk dat een toename van q het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer verkleint. De verhouding q kan toenemen door een vergroting van d, de kost van het voor- en hoofdtransport en de overslagkosten, door een afname van c, de variabele kost van het unimodaal vervoer, door een verkleining van de afstand AT of door een combinatie van deze mogelijkheden.

In figuur 23 geldt dat voor $q < 0,7$ het multimodaal traject voordeliger is dan het unimodaal traject, vermits B zich rechts bevindt van de breakeven hyperbolen. Bij $q = 0,7$ zijn beide vervoerswijzen even voordelig. Indien $q > 0,7$ is de unimodale transportwijze voordeliger, aangezien B links is gepositioneerd van de breakeven hyperbolen.



Figuur 23: Grafische voorstelling van de invloed van een veranderende verhouding q op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p = 1$. Een toename van q impliceert een verkleining van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Bij $q < 0,7$ is het multimodaal vervoer rendabeler, vermits B zich rechts bevindt van de breakeven hyperbolen. Bij $q = 0,7$ is het unimodaal vervoer even voordelig als het multimodaal vervoer. Bij $q > 0,7$ is het rendabeler om unimodaal te vervoeren.

7.7 Bespreking variaties van p en q in de situatie waar $p > 1$

In deze sectie zal voor de situatie $p > 1$ de invloed worden besproken van een verandering in de verhoudingen p en q op de haalbaarheid van multimodaal vervoer. Het resultaat is terug te vinden in tabel 18. Deze tabel geeft een overzicht van variërende waarden voor p (1,1 tot 5) en q (0,1 tot 0,9).

Variaties van verhouding p :

Uit tabel 18 wordt duidelijk dat hoe groter p wordt of hoe groter k wordt ten opzichte van c , hoe kleiner het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer zal worden en hoe meer het gebied zich louter zal positioneren rond terminal T. Bij een verkleining van de verhouding p , of anders gezegd

bij een kleiner wordende k ten opzichte van c , zal het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer steeds groter worden, het zal als dusdanig uitbreiden. De verhouding p kan afnemen door een toename van c , de variabele kost van het unimodaal vervoer, of door een afname van k , de variabele kost van het multimodaal navervoer, of door een combinatie van beide.

Variaties van verhouding q :

Wanneer de wijziging van q wordt beschouwd, zal een steeds groter wordende q het haalbaarheidsgebied verkleinen. Indien de waarde voor q afneemt, zal de eivormige figuur steeds breder worden. De verhouding q kan afnemen door een verkleining van d , de vaste kost van vertrekplaats A naar terminal T voor multimodaal vervoer, door een toename van c , door een toename van de afstand AT of door een combinatie van voorgaande mogelijkheden.

De wijziging van de grootte van het eivormig gebied kan worden verklaard door de lengte van de figuur te bepalen. Wanneer de figuur vergroot, zal ook de lengte toenemen. Deze lengte komt overeen met het verschil tussen de twee grenspunten:

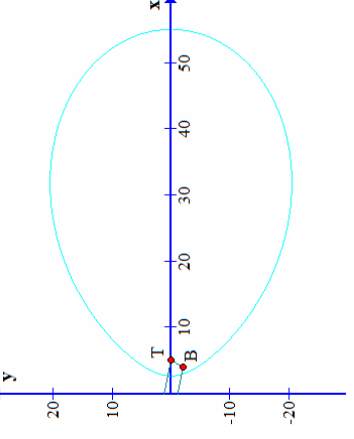
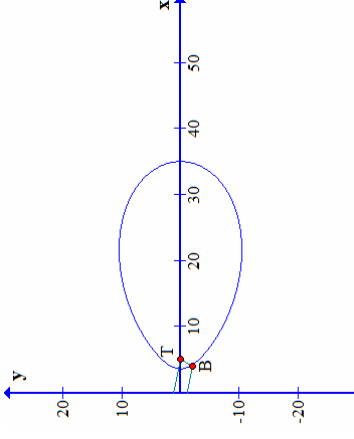
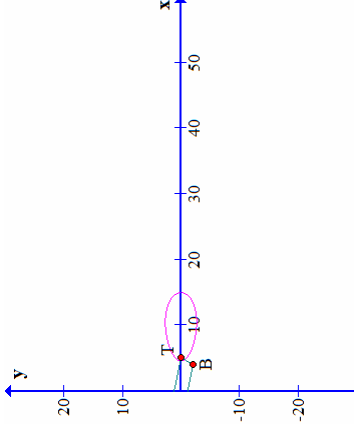
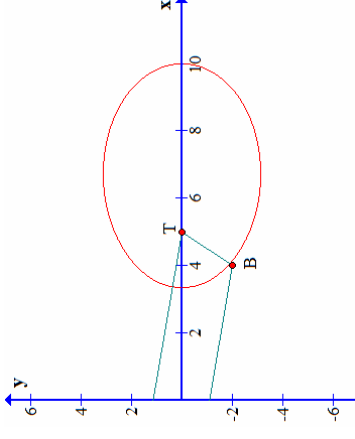
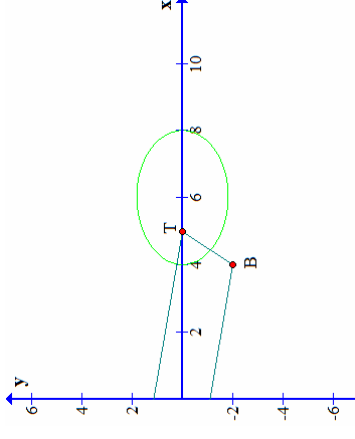
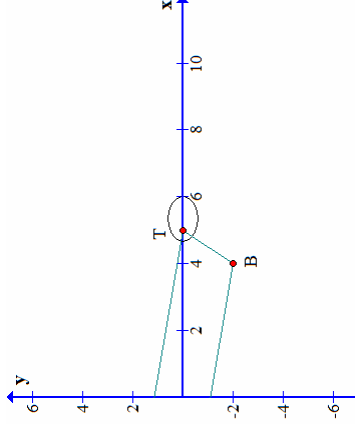
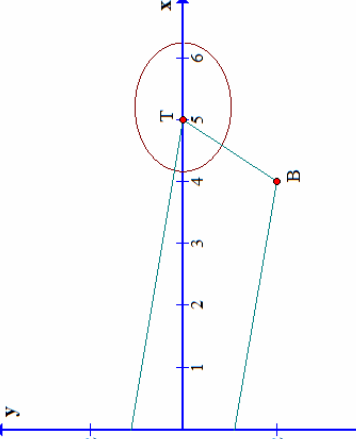
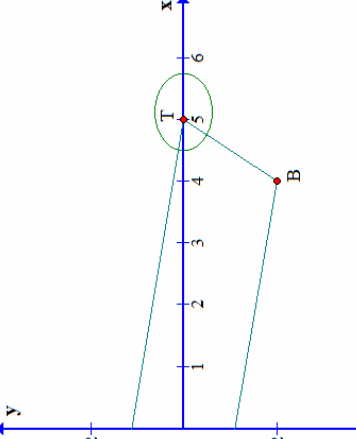
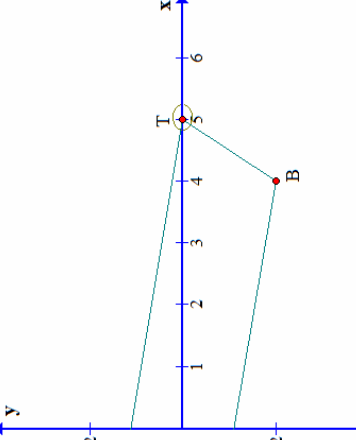
$$x_3 - x_2 = 4a(1 - q)p \frac{1}{p^2 - 1}$$

Uit bovenstaande vergelijking kan het volgende afgeleid worden:

- 1) Indien p groter wordt, dan zal de afstand tussen x_3 en x_2 verkleinen, aangezien bovenstaande vergelijking kleiner wordt. In deze situatie zullen x_3 en x_2 het punt $x=a$ naderen, of nog anders gezegd zullen x_3 en x_2 de terminal T naderen.
- 2) De vergelijking zal groter worden bij een toename van c of daling van k . Hierdoor zal p immers verkleinen, zodanig dat de afstand tussen de twee grenspunten toeneemt en het haalbaarheidsgebied groter wordt.
- 3) Indien q toeneemt, of dus dichterbij 1 komt, zal de afstand tussen x_2 en x_3 verkleinen, vermits de bovenstaande vergelijking kleiner wordt. Het haalbaarheidsgebied zal dus steeds kleiner worden.
- 4) Bij een verkleining van q , zal de vergelijking groter worden, zodanig dat de afstand tussen de twee grenspunten groter wordt en dus ook de eivormige figuur.

In hoofdstuk 8 wordt aangegeven hoe verhouding p en q kan wijzigen in de economische, maatschappelijke, energetische en ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer.

Tabel 18: Overzicht van de invloed van variaties van p en q op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer indien $p > 1$. Hoe kleiner p en q, hoe breder het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer zal worden. Een toename van p en q daarentegen verkleint het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer.

p \ q	0,5	0,7	0,9
1,1			
2			
5			

p \ q	0,1	0,2	0,3
1,1			
2			
5			

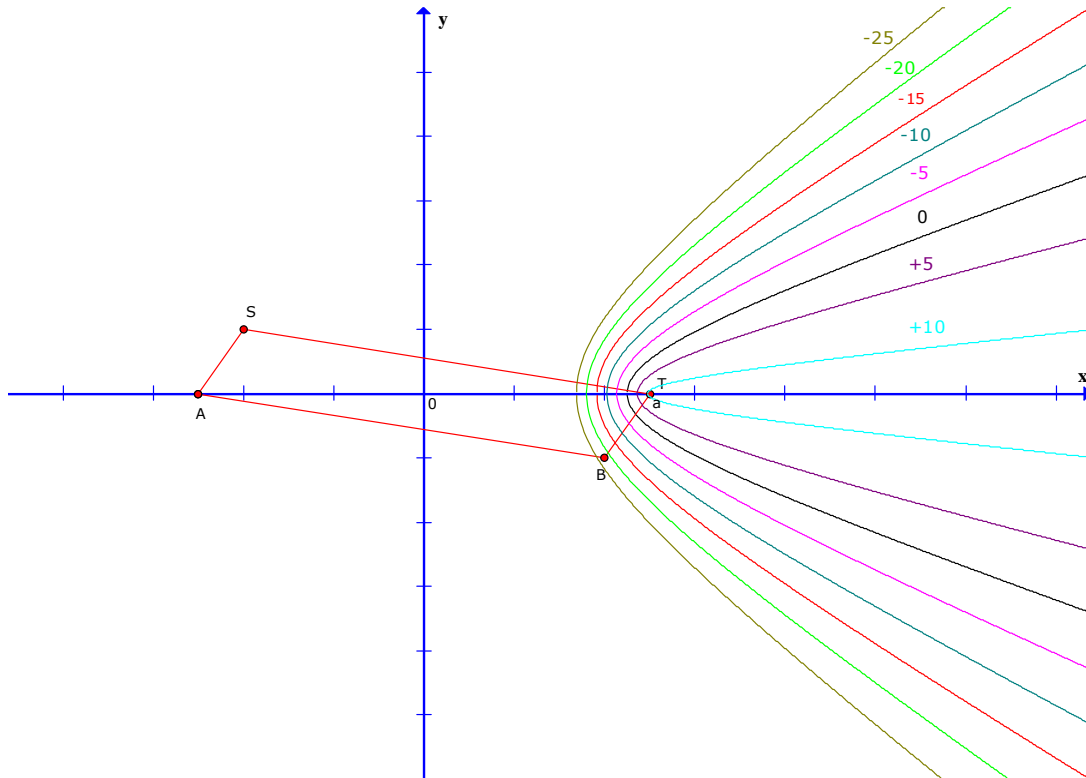
7.8 Bespreking algemeen haalbaarheidsmodel op basis van equiprofitlijnen

7.8.1 Bespreking absolute equiprofitlijnen voor de situatie $p=1$

Figuur 24 geeft een overzicht van de absolute equiprofitlijnen in de situatie waar $p=1$. De positieve absolute equiprofitlijnen geven het absoluut kostenvoordeel of de absolute winst weer in EUR/ton wanneer het transport van goederen plaatsvindt via multimodaal vervoer naar een eindbestemming voorbij een specifieke equiprofitlijn. In tegenstelling tot de breakeven figuur tonen deze lijnen niet de situatie waarin beide vervoerswijzen even rendabel zijn, maar geven ze het kostenvoordeel weer in vergelijking met het unimodaal vervoer. Naast de positieve kunnen ook negatieve absolute equiprofitlijnen beschouwd worden. Negatieve absolute equiprofitlijnen bepalen de bijkomende kost of het verlies voor het multimodaal vervoer wanneer deze niet rendabeler is dan het unimodaal vervoer. Deze lijnen geven dus het absoluut kostennadeel weer ten opzichte van het unimodaal vervoer.

Figuur 24 toont een voorbeeld waarin de unimodale transportwijze voordeliger is, aangezien bestemming B zich links bevindt van de breakeven hyperbool (0). De breakeven hyperbool is berekend met een waarde van 0,9 voor verhouding q . Aan de hand van negatieve absolute equiprofitlijnen kan de bijkomende kost worden bepaald indien het multimodale vervoerssysteem zou worden toegepast. De meerkost van het multimodaal vervoer ten opzichte van unimodaal vervoer bedraagt ongeveer 25 EUR/ton. Indien in de toekomst de kost van het multimodaal vervoer zou afnemen met deze waarde door bijvoorbeeld betere overslagtechnieken, zal het multimodaal vervoer voordeliger worden dan het unimodaal vervoer, vermits B zich dan binnen het nieuwe haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer bevindt. De hyperbool van -25 wordt dan de nieuwe breakeven hyperbool.

Hoe dichter de positieve equiprofitlijnen bij elkaar liggen, hoe groter de verworven winst zal zijn dan wanneer ze zich verder van elkaar bevinden. Hoe dichter de negatieve equiprofitlijnen bij elkaar liggen, hoe groter het gerealiseerde verlies zal zijn dan wanneer ze zich verder van elkaar bevinden.

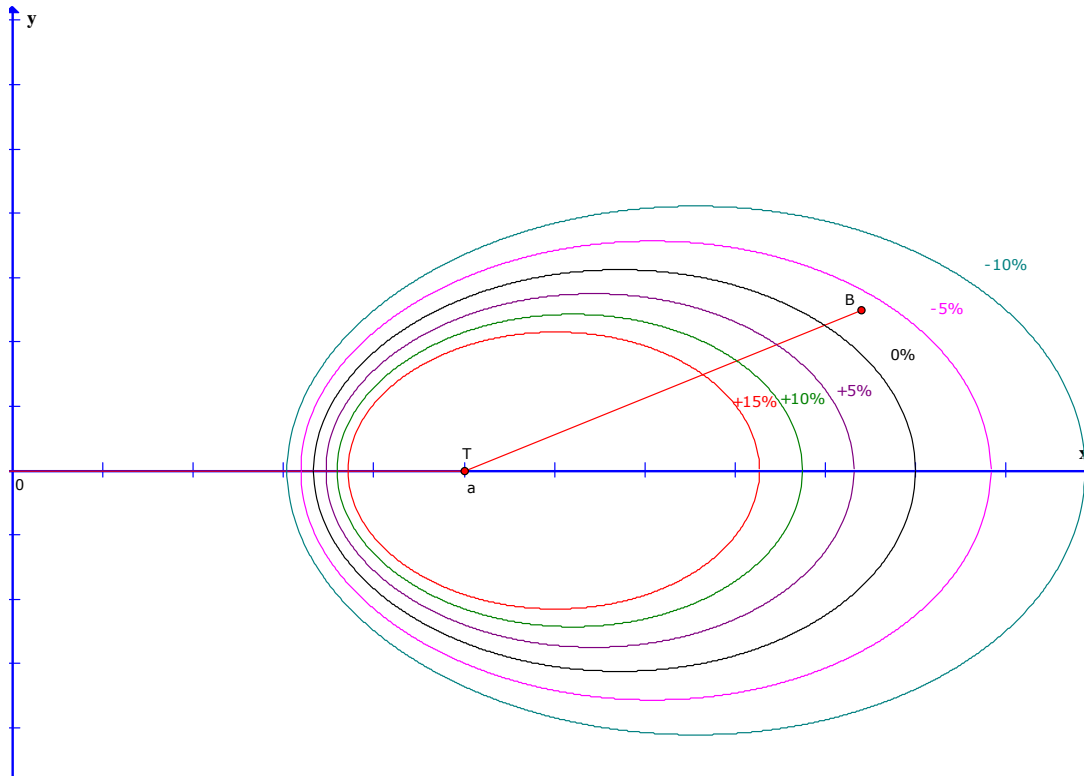


Figuur 24: Grafische weergave van absolute equiprofitlijnen indien $p=1$. De positieve (negatieve) absolute equiprofitlijnen geven de situatie weer waarbij de multimodale vervoerswijze x EUR/ton goedkoper (duurder) is dan de unimodale vervoerswijze. Aangezien in deze situatie het multimodaal vervoer niet rendabeler is ten opzichte van het unimodaal vervoer, zal de meerkost bepaald worden op basis van negatieve equiprofitlijnen. Het multimodaal vervoer brengt een meerkost mee van ongeveer 25 EUR/ton in vergelijking met het unimodaal vervoer.

7.8.2 Bespreking relatieve equiprofitlijnen voor de situatie $p > 1$

In figuur 25 wordt een overzicht gegeven van de relatieve equiprofitlijnen in de situatie waar $p > 1$. De positieve (negatieve) relatieve equiprofitlijnen geven de procentuele minderkost (meerkost) weer indien getransporteerd wordt via multimodaal vervoer naar een eindbestemming voorbij een specifieke equiprofitlijn. Uit figuur 25 kan afgeleid worden dat de unimodale vervoerswijze voordeliger is, gezien bestemming B zich bevindt buiten het breakeven eivormig gebied (0%). Dit gebied is berekend met een waarde 2 voor verhouding p en 0,5 voor verhouding q . Opnieuw kan aan de hand van negatieve relatieve equiprofitlijnen de extra kost bepaald worden om het multimodaal vervoer rendabeler te maken. Uit figuur 25 kan afgeleid worden dat de onderneming een meerkost heeft van bijna 5% indien getransporteerd wordt met multimodaal vervoer. Indien in de toekomst de kost van het multimodaal vervoer relatief met 5% afneemt, zal de multimodale vervoerswijze voordeliger zijn. Het eivormig gebied van -5% wordt dan het nieuwe breakeven eivormig gebied.

Indien bestemming B nu dichterbij terminal T zou geïmponeerd zijn, bijvoorbeeld precies op de equiprofitlijn van +5%, zou men exact 5% winst genereren door te transporteren via het multimodaal traject.



Figuur 25: Grafische weergave van relatieve equiprofitlijnen indien $p > 1$. De positieve (negatieve) relatieve equiprofitlijnen geven de situatie weer waarbij de multimodale vervoerswijze $x\%$ goedkoper (duurder) is dan de unimodale vervoerswijze. Aangezien in deze situatie het multimodaal vervoer niet rendabeler is ten opzichte van het unimodaal vervoer, zal de meerkost bepaald worden met behulp van negatieve equiprofitlijnen. Het multimodaal vervoer brengt een meerkost mee van bijna 5% in vergelijking met het unimodaal vervoer.

In transportbeslissingen streven de meeste ondernemingen voornamelijk het economisch voordeel na. Binnen een duurzaam beleidskader kan de onderneming echter ook opteren voor multimodaal transport om zodanig energie te besparen of de CO_2 -emissie te reduceren. Om na te gaan hoeveel energie kan gewonnen of hoeveel CO_2 gereduceerd kan worden indien getransporteerd wordt via multimodaal vervoer naar een bepaald punt, kan een bedrijf gebruik maken van equiprofitlijnen. Hier zal het volgende hoofdstuk dieper op ingaan.

7.9 Bespreking algemeen haalbaarheidsmodel op basis van equiprofitgebieden

Tot hiertoe werd steeds verondersteld dat de kosten bij het uni- en multimodaal vervoer deterministisch van aard zijn. Bij de zonet besproken equiprofitlijnen wordt louter de gekende absolute of procentuele meer- of minderkost bepaald indien getransporteerd wordt via multimodaal

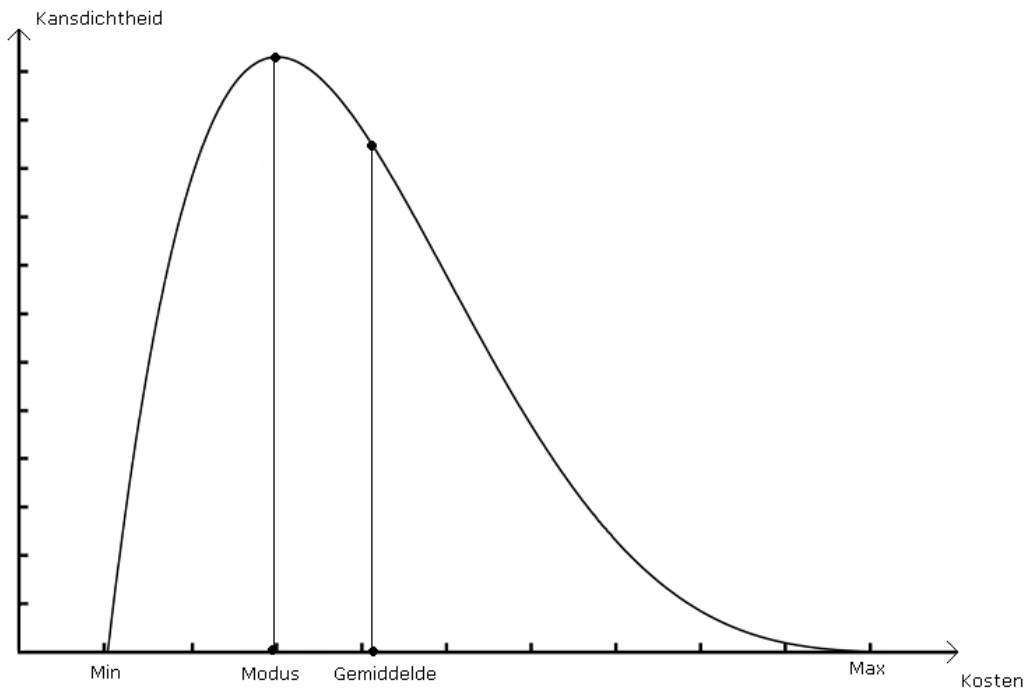
vervoer. Tevens wordt een wijziging in de grootte van het haalbaarheidsgebied enkel veroorzaakt door onder andere te investeren in nieuwe technologieën.

In de meeste vervoerssituaties zijn alle kosten onderhevig aan onzekerheid. Tijdens het vervoer van goederen kunnen immers een aantal onzekerheden optreden, waardoor de goederen bijvoorbeeld niet meer op het afgesproken tijdstip en volgens de afgesproken kwaliteit kunnen geleverd worden. Onzekerheid in het unimodaal traject omvat onder andere het extra tijdsverlies door files of ongevallen op de wegen. In het multimodaal vervoer per binnenschip bijvoorbeeld kan onzekerheid ontstaan door heersende waterstanden of vertragingen door wachttijden bij sluizen of bij overslagpunten. Bovendien wordt het risico op verlies en schade van de goederen groter indien de goederen meer behandeld worden. Deze onzekerheid kan een belangrijke rol spelen in het multimodaal traject, aangezien hier tweemaal overslag plaatsvindt.

Uiteraard leiden bovenstaande onzekerheden tot variërende kosten voor het uni- en multimodaal traject. Indien deze onzekerheden in rekening worden gebracht, kan het algemeen haalbaarheidsmodel op stochastische wijze beschouwd worden. Hiervoor kan de bèta-verdeling als uitgangspunt dienen. Een bekende toepassing van deze bèta-verdeling is het gebruik ervan in PERT (Program Evaluation and Review Technique). De PERT methode heeft tot doel de minimale tijd te bepalen voor de realisatie van een specifiek project. Hierbij is de duur van elke activiteit gebaseerd op drie inschattingen: een optimistische (O), een meest waarschijnlijke (W) en een pessimistische inschatting (P). Uitgaande van dit principe kunnen dezelfde drie inschattingen gemaakt worden voor de kosten van het vervoer. Indien de kost gemodelleerd wordt aan de hand van de bèta-verdeling geeft volgende formule een gemiddelde inschatting van de kost (μ):

$$\mu = \frac{O + 4W + P}{6}$$

De reden waarom de bèta-verdeling als kansverdeling wordt genomen en niet de normale verdeling, is omwille van zijn scheefheid. Vandaar is het ook niet altijd het geval dat de meest waarschijnlijke waarde (de modus) gelijk is aan de gemiddelde waarde. Een mogelijke vorm van deze verdeling is zichtbaar in figuur 26. De variërende kosten voor het vervoer zijn gelegen op de x-as en de kansdichtheid wordt weergegeven op de y-as. Min staat voor de minimale kost en Max voor de maximale kost van het transport. Zoals zichtbaar in figuur 26, is er bij de nadelige kosteninschatting een grotere kansdichtheid dan bij de voordelige kosteninschatting. Met andere woorden, de kans op een hogere waarde dan de moduswaarde is groter. Vandaar heeft de kansverdeling een rechtse staart. Deze aanname is vrij realistisch in het goederenvervoer.



Figuur 26: Weergave van een mogelijke vorm van de bèta-verdeling waarbij de variërende kosten voor het vervoer op de x-as en de kansdichtheid op de y-as zijn gelegen. Min staat voor de minimale kost en Max voor de maximale kost van het transport. Omwille van de scheefheid is het ook niet altijd het geval dat de meest waarschijnlijk waarde (de modus) gelijk is aan de gemiddelde waarde. Bij de nadelige kosteninschatting is er een grotere kansdichtheid dan bij de voordelige kosteninschatting. De kans op een hogere waarde dan de moduswaarde is dus groter.

Aan de hand van een voorbeeld zal bovenstaande redenering toegepast worden op de kosten voor beide vervoerstrajecten. Het is evident dat de haalbaarheidsregio's afhankelijk zijn van het gekozen vergelijkingscriterium, met name de economische, maatschappelijke, energetische of ecologische kost. In deze illustratie worden louter economische kostenwaarden van transport ingeschat. Het is uiteraard ook mogelijk deze procedure toe te passen op de overige vergelijkingscriteria.

Gezien de kostenparameters onzeker zijn, bevinden c , k , d , p en q zich in volgende intervallen:

$$c \in [c_{\min}, c_{\max}]$$

$$k \in [k_{\min}, k_{\max}]$$

$$d \in [d_{\min}, d_{\max}]$$

$$p \in [p_{\min}, p_{\max}]$$

$$q \in [q_{\min}, q_{\max}]$$

Voor de meest waarschijnlijke kosteninschatting worden in het voorbeeld volgende inputwaarden genomen:

$$\begin{aligned} \Rightarrow k_{\text{modus}} &= 0,078 \text{ EUR/tonkm} \\ \Rightarrow c_{\text{modus}} &= 0,031 \text{ EUR/tonkm} \\ \Rightarrow d_{\text{modus}} &= 9,27 \text{ EUR/ton} \\ \Rightarrow 2a &= 500 \text{ km} \\ \Rightarrow p_{\text{modus}} &= \frac{k_{\text{modus}}}{c_{\text{modus}}} = \frac{0,078 \text{ EUR/tonkm}}{0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 2,52 \\ \Rightarrow q_{\text{modus}} &= \frac{d_{\text{modus}}}{2ac_{\text{modus}}} = \frac{9,27 \text{ EUR/ton}}{500 \text{ km} \times 0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 0,60 \end{aligned}$$

Het **optimistisch scenario** veronderstelt de meest voordelige schatting van de kosten voor multimodaal vervoer (k_{min} , d_{min}) en de meest nadelige schatting van de kosten voor unimodaal vervoer (c_{max}). In dit voorbeeld neemt de multimodale vervoerskost af met 5%, terwijl de unimodale kost toeneemt met 10%. Dit resulteert in de volgende waarden voor p_{min} en q_{min} :

$$p_{\text{min}} = \frac{k_{\text{min}}}{c_{\text{max}}} = \frac{0,078 \times 0,95}{0,031 \times 1,10} = 2,17 \quad \text{en} \quad q_{\text{min}} = \frac{d_{\text{min}}}{2ac_{\text{max}}} = \frac{9,27 \times 0,95}{500 \times 0,031 \times 1,10} = 0,52$$

Het **pessimistisch scenario** impliceert de meest nadelige schatting van de kosten (+10%) voor multimodaal vervoer (k_{max} , d_{max}) en de meest voordelige schatting van de kosten (-5%) voor unimodaal vervoer (c_{min}). Dit geeft de volgende waarden voor p_{max} en q_{max} :

$$p_{\text{max}} = \frac{k_{\text{max}}}{c_{\text{min}}} = \frac{0,078 \times 1,10}{0,031 \times 0,95} = 2,91 \quad \text{en} \quad q_{\text{max}} = \frac{d_{\text{max}}}{2ac_{\text{min}}} = \frac{9,27 \times 1,10}{500 \times 0,031 \times 0,95} = 0,69$$

Voor het **gemiddeld scenario** worden de kostenverhoudingen voor uni- en multimodaal vervoer als volgt verkregen:

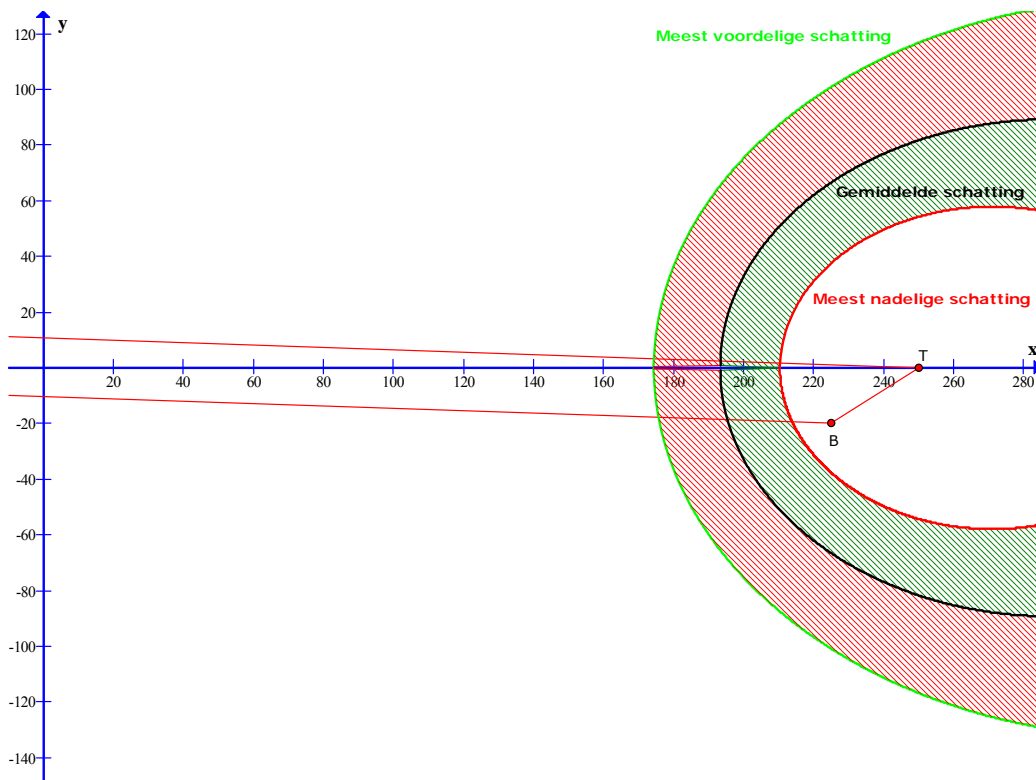
$$\begin{aligned} \bar{p} &= \frac{p_{\text{min}} + 4p_{\text{modus}} + p_{\text{max}}}{6} \quad \text{en} \quad \bar{q} = \frac{q_{\text{min}} + 4q_{\text{modus}} + q_{\text{max}}}{6} \\ &= 2,53 \quad \quad \quad = 0,60 \end{aligned}$$

Vermits in de drie scenario's $p > 1$ en $q < 1$, worden bovenstaande waarden ingevuld in de volgende wiskundige vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Het resultaat is zichtbaar in figuur 27. Deze figuur toont het breakeven haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de meest voordelige schatting (groen), de gemiddelde schatting (zwart)

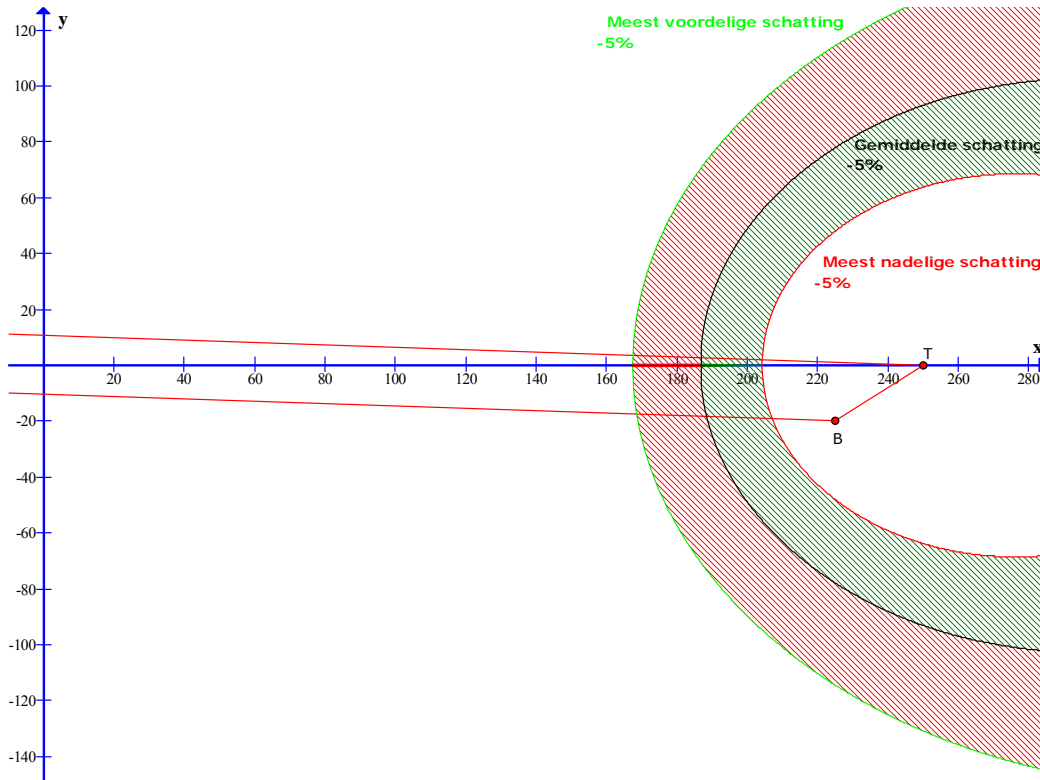
en de meest nadelige schatting (rood) van de multimodale vervoerskost. De rode gearceerde regio geeft de zone weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren indien de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost kleiner zijn dan bij de gemiddelde schatting. Hoe voordeliger het multimodaal vervoer wordt ten opzichte van unimodaal, hoe meer het haalbaarheidsgebied naar links verschuift en hoe groter de haalbaarheid wordt van multimodaal vervoer. De omgekeerde redenering geldt ook. De groene gearceerde regio geeft de zone weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren indien de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost groter zijn dan bij de gemiddelde schatting. Hoe nadeliger de multimodale vervoerswijze wordt in vergelijking met de unimodale, hoe meer de haalbaarheidsfiguur naar rechts verschuift en hoe kleiner het rentabiliteitsgebied wordt voor multimodaal vervoer. De omgekeerde redenering geldt ook. De combinatie van de rode met de groene gearceerde regio wordt het equiprofitgebied genoemd. Dit gebied vormt de gehele regio waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren omwille van de onzekerheden in het goederenvervoer.



