

Kosten-baten analyse van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde

door E. DELHAYE



Eef Delhaye
KULeuven, Faculteit Economische en
Toegepaste Economische Wetenschappen,
Centrum voor Economische Studiën, Leuven

ABSTRACT

In België sterven er jaarlijks 1.500 mensen in het verkeer. Een groot deel van deze ongevallen gebeurt op kruispunten. De rotonde lijkt een middel om het aantal slachtoffers te doen dalen. In dit werk beschouwen we de effecten van de ombouw van een geregeld kruispunt tot een rotonde. We willen weten of het economisch efficiënt is om een bestaand, geregeld kruispunt te vervangen door een rotonde, meer bepaald of de baten opwegen tegen de kosten.

Het artikel komt tot het besluit dat de omvorming van een geregeld kruispunt tot een rotonde een netto baat oplevert voor de maatschappij. De omvorming zorgt voor een vlotter en veiliger verkeersafwikkeling. De baten hiervan wegen op tegen de toegenomen milieukosten en de aanlegkost. Sensitiviteitsanalyse toont aan dat de resultaten zeer robuust zijn voor veranderingen in ongeval-, tijd- en infrastructuurkosten.

1500 people die every year on the roads of Belgium. A large share of these accidents happens on junctions. The roundabout seems to be a solution to lower the number of accidents. In this article, we look at the effects of rebuilding a crossing with traffic lights into a roundabout. We want to know if it is economical efficient to replace an existing crossing with traffic lights by a roundabout, that is, we want to know if the benefits are larger than the costs.

This article concludes that the transformation of a crossing with traffic lights into a roundabout provides a net benefit to society. The transformation makes traffic smoother and safer. The benefits of this are larger than the increased environmental cost and the cost of rebuilding. A sensitivity analysis shows that the results are very robust for changes in accident-, time- and infrastructure costs.

* Ik dank Inge Mayeres en Prof. Dr. S. Proost voor hun nuttige commentaar en suggesties.

I. PROBLEEMSTELLING

De laatste jaren leeft verkeersveiligheid weer bij de publieke opinie en bij de beleidsmakers. Een voorbeeld hiervan zijn de recente discussies in België.

Bij de formulering van een beleid is het belangrijk om een goede evaluatie te maken van potentiële maatregelen. Dit houdt in dat men voor elke maatregel een goed beeld vormt van de maatschappelijke baten en kosten en men enkel deze toepast waarvan de sociale baten de sociale kosten overtreffen. Dit artikel wil een bijdrage leveren tot de discussie door een dergelijke oefening uit te voeren voor een concrete veiligheidsmaatregel die de laatste tijd veel werd toegepast in België: de omvorming van een geregeld kruispunt naar een rotonde¹.

De structuur van de tekst is als volgt: in deze paragraaf beschouwen we kort de achtergrond en verduidelijken we enkele begrippen. Vervolgens geven we een overzicht van studies over de effecten van de ombouw. In een derde paragraaf stellen we het analytisch kader voor dat we zullen gebruiken. In de vierde en laatste paragraaf voeren we de eigenlijke analyse uit.

A. Achtergrond

Het aantal verkeersdoden in België is zeer hoog. Per miljoen inwoners vallen er in België jaarlijks 150 doden in het verkeer. Het aantal gewonden is hier een veelvoud van. Uit cijfers van het Belgisch Instituut voor Verkeersveiligheid (BIVV) (2001) blijkt bovendien dat in 1999 38,14% van alle ongevallen met lichamelijk letsel op intersecties² gebeurden. Door de slechte registratie beschikt men echter niet over de volledige cijfers, maar men schat het totaal aantal ongevallen, inclusief deze met alleen materiële schade, op intersecties tussen de 150.000 en 250.000 per jaar. Dit cijfer is al 15 jaar constant ondanks de vele inspanningen om kruispunten veiliger te maken.

Er zijn verschillende redenen waarom men met behulp van rotondes het aantal ongevallen op intersecties kan doen dalen. Allereerst is snelheid één van de belangrijkste factoren die een invloed heeft op het aantal ongevallen en voornamelijk op de ernst ervan. Door haar vormgeving heeft de rotonde een snelheidsverlagend effect en is ze

overzichtelijker. Bovendien voorkomt ze frontale botsingen en zijn de ongevallen in het algemeen minder ernstig door de verandering van de hoek. Maar de heraanleg heeft ook andere gevolgen. Ze beïnvloedt de tijd die mensen nodig hebben om de intersectie over te steken, de uitstoot van vervuilende stoffen en de capaciteit.

We kijken daarom of het economisch efficiënt is om een geregeld kruispunt te vervangen door een rotonde, rekening houdend met meer dan alleen de veiligheid. Bij gebrek aan goede data voor België steunen we op data van andere landen. We merken wel op dat, eens er gegevens zijn voor België, de analyse zeer eenvoudig aan te passen is. In paragraaf twee beschrijven we de effecten die we gebruiken.

B. *Begrippen*

In de rest van deze studie duiden we met het woord *intersectie* elke kruising tussen twee of meer wegen aan. Onder een *geregeld kruispunt* verstaan we een kruispunt geregeld door een driekleuren lichtinstallatie in twee of meerdere fasen. Onder een *ongeregeld kruispunt* verstaan we kruispunten die geregeld worden door stopborden, voorrangsborden of waar voorrang van rechts geldt. Een rotonde wordt gedefinieerd als een kruispuntoplossing voor rondgaand verkeer met drie kenmerken. Ten eerste wordt er volgens de wetgeving voorrang verleend aan het verkeer op de rotonde. Ten tweede moet de rotonde beantwoorden aan specifieke geometrische kenmerken. Zo moet er een middeneiland zijn, een cirkelvormige buitenrand en een kanalisering en markering van de aanvoerwegen. Ten derde moet ze als een rotonde gesignaleerd worden. Wat de grootte betreft, zijn er drie soorten rotondes. In Vlaanderen wordt een rotonde met een doorsnede tussen 18 en 25 meter een *mini-rotonde* genoemd. Een rotonde met een doorsnede van 25 à 40 meter wordt een *compacte rotonde* genoemd en als de doorsnede ligt tussen 35 en 50 meter, dan spreekt men van een *grote rotonde*. Een grote rotonde wordt eerder beschouwd als een opeenvolging van verschillende T-kruispunten dan als één geheel. We beschouwen in deze studie de compacte rotonde aangezien deze het meest voorkomt in België. Men kan ook een onderscheid maken naargelang het aantal rijstroken. We zullen éénstrooksrotondes beschouwen omdat deze meer frequent voorkomen in België (Technologische Instituut-K VIV, Genootschap Verkeerskunde (1995)).