Figuur 27: Grafische voorstelling van het breakeven haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de meest voordelige schatting (groen), de gemiddelde schatting (zwart) en de meest nadelige schatting (rood) van de multimodale vervoerskost. De rode (groene) gearceerde zone geeft de regio weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren indien de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost kleiner (groter) zijn dan bij de gemiddelde schatting. Hoe voordeliger (nadeliger) het multimodaal vervoer wordt ten opzichte van unimodaal, hoe groter (kleiner) het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer wordt en omgekeerd. De rode en de groene gearceerde regio vormen samen het equiprofitgebied.

Vorige figuur toonde het breakeven haalbaarheidsgebied voor de drie kosteninschattingen. De grens van het gebied geeft dus de situatie weer waarin beide vervoerswijzen even rendabel zijn voor de meest voordelige, de gemiddelde of de meest nadelige schatting van de multimodale vervoerskost. Aan de hand van relatieve equiprofitlijnen kan echter nagegaan worden binnen welke zone het haalbaarheidsgebied kan variëren indien het transport via multimodaal vervoer een met zekerheid gekende procentuele minder- of meerkost teweegbrengt ten opzichte van unimodaal.

Figuur 28 geeft het haalbaarheidsgebied weer voor multimodaal vervoer voor de meest voordelige schatting (groen), de gemiddelde schatting (zwart) en de meest nadelige schatting (rood) van de multimodale vervoerskost en dit bij een gekende meerkost van 5% indien getransporteerd wordt via multimodaal vervoer. De rode gearceerde regio geeft nu de zone weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan verschuiven wanneer de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost kleiner zijn dan bij de gemiddelde schatting en indien met zekerheid een procentueel verlies van 5% wordt gegenereerd bij multimodaal vervoer. Een gelijkaardige redenering geldt voor de groene gearceerde regio. Het enige verschil is dat bij deze laatste de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost groter zijn dan bij de gemiddelde schatting. De combinatie van de rode met de groene gearceerde regio vormt het equiprofitgebied van -5%. Dit gebied beslaat de gehele regio waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren bij een procentuele meerkost van 5%.



Figuur 28: Grafische voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de meest voordelige schatting (groen), de gemiddelde schatting (zwart) en de meest nadelige schatting (rood) van de multimodale vervoerskost en dit bij een gekende meerkost van 5% indien vervoerd wordt via het multimodaal traject. De rode (groene) gearceerde zone geeft de regio weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren indien de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost kleiner (groter) zijn dan bij de gemiddelde schatting en dit bij een procentueel verlies van 5% voor multimodaal vervoer. De rode en de groene gearceerde regio vormen samen het equiprofitgebied van -5%.

Tenslotte toont figuur 29 het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de meest voordelige schatting (groen), de gemiddelde schatting (zwart) en de meest nadelige schatting (rood) van de multimodale vervoerskost bij een gekende minderkost van 5% indien vervoerd wordt via het multimodaal traject. De rode gearceerde regio geeft nu de zone weer waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan verschuiven bij een verhouding tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost die kleiner is dan bij de gemiddelde schatting en indien met zekerheid een procentuele winst van 5% wordt gegenereerd bij multimodaal vervoer. Een gelijkaardige redenering geldt voor de groene gearceerde regio. Het enige verschil is dat bij deze laatste de twee verhoudingen tussen de multimodale en de unimodale vervoerskost groter zijn dan bij de gemiddelde schatting. De combinatie van de rode met de groene gearceerde regio vormt het equiprofitgebied van +5%. Dit gebied omvat de gehele regio waarbinnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer kan variëren bij een procentuele minderkost van 5%.

Hoofdstuk 8: Haalbaarheidsmodel op basis van de vier vergelijkingscriteria

8.1 Inleiding

In deze sectie wordt het haalbaarheidsmodel toegelicht op basis van de vier eerder aangehaalde vergelijkingscriteria, met name de economische, maatschappelijke, energetische en ecologische kost. Om het haalbaarheidsgebied voor deze vier kosten te kunnen berekenen, dienen de kostenparameters zo realistisch mogelijk vastgelegd te worden. In dit onderdeel wordt aan de hand van een illustratie getracht om voor ieder criterium de haalbaarheid van het multimodaal traject te bepalen op een langere afstand dan deze die geldt voor de toepassing bij de transportonderneming Transport Gheys N.V., beschreven in hoofdstuk 10. Om dit te verwezenlijken zullen de kostenelementen gebaseerd worden op de kostenwaarden afkomstig van deze transportfirma. Op die manier wordt gepoogd de werkelijkheid zo goed mogelijk te benaderen door waar mogelijk lichte realistische aanpassingen door te voeren. In het laatste gedeelte van dit hoofdstuk zal aan de hand van equiprofitlijnen gelijktijdig onderzocht worden op welke locaties een bepaald energetisch, ecologisch of maatschappelijk voor- of nadeel gegenereerd wordt gepaard gaande met een economisch voor- of nadeel, wanneer multimodaal getransporteerd wordt.

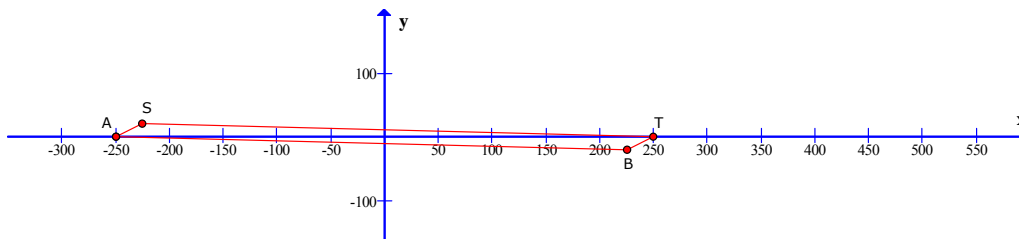
8.2 Situatieschets

In de toepassing bij de transportonderneming Transport Gheys N.V. wordt in het multimodaal vervoerssysteem het hoofdtransport uitgeoefend door een binnenschip, terwijl het natransport plaatsvindt door een vrachtwagen. Er is geen voortransport en dus slechts éénmaal overslag nodig. In deze toepassing gaat het om afstanden van 80 km voor het unimodaal wegvervoer (AB), 15 km voor het natransport (TB) en 65 km tussen vertrekplaats A en terminal T (AT) en 65 km voor het hoofdtransport (ST). Tevens vervoert deze transportonderneming containers van 40 voet of 2TEU, zowel heen als terug, met een gemiddeld gewicht van 17,75 ton. Wat betreft de economische haalbaarheid van multimodaal vervoer, werd in deze toepassing louter rekening gehouden met de transport- en overslagkost.

In de volgende paragrafen zal ter illustratie een soortgelijk multimodaal binnenvaarttraject vergeleken worden met het unimodaal wegvervoer vanuit economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch standpunt met de grotere afstand als belangrijk verschilpunt. Hierbij wordt echter wel verondersteld dat er tweemaal overslag is en louter heentransport, wat niet het geval is in de werkelijke toepassing. In het beschouwde voorbeeld wordt, ter vereenvoudiging, uitgegaan van een afstand van 500 km voor AB, ST en AT. In de realiteit zullen deze afstanden onderling licht afwijken, doch het zal slechts gaan om minieme verschillen. Tevens wordt het voor-

en natransport vastgelegd op 25 km, vermits het navervoer bij Transport Gheys N.V. ook op een gelijkaardige afstand plaatsvindt. Het gaat in beide situaties om korte afstanden. Hierdoor kan voor het voor- en natransport in dit voorbeeld dezelfde kost aangewend worden als deze die van toepassing is voor het natransport bij Transport Gheys N.V., met name 1,39 EUR/km voor gemiddeld 17,75 ton of 0,078 EUR/tonkm. Bovendien wordt verondersteld dat de overslagkost in terminal T in de beschouwde illustratie dezelfde is als deze bij Transport Gheys N.V.. De vaste economische kost voor het unimodaal en multimodaal vervoer bestaat uit onder andere de loonkost tijdens het laden en lossen van de vrachtwagen. Vermits deze activiteit plaatsvindt bij beide vervoerswijzen die relatief ten opzichte van elkaar worden vergeleken, kan deze kost geëlimineerd worden. Dit betekent dat nog enkel de overslagkost in S (v_2), de kost van het vervoer per binnenschip (v_4) en de kost voor het rechtstreeks wegvervoer (c) dient geschat te worden op een langere afstand.

De grafische voorstelling van beide vervoersalternatieven wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 30: Grafische voorstelling van het unimodaal (AB) en het multimodaal binnenvaarttraject (AS, ST, TB) waarbij A de vaste vertrekplaats is, B de veranderlijke eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal transport.

Uitgaande van de veronderstelling dat terminal S een zeehaven is, wordt naast de overslagkost van 30 EUR voor gemiddeld 17,75 ton in de toepassing bij Transport Gheys N.V., een bijkomende overslagkost van 10 EUR gerekend in terminal S. Voor het multimodaal hoofdtransport lijkt het plausibel dat naarmate de afstand van de te bevaren waterweg toeneemt, de kost van het binnenschip zal afnemen. Er wordt bijgevolg gekozen om de kost van het binnenschip van 70 EUR voor gemiddeld 17,75 ton terug te brengen naar 60 EUR. Ten aanzien van het unimodaal wegvervoer van A naar B wordt geopteerd om de kost die van toepassing is bij Transport Gheys N.V., met name 1,09 EUR/km voor gemiddeld 17,75 ton, te reduceren tot ongeveer de helft, namelijk 0,55 EUR/km. Deze redenering is analoog aan deze voor de kost van het binnenschip. Alle hierboven geschatte economische kostengegevens voor het beschouwde voorbeeld worden hieronder samengevat.

Economische kostenelementen	Waarde
Kost per ton van A naar S (v_1)	$0,078 \text{ EUR/tonkm} \times 25 \text{ km} = 1,95 \text{ EUR/ton}$
Overslagkost per ton in S (v_2)	$40 \text{ EUR}/17,75 \text{ ton} = 2,25 \text{ EUR/ton}$
Overslagkost per ton in T (v_3)	$30 \text{ EUR}/17,75 \text{ ton} = 1,69 \text{ EUR/ton}$
Kost per ton van S naar T (v_4)	$60 \text{ EUR}/17,75 \text{ ton} = 3,38 \text{ EUR/ton}$
Vaste kost per ton van A naar T voor multimodaal vervoer (v_m)	$1,95+2,25+1,69+3,38 = 9,27 \text{ EUR/ton}$
Bijkomende vaste kost per ton van A naar T voor multimodaal vervoer ($d=v_m$)	$9,27 \text{ EUR/ton} + 0 \text{ EUR/ton} = 9,27 \text{ EUR/ton}$
Kost per tonkm van het unimodaal wegvervoer van A naar B (c)	$0,55 \text{ EUR}/17,75 \text{ tonkm} = 0,031 \text{ EUR/tonkm}$
Kost per tonkm van het multimodaal natransport van T naar B (k)	$0,078 \text{ EUR/tonkm}$

Aan de hand van het algemeen wiskundig haalbaarheidsmodel dat in vorig hoofdstuk werd ontwikkeld, zal in de volgende paragrafen voor de hierboven beschreven illustratie de haalbaarheid van multimodaal vervoer op basis van de vier vergelijkingscriteria grafisch uitgezet worden.

8.3 Haalbaarheidsmodel op basis van de economische kost

In deze paragraaf zal het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer weergegeven worden op basis van de economische kost. De economische kost verwijst naar de totale logistieke kost van een transportbeslissing, die eerder in deze masterproef al aan bod kwam. Om de complexiteit van het haalbaarheidsmodel in te perken, zal de economische kost louter rekening houden met de transport- en overslagkost, zoals ook het geval is in de toepassing bij Transport Gheys N.V..

In de economische haalbaarheid van het multimodaal binnenvaarttraject zal zowel de afstand van de onderneming tot de waterweg als de overslagkost een essentiële rol spelen. Gezien het voor- en natransport meestal plaatsvinden op korte afstanden, vormen ze belangrijke kostenelementen in de totale kost van het multimodaal traject. Hoe meer het voor- of natransport kan gereduceerd worden, hoe rendabeler het multimodaal binnenvaartvervoer zal worden vanuit economisch perspectief. De economische haalbaarheid van multimodaal vervoer is bijgevolg sterk afhankelijk van zowel de voor- en natransportkost als de hoogte van de overslagkost.

Vooraleer het wiskundig model kan aangewend worden om het economisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer per binnenschip te bepalen, dienen de twee verhoudingen, namelijk p en q, berekend te worden voor het beschreven voorbeeld.

De **verhouding p** wordt in het economisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele economische kost in EUR/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

$$p = \frac{k}{c} = \frac{0,078 \text{ EUR/tonkm}}{0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 2,52$$

De **verhouding q** wordt in het economisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste economische kost in EUR/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac) waarbij 2a gelijk is aan de afstand tussen A en T in km.

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{9,27 \text{ EUR/ton}}{500\text{km} \times 0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 0,6$$

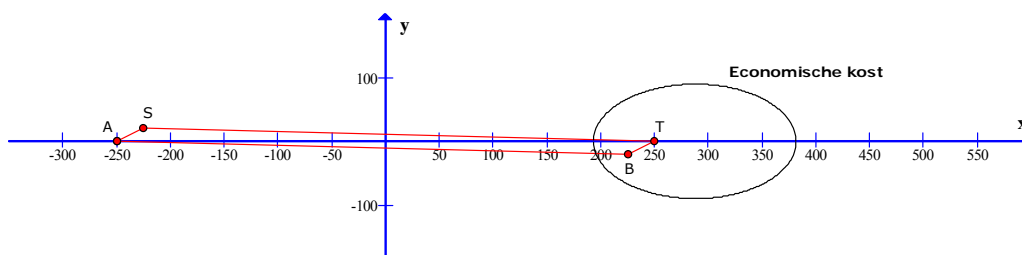
Met bovenstaande waarden voor p en q, kan het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische kost uitgezet worden. Aangezien $p > 1$ en $q < 1$ wordt het economisch haalbaarheidsgebied van multimodaal vervoer uitgezet aan de hand van de volgende vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Het invullen van deze vergelijking met bovenstaande gegevens en met coördinaten voor $-a = -250$ en $a = 250$ geeft de volgende vergelijking:

$$y = \pm \left(-((x-250)^2) + \left(\frac{4 \cdot (250^2) \cdot (0.60^2)}{(2.52^2 - 1)} \right) \cdot \left(\frac{x}{(250 \cdot (0.60^2)) - 1} \right) + \left(\frac{8 \cdot (250^2) \cdot (2.52^2) \cdot (0.60^2)}{((2.52^2 - 1)^2)} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + \left(\frac{2.52^2 - 1}{2.52^2} \right) \cdot \left(\frac{x}{(250 \cdot (0.60^2)) - 1} \right) - 1 \right)^{1/2} \right) \right)^{1/2}$$

Indien deze vergelijking grafisch wordt uitgezet in een figuur, wordt de volgende voorstelling bekomen.



Figuur 31: Weergave van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de economische kost in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaarttransport. Aangezien in dit voorbeeld B zich in het eivormig gebied bevindt, is het vanuit economisch standpunt voordeliger om gebruik te maken van de multimodale vervoerswijze.

Uit figuur 31 kan geconcludeerd worden dat voor het geconsidereerde voorbeeld het multimodaal binnenvaarttraject economisch rendabeler is dan het unimodaal wegvervoer, vermits eindbestemming B binnen de eivormige figuur is gepositioneerd. Indien B buiten het gebied is gelegen, zal het unimodaal vervoer het voordeligste transportalternatief zijn in termen van de economische kost.

Het economisch haalbaarheidsgebied kan vergroten of verkleinen door wijzigende verhoudingen p en q . Verhouding p kan in de economische haalbaarheid van multimodaal vervoer enerzijds toenemen door bijvoorbeeld hogere brandstofkosten of lonen in het navervoer. Anderzijds kan de waarde van p afnemen bij een economische crisis die de lonen meer doet verminderen in het natransport dan in het unimodaal transport. In verhouding q kan de waarde van d initieel toenemen door bijvoorbeeld investeringen in technologische verbeteringen inzake overslag. Echter na een bepaalde gebruiksduur kan de overslagkost afnemen en dus ook de waarde van q . Verhouding q kan eveneens toenemen indien er bijvoorbeeld langere wachttijden zijn dan voorzien bij de overslagpunten.

8.4 Haalbaarheidsmodel op basis van de sociale kost

In het economisch haalbaarheidsmodel wordt de breakeven eivormige figuur enkel bepaald op basis van de economische kost van zowel uni- als multimodaal vervoer. Hierbij worden de externe kosten van transport echter niet in rekenschap gebracht, waardoor een vertekend beeld wordt bekomen van het haalbaarheidsgebied. Bij het maatschappelijk haalbaarheidsmodel worden deze externe kosten geïnternaliseerd zodanig dat beide transportalternatieven kunnen worden vergeleken op basis van de sociale kost. De sociale kost van een transportalternatief is aldus de optelsom van zowel de economische als de externe kost. Zoals reeds eerder vermeld, zou de ondernemer wel rekening willen houden met de externe kosten, maar omwille van de concurrentie is dit echter niet altijd wenselijk. Het internaliseren van deze externe kosten is bijgevolg ook een taak die de overheid dient te verwezenlijken.

Om de multimodale met de unimodale vervoerswijze op basis van de sociale kost te kunnen vergelijken, dient de externe kost geïnternaliseerd te worden. Uit tabel 6 in hoofdstuk 5 kan afgeleid worden dat de externe kost voor het wegvervoer gelijk is aan 0,0177 EUR/tonkm en voor het binnenschip komt deze overeen met 0,0063 EUR/tonkm. Cijfergegevens inzake de externe kost van de overslag werden niet teruggevonden in de literatuur. Deze kost kan echter verwaarloosd worden. De overslag heeft nauwelijks een impact op de maatschappij, gezien de overslagfaciliteiten slechts een korte tijdsperiode operationeel zijn in vergelijking met de vrachtwagen of het binnenschip. Bovendien veroorzaakt de overslagactiviteit geen belangrijke negatieve effecten, zoals ongevallen of congestie.

Om voor de beschouwde illustratie het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de sociale kost te kunnen voorstellen, dienen de twee verhoudingen p en q, berekend te worden.

De **verhouding p** wordt in het maatschappelijk haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele sociale kost in EUR/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

De variabele sociale kost in EUR/tonkm van het multimodaal natransport (k) bedraagt:

$$k = 0,078 \text{ EUR/tonkm} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} = 0,0957 \text{ EUR/tonkm}$$

De variabele sociale kost in EUR/tonkm van het unimodaal wegtransport (c) bedraagt:

$$c = 0,031 \text{ EUR/tonkm} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} = 0,0487 \text{ EUR/tonkm}$$

De verhouding p is dan:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{0,0957 \text{ EUR/tonkm}}{0,0487 \text{ EUR/tonkm}} = 1,96$$

De **verhouding q** wordt in het maatschappelijk haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste sociale kost in EUR/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac) waarbij 2a gelijk is aan de afstand tussen A en T in km.

De vaste sociale kost voor het unimodaal wegvervoer bestaat uit de interne en externe kost tijdens het laden en lossen van de vrachtwagen. Vermits deze activiteit plaatsvindt bij beide vervoerswijzen die relatief ten opzichte van elkaar worden vergeleken, kan deze kost geëlimineerd worden.

De vaste sociale kost in EUR/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) bedraagt:

$$d = 9,27 \text{ EUR/ton} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 25\text{km} + 0,0063 \text{ EUR/tonkm} \times 500\text{km} = 12,86 \text{ EUR/ton}$$

De vaste sociale kost in EUR/ton van A naar T voor unimodaal wegvervoer (2ac) bedraagt:

$$2ac = 0,031 \text{ EUR/tonkm} \times 500\text{km} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 500\text{km} = 24,35 \text{ EUR/ton}$$

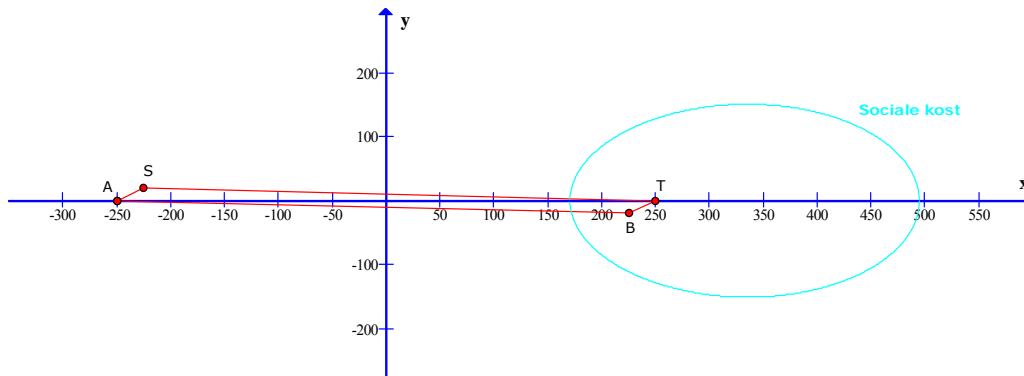
De verhouding q wordt dan:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{12,86 \text{ EUR/ton}}{24,35 \text{ EUR/ton}} = 0,53$$

Met bovenstaande waarde voor p en q kan het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de sociale kost weergegeven worden. Aangezien $p > 1$ en $q < 1$ wordt het maatschappelijk haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer opnieuw berekend aan de hand van de volgende vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

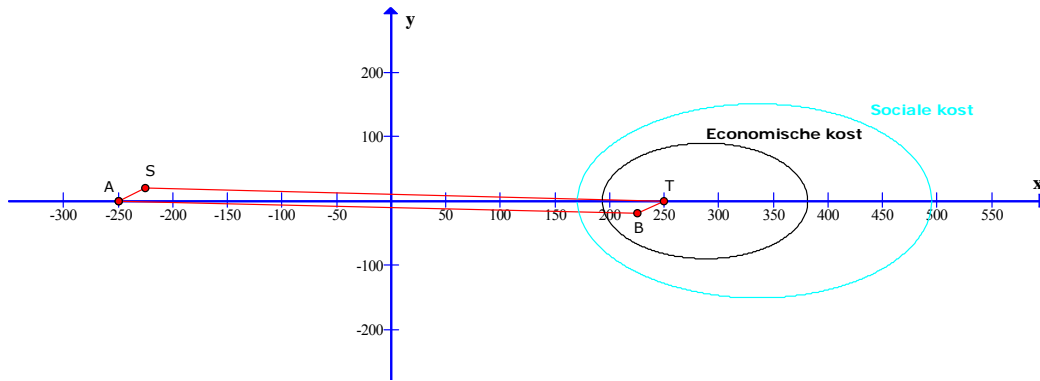
Bovenstaande gegevens ingevuld in deze vergelijking, geeft de volgende eivormige haalbaarheidsfiguur:



Figuur 32: Voorstelling van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de sociale kost in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaart-transport. Aangezien in dit voorbeeld B zich in het eivormig gebied bevindt, is het vanuit maatschappelijk standpunt voordeliger om gebruik te maken van het multimodaal vervoer per binnenschip.

Uit figuur 32 kan vastgesteld worden dat in dit voorbeeld het multimodaal binnenvaartalternatief op basis van de sociale kost voordeliger is dan het unimodaal wegvervoer, vermits eindbestemming B binnen de eivormige figuur is gepositioneerd.

Bovendien scoort het multimodaal vervoer per binnenschip vanuit maatschappelijk standpunt veel beter dan vanuit economisch standpunt. Dit kan grafisch aangetoond worden door de grootte van de twee haalbaarheidsgebieden met elkaar te vergelijken. Hoe groter het eivormig gebied op basis van een specifiek vergelijkingscriterium, hoe beter het multimodaal vervoer hierop scoort. Figuur 33 toont de haalbaarheid van multimodaal vervoer op basis van de economische kost (zwarte figuur) en de sociale kost (lichtblauwe figuur). Hieruit kan afgeleid worden dat de maatschappelijke haalbaarheid van multimodaal vervoer groter is dan de economische haalbaarheid. Dit is een logisch resultaat, daar de externe kosten van het binnenschip beduidend lager liggen dan deze van een vrachtwagen.



Figuur 33: Voorstelling van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de economische kost (zwart) en sociale kost (lichtblauw) in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaarttransport. In dit voorbeeld is het multimodaal vervoer voor beide vergelijkingscriteria voordeliger dan het unimodaal wegvervoer, aangezien B zich in beide eivormige gebieden bevindt. Desondanks scoort het multimodaal traject vanuit maatschappelijk standpunt beter dan het unimodaal traject, gezien het haalbaarheidsgebied op basis van de sociale kost groter is dan op basis van de economische kost.

In het maatschappelijk haalbaarheidsgebied kan verhouding p afnemen wanneer bijvoorbeeld meer geïnvesteerd wordt in technologieën, zoals filters en katalysatoren in het navervoer of wanneer het navervoer plaatsvindt in minder drukke gebieden. Hierdoor kan de marginale externe kost voor het natransport lager ingeschat worden. Tevens kan verhouding q afnemen wanneer het voortransport plaatsvindt in een rustige regio, de alternatieve modus de nu gekende technologische mogelijkheden volledig zou benutten of het unimodaal vervoer van A naar T uitgeoefend wordt via drukkere wegen of tijdens spitsuren. Met de technologische mogelijkheden wordt bedoeld dat het schip milieuvriendelijker wordt per tonkm dan de vrachtwagen.

8.5 Haalbaarheidsmodel op basis van de energetische kost

In deze sectie zal de haalbaarheid van het multimodaal traject onderzocht worden op basis van de energetische kost. Hierbij wordt voor het specifieke traject nagegaan hoeveel energie het multimodaal binnenvaartvervoer verbruikt ten opzichte van het unimodaal wegvervoer. De energetische kost zal dan ingevuld worden als het energieverbruik van beide transportwijzen. Op deze wijze kan worden aangegeven welk transportalternatief het minst energie verbruikt en dus het meest energie-efficiënt is.

De eenheid die gebruikt wordt om het energiegebruik van het uni- en multimodaal vervoer aan te duiden, is MJ/tonkm. Het energiegebruik van verschillende vervoersmodi in MJ/tonkm werd reeds getoond in tabel 3 in hoofdstuk 1. Deze tabel geeft aan dat het energiegebruik bij vrachtwagens sterk afhankelijk is van het type vrachtwagen dat ingezet wordt. Grote vrachtwagens zijn per tonkm energie-efficiënter dan kleinere. Vandaar zal het effect van drie verschillende vervoerssituaties op de energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer onderzocht worden. De eerste situatie veronderstelt dat zowel het voor- en natransport als het unimodaal transport door een

grote vrachtwagen (>20 ton) wordt uitgevoerd. In het tweede geval zal het voor- en natransport plaatsvinden door een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton, terwijl het unimodaal vervoer uitgevoerd wordt door een grote vrachtwagen (>20 ton). Bij de laatste situatie gebeurt het voor- en natransport door een vrachtwagen met een laadvermogen van 3,5-10 ton, terwijl het unimodaal vervoer plaatsvindt door een grote vrachtwagen (>20 ton). Er wordt steeds geopteerd voor een grote vrachtauto om het rechtstreeks wegvervoer uit te voeren, vermits het hier gaat om een langere afstand. Het voor- en natransport gebeurt meestal op korte afstanden, waardoor sneller kleinere vrachtauto's ingezet zullen worden.

Om voor de drie specifieke vervoerssituaties het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de energetische kost te kunnen voorstellen, dienen eerst de twee verhoudingen p en q, gedefinieerd en berekend te worden.

De **verhouding p** wordt in het energetisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele energetische kost in MJ/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

De **verhouding q** wordt in het energetisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste energetische kost in MJ/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac) waarbij 2a gelijk is aan de afstand tussen A en T in km.

De vaste energetische kost voor het unimodaal wegvervoer bestaat uit het energieverbruik tijdens het laden en lossen van de vrachtwagen. Vermits deze activiteit plaatsvindt bij beide vervoerswijzen die relatief ten opzichte van elkaar worden vergeleken, kan deze kost geëlimineerd worden.

De gegevens in tabel 3 uit hoofdstuk 1 zullen aangewend worden als inputgegevens om het energetisch haalbaarheidsgebied te berekenen voor de drie bovenvermelde transportsituaties. Het enige ontbrekende gegeven is het energieverbruik van de overslag in de twee terminals. Voor dit gegeven zal gebaseerd worden op het energieverbruik van de overslag bij de transportonderneming Transport Gheys N.V.. Hierbij werd een verbruik van 0,07 l/ton bekomen. Gezien de energetische efficiëntie uitgedrukt wordt in MJ/ton voor verhouding q, dient het verbruiksgegeven omgevormd te worden. Volgens het Europees Parlement en de Raad Van De Europese Unie (2009) komt de energie-inhoud van 1 liter diesel overeen met 36 MJ. Daar de overslagtechniek bij Transport Gheys N.V. als brandstof diesel consumeert, komt het energieverbruik van de overslag overeen met 2,53 MJ/ton (0,07 l/ton x 36 MJ/l).

Voor de **eerste situatie** waarbij zowel het voor- en natransport als het unimodaal transport door een grote vrachtwagen (>20 ton) wordt uitgevoerd, heeft verhouding p de volgende waarde:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{1,31 \text{ MJ/tonkm}}{1,31 \text{ MJ/tonkm}} = 1$$

De vaste energetische kost in MJ/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 1,31 \text{ MJ/tonkm} + 500\text{km} \times 0,6 \text{ MJ/tonkm} + 2 \times 2,53 \text{ MJ/ton} = 337,81 \text{ MJ/ton}$$

De vaste energetische kost in MJ/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt:

$$2ac = 500\text{km} \times 1,31 \text{ MJ/tonkm} = 655 \text{ MJ/ton}$$

Op basis van voorgaande berekeningen bedraagt verhouding q voor de eerste situatie:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{337,81 \text{ MJ/ton}}{655 \text{ MJ/ton}} = 0,52$$

Voor de **tweede situatie** waarbij het voor- en natransport plaatsvindt door een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton en het unimodaal vervoer uitgevoerd wordt door een grote vrachtwagen (>20 ton), bedraagt verhouding p:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{1,98 \text{ MJ/tonkm}}{1,31 \text{ MJ/tonkm}} = 1,51$$

De waarde voor d bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 1,98 \text{ MJ/tonkm} + 500\text{km} \times 0,6 \text{ MJ/tonkm} + 2 \times 2,53 \text{ MJ/ton} = 354,56 \text{ MJ/ton}$$

De vaste energetische kost in MJ/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt nog steeds 655 MJ/ton.

Op basis van bovenstaande berekeningen kan voor de tweede situatie verhouding q als volgt worden bekomen:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{354,56 \text{ MJ/ton}}{655 \text{ MJ/ton}} = 0,54$$

Voor de **derde situatie** waarbij het voor- en natransport gebeurt door een vrachtwagen met een laadvermogen van 3,5-10 ton en het unimodaal vervoer plaatsvindt door een grote vrachtwagen (>20 ton), heeft verhouding p de volgende waarde:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{2,71 \text{ MJ/tonkm}}{1,31 \text{ MJ/tonkm}} = 2,1$$

De waarde voor d bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 2,71 \text{ MJ/tonkm} + 500\text{km} \times 0,6 \text{ MJ/tonkm} + 2 \times 2,53 \text{ MJ/ton} = 372,81 \text{ MJ/ton}$$

De vaste energetische kost in MJ/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt nog steeds 655 MJ/ton.

Op basis van bovenstaande berekeningen wordt voor de derde situatie de volgende waarde voor verhouding q verkregen:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{372,81 \text{ MJ/ton}}{655 \text{ MJ/ton}} = 0,57$$

Nu voor ieder van de drie vervoerssituaties de waarde voor p en q gekend zijn, kunnen de drie overeenkomstige energetische haalbaarheidsgebieden grafisch weergegeven worden.

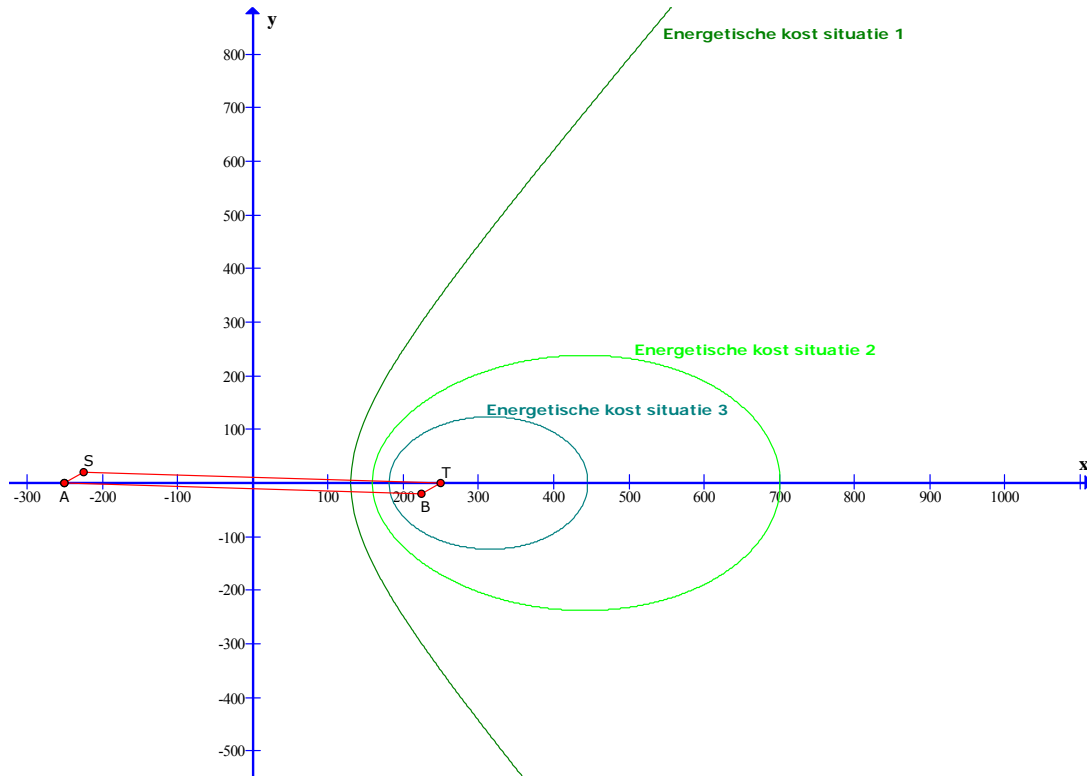
Het energetisch haalbaarheidsgebied zal voor de eerste situatie uitgezet worden aan de hand van de formule voor de hyperbool, mits $p=1$. De gehanteerde vergelijking is:

$$y = \pm \frac{\sqrt{1-q^2}}{q} \left(\sqrt{x^2 - a^2 q^2} \right)$$

Zowel voor de tweede als de derde situatie wordt het haalbaarheidsgebied op basis van de energetische kost voorgesteld aan de hand van de volgende vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x-a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

De grafische voorstelling van de drie voorgaande vergelijkingen levert voor iedere vervoerssituatie een specifiek energetisch haalbaarheidsgebied op, zoals zichtbaar in figuur 34.



Figuur 34: Weergave van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de energetische kost in situatie 1 (donkergroene hyperbool), de energetische kost in situatie 2 (lichtgroen eivormig gebied) en de energetische kost in situatie 3 (donkergroen eivormig gebied) in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaarttransport. In dit voorbeeld is het multimodaal vervoer voor de drie vervoerssituaties energetisch voordeliger dan het unimodaal wegvervoer, aangezien B zich steeds bevindt binnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Hoe kleiner de gebruikte vrachtwagen in het multimodaal voor- en natransport, des te kleiner de energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer wordt.

Uit figuur 34 blijkt dat in dit voorbeeld het multimodaal vervoer per binnenschip voor iedere situatie energetisch voordeliger is dan het rechtstreeks wegvervoer, vermits B zich steeds bevindt binnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Wanneer de haalbaarheid van multimodaal vervoer tussen de drie vervoerssituaties onderling vergeleken wordt, kan geconstateerd worden dat het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer in de eerste situatie het grootst is. Dit is logischerwijs te danken aan het feit dat in dit geval het voor- en natransport door een grote vrachtwagen wordt uitgeoefend. Vanuit energetisch standpunt is het dus steeds voordeliger om een zware vrachtwagen in te zetten, aangezien deze per tonkm energie-efficiënter is dan een lichtere. Hoe kleiner de vrachtwagen is in het voor- en natransport, des te kleiner het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer wordt en hoe slechter het multimodaal vervoerstraject zal scoren in termen van de energetische kost.

Er dient opgemerkt te worden dat bij ieder van de hierboven besproken energetische haalbaarheidsgebieden een verschillend economisch gebied hoort. Immers, indien een kleiner type vrachtwagen wordt ingezet voor het multimodaal voor- en natransport, zal ook het energieverbruik

en bijgevolg de brandstofkost toenemen. Daar de brandstofkost vervat zit in de transportkost, zal het economisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer verkleinen bij het gebruik van een lichtere vrachtwagen.

In het energetisch haalbaarheidsgebied zal een hoger brandstofverbruik leiden tot een hogere waarde van p . Dit kan zich voordoen wanneer een vrachtwagen het multimodaal navervoer uitoefent via meer ring- of binnenwegen of wanneer het navervoer plaatsvindt tijdens spitsuren met meer congestie tot gevolg. Anderzijds kan verhouding p kleiner worden bij de inzet van minder energie-efficiënte transportmodi in het unimodaal wegvervoer, zoals een kleiner type vrachtwagen. De waarde van q kan toenemen wanneer onder andere een minder energie-efficiënte alternatieve modus wordt ingezet, een kleiner type vrachtwagen het voortransport uitoefent of het unimodaal vervoer van A naar T plaatsvindt door een grotere vrachtwagen.

8.6 Haalbaarheidsmodel op basis van de ecologische kost

In deze paragraaf zal op basis van de ecologische kost de haalbaarheid van het multimodaal traject vergeleken worden met deze van het rechtstreeks wegvervoer. Hierbij zal voor het specifieke voorbeeld de geëmitteerde hoeveelheid CO_2 door zowel de multimodale als unimodale vervoerswijze ingevuld worden als ecologische kost. Op deze wijze kan worden aangegeven welk transportalternatief het minst CO_2 uitstoot en dus vanuit ecologisch standpunt optimaal is. De ecologische kost omvat enkel de CO_2 -uitstoot en geen andere transportgerelateerde uitstootgassen. De reden hiertoe is dat de CO_2 -uitstoot gerelateerd is aan het energiegebruik en de brandstofkeuze, maar nauwelijks aan toegevoegde technologieën, zoals katalysatoren of filters.

De eenheid die gebruikt wordt om de CO_2 -uitstoot van het uni- en multimodaal vervoer aan te duiden, is g/tonkm. De CO_2 -emissie van verschillende vervoersmodi bij bulk- en non-bulkvervoer in g/tonkm werd reeds getoond in respectievelijk tabel 4 en 5 in hoofdstuk 3. Daar kleinere transportmiddelen minder energie-efficiënt zijn per tonkm, stoten lichte vrachtwagens en kleine binnenschepen meer CO_2 uit per tonkm dan hun grotere varianten. Vandaar zal, analoog aan het haalbaarheidsmodel op basis van de energetische kost, het effect van dezelfde drie vervoerssituaties op de ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer geanalyseerd worden. Hierdoor zal in deze illustratie het vervoer van non-bulkgoederen verondersteld worden, daar enkel voor dit specifiek transport cijfers bestaan inzake de CO_2 -emissie van verschillende type vrachtwagens. Wat betreft het vervoer over water wordt verondersteld dat de goederen getransporteerd worden via een binnenschip met een laadvermogen groter dan 3.000 ton. Immers op basis van tabel 5 stoten kleinere binnenschepen meer CO_2 uit dan een grote vrachtwagen (>20 ton). Indien toch een kleiner binnenschip zou verkozen worden, zal de waarde voor q groter worden dan 1 en kan er geen haalbaarheidsgebied voor multimodaal bepaald worden.

Om voor de drie specifieke vervoerssituaties het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de ecologische kost te kunnen voorstellen, dienen eerst de twee verhoudingen p en q, gedefinieerd en berekend te worden.

De **verhouding p** wordt in het ecologisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele ecologische kost in g/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

De **verhouding q** wordt in het ecologisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste ecologische kost in g/ton van A naar T voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac) waarbij 2a gelijk is aan de afstand tussen A en T in km.

De vaste ecologische kost voor het unimodaal wegvervoer bestaat uit de CO₂-emissie tijdens het laden en lossen van de vrachtwagen. Vermits deze activiteit plaatsvindt bij beide vervoerswijzen die relatief ten opzichte van elkaar worden vergeleken, kan deze kost geëlimineerd worden.

De gegevens uit tabel 5 in hoofdstuk 3 zullen aangewend worden als inputgegevens om het ecologisch haalbaarheidsgebied te berekenen voor de drie bovenvermelde transportsituaties. Het enige ontbrekende gegeven is de CO₂-emissie van de overslag in de twee terminals. Hiervoor zal opnieuw gebaseerd worden op de toepassing bij Transport Gheys N.V. waarin een CO₂-emissie van 189 g/ton werd bekomen voor de overslagactiviteit.

Voor de **eerste situatie** waarbij zowel het voor- en natransport als het unimodaal transport door een grote vrachtwagen (>20 ton) wordt uitgevoerd, heeft verhouding p de volgende waarde:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{69 \text{ g/tonkm}}{69 \text{ g/tonkm}} = 1$$

De vaste ecologische kost in g/ton van A naar T met het multimodaal transport (d) bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 69 \text{ g/tonkm} + 500\text{km} \times 48 \text{ g/tonkm} + 2 \times 189 \text{ g/ton} = 26.103 \text{ g/ton}$$

De vaste ecologische kost in g/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt:

$$2ac = 500\text{km} \times 69 \text{ g/tonkm} = 34.500 \text{ g/ton}$$

Op basis van voorgaande berekeningen bedraagt verhouding q voor de eerste situatie:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{26.103 \text{ g/ton}}{34.500 \text{ g/ton}} = 0,76$$

Voor de **tweede situatie** waarbij het voor- en natransport plaatsvindt door een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton en het unimodaal vervoer uitgevoerd wordt door een grote vrachtwagen (>20 ton), bedraagt verhouding p:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{123 \text{ g/tonkm}}{69 \text{ g/tonkm}} = 1,78$$

De waarde voor d bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 123 \text{ g/tonkm} + 500\text{km} \times 48 \text{ g/tonkm} + 2 \times 189 \text{ g/ton} = 27.453 \text{ g/ton}$$

De vaste ecologische kost in g/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt nog steeds 34.500 g/ton.

Op basis van bovenstaande berekeningen kan voor de tweede situatie verhouding q als volgt worden bekomen:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{27.453 \text{ g/ton}}{34.500 \text{ g/ton}} = 0,80$$

Voor de **derde situatie** waarbij het voor- en natransport gebeurt door een vrachtwagen met een laadvermogen van 3,5-10 ton en het unimodaal vervoer plaatsvindt door een grote vrachtwagen (>20 ton), heeft verhouding p de volgende waarde:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{231 \text{ g/tonkm}}{69 \text{ g/tonkm}} = 3,35$$

De waarde voor d bedraagt:

$$d = 25\text{km} \times 231 \text{ g/tonkm} + 500\text{km} \times 48 \text{ g/tonkm} + 2 \times 189 \text{ g/ton} = 30.153 \text{ g/ton}$$

De vaste ecologische kost in g/ton van A naar T met het unimodaal transport (2ac) bedraagt nog steeds 34.500 g/ton.

Op basis van bovenstaande berekeningen wordt voor de derde situatie de volgende waarde voor verhouding q verkregen:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{30.153 \text{ g/ton}}{34.500 \text{ g/ton}} = 0,87$$

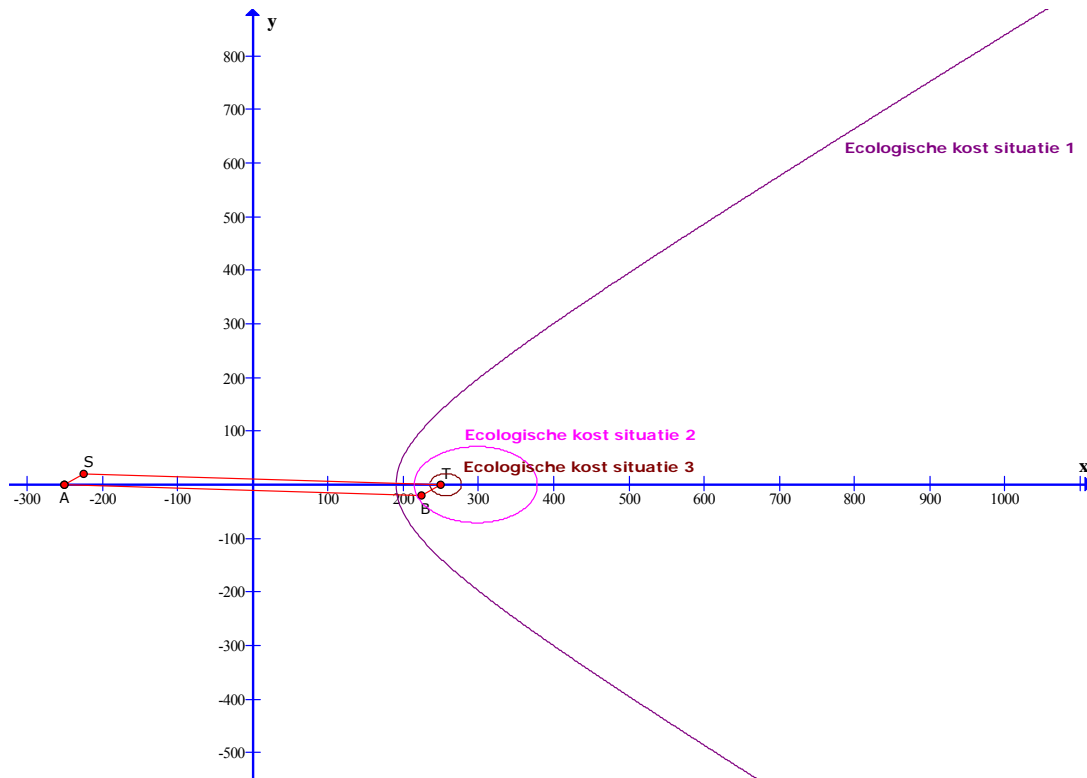
Nu voor ieder van de drie vervoerssituaties de waarde voor p en q gekend zijn, kunnen de drie overeenkomstige ecologische haalbaarheidsgebieden grafisch voorgesteld worden. Het ecologisch haalbaarheidsgebied zal voor de eerste situatie uitgezet worden aan de hand van de formule voor de hyperbool, mits $p=1$. De gehanteerde vergelijking is:

$$y = \pm \frac{\sqrt{1 - q^2}}{q} \left(\sqrt{x^2 - a^2 q^2} \right)$$

Zowel voor de tweede als de derde situatie wordt het haalbaarheidsgebied op basis van de ecologische kost voorgesteld aan de hand van de volgende vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2p^2q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

De grafische voorstelling van de drie voorgaande vergelijkingen levert voor iedere vervoerssituatie een specifiek ecologisch haalbaarheidsgebied op. Het resultaat is zichtbaar in figuur 35.



Figuur 35: Voorstelling van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de ecologische kost in situatie 1 (paarskleurige hyperbool), de ecologische kost in situatie 2 (rooskleurig eivormig gebied) en de ecologische kost in situatie 3 (bruinkleurig eivormig gebied) in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaarttransport. In dit voorbeeld is het multimodaal vervoer enkel in situatie 1 en 2 ecologisch voordeliger dan het unimodaal wegvervoer, aangezien B in deze situaties zich bevindt binnen het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. In de derde situatie is het unimodaal vervoer ecologisch voordeliger. Hoe kleiner de gebruikte vrachtwagen is in het voor- en natransport, des te kleiner de ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer wordt.

Uit figuur 35 blijkt dat het multimodaal vervoer per binnenschip in dit voorbeeld niet voor iedere situatie ecologisch voordeliger is dan het rechtstreeks wegvervoer. Zo is in de derde situatie (bruinkleurig eivormig gebied) het unimodaal traject op basis van de ecologische kost rendabeler dan het multimodaal traject. Bestemming B bevindt zich in de derde situatie immers buiten het eivormig haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Indien in situatie 3 de goederen rechtstreeks over de weg worden vervoerd, zal er bijgevolg minder CO₂ uitgestoten worden. Vanuit

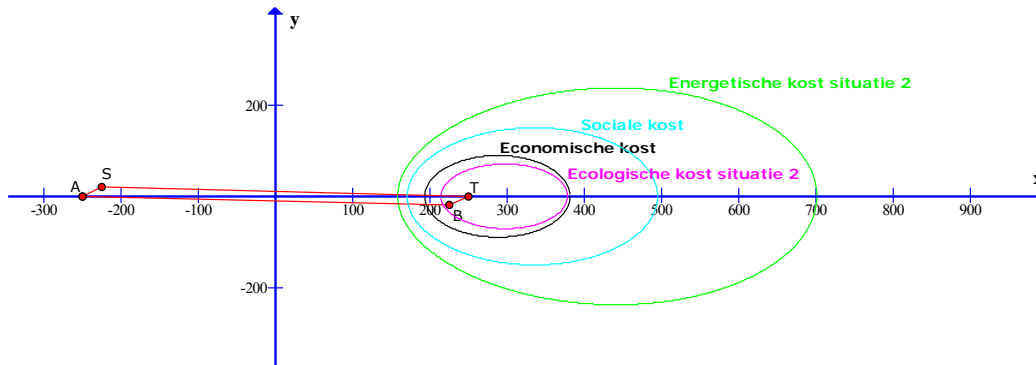
milieuperspectief is het multimodaal vervoerstraject enkel voordeliger in situatie 1 (paarskleurige hyperbool) en situatie 2 (rooskleurig eivormig gebied). Analoog aan de energetische haalbaarheid, zal de ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer afnemen bij het gebruik van een kleinere vrachtwagen in het voor- en natransport. Hoe lichter de vrachtwagen is in het voor- en natransport, des te kleiner het ecologisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer wordt en hoe slechter het multimodaal vervoerstraject zal scoren in termen van de ecologische kost. Deze bevinding wordt ook zichtbaar in figuur 35. Uit deze figuur wordt duidelijk dat het ecologisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer in de eerste situatie het grootst is en kleiner is geworden voor situatie 2 en 3. Vanuit ecologisch standpunt is het dus steeds voordeliger om een grotere vrachtwagen in te zetten in het voor- en natransport, aangezien deze minder milieubelastend is dan een kleinere.

Samengevat zal p toenemen door bijvoorbeeld kleinere type vrachtwagens in te zetten in het navervoer. Uiteraard zal de waarde p kleiner worden indien het multimodaal natransport gebruik maakt van milieuvriendelijke brandstoffen en motoren. Tenslotte kan in het ecologisch haalbaarheidsgebied q kleiner worden door onder meer het gebruik van een groter type vrachtwagen in het voortransport, een kleiner type vrachtwagen in het rechtstreeks vervoer van A naar T of een groter type binnenschip.

8.7 Vergelijking haalbaarheidsmodel op basis van de economische, sociale, energetische en ecologische kost

In deze paragraaf wordt de vergelijking getoond tussen voorgaande haalbaarheidsmodellen op basis van de vier vergelijkingscriteria. Om het overzicht te bewaren, zal voor zowel de energetische als de ecologische kost enkel vervoerssituatie twee beschouwd worden. Het is noodzakelijk dezelfde situatie te nemen voor deze twee kosten criteria, aangezien ze aan elkaar gerelateerd zijn. Het bekomen resultaat wordt weergegeven in figuur 36.

Uit figuur 36 wordt duidelijk dat het multimodaal vervoer voor ieder criterium voordeliger is dan het unimodaal vervoer. Bovendien is het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer het grootst, gevolgd door het maatschappelijk, economisch en ecologisch haalbaarheidsgebied. Op basis van voorgaande bevindingen kan aldus besloten worden dat in dit voorbeeld en voor de tweede vervoerssituatie het binnenvaartalternatief energetisch gezien relatief het beste scoort, maar ecologisch gezien relatief het slechtste. Het omgekeerde is waar voor het unimodaal vervoer: dit scoort relatief het beste op ecologisch gebied en relatief het slechtste op energetisch gebied.



Figuur 36: Voorstelling van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de energetische kost in situatie 2 (groenkleurig), de sociale kost (blauwkleurig), de economische kost (zwartkleurig) en de ecologische kost in situatie 2 (rooskleurig) in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaarttransport. Het multimodaal vervoer is voor ieder criterium voordeliger dan het unimodaal vervoer en scoort relatief het beste op de energetische haalbaarheid en relatief het slechtste op de ecologische haalbaarheid.

In tegenstelling tot wat we zouden verwachten, heeft het multimodaal binnenvaarttraject het kleinste ecologisch haalbaarheidsgebied. De belangrijkste oorzaak hiervan is het gebruik van de kleinere vrachtwagen in het multimodaal voor- en natransport die gekenmerkt wordt door een hogere CO₂-emissie ten opzichte van een grote vrachtwagen. Tevens werd in het energetisch en ecologisch haalbaarheidsmodel telkens verondersteld dat een grote vrachtwagen (>20 ton) het unimodaal vervoer uitvoert. Indien geopteerd wordt voor een vrachtwagen met een laadvermogen van 3,5-10 ton in zowel het voor- en natransport en een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton in het rechtstreeks wegvervoer, zal verhouding q aanzienlijk afnemen waardoor zowel het ecologisch als energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer zal vergroten. Het vervoer over water vindt uiteraard nog steeds plaats door hetzelfde binnenschip met een laadvermogen >3.000 ton. Indien de net beschreven situatie wordt aangeduid als **situatie 4**, kunnen de nieuwe energetische en ecologische waarden voor p en q bepaald worden.

De waarde voor p en q in het energetisch haalbaarheidsmodel in situatie 4 wordt dan als volgt:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{2,71 \text{ MJ/tonkm}}{1,98 \text{ MJ/tonkm}} = 1,37$$

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{25\text{km} \times 2,71 \text{ MJ/tonkm} + 500\text{km} \times 0,6 \text{ MJ/tonkm} + 2 \times 2,53 \text{ MJ/ton}}{500\text{km} \times 1,98 \text{ MJ/tonkm}} = 0,38$$

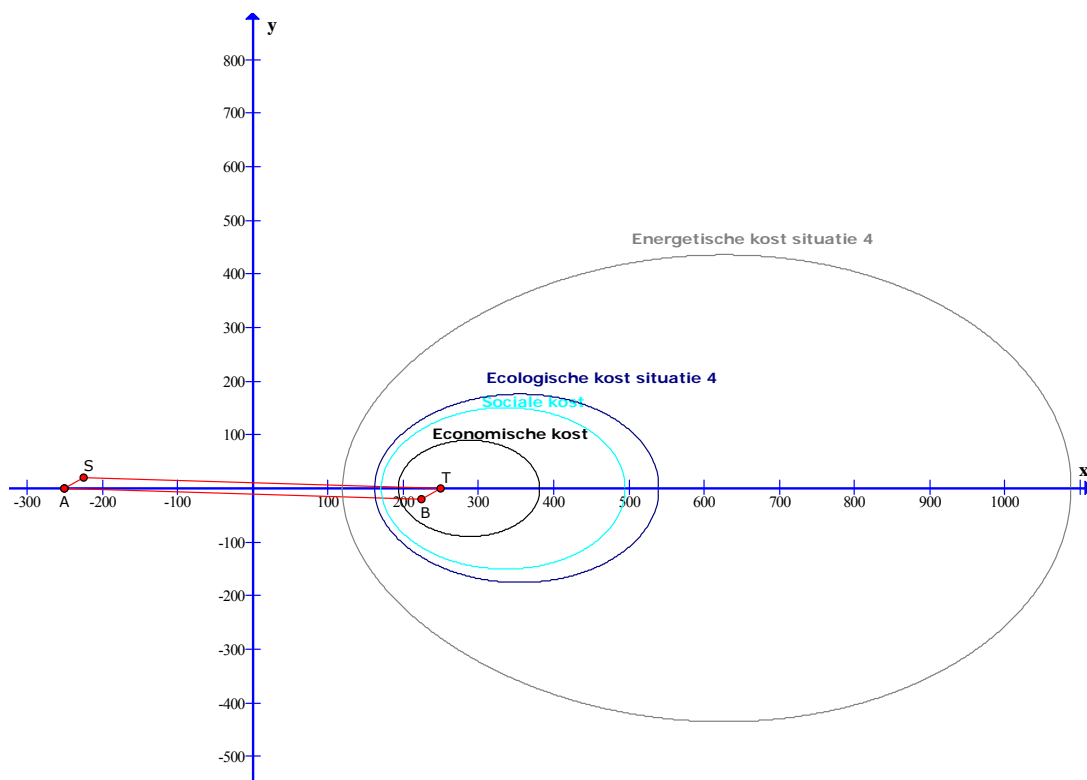
De waarde voor p en q in het ecologisch haalbaarheidsmodel in situatie 4 wordt dan als volgt:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{231 \text{ g/tonkm}}{123 \text{ g/tonkm}} = 1,88$$

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{25\text{km} \times 231 \text{ g/tonkm} + 500\text{km} \times 48 \text{ g/tonkm} + 2 \times 189 \text{ g/ton}}{500\text{km} \times 123 \text{ g/tonkm}} = 0,49$$

Voor de grafische voorstelling dienen bovenstaande waarden ingevuld te worden in dezelfde wiskundige vergelijking die aangewend werd in vervoerssituatie twee en drie.

Het effect van deze wijziging op de ecologische en energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer wordt grafisch geïllustreerd in figuur 37. Wanneer deze figuur vergeleken wordt met figuur 36, blijkt dat een kleiner type vrachtwagen (10-20 ton) in het unimodaal transport leidt tot een grotere energetische en ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer in vergelijking met de tweede vervoerssituatie. Een lichtere vrachtwagen in het rechtstreeks wegvervoer is minder milieuvriendelijk dan een grotere wat in het voordeel speelt van het multimodaal binnenvaart-traject.



Figuur 37: Voorstelling van de breakeven haalbaarheidsfiguur voor het multimodaal vervoer op basis van de energetische kost in situatie 4 (grijze kleur), de ecologische kost in situatie 4 (donkerblauwe kleur), de sociale kost (lichtblauwe kleur) en de economische kost (zwarte kleur) in de beschouwde illustratie. A is de vaste vertrekplaats, B de variabele eindbestemming en S en T overslagterminals die noodzakelijk zijn in het multimodaal binnenvaartvervoer. Het multimodaal traject is voor ieder criterium voordeliger dan het unimodaal traject en scoort relatief het beste op de energetische haalbaarheid en relatief het slechtste op de economische haalbaarheid.