II. EFFECTEN VAN DE OMBOUW

De conclusies van verschillende studies (Akçelik R., Chung E., Besley M. (1998), Cedersund H.-°A (1995), Centre d'Etudes des Transport Urbain, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (1993), Hyden C., Várhelyi A. (2000), Insurance institute for highway safety (2000), Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1997), Ministère Wallon de l'Equipement et des Transports Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes ((1998) en (1999)), Technologisch Instituut-K VIV, Genootschap Verkeerskunde (1995), Van Minnen J. ((1989), (1993) en (1994)). Voor een overzicht van de resultaten van de verschillende studies zie Delhaye (2001)) met betrekking tot de gevolgen van de omvorming zijn tamelijk eensluidend, al zijn er verschillen wat betreft de grootteorde. Zo vinden ze allemaal dat het aantal ongevallen en de ernst van de ongevallen daalt bij de omvorming. Wat betreft de tijdsverschillen vinden de meeste studies een tijdswinst, al is er wel een verschil tussen de hoofd- en de zijweg. Wat betreft mogelijke andere effecten hebben we alleen de studie van Hyden & Várhlyi (2000), waaruit blijkt dat het brandstofverbruik en de uitstoot daalt. Tabel 1 geeft de precieze waarden weer van de effecten die we gebruiken en op welk land de resultaten slaan.

In het artikel gaan we na of bij de omvorming van een geregeld kruispunt de daling in ongevallen, vervuiling en brandstofverbruik opwegen tegen de infrastructuurkosten en het mogelijk tijdsverlies.

III. ECONOMISCH KADER

In deze paragraaf schetsen we het economische kader waarmee we bepalen of de omvorming economisch efficiënt is. Dit kader is gebaseerd op De Borger & Proost (1997).

A. *Het huidig marktevenwicht*

Eerst bekijken we het huidig marktevenwicht. We beschouwen de markt voor autotrips, met name deze trips waarbij men over de intersectie rijdt. Beschouw Figuur 1.

We beschouwen allereerst de vraag van personenwagens voor deze trips. Transport op zich is een afgeleide vraag. Het wordt meestal niet ondernomen voor de eigen consumptiewaarde maar als middel.

TABEL 1
Effecten van de ombouw die we zullen analyseren

Effect	Geregeld kruispunt → rotonde	Bron
Ongevallen ^a	#ongevallen/10 mio toekomende wagens 3,35 → 1,24 #doden/100 ongevallen: 10 → 6 #Zwaar Gewonden/100 ongevallen: 45 → 33 #Licht Gewonden/100 ongevallen: 126 → 106	Cetur (1993): Duitsland Setra (1998): Frankrijk
Tijd	Wachttijd: 10 sec → 0 Geometrisch tijd ^b : Hoofdweg: 4,75 sec → 12 sec Zijweg: 14 sec → 12 sec	Setra (1998): Frankrijk
Milieu	CO ↓ met 29% NOx ↓ met 21% Andere stoffen; 1 tot 1 relatie met brandstofverbruik	Hyden & Várhelyi (2000): Zweden
Brandstofverbruik	↓ met 25%	Hyden & Várhelyi (2000): Zweden

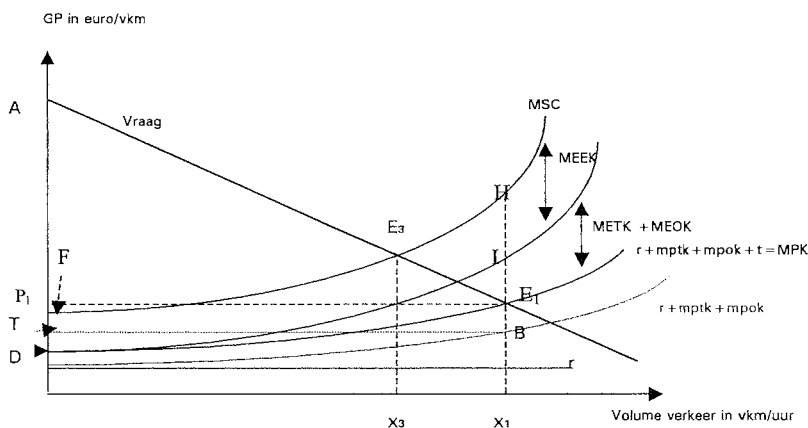
- a: merk op de cijfers met betrekking tot de ernst van de ongevallen eigenlijk gelden op ongeregelde kruispunten. Uit gebrek aan cijfers veronderstellen we dat de ernst van ongevallen op een geregeld kruispunt hetzelfde is als deze op een ongeregelde kruispunt.
- b: voor de betrekking van de geometrische tijd op een kruispunt verwijzen we naar 4.2.3.

De vraag is een functie van veel factoren, onder andere van de geeneraliseerde prijs (GP). Dit is de som van de resource kost, de marginale private tijd- en ongevalkosten en de belastingen. De resource kost (r) omvat de kosten van het gebruik van de wagen zoals de aankoop-prijs, de verzekering, het onderhoud, enz. De marginale private tijds-kost (mptk) is de tijd die je nodig hebt per kilometer, vermenigvuldigd met de waarde van de tijd. De eigen ongevalkosten (mpok) zijn gelijk aan:

$$\sum_j (\text{ongevalsrisico}_j * \text{kost voor ongeval } j \text{ voor de autogebruiker zelf})$$

met j gelijk aan de verschillende ongevaltypes. De kost van een ongeval j voor de autogebruiker zelf omvat het verlies aan levensgenot,

FIGUUR 1
Marginale externe kosten in het evenwicht



vermeerderd met de financiële kosten die de autogebruiker zelf draagt (bijvoorbeeld een deel van de medische kosten). Tenslotte wordt de gegeneraliseerde prijs mede bepaald door de belastingen verbonden met het rijden. We veronderstellen deze belasting (t) constant.

De vraag naar transport daalt als de gegeneraliseerde prijs stijgt. Andere elementen die de vraag naar transport bepalen zijn de gegeneraliseerde prijs van autovervoer op andere plaatsen, van het openbaar vervoer, het inkomen, enz. Deze veronderstellen we constant.

Aan de aanbodzijde gaan we na hoe de gegeneraliseerde prijs samenhangt met het verkeersvolume. Hiervoor bekijken we de verschillende componenten van de gegeneraliseerde prijs. Eenvoudigheidshalve veronderstellen we dat de resource kost onafhankelijk is van het verkeersvolume. De marginale private tijdskost is een stijgende functie van het verkeersvolume. Immers hoe meer wagens er zijn, hoe trager het verkeer.

De relatie van de marginale private ongevalkosten met het verkeersvolume is niet eenduidig. Men verwacht een stijging in het aantal ongevallen als er meer verkeer is aangezien het aantal confrontaties dan stijgt. Aan de andere kant zal de snelheid afnemen naarmate er meer wagens zijn wat de ernst van de ongevallen zal doen dalen. Ook kan een grotere voorzichtigheid bij meer verkeer zorgen voor een compensatie. De resource kost, de private ongevallenkost en de private tijdskost bepalen samen met de belastingen de marginale private kost (MPK) voor de consument. Deze kosten omvat alle monetaire

kosten, tijdskosten en ongevalkosten waarmee de reiziger rekening houdt. Op Figuur 1 wordt het huidig marktevenwicht gegeven door E_1 , het snijpunt van de vraagcurve en de curve die de marginale private kosten voor de automobilist voorstelt.

Bij een kosten-baten analyse beschouwen we echter de maatschappij als geheel. Vervoer brengt een aantal ongewenste neveneffecten met zich mee zoals congestie, luchtvervuiling, geluidshinder, ongevallen,... Dit worden negatieve externe effecten genoemd. Extern omdat de gebruiker geen rekening houdt met deze kosten bij zijn beslissing. Negatief omdat ze een kost inhouden voor de maatschappij. Deze externe kosten zijn een stijgende functie van het autoverkeer. De marginale maatschappelijke kosten zijn gelijk aan de som van de marginale private kosten, de marginale externe tijdskost, de marginale externe ongevalkost, en de marginale externe milieukost. De marginale externe tijdskost, (METK) omvat de extra tijdskosten die een bijkomende gebruiker veroorzaakt bij de overige weggebruikers. De marginale externe ongevalkost, (MEOK) is het effect van de bijkomende weggebruiker op de eigen ongevalkosten van de andere weggebruikers. Dit wordt gedeeltelijk gedekt door de verzekeringen indien de verzekering niet als vast gepercipieerd wordt en voor zover verzekeringen de totale ongevalkosten dekken. Er zijn nog twee marginale externe kosten die we in de figuur samen weergeven door MEEK. Het eerste element is de ongevalkosten voor de rest van de maatschappij. Het tweede element is de marginale externe milieukost. Deze omvat de milieuvervuiling, de geluidshinder,... Doordat de bestuurder geen rekening houdt met externe effecten is het evenwicht E_1 een evenwicht met meer verkeer dan maatschappelijk goed is. De marginale private betalingsbereidheid is er niet gelijk aan de marginale sociale kost (MSC), maar aan de marginale private kost. De totale welvaart van het evenwicht E_1 kan men op twee gelijkwaardige wijzen voorstellen. Allereerst kan je de totale welvaart meten als de som van het consumentensurplus met het producentensurplus met de netto belastingsontvangsten, verminderd met de externe kosten. Het consumentensurplus is gelijk aan het verschil in de bereidheid tot betalen, weergegeven door de vraag en de effectieve uitgaven. Grafisch is dit gelijk aan de driehoek $A-P_1-E_1$. Het producentensurplus is hier gelijk aan nul³. De belastingsontvangsten zijn gelijk aan de oppervlakte P_1-E_1-B-T . De som van het consumentensurplus en de belastingsontvangsten moeten verminderd worden met de externe kosten $D-F-H-I$ ⁴. Dit is equivalent met het verschil in totale bereidheid tot betalen

verminderd met de totale maatschappelijke kosten. Grafisch is dit de oppervlakte $F-A-E_3$ min de oppervlakte E_1-E_3-H . De oppervlakte E_1-E_3-H duidt de mogelijke welvaartswinst aan als de automobilisten de juiste prijs zouden betalen. Wij zullen de eerste benadering gebruiken.

B. *Vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde*

We werken het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde nu ook grafisch uit. Uit paragraaf twee bleek dat de vervanging van een geregeld kruispunt als gevolg had dat het ongevalrisico daalt en dus de interne en externe ongevalkost, dat het benzineverbruik en dus de resource kost en de belastingsontvangsten uit transport dalen en dat de milieukosten dalen. Het effect op de tijd is niet eenduidig. Met andere woorden, de gegeneraliseerde prijs om over de intersectie te rijden, daalt door de omvorming. Dit maakt dat de prijs van heel de trip daalt. Merk echter op dat er maar een beperkte afstand gereden wordt op de intersectie vergeleken met de totale trip. Hierdoor zal de daling van de gegeneraliseerde prijs op de intersectie niet zo'n grote invloed hebben op de gegeneraliseerde prijs van heel de trip. We veronderstellen immers dat de gegeneraliseerde prijs op de rest van de af te leggen weg niet verandert⁵. Om de rotonde aan te leggen moet de overheid een extra belasting heffen. We veronderstellen dat de belasting op het inkomen stijgt. Figuur 2 geeft de effecten weer van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde.

Door de daling van de marginale private kost zal de gevraagde hoeveelheid stijgen⁷.

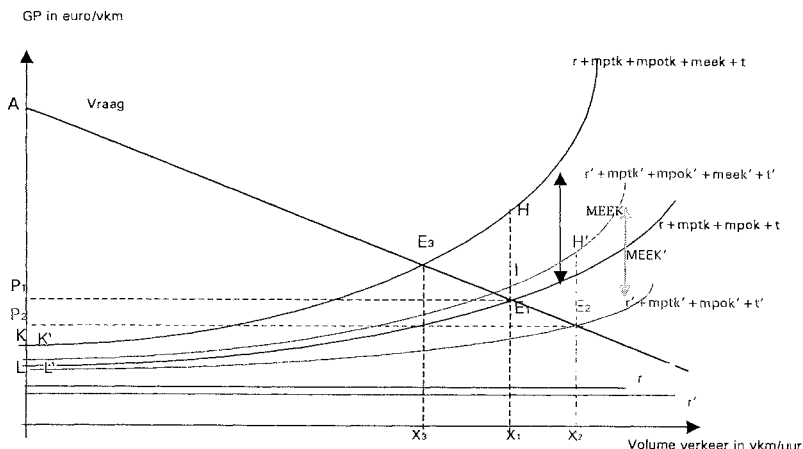
Het netto welvaartseffect uitgedrukt in monetaire eenheden van de omvorming van de intersectie wordt gegeven door:

$$\text{netto baat/kost} = \Delta CS + \Delta PS + (1 + \lambda) \Delta TR + \Delta EXT$$

Het eerste element is de verandering in het consumentensurplus, gemeten met behulp van de gegeneraliseerde prijs. In Figuur 2 wordt dit gegeven door $P_1-P_2-E_1-E_2$. We bekijken dan met andere woorden het verschil in resource kost, tijdskost en private ongevalkost voor zowel bestaande als nieuwe gebruikers tussen de twee alternatieven. Het verschil in producentensurplus is in deze oefening nul aangezien het producentensurplus voor en na nul zijn. Het derde element heeft te maken

FIGUUR 2

Effect van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde⁶



met het feit dat de aanleg van rotondes moet gebeuren met algemeen belastinggeld. We moeten immers de investering zelf en eventueel het verschil in onderhoudskosten in rekening brengen. Bovendien zal er door het verschil in brandstofverbruik en de gestegen vraag ook een verschil in belastinginkomsten uit de transportmarkt zijn. Dit derde element is niet weergegeven op de figuur. Dit belastinggeld zal meer kosten aan de maatschappij dan het bedrag dat nodig is aangezien het heffen van belastingen tot distorties leidt. Daarom vermenigvuldigen we met $(1 + \lambda)$, de marginale kost van publieke fondsen. Wat is deze marginale kost van publieke fondsen? Belastingen geven aanleiding tot vervormingen in de economie. Voor elke frank belastingen die wordt opgehaald, verliezen de gezinnen die frank, een direct kost, maar ze ondergaan ook een verlies door het minder efficiënt functioneren van de economie. Inderdaad, wanneer door het betalen van belastingen middelen verschuiven van belastingbetalers naar de overheid, dan wordt tegelijkertijd ook de beslissingen van de consument over het gebruik van zijn overgebleven middelen, geld en tijd, aangetast. De maat voor deze verborgen kost van het verhogen van belastinginkomsten is de marginale kost van publieke fondsen (zie Van De Voorde (1987)). Het kost met andere woorden $(1 + \lambda)$ euro om 1 euro op te halen. Het vierde element is de verandering in de externe kosten voor de maatschappij. Op de figuur wordt dit gegeven door $H-E_1-L-K$ min $H'-E_2-L'-K'$.