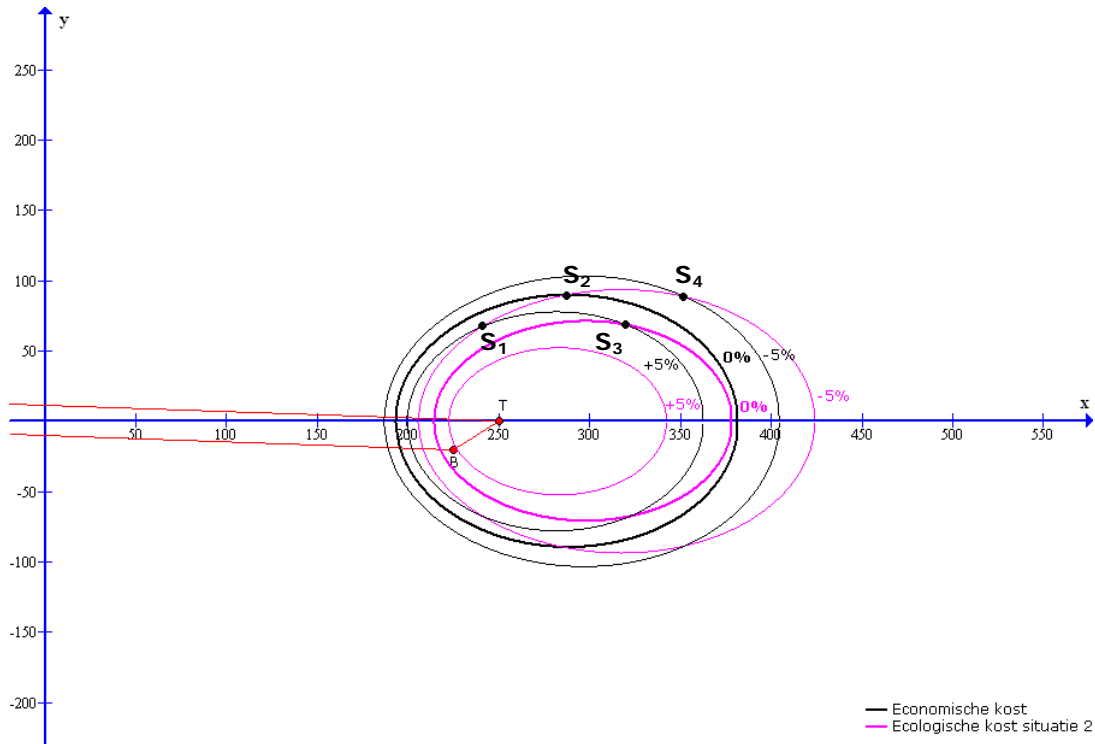
Op basis van voorgaande bevindingen kan besloten worden dat in het beschouwde voorbeeld en voor de vierde vervoerssituatie het multimodaal binnenvaarttraject vanuit energetisch perspectief relatief het beste scoort, maar economisch gezien relatief het slechtste. Het omgekeerde geldt voor het unimodaal vervoer: dit scoort relatief het beste op economisch gebied en relatief het slechtste op energetisch gebied. Deze vaststelling is ook zichtbaar in figuur 37.

8.8 Vergelijking economisch en ecologisch haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen

Dit onderdeel biedt een overzicht van relatieve equiprofitlijnen horende bij het economisch en ecologisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Op die manier kan gelijktijdig onderzocht worden op welke locaties voor de eindbestemming een bepaald procentueel ecologisch voordeel gerealiseerd wordt dat gepaard gaat met bijvoorbeeld een specifiek procentueel economisch verlies of omgekeerd. Deze situaties zullen zich voordoen bij het snijpunt van twee verschillende equiprofitlijnen, met name één lijn die behoort tot het economisch haalbaarheidsmodel en één lijn die behoort tot het ecologisch haalbaarheidsmodel.

Ter illustratie zal hieronder enkel de tweede transportsituatie beschouwd worden waarbij het voor- en natransport plaatsvindt door een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton en het unimodaal vervoer uitgevoerd wordt door een grote vrachtwagen (>20 ton). Dit is een vrij realistische assumptie, gezien op langere afstanden meestal een groter voertuig wordt ingezet dan op kortere. De opzet van de equiprofitlijnen is om inzicht te verwerven in het economisch en ecologisch voordeel of verlies dat gepaard gaat met het multimodaal vervoer in deze specifieke transportsituatie. De procedure kan eveneens toegepast worden op de andere besproken vervoerssituaties.

Figuur 38 toont de positieve en negatieve relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en ecologisch (rooskleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de tweede vervoerssituatie in het beschreven voorbeeld. De zwarte equiprofitlijn van 0% geeft de situatie weer waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer economisch even voordelig zijn, terwijl de rooskleurige equiprofitlijn van 0% de situatie toont waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer ecologisch even voordelig zijn. Om nu simultaan en zeer precies te achterhalen hoeveel winst of verlies wordt gemaakt in termen van zowel de economische als ecologische kost en op welke locaties, zijn bij wijze van voorbeeld op figuur 38 vier snijpunten aangeduid, namelijk S_1 , S_2 , S_3 en S_4 .



Figuur 38: Voorstelling van de positieve en negatieve relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en ecologisch (rooskleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de tweede vervoerssituatie in de beschouwde illustratie. Indien B gelokaliseerd zou zijn in het punt S_1 , zal via het multimodaal binnenvaarttraject 5% meer CO₂ uitgestoten worden en 5% bespaard worden op de economische kost in vergelijking met het unimodaal vervoer. In het tweede snijpunt (S_2) is het multimodaal binnenvaartvervoer economisch even voordelig als het rechtstreeks wegvervoer, maar genereert het een ecologisch verlies van 5%. Het derde snijpunt (S_3) duidt de locatie aan waarin het multimodaal vervoer ecologisch noch winst noch verlies maakt en economisch 5% winst genereert ten opzichte van het rechtstreeks wegvervoer. Het vierde snijpunt (S_4) wijst de locatie aan waarin het multimodaal transportalternatief zowel vanuit economisch als ecologisch perspectief 5% verlies genereert.

Het eerste snijpunt (S_1) geeft de positie aan waarin het transport via het multimodaal traject 5% verlies maakt op basis van de ecologische kost en 5% winst op basis van de economische kost. Met andere woorden, indien bestemming B gelokaliseerd zou zijn in het punt S_1 en de goederen vervoerd worden via het multimodaal binnenvaarttraject, zal men 5% meer CO₂ uitstoten, maar hiertegenover zal men relatief 5% besparen op de economische kost. De oorzaak van de hogere CO₂-emissie en de lagere economische kost is waarschijnlijk te wijten aan de grotere afstand voor het natransport dat uitgeoefend wordt door een vrachtwagen die meer milieubelastend, maar goedkoper in aankoop is.

In het tweede snijpunt (S_2) is het multimodaal binnenvaartvervoer economisch even voordelig als het rechtstreeks wegvervoer, maar genereert het een ecologisch verlies van 5%. Met andere woorden, indien bestemming B gepositioneerd zou zijn in S_2 en de goederen getransporteerd worden via het multimodaal traject, zal men 5% meer CO₂ uitstoten en economisch gezien noch winst noch verlies maken. De verklaring voor de hogere CO₂-emissie is opnieuw te wijten aan de grotere afstand voor het natransport. Eenzelfde economische kost kan mogelijk veroorzaakt

worden doordat het natransport op een grotere afstand plaatsvindt ten opzichte van S_1 waardoor ook onder andere het energiegebruik en bijgevolg de brandstofkost hoger komt te liggen.

Het derde snijpunt (S_3) duidt de locatie aan waarin het multimodaal vervoer vanuit ecologisch perspectief noch winst noch verlies maakt en vanuit economisch standpunt 5% winst genereert. Met andere woorden, indien bestemming B zich zou bevinden in S_3 en de goederen vervoerd worden via het multimodaal binnenvaarttraject, zal men een economisch kostenvoordeel hebben van 5% en ecologisch noch winst noch verlies maken ten opzichte van unimodaal wegvervoer. De reden hiertoe is de kortere afstand van het natransport indien B zich in S_3 bevindt. Hoe meer het natransport kan ingeperkt worden, des te lager de totale CO_2 -emissie en transportkost zullen zijn.

Het vierde snijpunt (S_4) wijst de locatie aan waarin het multimodaal transportalternatief zowel vanuit economisch als ecologisch perspectief 5% verlies genereert. Met andere woorden, indien bestemming B gelokaliseerd zou zijn in S_4 en de goederen vervoerd worden via het multimodaal binnenvaarttraject, zal er zowel een economisch als een ecologisch kostennadeel teweeggebracht worden van 5% ten opzichte van unimodaal wegvervoer. Wanneer B gepositioneerd is in S_4 vindt het natransport plaats over een langere afstand in vergelijking met de overige snijpunten. Hoe meer natransport dient uitgevoerd te worden, des te hoger de totale CO_2 -emissie en transportkost zullen zijn.

Voor de bovenstaande vier snijpunten kan vastgesteld worden dat vanuit economisch standpunt de punten S_1 en S_3 het beste scores. Indien B gelegen is in S_1 of S_3 kan de grootste economische winst, met name 5%, gerealiseerd worden via multimodaal vervoer. Op basis van het ecologisch vergelijkingscriterium zal het punt S_3 de voorkeur genieten. Indien B in S_3 gelegen is, zal het multimodaal vervoer ecologisch even voordelig zijn als het unimodaal vervoer.

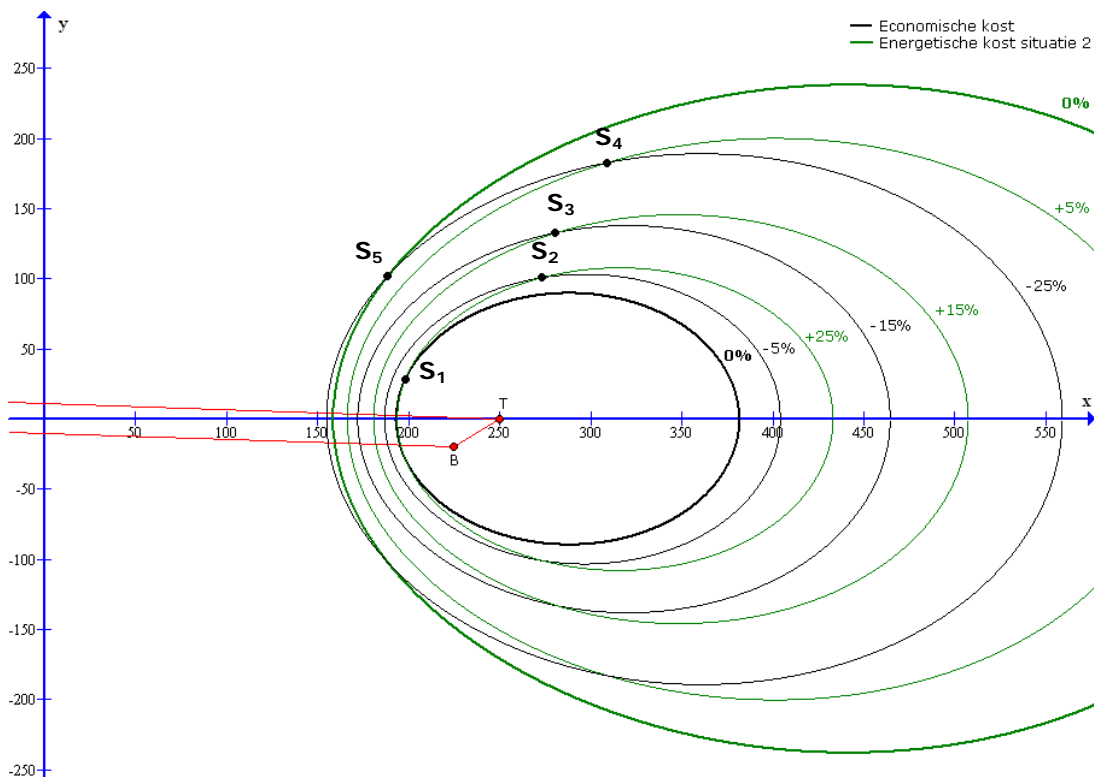
8.9 Vergelijking economisch en energetisch haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen

Deze sectie biedt een overzicht van de relatieve equiprofitlijnen horende bij het economisch en energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Analoog aan de vorige paragraaf kan op deze wijze gelijktijdig onderzocht worden op welke locaties een bepaald procentueel energetisch voordeel gerealiseerd wordt dat gepaard gaat met bijvoorbeeld een specifiek procentueel economisch verlies of omgekeerd. Deze situaties zullen zich opnieuw voordoen bij het snijpunt van twee verschillende equiprofitlijnen, met name één lijn die behoort tot het economisch haalbaarheidsmodel en één lijn die behoort tot het energetisch haalbaarheidsmodel.

Analoog aan de vorige paragraaf, zal hieronder enkel de tweede transportsituatie beschouwd worden. De opzet van de equiprofitlijnen is inzicht te verwerven in het economisch en energetisch

kostenvoor- of nadeel indien de goederen met multimodaal vervoer getransporteerd worden in deze specifieke transportsituatie.

Figuur 39 toont de relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en energetisch (groenkleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de tweede vervoerssituatie in het beschreven voorbeeld. De zwarte equiprofitlijn van 0% geeft de situatie weer waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer economisch even voordelig zijn, terwijl de groenkleurige equiprofitlijn van 0% de situatie toont waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer energetisch even voordelig zijn. Om nu simultaan en zeer precies te achterhalen hoeveel winst of verlies wordt gemaakt in termen van zowel de economische als energetische kost en op welke locaties, zijn bij wijze van voorbeeld op figuur 39 vijf snijpunten aangeduid, namelijk S_1 , S_2 , S_3 , S_4 en S_5 .



Figuur 39: Voorstelling van de positieve en negatieve relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en energetisch (groenkleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor de tweede vervoerssituatie in de beschouwde illustratie. Indien B zich zou bevinden in het eerste snijpunt (S_1) is het multimodaal vervoer energetisch gezien 25% voordeliger, maar economisch gezien blijft het even voordelig als het unimodaal traject. In het tweede snijpunt (S_2) bespaart men 25% energie uit via het multimodaal vervoer gepaard gaande met een economisch verlies van 5%. In het derde snijpunt (S_3) bedraagt zowel de energiebesparing als het economisch verlies 15% indien getransporteerd wordt via het multimodaal vervoer. In het vierde snijpunt (S_4) wordt er nog slechts 5% energiewinst gemaakt samen met een economisch verlies van 25% via het multimodaal binnenvaartvervoer. In het vijfde snijpunt (S_5), is het multimodaal vervoer energetisch even voordelig als het rechtstreeks wegvervoer, maar genereert het een economisch verlies van 25%.

Het eerste snijpunt (S_1) geeft de positie aan waarin het transport via het multimodaal traject energetisch gezien 25% voordeliger is, maar economisch gezien noch winst noch verlies maakt.

Met andere woorden, indien bestemming B gelokaliseerd zou zijn in het punt S_1 zal het multimodaal binnenvaarttraject 25% energiewinst opleveren, maar economisch even voordelig blijven als het unimodaal traject. Gezien het korte natransport tot S_1 is het mogelijk om dergelijk energievoordeel via multimodaal vervoer te realiseren.

Indien bestemming B gelokaliseerd zou zijn in het tweede snijpunt (S_2), spaart men 25% energie uit door te transporteren via het multimodaal binnenvaartalternatief dat gepaard gaat met een economisch verlies van 5%. Dit kan verklaard worden doordat de energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer groter is dan de economische haalbaarheid, waardoor S_2 niet haalbaar is op basis van de economische kost, maar wel op basis van de energetische kost.

Indien bestemming B zich zou bevinden in het derde snijpunt (S_3), bedraagt zowel de energiebesparing als het economisch verlies 15% indien getransporteerd wordt via het multimodaal binnenvaartalternatief. Hiervoor geldt dezelfde reden als voor S_2 . Gezien S_3 ten opzichte van S_2 verder gepositioneerd is van terminal T, is het economisch kostennadeel groter en het energetisch kostenvoordeel lager, gezien het energiegebruik en de brandstofkost hoger komen te liggen.

Indien bestemming B gepositioneerd zou zijn in het vierde snijpunt (S_4), wordt er nog slechts 5% energiewinst gemaakt via het multimodaal binnenvaartvervoer en een economisch verlies van 25%. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat het natransport op een nog grotere afstand plaatsvindt ten opzichte van S_3 waardoor het energiegebruik en de brandstofkost in S_4 nog verder toenemen.

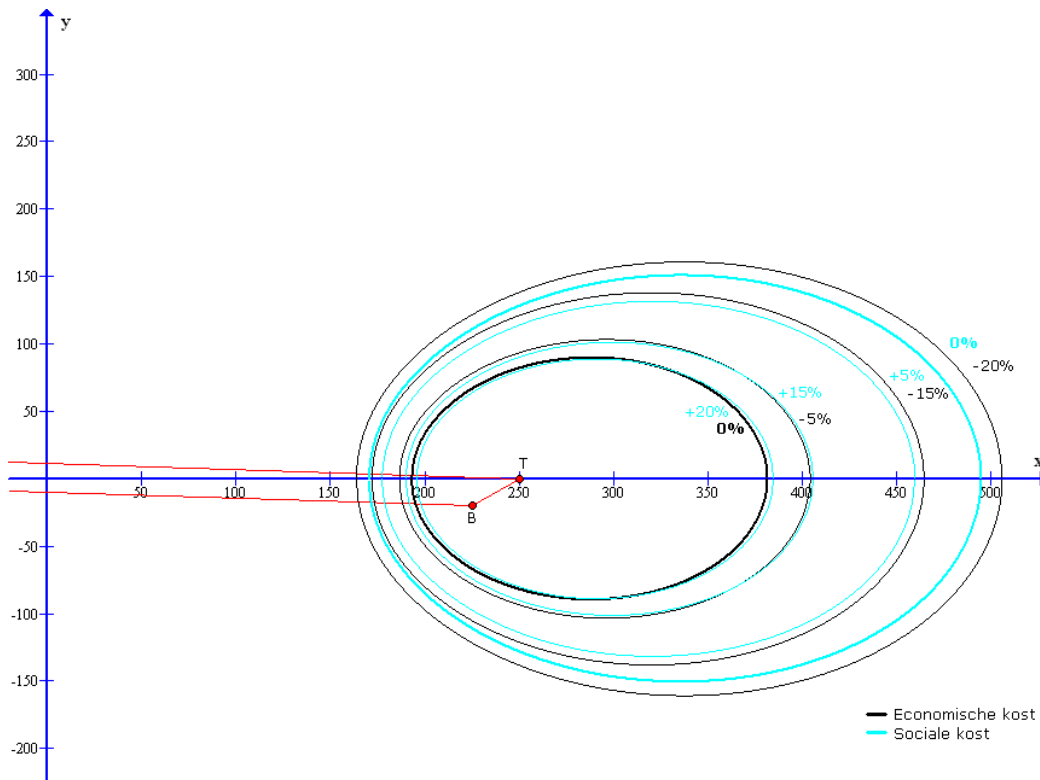
Indien bestemming B gepositioneerd zou zijn in het vijfde snijpunt (S_5), is het multimodaal binnenvaartvervoer energetisch even voordelig als het rechtstreeks wegvervoer, maar genereert het een economisch verlies van 25%.

Voor de hierboven besproken vijf snijpunten kan geconstateerd worden dat de punten S_1 en S_2 energetisch het efficiëntst zijn, gezien in beide punten 25% energie kan bespaard worden via het multimodaal binnenvaartvervoer. De optimale locatie op basis van het economisch vergelijkingscriterium is het punt S_1 . Indien B in S_1 gelegen is, zal het multimodaal vervoer economisch even voordelig zijn als het unimodaal vervoer.

8.10 Vergelijking economisch en maatschappelijk haalbaarheidsmodel aan de hand van equiprofitlijnen

Deze paragraaf geeft de relatieve equiprofitlijnen weer horende bij het economisch en maatschappelijk haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer. Analoog aan de vorige twee paragrafen kan op deze wijze gelijktijdig onderzocht worden op welke locaties een bepaald procentueel voordeel gerealiseerd wordt vanuit maatschappelijk oogpunt dat gepaard gaat met bijvoorbeeld een specifiek procentueel verlies vanuit economisch standpunt of omgekeerd.

Figuur 40 toont de relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en maatschappelijk (blauwkleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer voor het beschreven voorbeeld. De zwarte equiprofitlijn van 0% geeft opnieuw de situatie weer waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer economisch even voordelig zijn, terwijl de blauwkleurige equiprofitlijn van 0% de situatie toont waarbij zowel uni- als multimodaal vervoer maatschappelijk of sociaal gezien even rendabel zijn. Bij het analyseren van deze figuur valt op dat de haalbaarheidsgebieden en equiprofitlijnen voor beide vergelijkingscriteria nagenoeg overlappen.



Figuur 40: Voorstelling van de positieve en negatieve relatieve equiprofitlijnen voor het economisch (zwartkleurig) en maatschappelijk (blauwkleurig) haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer in de beschouwde illustratie. De equiprofitlijnen voor beide criteria overlappen nagenoeg met elkaar. Indien B nu bijvoorbeeld gelegen zou zijn op de rand van het economisch haalbaarheidsgebied corresponderend met 0%, dan wordt op basis van zowel de interne als externe kosten een winstvoordeel gerealiseerd van ongeveer 20% bij het multimodaal binnenvaartvervoer.

In deze situatie is B, zoals reeds eerder gezien, zowel economisch als maatschappelijk haalbaar. Maar men kan nagaan wat de economische en maatschappelijke impact is wanneer de locatie van B wijzigt. Indien bestemming B nu bijvoorbeeld gelegen zou zijn op de rand van het economisch haalbaarheidsgebied corresponderend met 0%, dan wordt op basis van zowel de interne als externe kosten een winstvoordeel gerealiseerd van ongeveer 20% indien het multimodaal binnenvaartvervoer wordt toegepast. Vanuit maatschappelijk oogpunt is het dus veel interessanter om het multimodaal traject toe te passen ook al zijn beide vervoerswijzen economisch even voordelig. Indien de klant verder weg gepositioneerd is, bijvoorbeeld op de rand van het maatschappelijk haalbaarheidsgebied corresponderend met +5%, genereert de vervoersgebruiker een economisch verlies van 15% en een maatschappelijk voordeel van 5%.

Wanneer een onderneming zich enkel verantwoordelijk acht voor de totale logistieke kosten, zal hij louter gebruik maken van het multimodaal vervoerssysteem indien de klant gevestigd is binnen de economische haalbaarheid van multimodaal vervoer of dus binnen het zwartkleurig eivormig gebied van 0%. Indien de onderneming ook rekening wil houden met de externe kosten van vervoer, zal hij multimodaal vervoer ook toepassen voor klanten die zich buiten het economisch haalbaarheidsgebied bevinden. Zo is het maatschappelijk gezien nog steeds voordeliger om de goederen te transporteren per binnenschip in de regio tussen het zwarte en blauwe haalbaarheidsgebied horende bij 0%.

Hoofdstuk 9: Algemene haalbaarheidsgebieden voor multimodaal vervoer in geval van meerdere eindterminals

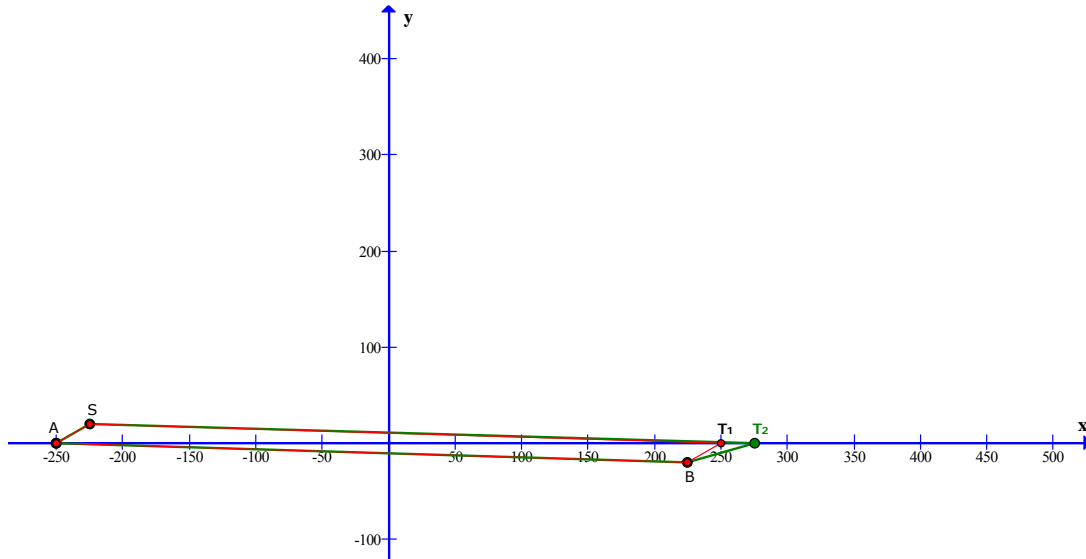
9.1 Inleiding

Tot hiertoe werd steeds verondersteld dat bij het multimodaal vervoerssysteem slechts één combinatie van overslagterminals voorhanden was. Zoals reeds eerder aangehaald is deze assumptie in de meeste situaties aannemelijk, vermits de beperkte geografische verspreiding van terminals weinig ruimte biedt inzake de keuze van terminals. Echter het kaaimurenprogramma van de Vlaamse overheid biedt een financiële stimulans voor de bouw van laad- en losinstallaties, waardoor het aantal terminals in België de laatste jaren is toegenomen. Indien gekozen wordt voor het multimodaal transportalternatief kan men bijgevolg geconfronteerd worden met de keuze tussen meerdere overslagterminals in de omgeving van de eindbestemming. In dit hoofdstuk zal de keuze van twee mogelijke eindterminals worden geanalyseerd, waarbij voortgebouwd wordt op de illustratie beschreven in het vorig hoofdstuk. Wanneer voor beide terminals de haalbaarheid van multimodaal vervoer bepaald is, zal aan de hand van relatieve equiprofitlijnen het winst- of verliespercentage onderzocht worden van de twee mogelijke eindterminals.

9.2 Situatieschets

Om de haalbaarheid van multimodaal vervoer voor beide eindterminals weer te geven, zal verder gebouwd worden op het beschreven voorbeeld in het vorig hoofdstuk. Afhankelijk van het gekozen vergelijkingscriterium, namelijk de economische, sociale, energetische of ecologische kost, zal de haalbaarheidsfiguur verschillen. Ter illustratie zal hieronder enkel het economisch haalbaarheidsgebied beschouwd worden. Uiteraard kan de methode ook toegepast worden op de overige kostencriteria.

In dit voorbeeld bestaat geografisch de mogelijkheid om een nieuwe overslagterminal (T_2) 25 km verder te plaatsen dan de locatie van de oude terminal (T_1). De goederen kunnen dus via twee verschillende multimodale trajecten vervoerd worden van vertrekplaats A naar bestemming B. In het eerste multimodale traject wordt gebruik gemaakt van de overslagpunten S en T_1 , terwijl het tweede traject gebruik maakt van terminal S en de nieuwe terminal T_2 . Het hoofdtransport in beide trajecten wordt nog steeds uitgevoerd door het binnenschip. In traject één vindt het hoofdtransport plaats tussen S en T_1 en in traject twee tussen S en T_2 . Beide multimodale vervoerstrajecten kunnen op volgende wijze grafisch worden weergegeven:



Figuur 41: Grafische voorstelling van de keuze tussen twee eindterminals in het multimodaal traject, namelijk T_1 en T_2 . A is de vertrekplaats, B de eindbestemming. S , T_1 en T_2 zijn de overslagterminals van het multimodaal traject. Voor de overslagterminals dient de keuze gemaakt te worden tussen ofwel S en T_1 ofwel S en T_2 .

In tegenstelling tot het eerste multimodaal traject wordt in het tweede traject verondersteld dat de nieuwe terminal T_2 gelegen is langs een autosnelweg, waardoor de kost van het natransport per tonkm van T_2 naar B licht goedkoper wordt. Indien een terminal zich dicht bevindt bij een autosnelweg, bestaat immers de mogelijkheid dat het natransport goedkoper wordt door onder andere het lagere brandstofverbruik op deze autosnelweg dan bij een ring- of binnenweg. Indien bijvoorbeeld wordt gekozen voor een verlaging van 0,05 EUR/tonkm, wordt een waarde van 0,073 EUR/tonkm bekomen voor het multimodaal natransport in het tweede traject. Om beide multimodale vervoerstrajecten te vergelijken met elkaar en met het unimodaal traject, wordt voorts verondersteld dat de kost van het voor- en hoofdtransport en van de overslag in S , T_1 en T_2 in het nieuwe traject gelijk zijn aan deze berekend in het voorbeeld van vorig hoofdstuk. Uiteraard wordt ook dezelfde kost voor het unimodaal wegvervoer gehanteerd.

9.3 Vergelijking tussen multimodaal traject 1 en 2

Om het nieuwe economisch haalbaarheidsgebied te bepalen voor het tweede multimodaal traject, dient verhouding p en q berekend te worden.

De **verhouding p** wordt in het economisch haalbaarheidsgebied voor het tweede multimodaal traject als volgt:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{0,073 \text{ EUR/tonkm}}{0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 2,35$$

De **verhouding q** wordt in het economisch haalbaarheidsgebied voor het tweede multimodaal traject als volgt:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{9,27 \text{ EUR/ton}}{525\text{km} \times 0,031 \text{ EUR/tonkm}} = 0,57$$

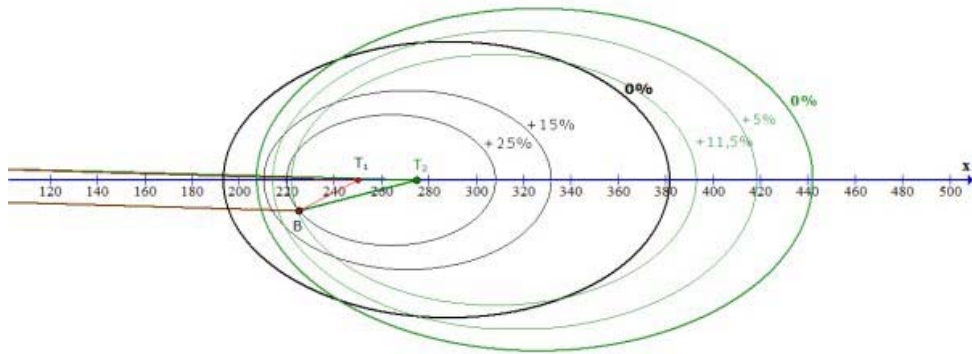
Indien deze waarden worden ingevuld in de wiskundige vergelijking die hoort bij $p > 1$ en $q < 1$ waarbij $a = 262,5$ wordt de volgende vergelijking bekomen:

$$y = \pm \left(-\left((x - 262,5)^2 \right) + \left(\frac{4 \cdot (262,5^2) \cdot (0,57^2)}{(2,35^2 - 1)} \right) \cdot \left(\frac{x}{262,5 \cdot (0,57^2)} - 1 \right) \right) + \left(\frac{8 \cdot (262,5^2) \cdot (2,35^2) \cdot (0,57^2)}{((2,35^2 - 1)^2)} \right) \cdot \left(1 - \left(1 + \left(\frac{2,35^2 - 1}{2,35^2} \right) \cdot \left(\frac{x}{262,5 \cdot (0,57^2)} - 1 \right) \right)^{1/2} \right) \right)^{1/2}$$

Het effect van de nieuwe terminal T_2 op het economisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer is grafisch zichtbaar in figuur 42. De breakeven economische haalbaarheidsfiguur van het eerste multimodaal traject en van het tweede multimodaal traject wordt aangeduid door respectievelijk het zwartkleurig gebied horende bij 0% en het groenkleurig gebied horende bij 0%. Bij dit tweede gebied werd de y-as zodanig verschoven dat deze as de middelloodlijn wordt van het lijnstuk $[A; T_2]$. Om de vergelijking mogelijk te maken werden de haalbaarheidsfiguren van beide multimodale vervoerstrajecten als dusdanig samengevoegd in één enkele figuur. Uit figuur 42 wordt duidelijk dat de economische haalbaarheid van het tweede multimodaal traject groter is ten opzichte van het eerste traject dankzij het voordeliger natransport.