Als deze som groter is dan nul, dan spreken we van een netto-baat en is het economisch efficiënt om rotondes aan te leggen. Als de som negatief is, dan kunnen we ons geld beter voor iets anders gebruiken.

IV. OMVORMING VAN EEN GEREGELD KRUISPUNT NAAR EEN ROTONDE

In deze paragraaf bespreken we de eigenlijke kosten-baten analyse. We beschouwen de effecten op één jaar en kijken wat de gevolgen zijn van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde. De bedragen zijn in euro (2000) (European Commission (2000), NBB (2001)). We beginnen met een aantal veronderstellingen. Daarna geven we de berekening van de gegeneraliseerde prijs en de verandering van de vraag om af te sluiten met de eigenlijke kosten-baten analyse.

A. *Kosten-Baten analyse: veronderstellingen*

Om deze kosten-baten analyse uit te voeren, moeten we uitgaan van een aantal veronderstellingen.

We beperken ons, zoals eerder gezegd, tot de zogenaamde compacte eenstrooksrotonde. Dit is immers de meest voorkomende soort in België. Figuur 3 geeft de vormgeving weer van de door ons veronderstelde rotonde met volgende afmetingen:

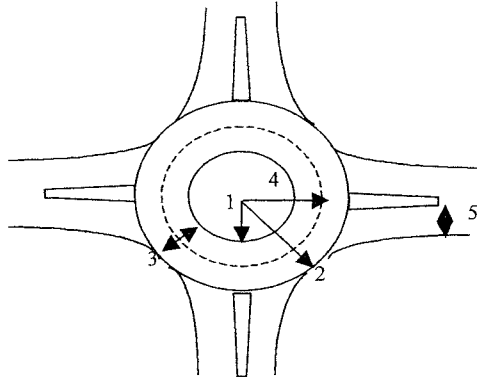
- 1 = B_i , de straal van de binnencirkel = 10,5 meter
- 2 = B_u , de straal van de buitencirkel = 16 meter
- 3 = de breedte van de baan = 5,5 meter
- 4 = de straal van de cirkel die de baan in twee deelt = 13,25 meter
- 5 = R , de breedte van een baanvak van de aftakkingen = 3 meter

We veronderstellen dat op de zijweg 30% van het verkeer van op de hoofdweg rijdt. Verder stellen we ook dat de helft van de auto's rechtdoor rijdt, één vierde rechts afslaat en één vierde links afslaat.

Ten derde veronderstellen (Ministère Wallon de l'Équipement et des transports, direction générale des autoroutes et des routes (1992)) we dat er tijdens de piekuren gemiddeld 750 auto-eenheden (AE) op de twee hoofdtakken het kruispunt/de rotonde oprijden. Dit wil zeggen dat er 23,1% van deze 750 AE⁸, namelijk 173,25 AE, op de twee

FIGUUR 3

Vormgeving van de veronderstelde rotonde



zijtakken de intersectie oprijden. Dit geeft een gemiddelde van 461,63 AE per tak. We stellen dat het piek uur 12% van het dagelijks verkeer voorstelt. Zo komen we aan 3.846,88 AE/dag/tak. We vermenigvuldigen met 4 en veronderstellen dat het jaarlijks verkeer gelijk is aan 300 keer het dagelijks verkeer. Zo komen we aan 4.616.250 AE per jaar per intersectie in de voorsituatie.

Verder veronderstellen we een bezettingsgraad van gemiddeld 1,2 personen per wagen.

Omdat het milieueffect verschillend is voor voertuigen die rijden op benzine en deze op diesel maken we een onderscheid tussen deze voertuigtypes. In België bedraagt het aandeel van wagens op benzine 59,4% en van wagens op diesel 40,6%. We veronderstellen dat deze aandelen ook op de intersectie gelden. We merken ook op dat de milieueffecten verschillend zijn voor personenwagens en vrachtwagens. We zullen dit laatste niet beschouwen, aangezien we geen zicht hebben op het aandeel van het vrachtvervoer dat over de intersectie rijdt. Intuïtief kunnen we stellen dat als de rotonde groot genoeg is we dezelfde effecten zullen hebben als bij de wagen. De tijd-, milieu en brandstofkosten zullen dalen. De waarde van de tijdsdaling zal echter groter zijn. De tijdsdaling voor vrachtwagenbestuurders ligt immers hoger. Het effect op ongevallen is niet duidelijk. De kost van de aanleg die we gebruiken is de gemiddelde kost voor een gemiddelde samenstelling van het verkeer. De kost van het onderhoud stijgt

waarschijnlijk met het aandeel van de vrachtwagens. Vrachtwagens veroorzaken immers meer schade aan het wegdek en zoals verder zal blijken is het wegdekoppervlakte groter op de rotonde dan op het kruispunt met lichten.

Voor de brandstofprijzen gebruiken we de gemiddelde brandstofprijzen voor het fiscaal jaar 2000 zoals berekend door de prijzendienst van het Ministerie van Economische Zaken (2001).

Eenvoudigheidshalve veronderstellen we dat alle nieuwe gebruikers voordien geen trip ondernamen⁹. Indien bij de nieuwe gebruikers ook mensen zitten die vroeger een andere weg gebruiken, dan heeft de ombouw ook effecten op deze andere weg.

Tenslotte merken we op dat we bij onze berekening een aantal zaken niet beschouwen. Zo houden we allereerst geen rekening met het tijdsverlies dat de bestuurders ondervinden tijdens de ombouw. Het is praktisch onmogelijk om gemiddelde extra afstanden en extra tijd door wegomleggingen te bekomen. Ten tweede willen we opmerken dat studies aantonen dat vlak na een heraanlegging het aantal ongevallen stijgt. Mensen passen zich blijkbaar slechts langzaam aan aan de veranderde omstandigheden. Wij houden de ongevallenkans constant over de tijd. Ten derde nemen we de fietsers en voetgangers niet op. Uit de studie van Van Minnen (1993) bleek dat ook het aantal ongevallen met fietsers en voetgangers daalden, maar niet in dezelfde mate als de daling voor de inzittenden van wagens. Factoren één en twee maken dat we de baten van de rotondes zullen overschatten. De derde factor leidt eerder tot een onderschatting.

B. Verandering van het gevraagde volume

Uit Figuur 2 bleek dat de gegeneraliseerde prijs daalde door de omvorming. Door deze daling in de prijs, stijgt het verkeer. Om de verandering van het gevraagde volume te weten, moeten we eerst de verandering in de prijs berekenen. De gegeneraliseerde prijs per trip is gelijk aan (het aantal km op de intersectie*gegeneraliseerde prijs per km op de intersectie)+(het aantal km op de rest van de trip*gegeneraliseerde prijs per km op de rest van de weg).

1. Km per wagen

We veronderstellen (zie Figuur 3) dat de wagens in het midden van de baan rijden en dus rijden op de denkbeeldige cirkel met als straal

13,25 meter. De omtrek van deze cirkel is dan gelijk aan 83,25 meter. We veronderstellen dat gemiddeld de helft van deze afstand afgelegd wordt¹⁰, namelijk 41,63 meter. We veronderstellen voor de eenvoud dat de afgelegde weg op het kruispunt gemiddeld even lang is als op de rotonde.

De gemiddelde trip in België is zo'n 13 kilometer lang. Het aantal kilometer op de rest van de trip is dan gelijk aan 12,96 kilometer.

2. Brandstof- en voertuigkosten per kilometer

De prijzen en het verbruik verschillen tussen de wagens die op benzine rijden en deze op diesel. Daarom berekenen we eerst apart de brandstofprijzen (exclusief belastingen) per kilometer door de prijs en het verbruik te vermenigvuldigen. Vervolgens vermenigvuldigen we met de respectievelijke aandelen om zo tot één gewogen prijs te komen. We doen dit zowel voor het geregeld kruispunt als voor de rotonde als voor de rest van de weg. We merken wel op dat de ombouw een effect heeft op het brandstofverbruik. Omdat men minder moet stoppen en aanzetten daalt het gemiddeld brandstofverbruik met gemiddeld 25% (Hyden & Várhlyi (2000)). We veronderstellen dat deze daling gelijk is voor diesel en benzinewagens. We bekomen dan een brandstofprijs van 0,03 euro/km op het geregeld kruispunt en op de weg¹¹ en 0,02 euro/km op de rotonde.

Voor de voertuigkosten per jaar gebruiken we de gegevens van De Borger & Proost (1997). Deze zijn inclusief de belastingen en bevatten de annuïteit van de aankoopkost, de verkeersbelasting, de verzekering, de radiotaksen, de herstellingen, de batterijkosten, de kosten aan banden en olie. We halen de belastingen¹² eruit en berekenen aan de hand van de aandelen voor diesel en benzinewagens, een gewogen gemiddelde voertuigkost per km van 0,21 euro. De omvorming van een geregeld kruispunt naar een rotonde heeft geen effect op de voertuigkosten.

3. Tijdskost per wagen

Wat de tijd betreft, moeten we een onderscheid maken tussen de wachttijd en de geometrische tijd. Onder wachttijd verstaan we de tijd dat men voor het rood licht staat, de tijd dat men in de rij staat en de tijd nodig om bijvoorbeeld links af te slaan bij een kruispunt. Het is met andere woorden de tijd die veroorzaakt wordt door het

verkeer of door lichten, waardoor de auto stilstaat. Uit de studie van Setra (1998) blijkt dat de gemiddelde wachttijd op een geregeld kruispunt zo'n 10 seconden is. Bij een rotonde is dit de tijd dat men moet wachten eer men de rotonde kan oprijden. We veronderstellen dat de maximumcapaciteit van de rotonde niet overschreden wordt en dat er dus quasi geen wachttijd is¹³. We willen opmerken dat dit geen realistische veronderstelling is tijdens het spitsverkeer. Onder geometrische tijd verstaan we de tijd nodig om het kruispunt/rotonde over te steken. Bij een kruispunt moeten we hierbij een onderscheid maken tussen de zijweg en de hoofdweg. Zo zal een auto op de hoofdweg met meer waarschijnlijkheid rechtdoor rijden en zo sneller op zijn "bestemming" zijn dan een auto op de zijweg. Ook voor de berekening van de geometrische tijd gebruiken we de gegevens van Setra (1998). Na aanpassing voor de verschillende aandelen van de rijrichting (1/2, 1/4, 1/4) bekomen we een gewogen gemiddelde geometrische tijd op de hoofdweg van 4,75 seconden en op de zijweg 14 seconden. Aangezien we verondersteld hebben dat op de zijweg 30% van het verkeer rijdt van de hoofdweg, vermenigvuldigen we de geometrische wachttijd op de zijweg, respectievelijk hoofdweg met 23,1%, respectievelijk 76,9%. De gemiddelde geometrische tijd voor de rotonde is gelijk aan 12 seconden voor personenwagens. De totale tijd nodig om het geregeld kruispunt over te steken is dan gelijk aan $10 \text{ sec} + (0,231 \cdot 14 \text{ sec} + 0,769 \cdot 4,75 \text{ sec})$ of 16,89 seconden. De totale tijd nodig om de rotonde over te steken is gelijk aan de geometrische tijd, of 12 seconden, aangezien we geen wachttijd veronderstellen. We veronderstellen dat men op de rest van de trip een gemiddelde snelheid haalt van 31,1 km/uur (BIVV (2001)). Men heeft dus 1500 seconden nodig om de overige 12,96 km af te leggen.

Om de tijdskost per wagen te bekomen moeten we deze waarden vermenigvuldigen met de waarde van de tijd per wagen. Om de waarde van de tijd per wagen te berekenen maken we hier gebruik van de resultaten van Gunn et al (1997). Deze berekenen met behulp van 'stated preferences' de waarde van de tijd naargelang het doel van de reis. We vermenigvuldigen deze waarden met het aandeel van de respectievelijke reisdoelen (Stratec (1992)) om zo tot een gemiddelde geldwaarde per uur te krijgen. We verkrijgen dan een gemiddelde waarde per uur van 9,29 euro voor het spitsverkeer en 8,58 euro voor het dalverkeer. Als we veronderstellen dat het spitsverkeer 12% van al het verkeer uitmaakt en dat er 1,2 personen in één wagen zitten,

TABEL 2
Tijdskost per wagen

	Geregeld kruispunt	Rotonde	Rest van de trip
tijdsduur (sec/wagen)	16,89	12	1500
waarde tijd (€/sec)	0,0029	0,0029	0,0029
<i>tijdskost/wagen (€/wagen)</i>	<i>0,05</i>	<i>0,03</i>	<i>4,35</i>

Bron: Setra (1998), eigen berekeningen.

bekomen we een gemiddelde waarde van 10,44 euro/wagen/uur of 0,0029 euro/wagen/sec. De tijdskost wordt weergegeven in Tabel 2.

We zien dat door de omvorming de tijd die men nodig heeft om de intersectie over te steken, daalt en bijgevolg de tijdskost per wagen daalt.

4. Marginale private ongevalkost per wagen

Bij ongevallen kunnen de kosten verdeeld worden in deze die reeds in monetaire termen gewaardeerd zijn en deze die dat niet zijn. Bij de eerste groep horen onder andere de schade aan eigendom en voertuigen, gezondheidszorg, ambulance- en politiekosten. Met iets meer terughoudendheid kunnen we zeggen dat ook het nettoverlies in productie, veroorzaakt door het feit dat het slachtoffer niet meer kan werken, tot deze groep behoort. We kunnen dit immers benaderen door het brutoloon min de consumptie. Het is echter veel moeilijker om een waarde te geven aan pijn, ongemak en lijden die veroorzaakt worden door een letsel of een overlijden. We merken op dat in het beslissingsproces de weggebruiker voor een deel rekening houdt met de kans dat hij zelf zou komen te overlijden of gewond zou raken, met inbegrip van de materiële schade, ten gevolge van een ongeval. Een deel van de ongevalkosten wordt met andere woorden geïncorporeerd en beschouwen we bijgevolg als een private kost. Op Figuur 2 was dit de mpok. Maar er zijn ook externe kosten, namelijk de invloed die een extra weggebruiker heeft op het ongevallenrisico over de rit voor de andere weggebruikers. Bovendien worden in geval van een ongeval niet alle kosten betaald door het slachtoffer. Een deel wordt betaald door de maatschappij.