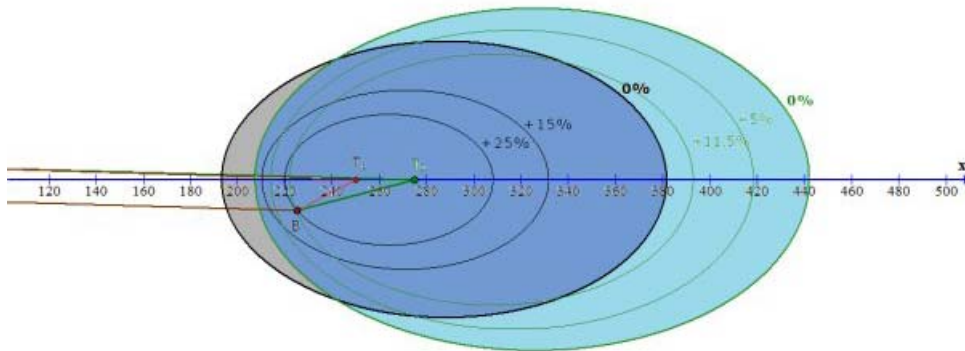
Aan de hand van relatieve equiprofitlijnen kan simultaan nagegaan worden in welke regio en bij welke eindterminal een bepaald economisch procentueel kostenvoordeel wordt gerealiseerd. De positieve relatieve equiprofitlijnen voor het eerste multimodaal traject via T_1 (zwartkleurig) en het tweede traject via T_2 (groenkleurig) zijn zichtbaar in figuur 42.

De zwarte equiprofitlijn (+25%) die gaat door het punt B geeft aan dat de multimodale vervoerswijze via terminal T_1 25% winst genereert ten opzichte van unimodaal vervoer. Indien geopteerd wordt voor het tweede multimodaal traject, ontstaat er slechts een winstvoordeel van 11,5% in vergelijking met het rechtstreeks vervoer. Hieruit kan vastgesteld worden dat indien de klant zou gevestigd zijn in B, het multimodaal traject via terminal T_1 voordeliger is dan het alternatief, namelijk het traject via terminal T_2 .



Figuur 42: Voorstelling van de breakeven figuur en de positieve relatieve equiprofitlijnen voor het economisch haalbaarheidsgebied voor het eerste multimodaal traject via T_1 (zwartkleurig) en het tweede traject via T_2 (groenkleurig). Indien de klant zou gevestigd zijn in B, genereert het multimodaal traject via T_1 25% winst en via T_2 slechts 11,5% ten opzichte van unimodaal vervoer. Van alle transportalternatieven, met name unimodaal vervoer en multimodaal vervoer via T_1 en T_2 , is het multimodaal traject via T_1 bijgevolg de voordeligste transportwijze.

Het relevante haalbaarheidsgebied voor de twee multimodale trajecten kan opgesplitst worden in drie deelgebieden, namelijk een gebied waar het eerste multimodaal traject via T_1 haalbaar is en het tweede traject via T_2 niet, een tweede gebied waarbij beide trajecten haalbaar zijn en een derde gebied waar het tweede traject haalbaar is en het eerste traject niet. Het resultaat van deze drie deelgebieden wordt getoond in figuur 43. Het eerste deelgebied wordt aangeduid door een grijze kleur, het tweede door een donkerblauwe en het derde door een lichtblauwe kleur.



Figuur 43: Voorstelling van de opsplitsing van het haalbaarheidsgebied voor de twee multimodale trajecten in drie deelgebieden. Indien B gelegen is in het grijze haalbaarheidsgebied, zal het multimodaal vervoer via T_1 economisch het voordeligst zijn. Indien B zich bevindt in het donkerblauwe haalbaarheidsgebied, zijn beide multimodale trajecten haalbaar. Indien B gepositioneerd is in het lichtblauwe haalbaarheidsgebied, zal het multimodaal vervoer via T_2 economisch het meest gunstig zijn.

Indien eindbestemming B in het grijze haalbaarheidsgebied is gepositioneerd, dan zal het multimodaal vervoer via T_1 economisch het voordeligste traject zijn. Het multimodaal vervoer via

T_2 zou dan een economisch verlies opleveren. Indien eindbestemming B in het donkerblauwe haalbaarheidsgebied ligt, is zowel het eerste als het tweede traject economisch haalbaar, maar niet noodzakelijk even voordelig. Indien de klant gevestigd is in het lichtblauwe haalbaarheidsgebied, komt de voordeligste economische transportwijze overeen met het multimodaal vervoer via T_2 .

Uit het voorgaande kan besloten worden dat wanneer de twee multimodale alternatieven economisch worden vergeleken met elkaar, de haalbaarheid van multimodaal vervoer via T_2 groter blijkt te zijn. Het vervoer via het nieuwe multimodaal traject naar klanten die gepositioneerd zijn in de lichtblauwe zone is als dusdanig voordeliger dan het rechtstreeks wegvervoer en het multimodaal traject via T_1 . Aangezien de lichtblauwe zone een groter gebied afbakt ten opzichte van de grijze zone, biedt het plaatsen van de tweede terminal een interessante opportuniteit voor een grotere toepassing van multimodaal vervoer.

Hoofdstuk 10 Toepassing bij Transport Gheys N.V.

10.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal het wiskundig haalbaarheidsmodel aan de hand van een toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V. praktisch geïllustreerd worden. Eerst volgt er een voorstelling van de transportonderneming en een beschrijving van het geanalyseerde traject. Hierna wordt aan de hand van de modellen in hoofdstuk acht de haalbaarheid onderzocht van het multimodaal traject op basis van de economische, sociale, energetische en ecologische kost. Tenslotte zal via absolute equiprofitlijnen gelijktijdig onderzocht worden hoeveel het economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch kostenvoor- of nadeel bedraagt in absolute termen indien getransporteerd wordt via het multimodaal vervoer.

10.2 Voorstelling Transport Gheys N.V.

Transport Gheys N.V. is een familiebedrijf dat al meer dan 100 jaar actief is in de transportwereld. In 1896 ving Sooi Gheys transportwerkzaamheden aan tussen Mol en Brussel. De zaak evolueerde met zijn zoon Louis Gheys van pakjesdienst tot goederentransport. Onder leiding van kleinzoon Frans Gheys ontstond in 1952 uiteindelijk Transport Gheys N.V. Het bedrijf is nog steeds in handen van de familie. De dagelijkse leiding is in handen van Dirk Gheys en Erik Vande Paer. Luc Gheys is verantwoordelijk voor de garage, Carl Gheys beheert de personeelsafdeling en Bert Gheys is de deskundige inzake informatica. Momenteel telt de transportonderneming 300 medewerkers in de 8 vestigingen te Mol, Beringen en Meerhout.

Vanaf 1960 verruimde het werkgebied zich tot heel West-Europa, met de focus op de Benelux, Duitsland, Denemarken en Italië. De jaren '90 worden gekenmerkt door de oprichting van enkele nieuwe vestigingen, gekoppeld aan zowel een expansie van de activiteiten als de infrastructuur. Op korte tijd werd een snelle ontwikkeling van logistiek gerealiseerd en uit deze uitbreiding ontstond Groep Gheys.

Transport Gheys N.V. neemt het vervoer van verschillende type goederen voor zijn rekening, zoals plastics, zand, zink, ramen, maar ook droge voeding en meubelen.

Naast het aanbieden van transportdiensten, voert Transport Gheys N.V. ook logistieke operaties uit. Met de logistieke divisie willen ze een toegevoegde waarde betekenen voor de klant door een deel van het logistieke proces voor hun rekening te nemen. Voorbeelden hiervan betreffen de 35.000m² overdekte opslagruimtes en 60.000m² in open lucht voor de op- en overslag van goederen. Op die manier kan de klant zijn voorraadbeheer aan de transportfirma toevertrouwen.

Transport Gheys N.V. beschikt tevens over twee kanaalterminals langs het kanaal Dessel-Kwaadmechelen in Mol, aangevuld met opslagmogelijkheden voor containers, verpakte goederen, stuk- en bulkgoederen. De verpakte of stukgoederen worden behandeld op de eigen terminal en kunnen rechtstreeks gestockeerd worden in het magazijn. Geladen containers kunnen ook gestockeerd worden en/of rechtstreeks uitgeleverd worden naar de bestemming. Voor bulkgoederen in containers wordt gebruik gemaakt van een tweede kanaalterminal die verbonden is met een silopark van 55 silo's. De desbetreffende terminals zijn zichtbaar op onderstaande foto's. Bijlage 7 toont tevens een kaart die de geografische positionering van deze terminals verduidelijkt onder de benaming "Groep Gheys".



Figuur 44: Kanaalterminal voor verpakte of stukgoederen van Transport Gheys N.V. in Mol (Gheys, 2009)



Figuur 45: Kanaalterminal voor bulkgoederen van Transport Gheys N.V. in Mol (Gheys, 2009)

Door de unieke combinatie van terminal en opslagruimte op eenzelfde locatie wordt wegtransport tussen het binnenschip en de opslagplaats vermeden. Ook wordt het nadeel van congestie in en rond de grote havens voorkomen. Door de ruime, reeds vergunde, uitbreidingsmogelijkheden, kan bovendien flexibel ingespeeld worden op de noden van de klant. De containers kunnen immers op vraag van de klant zeer snel worden geleverd vanuit de terminal in Mol. Door de toenemende congestie speelt dit zeker in het voordeel van Transport Gheys N.V..

Voor het transport via de binnenvaart wordt samengewerkt met de binnenvaartonderneming 'De Kimpe'. Deze voorziet twee schepen met een flexibel vaarschema die een 8 tal afvaarten per week verzorgen. Sinds december 2007 gebruikt Transport Gheys N.V. het binnenschip 'Mustang' voor het containertransport tussen de Zeehaven van Antwerpen en de terminal in Mol. Deze kan 54 TEU vervoeren in één reis en op het Albertkanaal zelfs 81. Volgende foto's tonen het binnenschip 'Mustang'.



Figuur 46: Het binnenschip 'Mustang' bij Transport Gheys N.V. (Gheys, 2009)

De naam "Gheys" is verbonden aan een superieure service, flexibele oplossingen en een klantgerichte aanpak. De troeven van Transport Gheys N.V. kunnen samengevat worden in de volgende vijf elementen:

- **Kwaliteit en know-how.** Drie generaties ervaring in transport zijn gekoppeld aan hoogstaande kwaliteit: ISO9001, SQAS-keuring en GMP-certificaat. Met het moderne wagenpark en de ruime infrastructuur garandeert de transportfirma zowel het comfort voor de chauffeurs als de service voor klanten.
- **Service en flexibiliteit.** Een perfecte dienstverlening op klantgemaakt is het doel. Vandaar is Transport Gheys N.V. ook 24u op 24u bereikbaar met een zeer goede organisatie en een flexibele instelling. Daarnaast kan de klant bij hen terecht voor alle douaneformaliteiten, import en export.
- **Teamwork en engagement.** De combinatie van transport en logistiek binnen één en hetzelfde bedrijf vormt een groot voordeel. De klant kan bovendien rekenen op een team dat verantwoordelijkheid neemt en engagement uitstraalt.
- **Veiligheid en milieu.** Alle voertuigen zijn uitgerust met boordcomputer, GPS en GSM, waardoor de status en locatie van de vrachten permanent kunnen opgevolgd worden. Dit communicatiesysteem biedt de klant de mogelijkheid om op ieder moment te controleren waar de goederen zich bevinden. De hieraan gekoppelde installatie tegen diefstal verhoogt de veiligheid van de chauffeur, lading en het voertuig. Daarnaast wordt het voeren van een milieuvriendelijke politiek nagestreefd. Zo werd er voor de interne reiniging van de bulkwagens de spoelhal, Belgian Cleaning Center (BCC), te Beringen geopend. Met behulp van een gedetailleerde studie van het VITO beantwoordt deze installatie aan de strengste milieunormen.
- **Samenwerkingsverbanden.** Om vlot in te spelen op nieuwe arbeidsbehoeftes wordt samengewerkt met interimkantoor Intertime.

10.3 Beschrijving toepassing

Het theoretisch wiskundig haalbaarheidsmodel zal aan de hand van een concrete toepassing bij Transport Gheys N.V. geïllustreerd worden. In het beschouwde traject worden huishoudtoestellen vervoerd in containers van 40 voet lang, 8 voet breed en 8,5 voet hoog. De maateenheid is 2TEU en de lengte hiervan komt overeen met 12 meter. Aangezien het geanalyseerde traject enkel betrekking heeft op het vervoer van 2TEU, worden verderop de kosten per 2TEU weergegeven. Voor de berekening van zijn kost hanteert Transport Gheys N.V. een tarief van 50 EUR/uur. Door de welbekende crisis is dit bedrag niet altijd even courant en zullen de kosten van transport lager liggen.

Vooraleer het rechtstreeks transporttraject wordt vergeleken met het multimodale traject, dient nog opgemerkt te worden dat ieder traject zowel heen- als retourtransport omvat. Hierbij kan het gaan om export of import van containers. Bij export wordt een lege container getransporteerd naar de eindbestemming, waar de container wordt geladen om nadien terug vervoerd te worden naar de vertrekplaats. In het geval van import vindt het omgekeerde plaats, er zal een geladen container getransporteerd worden naar de klant, waar de container gelost wordt om hierna ongeladen terug vervoerd te worden naar de vertrekplaats.

Het **rechtstreeks transporttraject** vindt plaats over de weg en vertrekt vanuit de Zeehaven in Antwerpen. Hier komen containers toe op meerdere kaaien, meestal op Kaai 730 en Maersk K1742. De eindbestemming is in Lommel en de afstand bedraagt 80 km.

De totale waarde van het rechtstreeks transporttraject bedraagt momenteel ongeveer 275 EUR voor het vervoer van 2TEU. Deze kost is het resultaat van verschillende deelactiviteiten die komen kijken bij het wegvervoer. De desbetreffende activiteiten, de tijd die ze in beslag nemen en de geassocieerde kost worden hieronder samengevat:

Activiteiten	Kosten
Ophalen van een lege (of volle) container in Antwerpen (1 uur)	25 EUR
Transport van Antwerpen naar Lommel (1,75 uur)	87,5 EUR
Laden (of lossen) van container in Lommel (1,5 uur)	50 EUR
Transport van Lommel naar Antwerpen (1,75 uur)	87,5 EUR
Afzetten van een volle (of lege) container in Antwerpen (1 uur)	25 EUR

In het **multimodaal transporttraject** vindt het hoofdtransport plaats per binnenschip vanuit de Zeehaven in Antwerpen richting de terminal in Mol. Er dient hierbij vermeld te worden dat er geen

voortransport is bij Transport Gheys N.V., aangezien het beschouwde vertrekpunt de terminal is in Antwerpen. De binnenvaartroute verloopt van Antwerpen via het Albertkanaal tot aan de sluis van Kwaadmechelen en gaat verder via het kanaal Dessel-Kwaadmechelen tot aan de overslagterminal in Mol. In bijlage 7 kan deze vaarroute teruggevonden worden. Dit traject bedraagt ongeveer 65 km en de vaartijd 8 uur. De kostprijs voor het vervoer van 2TEU per binnenschip bedraagt 70 EUR. Aangekomen in de terminal in Mol zullen de containers worden overgeladen met behulp van een reachstacker. Dit heftoestel kan zowel 20 als 40 voet containers stapelen, laden op of lossen van opleggers en het binnenschip. Voor iedere container zal de reachstacker steeds twee bewegingen uitvoeren, met name het verplaatsen van de container van het schip op de kade en vervolgens van de kade op de vrachtwagen. Voor het retourtransport is de handeling net omgekeerd, namelijk het verplaatsen van de container van de vrachtwagen op de kade en nadien van de kade op het schip. De overslag neemt slechts een half uur in beslag en kost 15 EUR per beweging. Figuren 43 en 44 geven het proces weer van het laden en lossen van het binnenschip 'Mustang' en van de vrachtwagen met behulp van de reachstacker.



Figuur 47: Lossen van het binnenschip bij Transport Gheys N.V. in Mol (Promotie Binnenvaart Vlaanderen, 2008)



Figuur 48: Laden van de vrachtwagen bij Transport Gheys N.V. in Mol (Gheys, 2009)

Na het hoofdtransport, dient er ook een natransport gerealiseerd te worden. Dit gebeurt via de vrachtwagen vanuit de terminal in Mol naar de klant in Lommel, met een afstand van slechts 15 km. Dit transport neemt ongeveer 25 minuten in beslag en heeft een waarde van 20,83 EUR. Tenslotte zal bij de bestemming de container geladen of gelost worden, naargelang het gaat om export of import. Hieraan zal ook een bedrag van 50 EUR toegekend worden.

Analoog aan het unimodale traject, beslaat het volledige multimodale traject zowel het heen- als retourtransport. De totale kostprijs van het multimodaal transport per binnenschip bedraagt op het huidige moment ongeveer 291,66 EUR voor 2TEU.

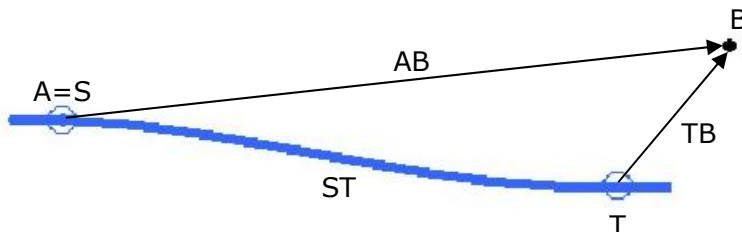
Het totaalbedrag kan opgesplitst worden in volgende kostencomponenten:

Activiteiten	Kosten
Hoofdtransport van Antwerpen naar Mol per binnenschip (8 uur)	70 EUR
Overslag in terminal Mol (1/2 uur)	30 EUR
Natransport van Mol naar Lommel (25 min.)	20,83 EUR
Laden (of lossen) van container in Lommel (1,5 uur)	50 EUR
Natransport van Lommel naar Mol (25 min.)	20,83 EUR
Overslag in terminal Mol (1/2 uur)	30 EUR
Hoofdtransport van Mol naar Antwerpen per binnenschip (8 uur)	70 EUR

De afstanden samen met de coördinaten worden in onderstaande tabel weergegeven en zijn uiteraard identiek voor de vier vergelijkingscriteria.

Afstanden	in kilometer
AB	80 km
AT	65 km
TB	15 km
ST	65 km
Coördinaten	
-a	-32,5
a	32,5

Zoals reeds eerder aangehaald vindt in het traject slechts éénmaal overslag plaats. Er is dus geen voortransport, aangezien het beschouwde vertrekpunt de Zeehaven in Antwerpen is. In de hierboven beschreven toepassing is A=S de vaste vertrekplaats, met name de Zeehaven in Antwerpen, T de overslagterminal in Mol en B de variabele eindbestemming, in dit geval Lommel. Deze situatie wordt voorgesteld op figuur 49.



Figuur 49: Grafische voorstelling van het unimodaal (AB) en multimodaal vervoer (ST, TB) bij Transport Gheys N.V. Aangezien er geen voortransport is, is A=S. A is de vaste vertrekplaats, in dit geval de Zeehaven in Antwerpen, T de overslagterminal in Mol en B de veranderlijke eindbestemming, in dit geval Lommel.

Uiteraard heeft Transport Gheys N.V. ook nog andere klanten die hij bevoorraadt vanuit de terminal in Mol, met name één in Balen (non-ferro goederen), drie in Overpelt (non-ferro goederen, huishoudtoestellen en bouwmaterialen), één in Bocholt (voeding), één in Bree (constructiegoederen), één in Kaulille (fietsen) en één in Mol (glas).

In de volgende paragraaf zal de haalbaarheid van multimodaal vervoer op basis van de economische kost uitgewerkt worden.

10.4 Uitwerking toepassing op basis van de economische kost

In dit onderdeel zal de economische kost van het multimodaal traject vergeleken worden met het unimodaal traject. Om de complexiteit van het haalbaarheidsmodel in te perken, zal de economische kost enkel rekening houden met de transport- en overslagkost. In deze toepassing omvat de variabele transportkost de kost van onder andere het personeel, de brandstof en het onderhoud. De vaste transportkost voor het unimodaal wegvervoer bestaat uit de kost van het ophalen en het terug afzetten van de container in Antwerpen. In het multimodale traject zal naast de variabele transportkost voor het natransport ook nog vaste kosten, met name de overslagkost in Mol en de transportkost van het binnenschip, gerekend worden.

Alvorens het wiskundig model kan aangewend worden om het economisch haalbaarheidsgebied te bepalen voor multimodaal vervoer per binnenschip, dienen de twee kostenverhoudingen, namelijk p en q , berekend te worden.

Aangezien voor verhouding p het theoretisch haalbaarheidsmodel kosten hanteert die uitgedrukt worden in EUR/tonkm en daar de kostengegevens van Transport Gheys N.V. per 2TEU werden bepaald, zullen de kosten worden omgerekend naar EUR/2TEUkm.

De **verhouding p** wordt in de economische haalbaarheid als volgt gedefinieerd:

p : Verhouding van de variabele transportkost in EUR/2TEUkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

De variabele transportkost van het multimodale natransport van Mol naar Lommel (k) bedraagt:

$$k = \frac{20,83 \text{ EUR}/15 \text{ km}}{2 \text{ TEU}} = 1,39 \text{ EUR}/2\text{TEUkm}$$

De variabele transportkost van het unimodaal transport van Antwerpen naar Lommel (c) bedraagt:

$$c = \frac{87,5 \text{ EUR}/80\text{km}}{2 \text{ TEU}} = 1,09 \text{ EUR}/2\text{TEUkm}$$

De verhouding p is dan:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{1,39 \text{ EUR}/2\text{TEUkm}}{1,09 \text{ EUR}/2\text{TEUkm}} = 1,27$$

Voor de verhouding q werd de kost in het wiskundig theoretisch gedeelte uitgedrukt in EUR/ton. Daar de kosten van Transport Gheys N.V. berekend werden per 2TEU zal ook hier de kost worden omgerekend naar EUR/2TEU.

De **verhouding q** kan in de economische haalbaarheid als volgt worden gedefinieerd:

q: Verhouding van de bijkomende vaste transportkost in EUR/2TEU van Antwerpen naar Mol voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2am) waarbij m gelijk is aan de variabele transportkost in EUR/2TEUkm van Antwerpen naar Mol en 2a gelijk is aan de afstand tussen Antwerpen en Mol in km.

De vaste transportkost die voorkomt in het unimodaal traject, met name het ophalen en het terug afzetten van de container in Antwerpen (2 x 25 EUR), zal in mindering worden gebracht van de vaste transportkost van het multimodaal traject van Antwerpen naar Mol heen en terug. De vaste kost voor het laden of lossen van de container bij de klant (50 EUR) ontstaat bij beide vervoerswijzen en kan dus geëlimineerd worden.

Dit betekent dat de vaste transportkost voor multimodaal vervoer van Antwerpen naar Mol (heen en terug) in EUR/2TEU (v_m) kan weergegeven worden door:

$$v_m = 70 + 30 + 70 + 30 = 200 \text{ EUR}/2\text{TEU}$$

De vaste transportkost voor het rechtstreeks wegvervoer (heen en terug) in EUR/2TEU (C_u):

$$C_u = 2 \times 25 = 50 \text{ EUR}/2\text{TEU}$$

Vermits verhouding q gedefinieerd is voor één enkele rit, wordt volgende waarde voor d bekomen:

$$d = \frac{v_m - C_u}{2} = \frac{200 \text{ EUR}/2\text{TEU} - 50 \text{ EUR}/2\text{TEU}}{2} = 75 \text{ EUR}/2\text{TEU}$$

Gezien volgens Transport Gheys N.V. de variabele transportkost van Antwerpen naar Mol bij benadering 1,25 EUR/2TEUkm bedraagt (m), wordt de vaste transportkost van Antwerpen naar Mol met unimodaal vervoer in EUR/2TEU (2am) als volgt:

$$2am = 65 \text{ km} \times 1,25 \text{ EUR/2TEUkm} = 81,25 \text{ EUR/2TEU}$$

De verhouding q wordt dan:

$$q = \frac{d}{2am} = \frac{75 \text{ EUR/2TEU}}{81,25 \text{ EUR/2TEU}} = 0,92$$

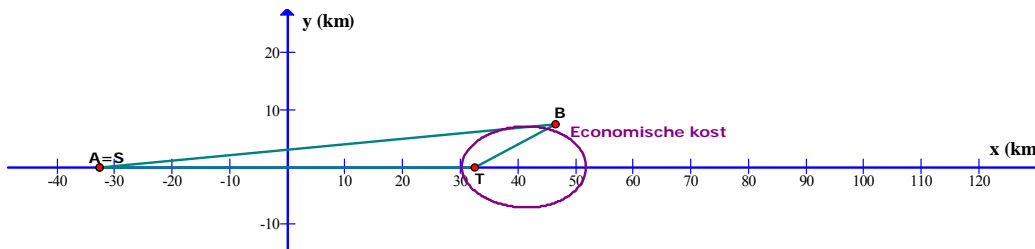
De verschillende economische kostenelementen en verhoudingen worden samengevat in onderstaande tabel.

Economische kostenelementen	Waarde
k	1,39 EUR/2TEUkm
c	1,09 EUR/2TEUkm
v _m (heen en terug)	200 EUR/2TEU
C _u (heen en terug)	50 EUR/2TEU
m	1,25 EUR/2TEUkm
d=(v _m -C _u)/2	75 EUR/2TEU
Verhouding p=k/c	1,27
Verhouding q=d/2am	0,92

Aan de hand van de bekomen berekeningen, kan het economisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer uitgezet worden. Daar p>1 en q<1, wordt de volgende wiskundige vergelijking gehanteerd:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2p^2q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

Het grafisch uitzetten van bovenstaande vergelijking aan de hand van bovenstaande gegevens geeft de onderstaande voorstelling:

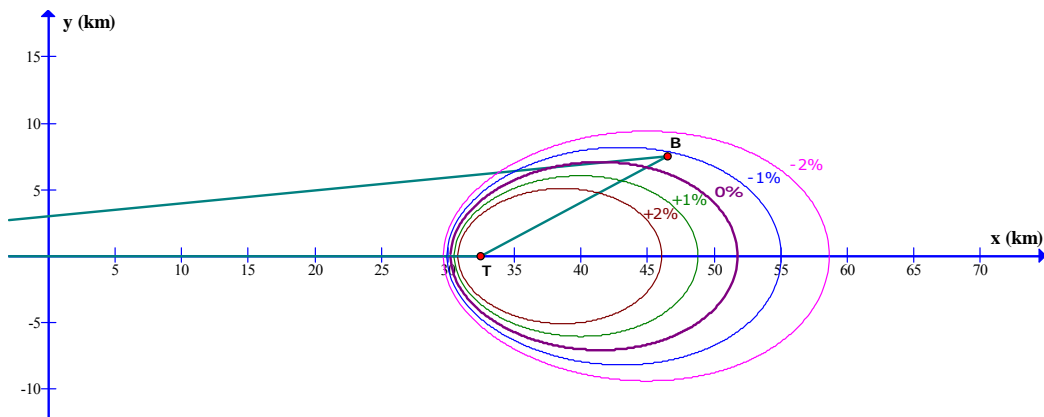


Figuur 50: Voorstelling van het breakeven haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische kost voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Aangezien er geen voortransport is, is A=S. A is de vertrekplaats, in dit geval de Zeehaven van Antwerpen, T is de overslagterminal in Mol en B is de eindbestemming in Lommel. Het unimodaal traject is voordeliger dan het multimodaal traject, gezien de bestemming B zich bevindt buiten de eivormige figuur.

Uit figuur 50 blijkt dat voor Transport Gheys N.V. het vervoer per binnenschip economisch niet rendabeler is dan het rechtstreeks vervoer via de weg, vermits bestemming B gelegen is buiten het eivormig gebied. Het transport van huishoudtoestellen zou als dusdanig voordeliger zijn indien de goederen getransporteerd worden via het unimodale transporttraject.

Aan de hand van negatieve relatieve equiprofitlijnen kan voor Transport Gheys N.V. het procentueel verlies of de procentuele meerkost onderzocht worden indien de containers via het multimodaal traject zouden vervoerd worden.

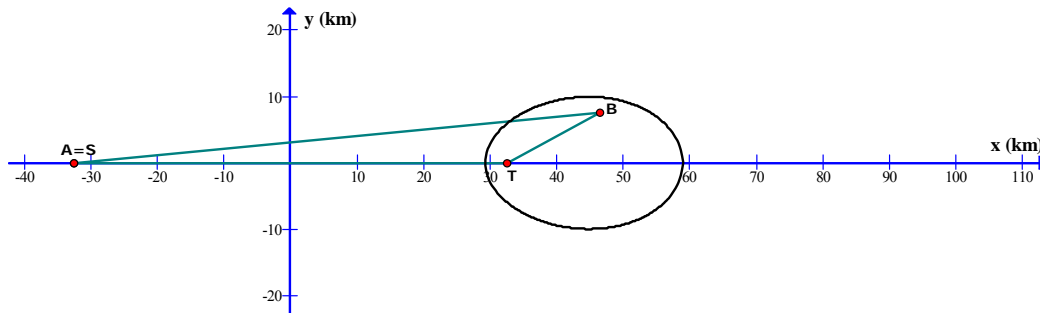
Figuur 51 toont zowel de positieve als negatieve equiprofitlijnen voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Op deze figuur wordt zichtbaar dat de transportonderneming een economisch verlies genereert van 1% indien de containers via het multimodaal binnenvaartvervoer getransporteerd worden in vergelijking met unimodaal wegvervoer. Dit is dus een zeer kleine meerkost die het transportbedrijf dient te betalen om de container per binnenschip te vervoeren. De drijfveren voor Transport Gheys N.V. om toch multimodaal te transporteren zijn onder meer het vermijden van congestie rond de Antwerpse Zeehaven en het milieuvriendelijk imago. Tevens tracht de onderneming op deze wijze klanten te overtuigen om hun goederen, die normaal in de Antwerpse haven worden opgeslagen, te verschuiven naar de terminal in Mol. Goederen die hier worden opgeslagen, worden bijna steeds verder vervoerd naar Duitsland. Voor de vervoerders die dit wegtransport voor hun rekening nemen, biedt het opslaan van de goederen in de terminal van Transport Gheys N.V. enkele voordelen: een kortere afstand, minder congestieproblemen, ruimere openingstijden en meer flexibiliteit. Dit alles leidt tot een lagere transportprijs voor deze vervoerders. Hierdoor is het voor Transport Gheys N.V. interessant om een groot volume via het binnenschip te vervoeren naar de terminal in Mol.



Figuur 51: Voorstelling van de positieve en negatieve relatieve equiprofitlijnen voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. T is de overslagterminal in Mol en B is de eindbestemming in Lommel. Het multimodaal vervoer brengt voor de transportonderneming een verlies mee van slechts 1% ten opzichte van het unimodaal vervoer.

Indien voor het unimodaal wegvervoer een extra congestiekost wordt aangerekend om uit het havengebied te komen, zal de haalbaarheid van multimodaal vervoer in deze toepassing vergroten.

Wanneer als extra kost bijvoorbeeld 20% van de unimodale vervoerskost van 1,09 EUR/2TEUkm wordt genomen voor een afstand van 15 km, wordt het unimodaal vervoer 3,3 EUR/2TEU duurder dan het multimodaal vervoer. Figuur 52 toont het effect van deze extra congestiekost op het economisch haalbaarheidsgebied voor het multimodaal binnenvaarttraject. Hieruit blijkt dat het multimodaal vervoer voor de eindbestemming B wel haalbaar wordt.



Figuur 52: Weergave van het effect op het economisch haalbaarheidsgebied voor het multimodaal binnenvaarttraject voor de toepassing bij Transport Gheys N.V. indien een extra congestiekost van 3,3 EUR/2TEU wordt aangerekend bij het rechtstreeks wegvervoer. Het multimodaal traject is in deze situatie voordeliger dan het unimodaal traject, gezien de bestemming B zich bevindt binnen de eivormige figuur.

10.5 Uitwerking toepassing op basis van de sociale kost

In deze sectie zal een vergelijking worden gemaakt tussen de multimodale en unimodale vervoerswijze op basis van de sociale kost. Uit tabel 6 in hoofdstuk 5 kan afgeleid worden dat de externe kost voor het wegvervoer gelijk is aan 0,0177 EUR/tonkm en voor het binnenschip komt deze overeen met 0,0063 EUR/tonkm. Cijfergegevens inzake de externe kost van de overslag werden niet teruggevonden in de literatuur. Deze kost kan echter verwaarloosd worden. De overslag heeft nauwelijks een impact op de maatschappij, gezien de reachstacker slechts een korte tijdsperiode operationeel is ten opzichte van de vrachtwagen of het binnenschip en geen belangrijke negatieve effecten kan veroorzaken, zoals ongevallen of congestie.

Aangezien het beschouwde traject bij Transport Gheys N.V. zowel heen- als retourtransport omvat, wordt er zowel bij uni- als multimodaal vervoer een lege en een geladen 40 voet container vervoerd tussen de haven in Antwerpen en de klant in Lommel. Het gewicht van een lege 40 voet container bedraagt 4 ton, terwijl dezelfde container geladen 31,5 ton weegt. Op deze wijze kunnen de sociale kosten uitgedrukt worden in EUR/2TEUkm voor verhouding p en in EUR/2TEU voor verhouding q. Hieronder zullen deze verhoudingen berekend worden.

Verhouding p wordt in het maatschappelijk haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele sociale kost in EUR/2TEUkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c) (heen en terug).

De variabele sociale kost in EUR/2TEUkm van het multimodaal natransport van Mol naar Lommel (k) (heen en terug) bedraagt:

$$\begin{aligned} k &= 1,39 \text{ EUR/2TEUkm} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 4 \text{ ton/2TEU} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 31,5 \text{ ton/2TEU} \\ &= 2,02 \text{ EUR/2TEUkm} \end{aligned}$$

De variabele sociale kost in EUR/2TEUkm van het unimodaal wegtransport van Antwerpen naar Lommel (c) (heen en terug) bedraagt:

$$\begin{aligned} c &= 1,09 \text{ EUR/2TEUkm} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 4 \text{ ton/2TEU} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 31,5 \text{ ton/2TEU} \\ &= 1,72 \text{ EUR/2TEUkm} \end{aligned}$$

De verhouding p is dan:

$$p = \frac{k}{c} = \frac{2,02 \text{ EUR/2TEUkm}}{1,72 \text{ EUR/2TEUkm}} = 1,17$$

Verhouding q wordt in het maatschappelijk haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste sociale kost in EUR/2TEU van Antwerpen naar Mol voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2am) (heen en terug).

De vaste sociale kost voor het unimodaal wegvervoer op de vertrekplaats A bestaat uit de interne en externe kost tijdens het ophalen en terug afzetten van de container. Cijfergegevens inzake de externe kost van deze activiteit werden niet teruggevonden in de literatuur. Deze kost kan hoogst waarschijnlijk verwaarloosd worden. De reden hiervoor is dezelfde als bij de overslagactiviteit. De vaste sociale kost voor het laden of lossen van de container bij de klant ontstaat bij beide vervoerswijzen en kan opnieuw geëlimineerd worden.

De waarde voor d wordt als volgt bekomen (heen en terug):

$$d = 150 \text{ EUR/2TEU} + 0,0063 \text{ EUR/tonkm} \times 4 \text{ ton/2TEU} \times 65\text{km} + 0,0063 \text{ EUR/tonkm} \times 31,5 \text{ ton/2TEU} \times 65\text{km} = 164,54 \text{ EUR/2TEU}$$

De vaste sociale kost in EUR/2TEU van Antwerpen naar Mol met het unimodaal transport (2am) (heen en terug) bedraagt:

$$2am = 130\text{km} \times 1,25 \text{ EUR/2TEUkm} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 4 \text{ ton/2TEU} \times 65\text{km} + 0,0177 \text{ EUR/tonkm} \times 31,5 \text{ ton/2TEU} \times 65\text{km} = 203,34 \text{ EUR/2TEU}$$

De verhouding q is dan:

$$q = \frac{d}{2am} = \frac{164,54 \text{ EUR/2TEU}}{203,34 \text{ EUR/2TEU}} = 0,81$$

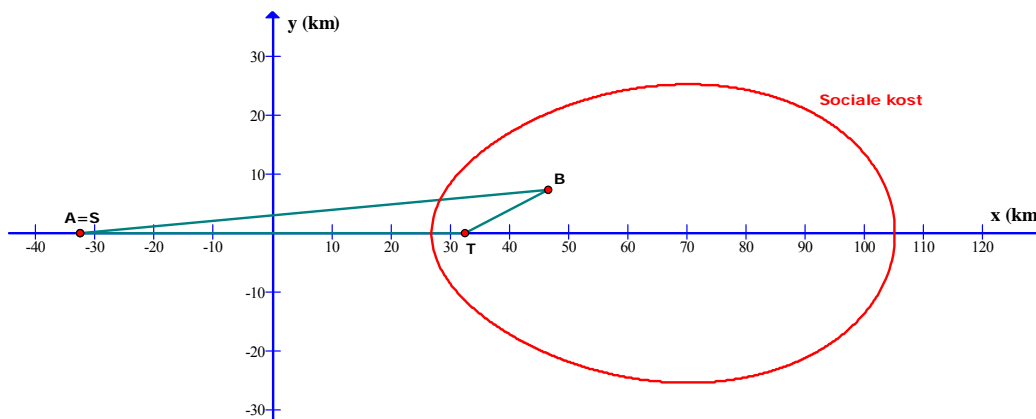
De verschillende sociale kostenelementen en verhoudingen worden samengevat in onderstaande tabel.

Sociale kostenelementen	Waarde
k	2,02 EUR/2TEUkm
c	1,72 EUR/2TEUkm
d	164,54 EUR/2TEU
2am	203,34 EUR/2TEU
Verhouding $p=k/c$	1,17
Verhouding $q=d/2am$	0,81

Aan de hand van de bekomen berekeningen, kan het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de sociale kost uitgezet worden. Er zal opnieuw gebruik gemaakt worden van volgende vergelijking:

$$Y = y^2 = -(x - a)^2 + \frac{4a^2 q^2}{p^2 - 1} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right) + \frac{8a^2 p^2 q^2}{(p^2 - 1)^2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{p^2 - 1}{p^2} \left(\frac{x}{aq^2} - 1 \right)} \right]$$

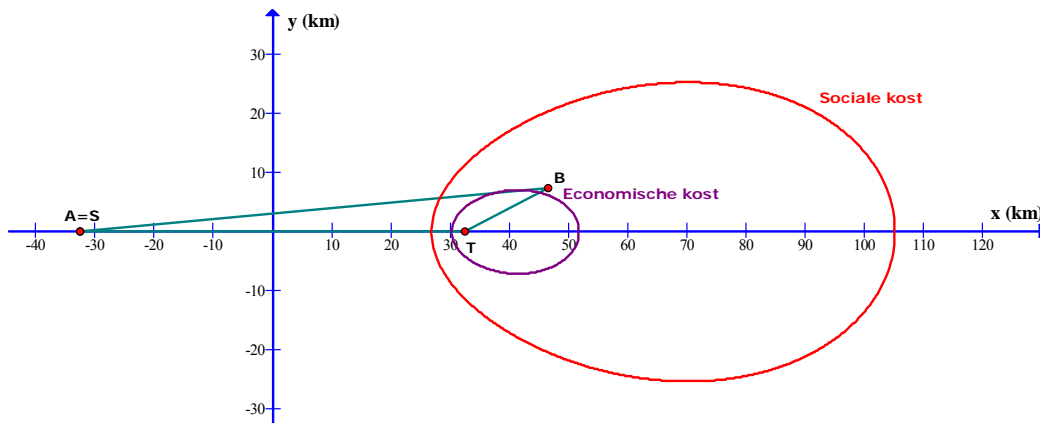
Indien dit grafisch wordt weergegeven, wordt volgende eivormige figuur verkregen.



Figuur 53: Voorstelling van het breakeven haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de sociale kost voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. In deze situatie is het multimodaal traject voordeliger dan het unimodaal traject, gezien bestemming B zich bevindt binnen het eivormig gebied.

Uit figuur 53 wordt duidelijk dat indien de externe kost wordt geïnternaliseerd, de multimodale vervoerswijze voordeliger is dan de unimodale transportwijze, aangezien B gelegen is in de eivormige figuur. Dit is niet echt verwonderlijk, daar de externe kosten van het wegvervoer substantieel hoger liggen dan deze van het binnenschip. Vanuit maatschappelijk oogpunt is het multimodaal binnenvaarttransport bijgevolg rendabeler dan het rechtstreeks wegvervoer.

Figuur 54 toont een overzicht van de haalbaarheidsgebieden op basis van de twee besproken kosten. De economische kost wordt voorgesteld door de paarskleurige figuur en de sociale kost door de roodkleurige figuur. Indien beide figuren worden vergeleken met elkaar, wordt zichtbaar dat het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer groter is op basis van de sociale kost. De internalisering van de externe kosten zou als dusdanig meer toekomstmogelijkheden bieden voor multimodaal vervoer.



Figuur 54: Voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische kost (paars) en de sociale kost (rood) voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Indien de externe kost geïnternaliseerd wordt, is de multimodale vervoerswijze voordeliger dan de unimodale, gezien bestemming B zich bevindt binnen het eivormig gebied van de sociale kost.

10.6 Uitwerking toepassing op basis van de energetische kost

In deze sectie zal voor het specifieke traject de haalbaarheid van multimodaal vervoer onderzocht worden op basis van de energetische kost. Hiervoor zal de energetische kost ingevuld worden als het energieverbruik die uitgedrukt wordt in liter/tonkm voor verhouding p en in liter/ton voor verhouding q. Op deze wijze kan nagegaan worden welke vervoerswijze energetisch gezien het efficiëntst is. De waarden p en q worden uitgewerkt op basis van verbruikgegevens voor het vervoer van een ongeladen en een geladen 40 voet container.

Het verbruik van de vrachtwagen voor het transport van een lege (4 ton) en een geladen (31,5 ton) 40 voet container werd door Transport Gheys N.V. ingeschat op respectievelijk 30 liter/100km en 35 liter/100km.

Op die manier wordt het gemiddeld energieverbruik van de vrachtwagen in l/tonkm als volgt verkregen:

$$\frac{30 \text{ l/100km}}{4 \text{ ton}} + \frac{35 \text{ l/100km}}{31,5 \text{ ton}} = 0,085 \text{ l/tonkm}$$

Het energieverbruik van de vrachtwagen die het natransport verzorgt is in dit voorbeeld hetzelfde als deze van de vrachtwagen die het rechtstreeks vervoer voor zijn rekening neemt. Men zou uiteraard ook het geval van minder energie-efficiënt natransport kunnen beschouwen.

Het verbruik van het binnenschip dat de transportfirma aanwendt voor het watervervoer bedraagt 60 liter per uur. Aangezien de vaartijd van Antwerpen naar Mol 8 uur bedraagt en het onderzochte traject zowel heen- als retourtransport omvat, bedraagt het totale verbruik (8 uur x 60 liter/uur) x 2 = 960 liter.

Om het gemiddeld verbruik van de Mustang in liter per ton te berekenen, dient de gemiddelde tonnage die over het water wordt vervoerd, bepaald te worden. Zoals reeds aangehaald, worden in het transporttraject containers geëxporteerd of geïmporteerd. In de exportsituatie worden lege containers vanuit Antwerpen naar Mol getransporteerd en geladen in Lommel om nadien terug naar Antwerpen vervoerd te worden. Het omgekeerde scenario vindt plaats voor import. Bijgevolg kan verondersteld worden dat gemiddeld genomen de helft van de containers leeg en de andere helft geladen is of dus per trip Antwerpen-Mol/Mol-Antwerpen is 54 TEU leeg en 54 TEU geladen. Gezien in het beschouwde traject het vervoer van 2TEU plaatsvindt en de gewichten van een 20 en een 40 voet container verschillend zijn, dient het gewicht van een lege en een geladen 40 voet container te worden gebruikt. 54 containers van 20 voet zijn equivalent met 27 containers van 40 voet. Uitgaande van het feit dat een lege 40 voet container 4 ton weegt, komen de 27 ongeladen containers overeen met een totaal gewicht van 108 ton. Een geladen 40 voet container weegt 31,5 ton, zodanig dat een totaal gewicht van 850,5 ton wordt bekomen voor 27 volle containers. De door het schip totale vervoerde tonnage heen en terug bedraagt aldus 108 ton + 850,5 ton = 958,5 ton. Het binnenschip verbruikt bijgevolg gemiddeld 960 l/958,5 ton of ongeveer 1 l/ton.

Voor het energieverbruik van de reachstacker werd aan de hand van enkele tankbeurten, een gemiddelde waarde van 1,25 liter per beweging bekomen. Vermits de overslag in het geanalyseerde traject gepaard gaat met in totaal 4 bewegingen, is het totale verbruik van de overslag gelijk aan 5 liter. De reachstacker zal in twee van de vier bewegingen een geladen 40 voet container verplaatsen en in de andere twee een lege. Bijgevolg is de totale verplaatste tonnage gelijk aan 2x31,5 ton + 2x4 ton = 71 ton. Het gemiddeld verbruik van de overslag omgerekend naar liter/ton wordt dan 5 l/71 ton = 0,07 l/ton.

Aan de hand van bovenstaande gegevens kan de waarde voor p en q bepaald worden.

De **verhouding p** wordt in het energetisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele energetische kost in l/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

$$p = \frac{k}{c} = \frac{0,085 \text{ l/tonkm}}{0,085 \text{ l/tonkm}} = 1$$

In het geval van minder energie-efficiënt natransport zal $p > 1$ met een eivormig gebied als resultaat.

De **verhouding q** wordt in het energetisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste energetische kost in l/ton van Antwerpen naar Mol voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac).

De vaste energetische kost voor het unimodaal wegvervoer op de vertrekplaats, in dit geval de haven van Antwerpen, bestaat uit het energieverbruik tijdens het ophalen en afzetten van de container. Vermits het energieverbruik tijdens deze activiteit vermoedelijk zeer klein zal zijn, is deze kost verwaarloosbaar. Het energieverbruik tijdens het laden of lossen van de container bij de klant, kan opnieuw geëlimineerd worden.

De verhouding q is dan:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{1 \text{ l/ton} + 0,07 \text{ l/ton}}{65\text{km} \times 0,085 \text{ l/tonkm}} = 0,20$$

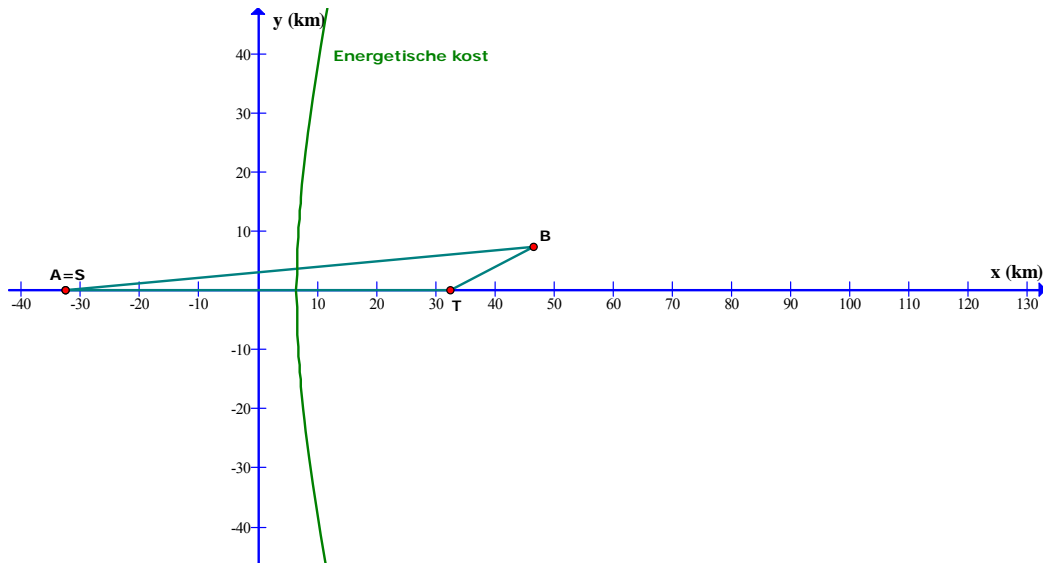
Bij wijze van samenvatting worden bovenstaande gegevens in volgende tabel weergegeven:

Energetische kostenelementen	Waarde
k	0,085 l/tonkm
c	0,085 l/tonkm
d	1,07 l/ton
2ac	5,525 l/ton
Verhouding $p=k/c$	1
Verhouding $q=d/2am$	0,20

Op basis van bovenstaande resultaten, kan het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer worden bepaald. Daar $p=1$, zal de vergelijking voor de hyperbool gebruikt worden:

$$y = \pm \frac{\sqrt{1 - q^2} \left(\sqrt{x^2 - a^2 q^2} \right)}{q}$$

De grafische voorstelling van het energetisch haalbaarheidsgebied wordt getoond in figuur 55.



Figuur 55: Voorstelling van de haalbaarheidsfiguur voor multimodaal vervoer op basis van de energetische kost voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. De multimodale vervoerswijze is energetisch voordeliger dan de unimodale, gezien bestemming B rechts gepositioneerd is van de breakeven hyperbool.

Zoals zichtbaar in figuur 55, is het multimodaal transport energetisch voordeliger dan het unimodaal transport, aangezien de eindbestemming B zich rechts bevindt van de breakeven hyperbool. Bijgevolg kan het meest energie gewonnen worden door te vervoeren per binnenschip. Hoewel het multimodaal vervoer niet haalbaar is op basis van de economische kost, kan het toch verantwoord zijn deze vervoerswijze toe te passen omwille van energetische overwegingen. Om de continuïteit van de energievoorziening wereldwijd te waarborgen, kan de mogelijkheid om energie te winnen een belangrijke drijfveer zijn voor een onderneming om multimodaal te vervoeren. Op die manier houdt de onderneming immers rekening met de energiebehoeften van toekomstige generaties en van armere landen.

10.7 Uitwerking toepassing op basis van de ecologische kost

In deze paragraaf zal voor het bestudeerde traject de CO₂-emissie van beide vervoerswijzen vergeleken worden. Hiervoor zal de geëmitteerde hoeveelheid CO₂ door zowel de multimodale als unimodale vervoerswijze ingevuld worden als ecologische kost. Op deze wijze kan voor het specifieke traject onderzocht worden welk vervoersalternatief vanuit ecologisch standpunt optimaal is. De eenheid die gebruikt wordt om de CO₂-uitstoot van het uni- en multimodaal vervoer aan te duiden is g/tonkm voor verhouding p en g/ton voor verhouding q.

In het specifieke voorbeeld wordt zowel het unimodaal wegvervoer als het multimodaal natransport uitgeoefend door een trekker met oplegger. Gezien het gaat om non-bulk vervoer, blijkt uit tabel 5 in hoofdstuk 3 dat de CO₂-uitstoot van deze transportmodus gemiddeld 71 g/tonkm bedraagt.

Voor de CO₂-emissie van het binnenschip 'Mustang' wordt gemiddeld 48 g/tonkm genomen, aangezien de CO₂-emissie gerelateerd is aan het energieverbruik en het een modern binnenschip betreft. De CO₂-uitstoot van het binnenschip bedraagt dan gemiddeld 3.120 g/ton (65km x 48 g/tonkm).

Vermits de op diesel werkende overslagwijze bij Transport Gheys N.V. een energieverbruik heeft van 0,07 l/ton en de CO₂-productie per liter diesel 2.700 g bedraagt, ontstaat er een gemiddelde CO₂-emissie van 189 g/ton (2.700 g/l x 0,07 l/ton) voor de overslagactiviteit.

De **verhouding p** wordt in het ecologisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

p: Verhouding van de variabele ecologische kost in g/tonkm van het multimodaal natransport (k) en van het unimodaal transport (c).

$$p = \frac{k}{c} = \frac{71 \text{ g/tonkm}}{71 \text{ g/tonkm}} = 1$$

De **verhouding q** wordt in het ecologisch haalbaarheidsgebied als volgt gedefinieerd:

q: Verhouding van de vaste ecologische kost in g/ton van Antwerpen naar Mol voor multimodaal vervoer (d) ten opzichte van unimodaal vervoer (2ac).

De vaste ecologische kost voor het unimodaal wegvervoer op de vertrekplaats A, in dit geval de haven van Antwerpen, bestaat uit de CO₂-emissie tijdens het ophalen of afzetten van de container. Vermits de CO₂-uitstoot tijdens deze activiteit vermoedelijk klein zal zijn, is deze kost verwaarloosbaar. De CO₂-emissie tijdens het laden of lossen van de container bij de eindbestemming kan opnieuw geëlimineerd worden.

De verhouding q is dan:

$$q = \frac{d}{2ac} = \frac{3.120 \text{ g/ton} + 189 \text{ g/ton}}{65\text{km} \times 71 \text{ g/tonkm}} = 0,72$$

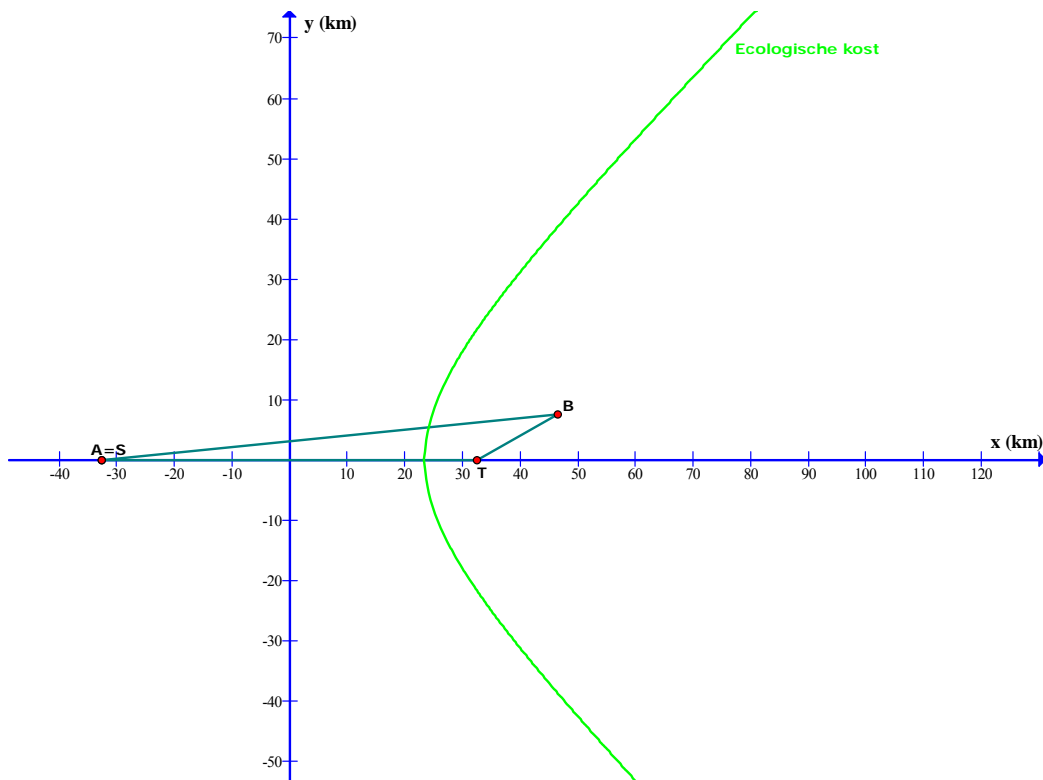
Bij wijze van samenvatting worden bovenstaande gegevens in volgende tabel weergegeven:

Ecologische kostenelementen	Waarde
k	71 g/tonkm
c	71 g/tonkm
d	3.309 g/ton
2ac	4.615 g/ton
Verhouding $p=k/c$	1
Verhouding $q=d/2ac$	0,72

Op basis van bovenstaande waarden, kan het ecologisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer bepaald worden. Daar $p=1$, zal de vergelijking voor de hyperbool gebruikt worden:

$$y = \pm \frac{\sqrt{1 - q^2}}{q} \left(\sqrt{x^2 - a^2 q^2} \right)$$

De grafische voorstelling van het ecologisch haalbaarheidsgebied is zichtbaar in figuur 56.



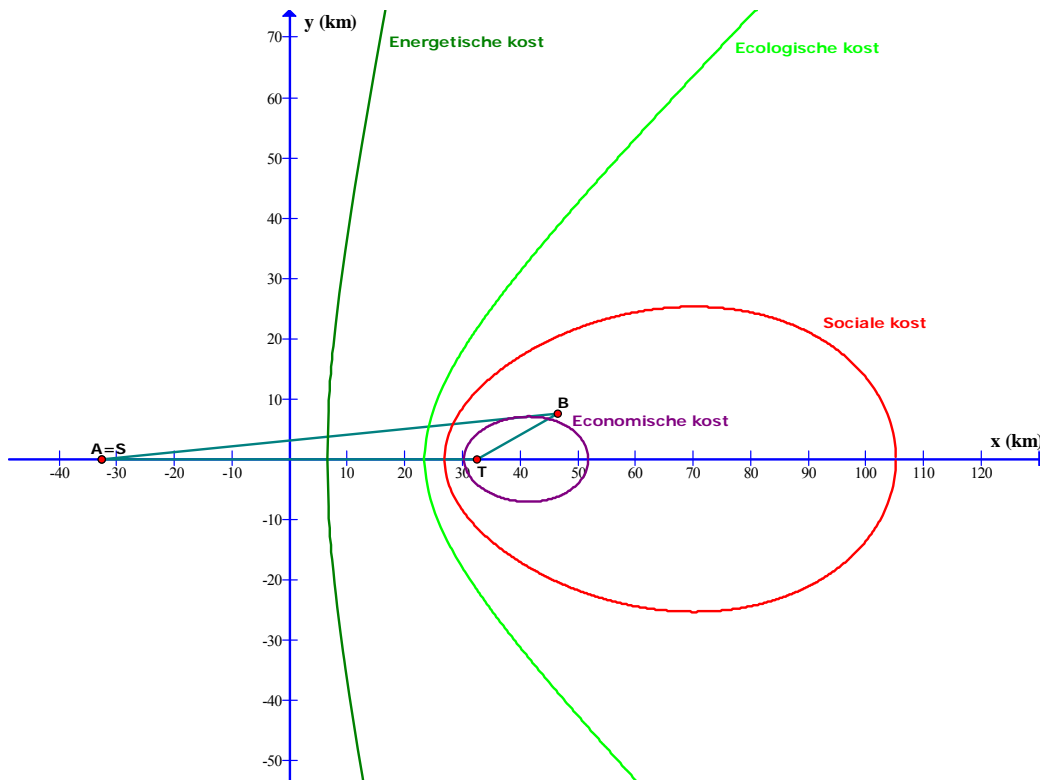
Figuur 56: Voorstelling van de haalbaarheidsfiguur voor multimodaal vervoer op basis van de ecologische kost voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Analoog aan de energetische haalbaarheid, is het multimodaal vervoer ecologisch voordeliger dan unimodaal, gezien bestemming B rechts gepositioneerd is van de breakeven hyperbool.

Zoals zichtbaar in figuur 56, is het multimodaal transport ecologisch voordeliger dan het unimodaal transport, aangezien de eindbestemming B zich rechts bevindt van de breakeven hyperbool.

Bijgevolg zal er minder CO₂ uitgestoten worden indien de huishoudtoestellen vervoerd worden per binnenschip. De wereldwijde bezorgdheid over de klimaatsverandering kan aldus een mogelijke drijfveer zijn voor de onderneming om multimodaal te vervoeren.

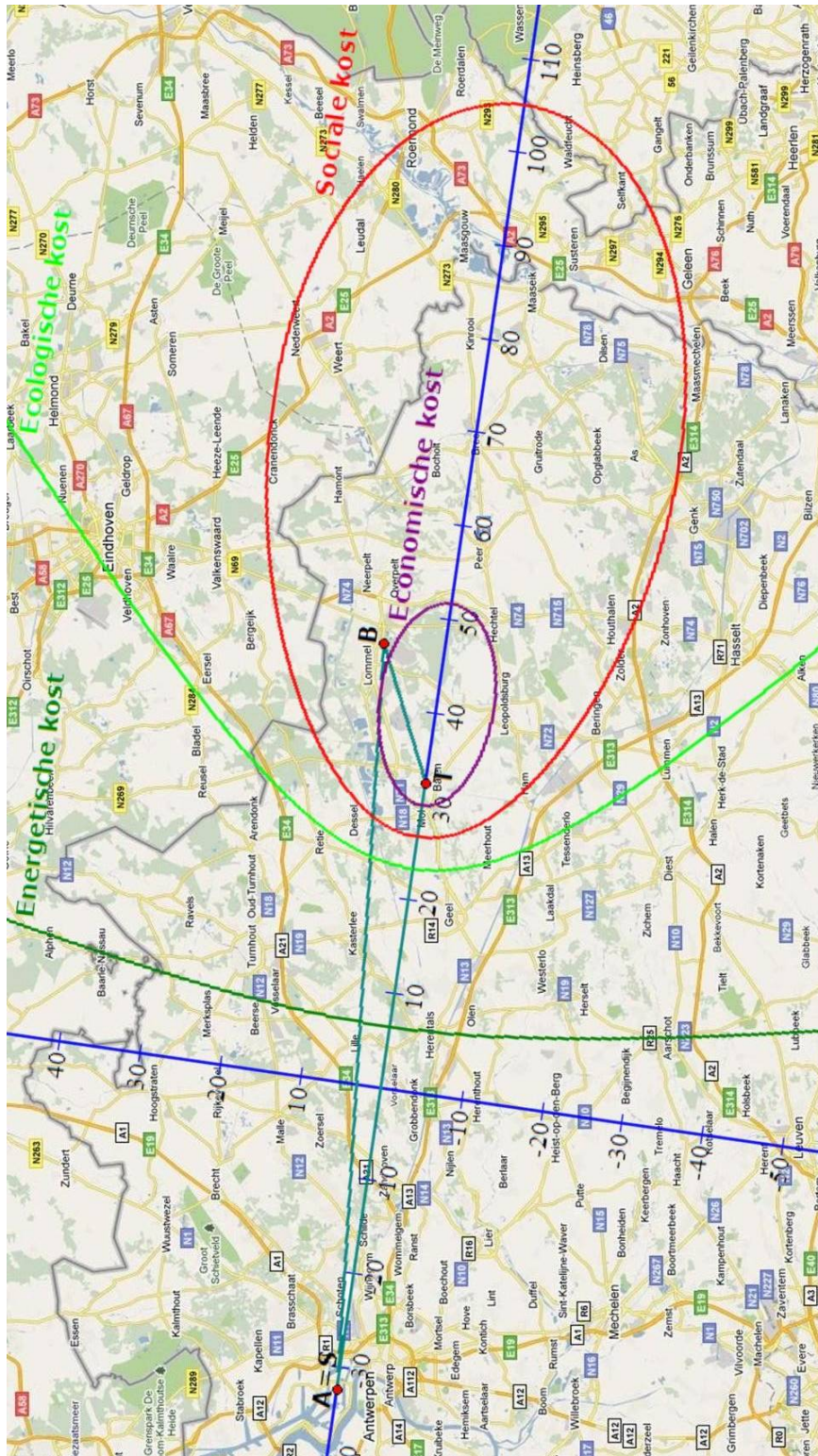
10.8 Vergelijking economisch, sociaal, energetisch en ecologisch haalbaarheidsgebied

Figuur 57 toont het haalbaarheidsgebied op basis van de economische kost (paars), sociale kost (rood), energetische kost (donkergroen) en ecologische kost (lichtgroen) voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Uit deze figuur wordt duidelijk dat de energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer het grootste is, gevolgd door de ecologische, maatschappelijke en economische haalbaarheid. Dit betekent dat voor het specifiek traject het multimodaal binnenvaartvervoer vanuit energetisch perspectief relatief het beste scoort, maar economisch gezien relatief het slechtste.