We definiëren de marginale private ongevalkost per wagen zoals eerder in paragraaf drie als volgt:

$$\text{Marginale private ongevalskost per wagen} = \sum_j (\text{ongevalrisico}_j * \text{eigen bereidheid tot betalen}_j)$$

met j , de verschillende ongevaltypes.

Merk op dat we alleen rekening houden met de private kosten, met andere woorden de kosten die de mensen zelf beschouwen. We benaderen deze kosten door de ‘menselijke kosten’ van Schwab (1995). Deze waarden zijn bekomen met behulp van ‘stated preferences’. De andere kosten (rehabilitatiekosten, productieverlies, medische en administratieve kosten) beschouwen we als extern. De waarde van een zwaar ongeval wordt benaderd door de waarde van een ongeval met invaliditeit als gevolg. Gezien de definitie van een ongeval met zwaargewonden zal dit cijfer een overschatting zijn van de waarde van het zwaargewond zijn. Tabel 3 geeft de gebruikte waarden mee.

Voor de berekening van de ongevalrisico’s maken we gebruik van Duitse en Franse gegevens (Tabel 1). We merken op dat de kans om bij een ongeval betrokken te raken kleiner is voor rotondes dan voor een geregeld kruispunt (1,24 versus 3,35 per 10 miljoen wagens). We zagen ook dat de gevolgen van een ongeval op een rotonde minder erg zijn. We combineren nu de eigen bereidheid tot betalen met de ongevalrisico’s en bekomen de marginale private ongevalkost per wagen.

Uit Tabel 4 blijkt dat de marginale private ongevalkosten veel lager zijn bij de rotonde.

TABEL3
Waardering van ongevallen

Ongevalkosten	Dodelijk ongeval	Ingeval van invaliditeit	Lichte letsels
Menselijke kosten (€)	1.099.103	899.416	95.311
Totale andere kosten (€)	1.004.861	459.413	5.717
<i>Totale kosten (€)</i>	<i>2.103.964</i>	<i>1.358.830</i>	<i>101.028</i>

Bron: Schwab (1995).

TABEL 4
Marginale private ongevalkost

	Geregeld kruispunt			Ronde			Rest van de Weg ^a		
	Risico (#slachtoffers/ wagen)	BTB (€/slachtoffer)	Mpok (€/wagen)	Risico (#slachtoffers/ wagen)	BTB (€/slachtoffer)	Mpok (€/wagen)	Risico (#slachtoffers/ wagen)	BTB (€/slachtoffer)	Mpok (€/wagen)
Dodelijk	3,35E-08	1.099.103	0,04	7,44E-09	1.099.103	0,01	2,19E-07	1.099.103	0,24
Zwaar gewond	1,51E-07	899.426	0,14	4,09E-08	899.426	0,04	1,24E-06	899.426	1,11
Licht gewond	4,22E-07	95.311	0,04	1,31E-07	95.311	0,01	2,22E-05	95.311	2,11
<i>Som (€/wagen)</i>			<i>0,21</i>			<i>0,06</i>			<i>3,47</i>

a: het ongevalrisico op de rest van de weg is het ongevalrisico over de 12,96 km.

Bron: Schwab (1995), eigen berekeningen.

5. Belastingen.

We veronderstellen een belasting van 21% op de resource kost. We krijgen dan een belastingskost van 0,04 euro per km. Voor de belastingen op de brandstof vermenigvuldigen we het verbruik met de belasting op diesel en benzine. Vervolgens berekenen we het gewogen gemiddelde naargelang de aandelen en bekomen een brandstofbelasting van 0,05 euro/km op het geregeld kruispunt, 0,03 euro/km op de rotonde en 0,05 euro/km op de rest van de trip.

6. Gegeneraliseerde prijs en de nieuwe vraag.

Tabel 5 vat de impact op de gegeneraliseerde prijs samen. We zien dat de gegeneraliseerde prijs op de intersectie door de ombouw meer dan halveert. De belangrijkste factor is de daling in mpok. De gegeneraliseerde prijs voor de trip in de voorsituatie is gelijk aan 11,76 en in de nasituatie 11,59 euro. Gegeven een prijselasticiteit van $-0,5$ laat dit ons toe de stijging van de gevraagde hoeveelheid te berekenen. De vraag naar transport zal stijgen met 33.371 auto-eenheden en in de nasituatie zullen er 4.649.621 auto-eenheden over de rotonde rijden¹⁴.

C. Kosten-baten analyse voor één jaar

1. Consumentensurplus

De verandering in het consumentensurplus hebben we op Figuur 2 aangeduid met de oppervlakte $(P_1 - P_2) * X_1$ voor de bestaande

TABEL 5
Gegeneraliseerde prijs per wagen

	Geregeld kruispunt	Rotonde	Weg
Resource kost (€/wagen)	0,007	0,007	2,23
Tijdskost (€/wagen)	0,05	0,03	4,35
Mpok (€/wagen)	0,21	0,06	3,47
Belastingen (€/wagen)	0,003	0,003	1,07
<i>Gegeneraliseerde prijs (€/wagen)</i>	<i>0,27</i>	<i>0,10</i>	<i>11,49</i>

Bron: eigen berekeningen

gebruikers en de driehoek $(P_1 - P_2) * (X_2 - X_1) / 2$ voor de nieuwe gebruikers. Gebruik makende van X_1 , X_2 , P_1 en P_2 berekenen we de twee oppervlakken. We bekomen dan een winst in consumentensurplus van 781.141,69 euro voor de bestaande gebruikers en 2.837,94 euro voor de nieuwe gebruikers. Dit consumentensurplus bevat de winsten betreffende de tijd, de private ongevalkost en het brandstofverbruik.

2. Overheid

a. Belastingen

We hebben verondersteld dat de resource kost niet beïnvloed wordt door de omvorming. De belastingsinkomsten hierop blijven dan ook constant voor de bestaande gebruikers. Maar doordat er ook nieuwe gebruikers zijn, genereert de omvorming een extra inkomst van 15.672,50 euro.

Met betrekking tot de brandstofbelasting vermenigvuldigen we het verschil in verbruik van de bestaande gebruikers met de belastingen en met X_1 . We bekomen een verlies van 2.211,53 euro. Maar er zijn ook nieuwe gebruikers. Deze genereren 35.079,93 euro extra inkomsten.

De ombouw genereert bijgevolg 48.540,89 euro voor de staat via de belastingen.

b. Investeringskost en onderhoud

De kosten van de aanleg zijn moeilijk te berekenen aangezien de begrotingen die gebruikt worden voor de aanleg van rotondes vaak ook andere zaken bevatten, zoals bijvoorbeeld heraanleg van straten in de omgeving van de rotonde. De kost van een rotonde varieert dan ook tussen 123.946,76 euro en 1.239.467,62 euro. Wij beschouwen enkel de kosten van de heraanleg van een kruispunt in een rotonde. We gaan ervan uit dat door de beperkte diameter van de moderne rotondes er geen onteigeningen plaats vinden. We gebruiken de kosten opgegeven door de Vlaamse Gemeenschap (1997). De kost voor de omvorming van een geregeld kruispunt tot een rotonde is dan 467.136 euro. Een rotonde staat er echter langer dan één jaar. Daarom moeten we slechts de kost van één jaar aanrekenen. We beschouwen hiervoor een levensduur van 10 jaar en een discontovoet van 5%. We bekomen dan een annuïteit van -60.456 euro.