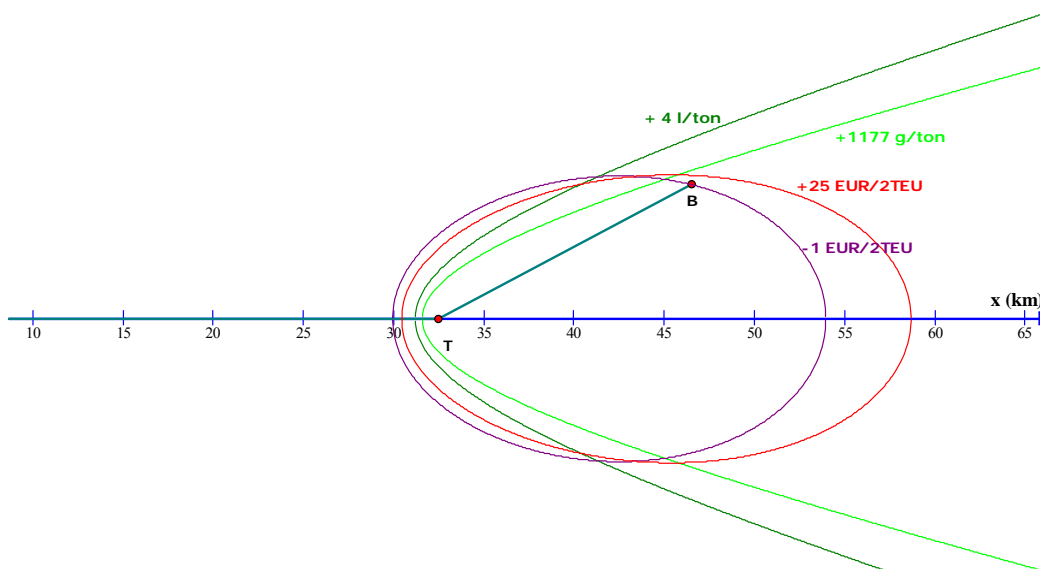
Figuur 57: Voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische kost (paars), de sociale kost (rood), de energetische kost (donkergroen) en de ecologische kost (lichtgroen) voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. De energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer is het grootste, gevolgd door de ecologische, maatschappelijke en economische haalbaarheid.

Figuur 58 toont een kaart waarin het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische, sociale, energetische en ecologische kost geografisch wordt voorgesteld.



Figuur 58: Geografische voorstelling van het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer op basis van de economische kost (paars), de sociale kost (rood), de energetische kost (donkergroen) en de ecologische kost (lichtgroen) voor de toepassing bij Transport Gheys N.V..

Aan de hand van absolute equiprofitlijnen kan gelijktijdig onderzocht worden hoeveel het absoluut economisch kostennadeel en het absoluut energetisch, ecologisch en maatschappelijk kostenvoordeel bedraagt indien getransporteerd wordt via het multimodaal binnenvaartvervoer. Figuur 59 geeft de absolute equiprofitlijn weer voor het economisch (paars), maatschappelijk (rood), ecologisch (lichtgroen) en energetisch (donkergroen) haalbaarheidsgebied. Het multimodaal binnenvaarttraject zou specifiek voor bestemming B een energiebesparing genereren van ongeveer 4 l/ton, een vermindering van de CO₂-emissie met 1.177 g/ton en een economisch kostennadeel van 1 EUR/2TEU voor Transport Gheys N.V. Tevens zou de maatschappelijke kost afnemen met ongeveer 25 EUR/2TEU. Hieruit kan besloten worden dat het interessant is voor Transport Gheys N.V. om multimodaal te vervoeren vanuit energetisch, ecologisch en maatschappelijk standpunt, maar niet economisch. Om multimodaal vervoer te stimuleren, kan de overheid subsidies verlenen die overeenkomen met het economisch verlies die de onderneming genereert.



Figuur 59: Voorstelling van de absolute equiprofitlijn voor het economisch (paars), maatschappelijk (rood), ecologisch (lichtgroen) en energetisch (donkergroen) haalbaarheidsgebied voor de toepassing bij Transport Gheys N.V.. Het multimodaal binnenvaarttraject zou voor bestemming B een energiebesparing genereren van ongeveer 4 l/ton, een vermindering van de CO₂-emissie met 1.177 g/ton en een economisch kostennadeel van 1 EUR/2TEU voor Transport Gheys N.V. Het maatschappelijk voordeel bedraagt ongeveer 25 EUR/2TEU.

Hoofdstuk 11: Conclusies en aanbevelingen

Het aandeel van het wegvervoer in het totale vrachtvervoer bedraagt maar liefst 79%, terwijl 14% gaat via de binnenvaart en slechts 7% via het spoor. De gevolgen hiervan zijn reeds vandaag de dag duidelijk zichtbaar. De wegen geraken steeds meer verzadigd, er zijn een groot aantal ongevallen op de weg en het milieu komt onder een steeds grotere druk te staan. Daarnaast ontstaat er bezorgdheid over de wereldwijde klimaatopwarming en energievoorziening.

De enige manier om de nefaste impact van het wegvervoer te verminderen, is het stimuleren van alternatieven, zoals het vervoer langs het water en spoor. Het multimodaal vervoer, waarbij verschillende transportmodi gecombineerd worden, zal in de toekomst meer aan belang winnen door de toenemende negatieve effecten van het wegvervoer. Vandaar werd in deze masterproef een algemeen wiskundig haalbaarheidsmodel opgesteld voor multimodaal vervoer. Aan de hand van dit model werd dan nagegaan welke vervoerswijze, unimodaal of multimodaal vervoer, optimaal is vanuit economisch, maatschappelijk, energetisch en ecologisch perspectief. Hieronder zullen de deelvragen van deze masterproef toegelicht worden.

Welke interne kosten worden veroorzaakt door het goederenvervoer langs de weg en door een multimodaal vervoerssysteem?

De interne of private kosten van het goederenvervoer zijn kosten die ten laste van de onderneming komen. De ondernemingen streven daarom naar de minimalisering van deze kosten en dus naar het privaat optimum. De interne kosten die beïnvloed worden door de vervoerskeuze zijn de transportkosten, kosten van goederenbehandeling, voorraadkosten, kosten van voorraadtekort, verpakkingskosten, kosten van orderbehandeling en administratie, instelkosten en kosten van klantenservice en van vestigingplaats. Deze kosten vormen samen de totale logistiek kost waarmee de onderneming rekening zal houden bij zijn transportbeslissing. Om de complexiteit van het haalbaarheidsmodel in te perken, werd in deze masterproef voor de economische haalbaarheid van multimodaal vervoer louter de transport- en overslagkost beschouwd.

Indien enkel naar de transportkost wordt gekeken, zal men steeds opteren voor het traagste transportmiddel met de hoogste laadcapaciteit. Hierdoor kan een grote hoeveelheid goederen vervoerd worden met schaalvoordelen als gevolg. Het multimodaal vervoer vereist echter extra overslagpunten en in de meeste gevallen ook voor- en natransport, waardoor het multimodaal vervoer economisch gezien meestal duurder is dan het rechtstreeks wegvervoer. In een overslagpunt worden de goederen overgeslagen van een vrachtwagen naar een alternatieve transportmodus, zoals het binnenschip of de trein, en omgekeerd. Deze extra overslag zorgt ervoor dat het multimodaal vervoer gepaard gaat met zowel een hogere economische kost als extra

tijdverlies. Momenteel is deze overslagkost een belangrijke hinderpaal. Om deze kost terug te dringen, zou men kunnen investeren in nieuwe overslagtechnieken of terminals.

Welke externe kosten kunnen onderscheiden worden bij het vervoer langs de weg en bij het multimodaal vervoer?

Wanneer de overheid de optimale beslissing wil aanmoedigen omtrent de keuze van de vervoersmodus voor de gehele samenleving, zal naast de interne ook de externe kost van de transportmodi steeds in acht moeten worden genomen. Tevens zal de beslissing van de overheid gebaseerd worden op andere factoren, meerbepaald de toekomstvisie, transgenerationele en transnationale solidariteit, het sociaal aspect en het technologisch en sociaal multiplicatoreffect.

Het probleem bij de ondernemer is dat hij wel rekening wil houden met de externe kost, maar omwille van de concurrentie is dit uitermate moeilijk. Indien de onderneming de externe kosten toch zou dragen, zou zijn concurrentiepositie immers sterk afnemen. Hierdoor worden de externe kosten niet in rekenschap gebracht bij de keuze van een transportmodus. Het toekennen van een waarde aan de ongewenste externe effecten, zoals ongevallen, congestie, milieu (geluidshinder, luchtverontreiniging en klimaatverandering) en de infrastructuur behoort grotendeels tot de normatieve economie. Niet ieder individu hecht evenveel belang aan het milieu en de kwaliteit van het hedendaags leven. Wanneer deze kosten kwantitatief worden ingeschat, blijkt dat voor het jaar 2010 de marginale externe kosten van het wegtransport bijna drie keer zo hoog zijn als deze van de binnenvaart en het spoorvervoer. Dit houdt in dat de externe kosten voor het multimodaal hoofdvervoer dat uitgeoefend wordt door een alternatieve modus, relatief lager zijn. Het internaliseren van deze externe kosten kan een belangrijk instrument vormen om een grotere haalbaarheid van multimodaal vervoer te bekomen.

Welke overheidsmaatregelen kunnen genomen worden om tot een maatschappelijk optimum te komen ?

Het is de taak van de overheid om de maatschappelijke kost in rekening te brengen en dus te zoeken naar het maatschappelijk optimum. Vermits dit een streefdoel is van de overheid, heeft het overheidsbeleid een invloed op de keuze van het vervoersmiddel. De wens van de overheid is om het gebruik van alle vervoersmodi te stimuleren en de wegen te ontlasten met zorg voor milieu en omgeving. Binnen dit duurzaam beleidskader kunnen een aantal mogelijke overheidsmaatregelen geformuleerd worden, die zowel een modal shift als comodaliteit nastreven om de ongewenste externe effecten van transport te reduceren. Een modalshiftbeleid is gericht op het beperken van de groei van het wegvervoer ten voordele van het spoor en de binnenvaart, terwijl comodaliteit zich richt op de efficiënte inzet van verschillende vervoersmodi of een combinatie daarvan. De verschillende beleidsmaatregelen die genomen kunnen worden om het voorgestelde beleid uit te

voeren zijn het internaliseren van externe kosten, het verlenen van subsidies, de optimalisatie van verkeersinfrastructuur, het aanpassen van de wetgeving, het voeren van promotie voor alternatieve vervoersmodi, het ingrijpen op de vervoerskeuze bij ondernemingen en ruimtelijke ordening.

Indien een unimodaal traject wordt vergeleken met een multimodaal traject, hoe wordt algemeen het haalbaarheidsgebied dan grafisch weergegeven bij een constante kost per tonkm en per ton overslag?

Op basis van een algemeen wiskundig model werd de vergelijking gemaakt tussen een unimodaal en een multimodaal traject. In het unimodaal traject worden de goederen rechtstreeks vervoerd van vertrekplaats A naar eindbestemming B. Het multimodaal traject daarentegen start met het vortransport tussen A en de eerste overslagterminal S. De alternatieve modus oefent vervolgens het hoofdtransport uit tot de tweede terminal T en van daaruit vindt het natransport plaats tot in B. In de terminals gebeurt de omschakeling van de ene transportmodus naar de andere.

Het wiskundig haalbaarheidsmodel is gebaseerd op twee verhoudingen, namelijk p en q . De waarde p geeft de verhouding weer tussen de variabele kost per tonkm van het multimodaal natransport en het unimodaal transport, terwijl q de verhouding is tussen de vaste kost per ton van vertrekplaats A naar terminal T multimodaal ten opzichte van unimodaal.

De algemene haalbaarheid van het multimodaal vervoer werd bepaald door grafisch het gebied weer te geven waarbij multimodaal vervoer rendabeler is dan het unimodaal vervoer. Om de haalbaarheidsfiguur te bepalen, werd de kost voor beide trajecten gelijkgesteld aan elkaar. Hierbij werden twee situaties onderzocht, namelijk een verhouding van de variabele kost per tonkm tussen het multimodaal natransport en het unimodaal transport gelijk aan 1 en groter dan 1. Om het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer te bepalen, dient de waarde van q steeds kleiner te zijn dan 1.

De eerste situatie, waarbij verhouding p gelijk is aan 1, is praktisch gezien weinig realistisch. De tweede situatie daarentegen zal zeker vanuit economisch standpunt meer voorkomen. Het is namelijk zo dat de transportkost per tonkm van het natransport meestal duurder is dan deze van het unimodaal vervoer. Aangezien het rechtstreeks vervoer over een langere afstand plaatsvindt, zal de transportkost per tonkm afnemen wegens schaalvoordelen. Deze verhouding tussen de variabele transportkosten kan zich onder andere voordoen bij het vervoer in hetzelfde land. Bij de grafische voorstelling van de eerste en de tweede situatie wordt respectievelijk een breakeven hyperbool en een breakeven eivormige figuur rond de tweede terminal bekomen. Punten gelegen op de rand van de breakeven hyperbool geven aan dat het multimodaal traject even rendabel is als het unimodaal traject. Indien B gelegen is aan de rechterzijde van deze hyperbool, is het

multimodaal vervoer voordeliger. In de tweede situatie is waarde p groter dan 1. Ook hier geeft de rand van het eivormig gebied de situatie weer waarbij beide vervoersalternatieven even voordelig zijn. Indien B zich bevindt binnen de eivormige figuur, dan is het multimodaal vervoer voordeliger.

Hoe wordt de haalbaarheid beïnvloed bij een wijzigende verhouding van de kost tussen multimodaal en unimodaal vervoer?

De verandering van het gebied werd geanalyseerd bij een wijzigende verhouding van de kost tussen het multimodaal en unimodaal vervoer. Indien in de situatie $p=1$ de waarde van q toeneemt, zal het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer verkleinen en omgekeerd. Hoe groter de waarde van p en/of q wordt in de situatie $p>1$, hoe kleiner het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer zal worden en hoe meer het gebied zich louter zal positioneren rond terminal T. Bij een verkleining van de verhouding p en/of q zal het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer steeds groter worden, het zal als dusdanig uitbreiden.

Welke potentiële kostenvoordelen kunnen gegenereerd worden bij het multimodale vervoerssysteem? Hoe kan dit grafisch worden weergegeven?

Aan de hand van positieve (negatieve) equiprofitlijnen werd nagegaan hoeveel winst (verlies) het multimodaal traject genereert in vergelijking met het unimodaal traject. In tegenstelling tot de breakeven figuur tonen deze lijnen niet de situatie waarin beide vervoerswijzen even rendabel zijn, maar geven ze het kostenvoor- of nadeel weer bij multimodaal vervoer in vergelijking met unimodaal vervoer naar een eindbestemming voorbij een specifieke equiprofitlijn. Deze equiprofitlijnen kunnen zowel relatief (in %) als absoluut (in EUR/ton) geïnterpreteerd worden. In transportbeslissingen streven de meeste ondernemingen voornamelijk het economisch voordeel na. Binnen een duurzaam beleidskader kan de onderneming echter ook opteren voor multimodaal transport om zodanig energie te besparen of de CO₂-emissie te reduceren. Vandaar zijn deze lijnen interessant indien bedrijven andere drijfveren hebben dan de economische winst om multimodaal te vervoeren. Dikwijls gaat het hier om drijfveren die minder goed kwantitatief kunnen uitgedrukt worden, zoals een milieuvriendelijk imago. In hoofdstuk 8 werd aan de hand van equiprofitlijnen gelijktijdig onderzocht op welke locaties een bepaald energetisch, ecologisch of maatschappelijk voor- of nadeel gegenereerd wordt gepaard gaande met een economisch voor- of nadeel, wanneer multimodaal getransporteerd wordt.

Hoe kunnen stochastische kostenwaarden voor het vrachtvervoer grafisch worden voorgesteld?

Om onzekerheden in het goederenvervoer in rekenschap te brengen, onder andere files en ongevallen in het wegvervoer, werden equiprofitgebieden ontwikkeld. Een equiprofitgebied geeft

aan binnen welke regio het haalbaarheidsgebied kan variëren bij stochastische kostenwaarden. Hierbij werd als uitgangspunt de bèta-verdeling genomen die tevens wordt gebruikt in PERT. Binnen deze context werden dan drie scenario's opgesteld voor de kosten van het goederenvervoer, namelijk een optimistisch, een pessimistisch en een modaal scenario. Het uitzetten van deze drie scenario's laat dan grafisch toe om de onzekerheid in het transport in rekening te brengen.

Wat is de haalbaarheid van multimodaal vervoer wanneer enkel de interne kosten worden beschouwd?

Bij de economische haalbaarheid van het multimodaal traject zal zowel het voor- en natransport als de overslagkost een essentiële rol spelen. Hoe meer het voor- of natransport kan gereduceerd worden, hoe rendabeler het multimodaal vervoer zal worden vanuit economisch perspectief. De economische haalbaarheid van multimodaal vervoer is bijgevolg sterk afhankelijk van zowel de voor- en natransportkost als de hoogte van de overslagkost.

Het economisch haalbaarheidsgebied kan vergroten of verkleinen door wijzigende verhoudingen p en q . Verhouding p kan in de economische haalbaarheid van multimodaal vervoer enerzijds toenemen door bijvoorbeeld hogere brandstofkosten of lonen in het navervoer. Anderzijds kan de waarde van p afnemen bij een economische crisis die de lonen meer doet verminderen in het natransport dan in het unimodaal transport. In verhouding q kan de waarde van d initieel toenemen door bijvoorbeeld investeringen in technologische verbeteringen inzake overslag. Echter na een bepaalde gebruiksduur kan de overslagkost afnemen en dus ook de waarde van q . Verhouding q kan eveneens toenemen indien er bijvoorbeeld langere wachttijden zijn dan voorzien bij de overslagpunten.

Welke invloed heeft de internalisering van de externe kosten op het haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer?

Bij het maatschappelijk haalbaarheidsmodel worden de externe kosten geïnternaliseerd zodanig dat beide transportalternatieven kunnen worden vergeleken op basis van de sociale kost. De sociale kost van een transportalternatief is aldus de optelsom van zowel de economische als de externe kost. Vanuit maatschappelijk standpunt scoort het multimodaal vervoer veel beter dan vanuit economisch standpunt, aangezien de externe kosten van het alternatief, in dit geval werd een binnenschip genomen, beduidend lager liggen dan deze van het wegvervoer. Dit werd ook grafisch aangetoond door de grootte van het economisch en het maatschappelijk haalbaarheidsgebied met elkaar te vergelijken. Hoe groter het eivormig gebied op basis van een specifiek vergelijkingscriterium, hoe beter het multimodaal vervoer hierop scoort.

In het maatschappelijk haalbaarheidsgebied kan verhouding p afnemen wanneer bijvoorbeeld meer geïnvesteerd wordt in technologieën, zoals filters en katalysatoren in het navervoer of wanneer het navervoer plaatsvindt in minder drukke gebieden. Hierdoor kan de marginale externe kost voor het natransport lager ingeschat worden. Tevens kan verhouding q afnemen wanneer het voortransport plaatsvindt in een rustige regio, de alternatieve modus de nu gekende technologische mogelijkheden volledig zou benutten of het unimodaal vervoer van A naar T uitgeoefend wordt via drukkeren wegen of tijdens spitsuren. Met de technologische mogelijkheden wordt bedoeld dat het spoor en/of het schip milieuvriendelijker wordt per tonkm dan het wegvervoer.

Hoe ziet het energetisch haalbaarheidsgebied eruit voor multimodaal vervoer?

Bij de energetische haalbaarheid van het multimodaal traject wordt nagegaan hoeveel energie het multimodaal vervoer verbruikt ten opzichte van het unimodaal wegvervoer. Op deze wijze kan worden aangegeven welk transportalternatief het minst energie verbruikt en dus het meest energie-efficiënt is. Aangezien het energiegebruik bij vrachtwagens sterk afhankelijk is van het type vrachtwagen, werd het effect van drie verschillende vervoerssituaties op de energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer onderzocht. De eerste situatie veronderstelt dat zowel het voor- en natransport als het unimodaal transport door een grote vrachtwagen (>20 ton) wordt uitgevoerd. In het tweede geval zal het voor- en natransport plaatsvinden door een vrachtwagen met een laadvermogen van 10-20 ton, terwijl het unimodaal vervoer uitgevoerd wordt door een grote vrachtwagen (>20 ton). Bij de laatste situatie gebeurt het voor- en natransport door een vrachtwagen met een laadvermogen van 3,5-10 ton, terwijl het unimodaal vervoer plaatsvindt door een grote vrachtwagen (>20 ton).

Voor iedere vervoerssituatie wordt een specifiek energetisch haalbaarheidsgebied verkregen. Hieruit blijkt dat het multimodaal vervoer voor iedere situatie energetisch voordeliger is dan het rechtstreeks wegvervoer. Wanneer de haalbaarheid van multimodaal vervoer tussen de drie vervoerssituaties onderling wordt vergeleken, kan worden geconstateerd dat het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer in de eerste situatie het grootst is. Vanuit energetisch standpunt is het dus steeds voordeliger om een grote vrachtwagen in te zetten, aangezien deze energie-efficiënter is per tonkm dan een lichtere. Hoe kleiner de vrachtwagen is in het voor- en natransport, des te kleiner het energetisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer wordt en hoe slechter het multimodaal traject zal scoren vanuit energetisch perspectief.

In het energetisch haalbaarheidsgebied zal een hoger brandstofverbruik leiden tot een hogere waarde van p . Dit kan zich voordoen wanneer een vrachtwagen het multimodaal navervoer uitoefent via meer ring- of binnenwegen of wanneer het navervoer plaatsvindt tijdens spitsuren met meer congestie tot gevolg. Anderzijds kan de verhouding p kleiner worden bij de inzet van minder energie-efficiënte transportmodi in het unimodaal wegvervoer, zoals een kleiner type

vrachtwagen. De waarde van q kan toenemen wanneer onder andere een minder energie-efficiënte alternatieve modus wordt ingezet, een kleiner type vrachtwagen het voortransport uitoefent of het unimodaal vervoer van A naar T plaatsvindt door een grotere vrachtwagen.

Wat is de haalbaarheid van multimodaal vervoer vanuit ecologisch perspectief?

In het ecologisch haalbaarheidsgebied voor multimodaal vervoer wordt de uitgestoten hoeveelheid CO₂ door de multimodale en unimodale vervoerswijze vergeleken met elkaar. Op deze wijze kan worden aangegeven welk transportalternatief het minst CO₂ uitstoot en dus vanuit ecologisch standpunt optimaal is. Daar kleinere voertuigen minder energie-efficiënt zijn per tonkm, stoten lichte vrachtwagens en kleine binnenschepen per tonkm meer CO₂ uit dan hun grotere varianten. Vandaar zal, analoog aan de energetische haalbaarheid, het effect van dezelfde drie vervoerssituaties op de ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer geanalyseerd worden.

Uit de grafische weergave van de drie ecologische haalbaarheidsgebieden blijkt dat het multimodaal vervoer niet voor iedere situatie ecologisch voordeliger is dan het rechtstreeks wegvervoer. Zo is in de derde situatie het unimodaal traject op basis van de ecologische kost rendabeler dan het multimodaal traject. Vanuit milieuperspectief is het multimodaal vervoerstraject enkel voordeliger in situatie 1 en situatie 2. Analoog aan de energetische haalbaarheid, zal de ecologische haalbaarheid van multimodaal vervoer afnemen bij het gebruik van een kleinere vrachtwagen in het voor- en natransport. Vanuit ecologisch standpunt is het dus steeds voordeliger om een grotere vrachtwagen in te zetten in het voor- en natransport, aangezien deze minder milieubelastend is dan een kleinere.

Samengevat zal p toenemen door bijvoorbeeld kleinere type vrachtwagens in te zetten in het navervoer. Uiteraard zal de waarde p kleiner worden indien het multimodaal natransport gebruik maakt van milieuvriendelijke brandstoffen en motoren. Tenslotte kan in het ecologisch haalbaarheidsgebied q kleiner worden door onder meer het gebruik van een groter type vrachtwagen in het voortransport, een kleiner type vrachtwagen in het rechtstreeks vervoer van A naar T of een groter type binnenschip.

Wat is de economische, maatschappelijke, energetische en ecologische haalbaarheid van het multimodaal binnenvaartvervoer voor Transport Gheys N.V.?

In het beschouwde traject bij Transport Gheys N.V. worden huishoudtoestellen vervoerd in containers van 40 voet lang, 8 voet breed en 8,5 voet hoog ofwel in 2TEU. Het unimodaal transporttraject over de weg vertrekt vanuit de Zeehaven in Antwerpen naar de eindbestemming in Lommel. In het multimodaal transporttraject wordt het hoofdtransport uitgeoefend door een binnenschip vanuit de Zeehaven in Antwerpen richting de terminal in Mol. Er is geen voortransport

bij de transportfirma, aangezien het beschouwde vertrekpunt de terminal is in Antwerpen. Aangekomen in de terminal in Mol zullen de containers worden overgeladen met behulp van een reachstacker op een vrachtwagen die het natransport uitvoert naar Lommel. Indien de bekomen kostengegevens worden uitgezet aan de hand van het wiskundig model waarbij $p > 1$ en $q < 1$, kan besloten worden dat het rechtstreeks vervoer via de weg economisch voordeliger is dan het vervoer per binnenschip. Indien echter de maatschappelijke, energetische of ecologische kost als vergelijkingscriterium wordt beschouwd, is het multimodaal vervoer rendabeler. De energetische haalbaarheid van het multimodaal vervoer is het grootste, gevolgd door de ecologische, maatschappelijke en economische haalbaarheid. Op basis van absolute equiprofitlijnen specifiek voor de klant in Lommel werd vastgesteld dat Transport Gheys N.V. via het multimodaal binnenvaarttraject een energiebesparing zou genereren van ongeveer 4 l/ton, een vermindering van de CO₂-emissie met 1.177 g/ton en een economisch kostennadeel van 1 EUR/2TEU. Tevens zou de maatschappelijke kost afnemen met ongeveer 25 EUR/2TEU. Hieruit kan besloten worden dat het interessant is voor Transport Gheys N.V. om multimodaal te vervoeren vanuit energetisch, ecologisch en maatschappelijk standpunt, maar niet economisch. Algemeen genomen kan de overheid subsidies verlenen die overeenkomen met het economisch verlies die de onderneming genereert om multimodaal transport te stimuleren.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

In deze masterproef werd de haalbaarheid van multimodaal vervoer getoond aan de hand van cijfervoorbeelden met uitzondering voor het traject van Transport Gheys N.V.. Aangezien de haalbaarheidsgebieden sterk afhankelijk zijn van de inputparameters, is het de opdracht van een expert om een deskundige inschatting van de kosten te bekomen zodanig dat bijvoorbeeld de equiprofitgebieden exact worden voorgesteld.

Tevens werd enkel de transport- en overslagkost opgenomen in de economische kost. Naast deze kosten kunnen ook nog andere logistieke kosten worden opgenomen, zoals voorraadkosten of kosten van vestigingplaats. Terminals die dienen als goedkopere opslagplaats kunnen bijvoorbeeld een positieve impact hebben op de totale logistieke kost van multimodaal vervoer.

Tot slot zou men een gebruiksvriendelijk programma kunnen ontwikkelen in Excel waarin alle wiskundige vergelijkingen zijn voorgeprogrammeerd en enkel de inputgegevens dienen ingevuld te worden. Op die manier kan snel en eenvoudig het effect van een wijziging op de haalbaarheid van multimodaal vervoer worden onderzocht en kunnen snel andere gevalstudies worden behandeld.

Lijst van de geraadpleegde werken

Blauwens, G., De Baere, P., & Van de Voorde, E. (2008). *Transport economics*. Antwerpen: De Boeck.

B-Mobility (2009). *Infrastructuurprijszetting op de weg. Een Europese benchmark*. Opgevraagd op 11 februari, 2010, via <http://www.b-mobility.eu/nl/content/download/258/1507/file/20090501%20Infrastructuurprijszetting%20op%20de%20weg%20-%20Een%20Europese%20Benchmark.pdf>

BP, British Petroleum (2009). *BP Statistical Review of World Energy*. Opgevraagd op 9 februari, 2010, via http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2009_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2009.pdf

CE Delft (2008). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. Delft: CE.

De Borger, B., & Proost, S. (1997). *Mobiliteit: de juiste prijs*. Leuven-Apeldoorn: Garant

De Brabander, B. (2005). *Investerings in verkeersveiligheid in Vlaanderen: Een handleiding voor kosten-baten analyse*. Heverlee-Leuven: Lannoo Campus.

De Ceuster, G., (2004). *Internalisering van externe kosten van wegverkeer in Vlaanderen*. Opgevraagd op 16 oktober, 2009, via http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/01_SECTOREN/01_06/TRAN_O&O_03.PDF

De Clercq, M. (2006). *Economie toegelicht*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.

De Nocker, L., & Broekx S. (VITO) (2004). *Kengetallen externe kosten goederentransport. Studie uitgevoerd in opdracht van Protes*. Opgevraagd op 21 december, 2009, via <http://www.vito.be/VITO/OpenWoDocument.aspx?wovitoguid=C83E9E90-70C8-4A74-940A-234EB953E7BF>

De Scheepvaart, & Waterwegen en Zeekanaal (2009). *Infrastructuurmasterplan voor de Vlaamse waterwegen (Horizon 2014)*. Opgevraagd op 13 januari, 2010, via http://www.wenz.be/downloads/20090040_masterplan_LR_Def.pdf

Europese Commissie (1995). *Towards fair and efficient pricing in transport. Policy options for internalising the external costs of transport in the European Union*, Groenboek. Opgevraagd op 20 december, 2009, via http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com95_691_en.pdf

Europese Commissie (2006). *Europa duurzaam in beweging – Duurzame mobiliteit voor ons continent*. Opgevraagd op 9 februari, 2010, via http://ec.europa.eu/transport/transport_policy_review/doc/2006_3167_brochure_nl.pdf

European Environment Agency (2008). *Beyond transport policy: exploring and managing the external drivers of transport demand. Illustrative case studies from Europe*. Opgevraagd op 28 november, 2009, via http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-bn/gdf/08/beyond_transport_policy.pdf

Europese Gemeenschappen (2003). *De binnenvaart: een vervoerswijze die werkt*. Opgevraagd op 30 december, 2009, via <http://www.binnenvaart.be/nl/downloads/documents/Binnenvaart%20een%20vervoerswijze%20die%20werkt.pdf>

Europees Parlement en de Raad Van De Europese Unie (2009). Richtlijn 2009/33/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 april 2009 inzake de bevordering van schone en energiezuinige wegvoertuigen. Opgevraagd op 20 maart, 2010, via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:120:0005:0012:NL:PDF>

Hedebouw, L. (2008). *Wie rijdt, moet ook rusten. Nieuwe rij- en rusttijden in het beroepsgoederenvervoer*. Opgevraagd op 5 april, 2010, via <http://www.serv.be/uitgaven/1453.pdf>

Hertveldt, B., Hoornaert, B., & Mayeres, I. (2009). *Langetermijnvoorzichten voor transport in België: referentiescenario*. Opgevraagd op 1 februari, 2010, via http://www.plan.be/admin/uploaded/200904211523180.pp107_nl.pdf

Huisman, R. (2009, 19 december). Mager akkoord Kopenhagen. *Het belang van Limburg*, p.10.

INFRAS, & IWW (2004). *External costs of Transport - Update Study*. Zürich-Karlsruhe: UIC.

International Energy Agency (2007). *World Energy Outlook, 2007: China and India insights*.

Opgevraagd op 8 februari, 2010, via http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/weo_2007.pdf

IPPC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate change 2001: The Scientific Basis*. Verenigd Koninkrijk-New York: Cambridge University Press

Kennedy, D., & Hanson, B. (2006). Ice and History. *Science magazine*, 311, 1673

Logghe, S., & Vanhove, F. (2004). *Het Belgisch verkeer in cijfers*. Opgevraagd op 15 december, 2009, via

http://www.tmlleuven.be/project/verkeersindices/200401_artikel.pdf

Macharis, C., & Verbeke, A. (2004). *Intermodaal binnenvaartvervoer: Economische en strategische aspecten van het intermodaal binnenvaartvervoer in Vlaanderen*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.

Meuwissen, I.M.P. (2005). *Multimodaal goederenvervoer: bij optimaal gebruik bespaart u kosten*.

Opgevraagd op 1 mei, 2009, via [http://www.meuwissen-](http://www.meuwissen-design.nl/publicaties/artikel_multimodaal_vervoer.pdf)

[design.nl/publicaties/artikel_multimodaal_vervoer.pdf](http://www.meuwissen-design.nl/publicaties/artikel_multimodaal_vervoer.pdf)

MIRA (2007a). *Milieurapport Vlaanderen: Achtergronddocument sector energie*. Opgevraagd op 5 februari, 2010, via

http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-T/01_sectoren/01_04/AG_Energie.pdf

MIRA (2007b). *Milieurapport Vlaanderen: Achtergronddocument sector transport*. Opgevraagd op

17 december, 2009, via [http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-](http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-T/01_sectoren/01_06/AG_transport.pdf)

[T/01_sectoren/01_06/AG_transport.pdf](http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-T/01_sectoren/01_06/AG_transport.pdf)

MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009a). *Goederenvervoer: comodaliteit versus modal shift*.

Opgevraagd op 10 februari, 2010, via

[http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_comodaliteit%20versus%20modal%20shif](http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_comodaliteit%20versus%20modal%20shift.pdf)
[t.pdf](http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_comodaliteit%20versus%20modal%20shif.pdf)

MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009b). *Mobiliteitsrapport van Vlaanderen 2009*.

Opgevraagd op 13 februari, 2010, via <http://www.serv.be/uitgaven/1556.pdf>

MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009c). *Goederenvervoer: cijfergegevens*. Opgevraagd op 15 februari, 2010, via

http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_cijfergegevens.pdf

MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009d). *Fijn stof en transport in Vlaanderen*. Opgevraagd op 18 februari, 2010, via http://www.serv.be/webteksten/Mora/Fijn_Stof_Transport_Vlaanderen.pdf

Nationale Klimaat Commissie (2007). *Broeikasgasemissies in België. Trends, prognoses en vorderingen ten opzichte van de Kyoto-doelstelling*. Opgevraagd op 5 november, 2009, via http://www.klimaat.be/IMG/pdf/Broeikasgasemissies_2007.pdf

Promotie Binnenvaart Vlaanderen (2004). *Milieuprestaties van de binnenvaart in Vlaanderen. Studie uitgevoerd door de Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek (VITO)*. Opgevraagd op 22 december, 2009, via <http://www.binnenvaart.be/nl/downloads/documents/VITO%20Milieuprestaties%20samenvatting%20versie%205.pdf>

Promotie Binnenvaart Vlaanderen (2008, februari). Binnenvaart wordt een noodzaak. *Binnenvaart: magazine voor vervoer over water*, 36, 6

Ribus, L. (2007). *Totale logistieke kosten in multimodaal goederenvervoer*. Diepenbeek: U Hasselt

SenterNovem (2007). *Handreiking Verbredingsthema's. Bijlage Onderbouwing energiekentallen*. Opgevraagd op 6 maart, 2010, via http://www.senternovem.nl/mmfiles/Bijlage_onderbouwing_energiekentallen_tcm24-204104.pdf

Smokers, R.T.M., den Boer L.C., & Faber J.F. (CE Delft) (2007). State-of-the-Art CO₂ en mobiliteit. Opgevraagd op 27 maart, 2010, via http://www.ce.nl/publicatie/state-of-the-art_co2_en_mobiliteit/717?PHPSESSID=4e27213227d68640f6256465a4e04a7c

Susanne, K. (2008). Ethical companies are more successful. *Drive World*, 2, 27-29

Timberland lanceert Earthkeepers collectie. (2010, 26 februari). *Metro*, p.16.

Van Driessche, W. (2010, 22 mei). We zijn gedoemd om onszelf kapot te rijden. *De Tijd*. Opgevraagd op 26 mei, 2010, via http://www.tijd.be/nieuws/archief/-We_zijn_gedoemd_om_onszelf_kapot_te_rijden_--.8918691-1615.art

van Goeverden, K. (2009). *De externe kosten van het verkeer*. Opgevraagd op 26 december, 2009, via http://www.cvs-congres.nl/cvspdfdocs/cvs09_151.pdf

Van Humbeeck, P. (SERV), De Nocker, L., Int Panis, L. & Torfs, R. (VITO) (2000). *Baten van milieumaatregelen en milieubeleid*. Opgevraagd op 23 december, 2009, via http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/economie_pme2_1.pdf

Van Vlierden, G. (2009, 19 december). Zwak akkoord na klimaatonderhandelingen in Kopenhagen. Obama kan top niet redden. *Het Laatste Nieuws*, p.2.

van Ypersele, J.P., & Marbaix, P. (UCL) (2004). *Impact van de klimaatverandering in België*. Rapport op vraag van Greenpeace. Opgevraagd op 10 januari, 2009, via <http://www.greenpeace.org/raw/content/belgium/nl/press/reports/impact-van-de-klimaatveranderi.pdf>

Van Zeebroeck, B., & Nawrot T. (Transport & Mobility Leuven) (2008). *Auto en gezondheid. Rapport in opdracht van Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA)*. Opgevraagd op 15 februari, 2010, via <http://www.viwta.be/files/rapport170408.pdf>

Vannieuwenhuyse, B., & Misschaert, M. (2006a). *Handleiding voor een optimale verdeling over de verschillende vervoerswijzen weg, spoor en binnenwateren: van bewustwording tot implementatie*. Antwerpen: Vlaams Instituut voor de Logistiek.

Vlaamse Milieumaatschappij (2009). *Lozingen in de lucht 1990-2008*. Opgevraagd op 28 december, 2009, via http://www.vmm.be/publicaties/2009/Lozingen_rapport_2008_TW.pdf

VMM, Vito, AWAC, IBGE-BIM, IRCEL, ECONOTEC (2009). *Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2007). National Inventory Report submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol* Opgevraagd op 26 oktober, 2009, via http://www.climatechange.be/IMG/pdf/NIR_Belgium_april_2009_final.pdf

Wereld op rand van catastrofe. (2009, 20 oktober). *Metro*, p.1.

Websites

Berkheij, J. (2008). *DHL zoekt innovaties in milieuvriendelijk transport*. Opgevraagd op 15 januari, 2010, via http://www.logistiek.nl/nieuws/id6540-DHL_zoekt_innovaties_in_milieuvriendelijk_transport.html

De Lloyd, News on Transport & logistics (2009a). *Antwerpse haventrafiek met 16,7% gedaald*. Opgevraagd op 12 januari, 2010, via http://www.lloyd.be/nieuws/id26709-Antwerpse_haventrafiek_met_,_gedaald.html

De Lloyd, News on *Transport & Logistics* (2009b). *Antwerpse haven schakelt over op zwavelarme brandstof*. Opgevraagd op 12 januari, 2010, via http://www.lloyd.be/nieuws/id26686-Antwerpse_haven_schakelt_over_op_zwavelarme_brandstof.html

De Lloyd, News on transport & logistics (2010a). *Financiële weerbaarheid transportsector fors aangetast*. Opgevraagd op 12 januari, 2010, via http://www.lloyd.be/nieuws/id26799-Financile_weerbaarheid_transportsector_fors_aangetast.html

De Lloyd, News on transport & logistics (2010b). *Kallas: "Internaliseer alle externe kosten."* Opgevraagd op 12 januari, 2010, via http://www.lloyd.be/nieuws/id26807-Kallas_Internaliseer_alle_externe_kosten.html

Febiac, Belgische automobiel- en tweewielerfederatie (2007). *Gids CO₂: Wat is CO₂?* Opgevraagd op 11 november, 2009, via <http://www.febiac.be/public/content.aspx?FID=556>

Federale dienst Klimaatverandering. (2009). Opgevraagd op 4 november, 2009, via <http://www.klimaat.be>

Groen! (2008). *Standpunt-Algemeen* Opgevraagd op 27 oktober, 2009, via http://www.groen.be/uploads/docs/standpunten/standpunt_algemeen.pdf

LNE, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (De Vlaamse Milieuadministratie) (2009). *Euronormen voor voertuigen*. Opgevraagd op 12 februari, 2010, via <http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/ecoscore-en-euronormen/euronormen-voor-voertuigen>

MIRA, Milieurapport Vlaanderen (2009a). *Transportstromen van goederenvervoer*. Opgevraagd op 29 september, 2009, via <http://www.milieurapport.be/nl/feiten-cijfers/MIRA-T/sectoren/transport/transportstromen-van-goederenvervoer/transportstromen-van-goederenvervoer/>

MIRA, Milieurapport Vlaanderen (2009b). *Totale energiegebruik door de verschillende transportmodi*. Opgevraagd op 19 februari, 2010, via <http://www.milieurapport.be/nl/feiten-cijfers/MIRA-T/sectoren/transport/energiegebruik-door-transport/totaal-energiegebruik-door-de-verschillende-transportmodi/>

MIRA, Milieurapport Vlaanderen (2009c). *Emissie van zware metalen en benzeen door transport*. Opgevraagd op 18 februari, 2010, via <http://www.milieurapport.be/nl/feiten-cijfers/MIRA-T/sectoren/transport/emissies-naar-lucht-door-transport/emissie-van-zware-metalen-en-benzeen-door-transport/>

Open VLD, Open Vlaamse Liberalen en Democraten (z.d.). *Standpunten*. Opgevraagd op 26 oktober, 2009, via http://www.vld-parlement.be/home/index.cfm?menu_id=70&standpunt_id=163

Promotie Binnenvaart Vlaanderen (2009). *Waterwegenkaarten*. Opgevraagd op 5 februari, 2010, via <http://www.binnenvaart.be/nl/waterwegen/waterwegenkaarten.asp#>

Reay, D., & Pidwirny, M. (2010). *Carbon dioxide*. *Encyclopedia of Earth*. Opgevraagd op 25 maart, 2010, via http://www.eoearth.org/article/Carbon_dioxide

SP.A, socialisten en progressieven anders (z.d.) *Basiswaarden*. Opgevraagd op 26 oktober, 2009, via <http://www.s-p-a.be/nationaal/ideeen/basiswaarden/>

Studiedienst van de Vlaamse Regering (2008). Opgevraagd op 2 januari, 2010, via <http://www4.vlaanderen.be/dar/svr/cijfers/Exceltabellen/mobiliteit/leefbaarheid/MOBIALGE020.xls>

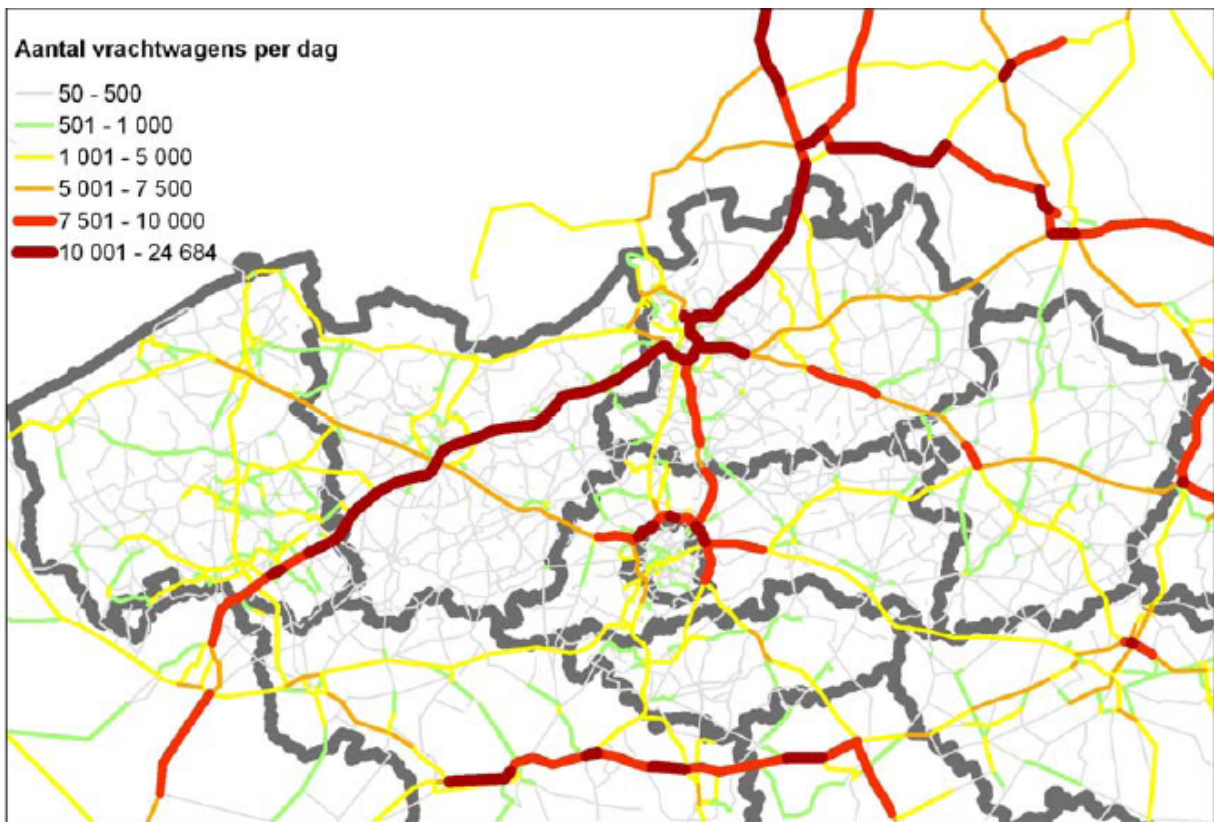
UNEP/GRID-Arendal (2000a). *Global atmospheric concentration of CO₂*. *UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library*. Opgevraagd op 6 januari, 2010, via <http://maps.grida.no/go/graphic/global-atmospheric-concentration-of-co2>

UNEP/GRID-Arendal (2000b). *Potential climate change impacts*. *UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library*. Opgevraagd op 7 januari, 2010, via <http://maps.grida.no/go/graphic/potential-climate-change-impacts>

Lijst van bijlagen

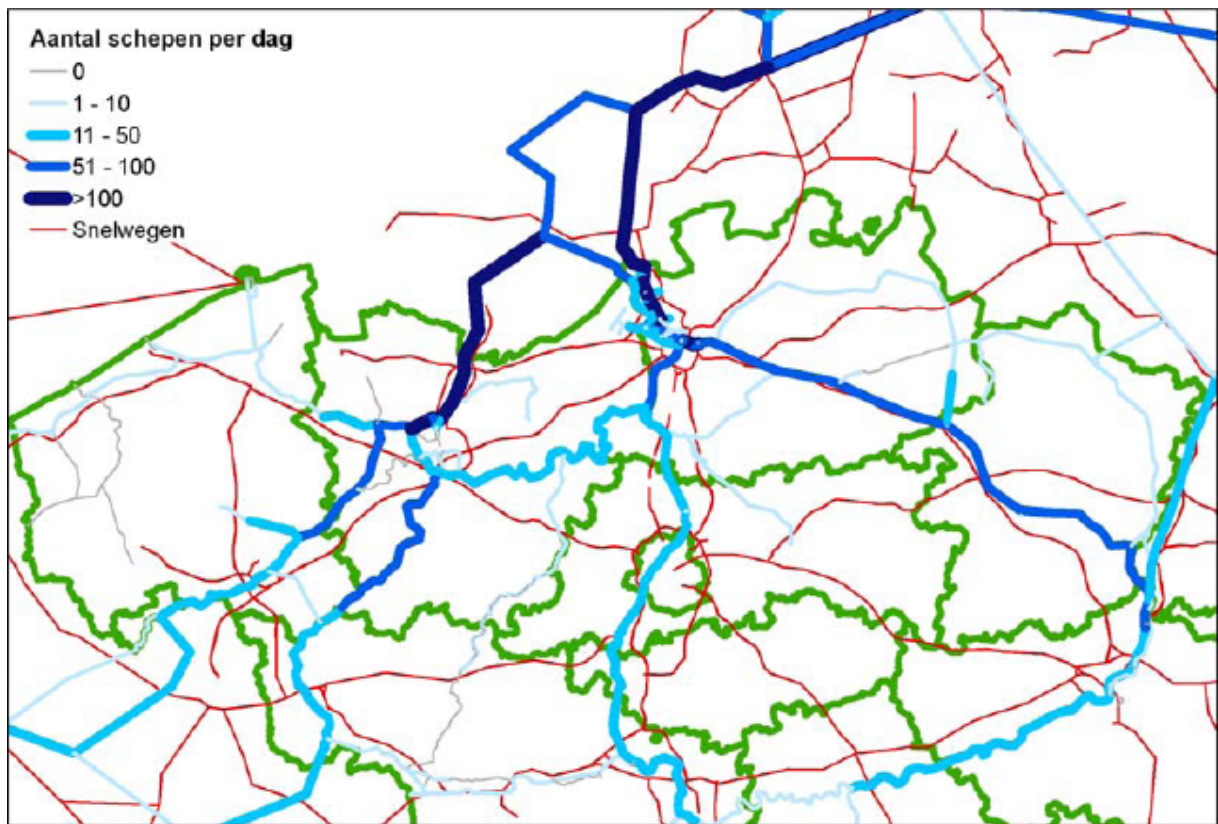
- Bijlage 1: Aantal vrachtwagens per dag op het wegennet in Vlaanderen in 2004
- Bijlage 2: Aantal schepen per dag op de binnenvaartwegen in Vlaanderen in 2007
- Bijlage 3: Mogelijke impact van de klimaatverandering wereldwijd
- Bijlage 4: Componenten van de transportkost: wegvervoer
- Bijlage 5: Componenten van de transportkost: Containerbinnenvaart
- Bijlage 6: Gelijkenis tussen PM_{2,5} en het aantal verloren levensmaanden
- Bijlage 7: Binnenvaartcontainerterminals in België (situatie 2009)

Bijlage 1: Aantal vrachtwagens per dag op het wegennet in Vlaanderen in 2004



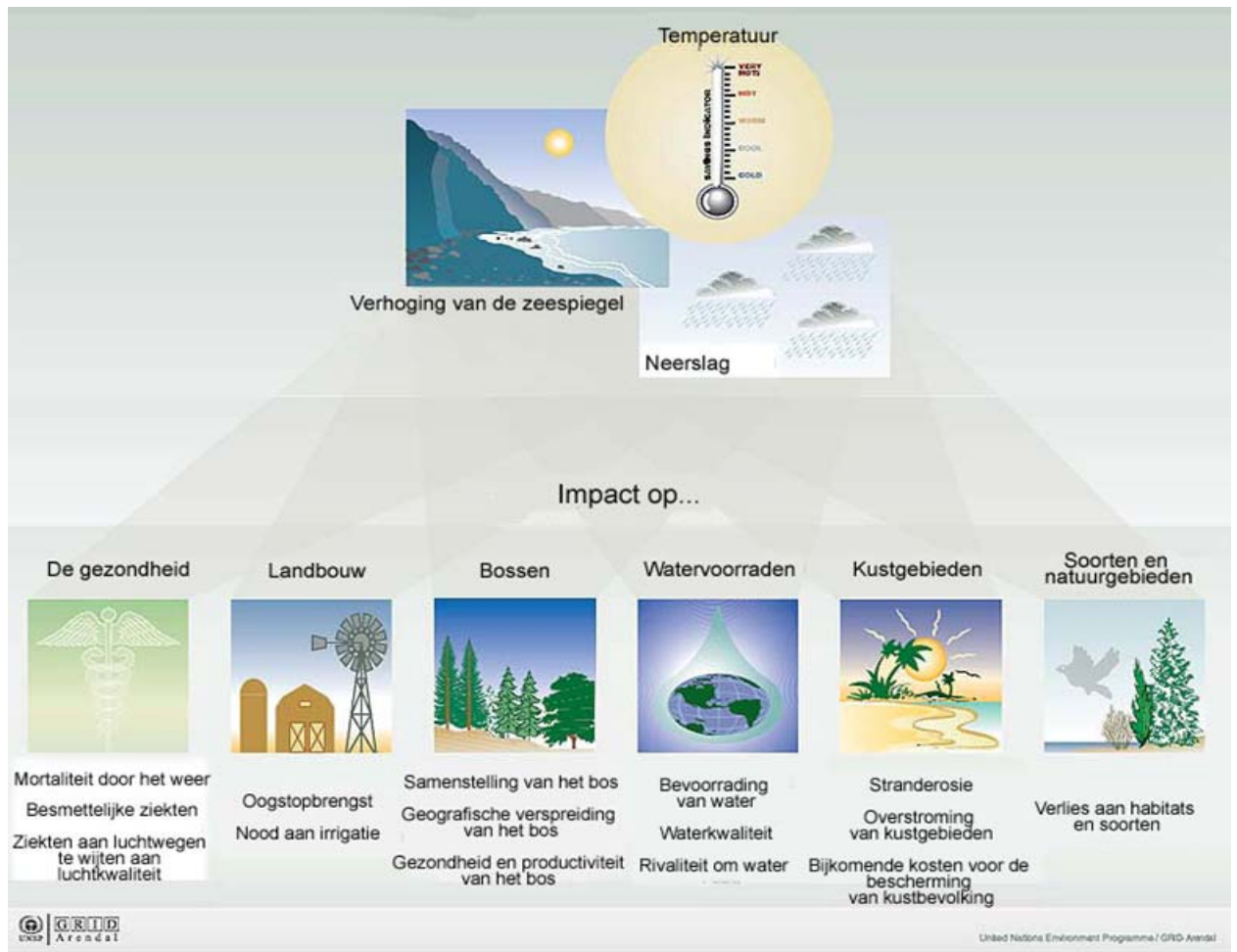
Bron: MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009c). *Goederenvervoer: cijfergegevens*.
Opgevraagd op 15 februari, 2010, via
http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_cijfergegevens.pdf

Bijlage 2: Aantal schepen per dag op de binnenvaartwegen in Vlaanderen in 2007



Bron: MORA, Mobiliteitsraad van Vlaanderen (2009c). *Goederenvervoer: cijfergegevens*.
Opgevraagd op 15 februari, 2010, via
http://www.serv.be/webteksten/Mora/Goederenvervoer_cijfergegevens.pdf

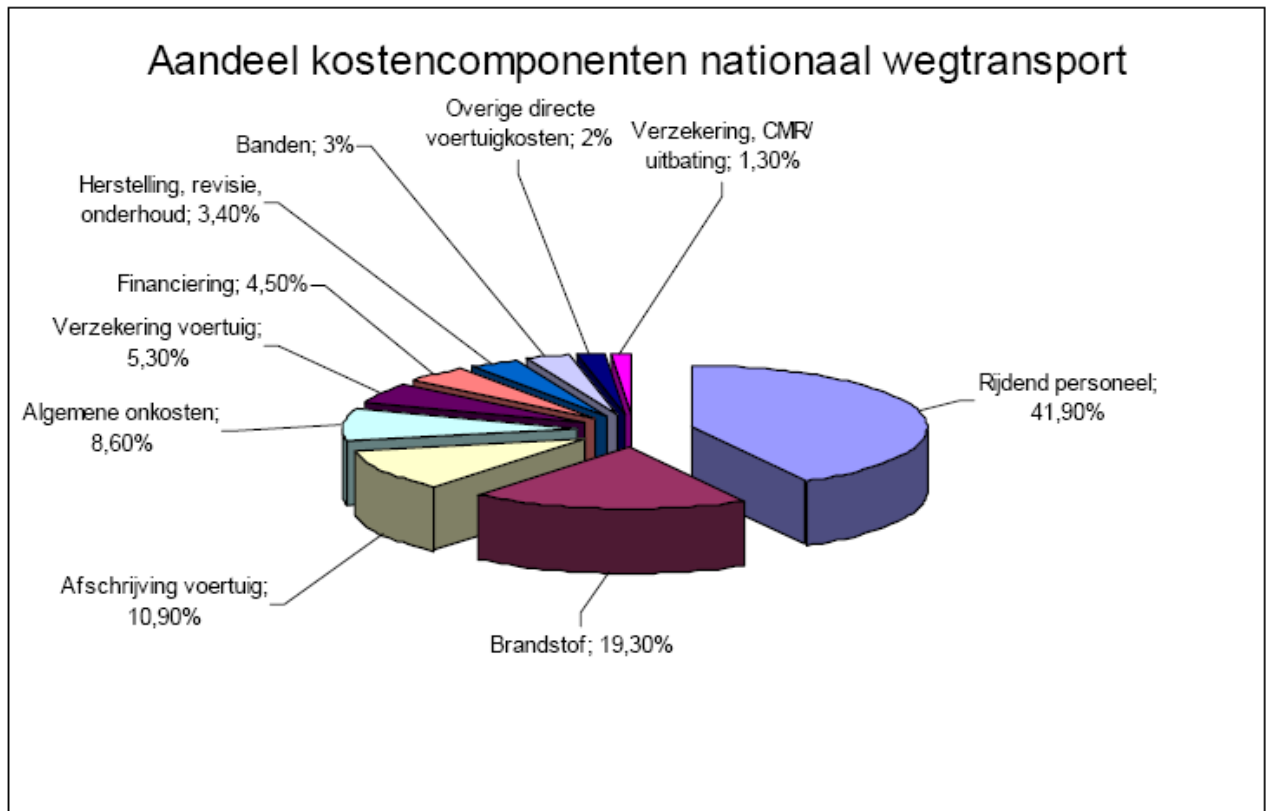
Bijlage 3: Mogelijke impact van de klimaatverandering wereldwijd



Source: United States environmental protection agency (EPA).

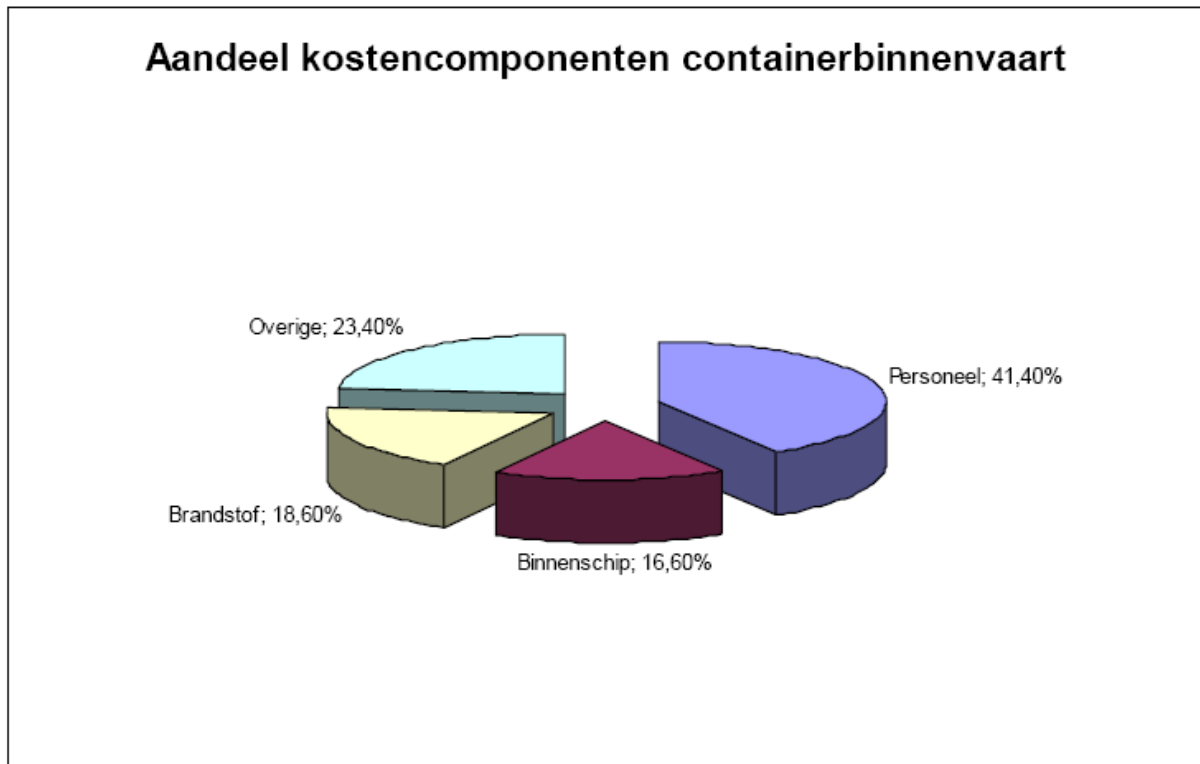
Bron: UNEP/GRID-Arendal. (2000b). *Potential climate change impacts. UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library*. Opgevraagd op 7 januari, 2010, via <http://maps.grida.no/go/graphic/potential-climate-change-impacts> (eigen bewerking)

Bijlage 4: Componenten van de transportkost: wegvervoer



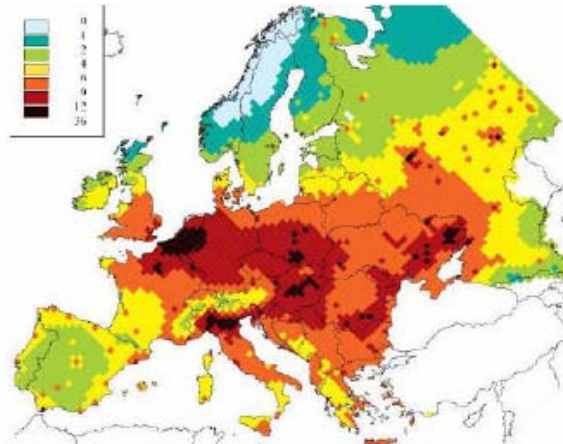
Bron: Event, 2006 in Ribus, L. (2007). *Totale logistieke kosten in multimodaal goederenvervoer*. Diepenbeek: Uhasse

**Bijlage 5: Componenten van de transportkost:
Containerbinnenvaart**

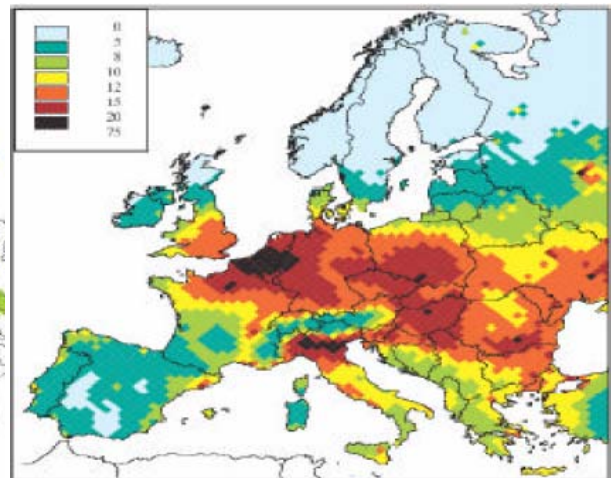


Bron: Event, 2006 in Ribus, L. (2007). *Totale logistieke kosten in multimodaal goederenvervoer*. Diepenbeek: U Hasselt

Bijlage 6: Gelijkenis tussen PM2,5 en het aantal verloren levensmaanden



Verloren levensmaanden ten
gevolge van PM2,5 in Europa in 2000
(Van Zeebroeck en Nawrot, 2008)



Gemiddelde concentratie van PM2,5
in Europa in 2000 (in µg/m³)
(Van Zeebroeck en Nawrot, 2008)

Bijlage 7: Binnenvaartcontainerterminals in België (situatie 2009)



Bron: Promotie Binnenvaart Vlaanderen (2009). *Waterwegenkaarten*. Opgevraagd op 5 februari, 2010, via <http://www.binnenvaart.be/nl/waterwegen/waterwegenkaarten.asp#>

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Studie van de economische, maatschappelijke, ecologische en energetische haalbaarheid van multimodaal vervoer. Toepassing bij transportonderneming Transport Gheys N.V.

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2010**

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.

Voor akkoord,

Geerts, Jennifer