Wat het onderhoud betreft, waarderen we het onderhoud aan de baan door het verschil in oppervlakte te nemen en die te vermenigvuldigen met de kost van het onderhoud. Voor de rotonde houden we ook rekening met de kost van het onderhoud van het middenplein. Een rotonde heeft als bijkomend voordeel dat er geen driekleurige lichten op staan die onderhouden moeten worden of die kunnen uitvallen. Voor het verschil in onderhoud bekijken we het verschil in vierkante kilometer voor het 'zwart' (de baan), het 'groen' (de beplanting op het midseneiland) en de elektromechanica. Voor dit laatste beschouwen we enkel het feit dat er op een rotonde geen driekleurige lichten staan. We kijken niet naar het verschil in gele kegels of borden en veronderstellen dat deze kosten gelijk zullen zijn. Voor het onderhoud van het groen vermenigvuldigen we de oppervlakte van het binneneiland met de kost van het gras maaien¹⁵. We veronderstellen dat dit tweemaal per jaar gebeurt. We bekomen dan een kost van 429,49 euro. Wat het verschil in het onderhoud van de baan betreft, vermenigvuldigen we het verschil in oppervlakte tussen het kruispunt en de rotonde met de gemiddelde kost van het onderhoud¹⁶. De baanoppervlakte van het kruispunt is gelijk aan $(2R) \cdot (2R) + 4 \cdot (BU-R) \cdot (2R)$. De overeenkomstige baanoppervlakte van de rotonde is gelijk aan $2 \cdot \Pi \cdot (BU^2 - Bi^2)$ met R, BU en Bi zoals eerder beschreven in IV.A. We bekomen dan een kost van 90,84 euro. Wat het onderhoud van de driekleurige lichten betreft, beschouwen we de energiekost per jaar. Deze zijn gelijk aan 1.735 euro. We komen dan tot een winst van 1.214,67 euro in onderhoudskosten. Dit wordt veroorzaakt door de hoge werkingskosten van verkeerslichten.

We merken op dat de investering en het onderhoud gefinancierd worden met de belasting op arbeid, waarvan de marginale kost van publieke fondsen gelijk is aan 1,2.

3. Externe kosten

a. Ongevallen

(1) Bestaande gebruikers

Zoals blijkt uit de daling in de ongevalrisico is de omvorming positief voor het aantal ongevallen. We zien een daling bij alle klassen van ongevallen. Een rotonde brengt dus een baat voor de maatschappij. We moeten bijgevolg het verschil in ongevalrisico waarderen aan de maatschappelijke kost. We gebruiken hiervoor de waarden bekomen

TABEL 6
Effect op externe ongevalkost voor bestaande gebruikers

	Verskil in ongeval risico (per wagen)	Externe kost (€/wagen)	Monetair (€)
Doden	2,16E-08	1.004.861	0,0262
Zwaar gewonden	1,10E-07	459.413	0,0505
Licht gewonden	2,91E-07	5.717	1,6636*10 ⁻³
<i>Totaal/wagen</i>			<i>0,07836</i>
<i>Totaal/intersectie</i>			<i>361.478,74</i>

Bron: Schwab N., Soguel N. (1995), NBB (2001), European commission (2000), eigen berekeningen.

door Schwab (1995). We vermenigvuldigen het verschil in ongevalrisico met hun respectievelijke monetaire waarden en bekomen dan een monetaire waardering per wagen. Vervolgens vermenigvuldigen we met het aantal bestaande auto-eenheden.

Zoals blijkt uit Tabel 6 levert het effect van de omvorming op ongevallen voor de bestaande weggebruikers een positieve monetaire bijdrage van 361.478,74 euro. We zien dat voornamelijk het effect op het aantal zwaargewonden zwaar weegt. De relatief hoge waardering en het meer voorkomen van ongevallen met zwaargewonden, spelen hier een voorname rol in. We merken wel op dat er meer eenzijdige botsingen en botsingen met enkel blikshade zijn bij een rotonde. Aangezien deze minder worden aangegeven, zal er een onderschatting zijn van het aantal ongevallen en het aantal lichtgewonden bij een rotonde. Deze cijfers zullen dus een te positief beeld geven van de rotonde. Hoe groot de vertekening is, kunnen we echter niet bepalen.

(2) Nieuwe gebruikers

De bijkomende weggebruikers houden zelf rekening met het nieuwe niveau van ongevalrisico. Maar deze bijkomende weggebruikers houden echter geen rekening met de toegenomen ongevalkosten die hun weggebruik veroorzaakt voor de rest van de maatschappij. Daarom moeten we het aantal nieuwe weggebruikers vermenigvuldigen met het nieuwe ongevalrisico en met de kost voor de maatschappij. Het resultaat hiervan staat in Tabel 7.

Doordat er meer gebruikers zijn, vermindert het voordeel van de rotondes op ongevalvlak. Als we de kosten van de nieuwe weggebruikers aftrekken van de baat voor de bestaande bekomen we een nettobaat van 330.012,85 euro.

b. Milieu-effecten

Volgens Tabel 1 heeft de omvorming van een geregeld kruispunt tot een rotonde een effect op de uitstoot en bijgevolg op het milieu en op onze gezondheid. Door de ombouw steeg de uitstoot op de hoofdweg, maar daalde op de zijweg. Gemiddeld daalt voor de bestaande gebruikers de uitstoot van CO met 29% en de uitstoot van NOx met 21% (Hyden en Várhelyi (2000)). Er zal ook een effect zijn op andere pollutanten, maar hierover zijn geen cijfers beschikbaar. We zullen echter ook een daling veronderstellen in de uitstoot van deze pollutanten, proportioneel aan het brandstofverbruik. Voor vele van deze stoffen geldt immers een zo goed als 1 tot 1 relatie tussen de uitstoot en het brandstofverbruik bij een gegeven technologie. Deze verandering moeten we waarden aangezien we belang hechten aan zowel de natuur als aan onze gezondheid. Het verkeer heeft invloed op beide.

(1) Gebruikte waarden voor luchtverontreiniging

We gebruiken de waarden van Proost & Van Dender (1998), gebaseerd op Extern-E. Omdat de uitstoot verschillend is voor diesel en benzinewagens moeten we ook hier een onderscheid maken. We

TABEL 7
Effect op externe ongevalkost voor nieuwe gebruikers

	Risico trip/wagen ¹⁷ (rotonde + weg)	Externe kost (€/wagen)	Monetair (€)
Dodelijk	2,26E-07	1.004.861	0,23
Zwaar gewond	1,28E-06	459.413	0,59
Licht gewond	2,23E-05	5.717	0,13
<i>Totaal/wagen</i>			<i>0,94</i>
<i>Totaal/intersectie</i>			<i>31.466,89</i>

Bron: Schwab (1995), Setra (1998), Cetur (1993), eigen berekeningen.

gebruiken de eerder gemaakte veronderstelling over het aandeel van beide in het verkeer. We moeten wel opmerken dat er ook verschillen bestaan tussen grote en kleine wagens en tussen de piekuren en buiten de piekuren op het vlak van vervuiling. Hier maken we abstractie van. Voor uitstoot veronderstellen we constante technologie.

(2) Bestaande gebruikers

We kennen de uitstoot per kilometer, maar moeten deze enkel hebben over de lengte van het kruispunt/rotonde voor de bestaande gebruikers. We veronderstellen zoals eerder dat de afgelegde weg op het kruispunt gemiddeld even lang is als op de rotonde, namelijk 41,63 meter. Na de uitstoot per intersectie berekend te hebben, beschouwen we de daling in uitstoot en vermenigvuldigen dit verschil met de respectievelijke monetaire waarden. We verkrijgen dan een monetaire waarde per wagen, die we vermenigvuldigen met het aantal wagens. We doen dit voor iedere brandstof en bekomen de resultaten vermeld in Tabel 8.

Als we kijken naar Tabel 8 zien we dat de grootste bijdragen komen van de daling in CO₂ en PM en in mindere mate van de daling in NO_x. Maar wat vooral opvalt is de relatief grote bijdrage van PM bij diesels. De daling in PM alleen bij dieselwagens is belangrijker dan de totale bijdrage van benzinewagens. Als we de twee brandstoffen vergelijken zien we onmiddellijk dat dieselwagens veel meer bijdragen dan benzinewagens. De reden hiervoor is dat dieselwagens veel meer vervuilen dan benzinewagens. Ze stoten voornamelijk veel meer PM uit, wat heel hoog gewaardeerd wordt, wat dan weer te maken heeft met de grote schadelijke effecten van PM.

TABEL 8
Effect op milieukost voor bestaande gebruikers

	Nox	CO	CO ₂	VOC	PM	Sox	Totaal
Benzine (€)	26,67	0,22	185,80	5,09	94,32	10,37	284,85
Diesel (€)	50,70	0,04	104,76	2,54	701,1	36,74	791,38
<i>Totale bijdrage (€)</i>							<i>1.076,23</i>

Bron: Eigen berekeningen.

(3) Nieuwe gebruikers

Maar er zijn ook nieuwe gebruikers en zij zullen zorgen voor extra vervuiling. Voor hen moeten we een onderscheid maken op de weg en op de intersectie. De berekening is zoals eerder. De extra milieukosten zijn weergegeven in Tabel 9.

We zien dat de extra gebruikers zorgen voor een milieukost van 9.829,64 euro. Gecombineerd met de baat voor de bestaande gebruikers krijgen we een nettoresultaat van -8.752,41 euro.

(4) Totale monetaire waarde van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde

In Tabel 10 zetten we alle baten en kosten voor één jaar samen. Door de som te maken kunnen we de uiteindelijke kost of baat bepalen van de heraanlegging.

TABEL 9
Effect op milieukost voor nieuwe gebruikers

	Rotonde	Weg	Totaal (€)
Benzine (€)	-6,31	-2.604,34	-2.610,65
Diesel (€)	-17,41	-7.200,58	-7.217,99
<i>Totale bijdrage (€)</i>			<i>-9.828,64</i>

Bron: Eigen berekeningen

TABEL 10
Totaal monetair effect van de vervanging van een geregeld kruispunt naar een rotonde per jaar

Consumentensurplus (€)		787.980
De Staat (€)	Belastingsinkomsten	48.541
	Investeringskost	-60.456
	Verschil in onderhoud	1.215
	MCPF ¹⁸	-2.140
Externe kosten (€)	Ongevallen	330.013
	Milieu	-8.752
<i>Totaal (€)</i>		<i>1.096.400</i>

Bron: eigen berekeningen

We zien dat de ombouw van een geregeld kruispunt naar een rotonde positief is. De grootste bijdrage wordt geleverd door het positieve effect op de externe ongevalkost en het consumentensurplus. Binnen het consumentensurplus speelt het effect op de private ongevalkost het meest.

5. Sensitiviteitsanalyse

Om deze analyse uit te voeren, hebben we veel veronderstellingen gemaakt. We voeren dan ook een sensitiviteitsanalyse uit om te bestuderen hoe robuust de conclusies zijn. Tabel 11 geeft de uiteindelijke totale welvaartswinst van de ombouw weer bij het wijzigen van een aantal basisassumpties.

We zien dat we steeds een maatschappelijke baat krijgen. Zelfs als we de MEOK en de BTB tegelijk op nul zetten, met andere woorden als het ongevalrisico niet wijzigt door de omvorming, krijgen we een baat. We zien ook dat we de belangrijkste effecten op welvaart krijgen als we assumpties met betrekking tot ongevallen wijzigen. Dit duidt op het belang van de gevolgen van de ombouw op het ongevalrisico. Als de investeringskost 16 keer hoger is, dan verandert de totale welvaart niet door de ombouw. Is de kost kleiner dan 16 keer de

TABEL 11
Sensitiviteitsanalyse

Wijziging veronderstelling	Totale welvaart
Marginale Externe kost = 0	766.387
Eigen bereidheid tot betalen = 0	360.376
MEOK = 0 en BTB = 0	2.923
Waarde tijd = 0	1.041.054
Investeringskost 16,11291 hoger	0
Als al het verkeer op de zijweg	1.194.689
Als al het verkeer op de hoofdweg	1.066.889
Als alleen benzine-wagens	1.111.959
Als alleen diesel-wagens	1.072.153
Als geen nieuwe gebruikers	1.073.953
Als nieuwe gebruikers van andere wegen komen	1.079.393

Bron: eigen berekeningen

investeringskost dan zorgt de ombouw, *ceteribus paribus*, voor een baat; is de kost groter, dan bekomen we een kost.

We merken op dat als we de vraag naar vervoer constant houden, de uitkomst van de analyse niet drastisch verandert. Merk op dat ten opzichte van de oorspronkelijke analyse het consumentensurplus zal dalen, de belastingsinkomsten negatief worden en de MCPF negatiever wordt. Daartegenover staat dat de winst wat betreft ongevallen en milieu groter zal zijn. Wat het milieu betreft, bekomen we zelfs een baat in plaats van een kost.

Veronderstellen dat het 'nieuwe' verkeer gebruikers zijn die veranderen van traject, beïnvloedt de uitkomst van de analyse eveneens niet drastisch. We veronderstellen dan wel dat op hun vorig traject de condities gelijkaardig zijn als het traject dat we beschouwen in de voorsituatie. Hierdoor ondergaan ze dezelfde veranderingen qua tijd, ongevalrisico, milieu en brandstof als de bestaande gebruikers. We kunnen dan de bestaande en nieuwe gebruikers optellen en vermenigvuldigen met het verschil in tijd, ongevallen,... De belastingsinkomsten worden nu negatief en de MCPF negatiever. Maar opnieuw is de winst wat betreft ongevallen en milieu groter. We bekomen opnieuw een baat wat betreft het milieu. Op hun vorig traject zal de situatie voor de overblijvende gebruikers ook verbeteren. Doordat er daar minder gebruikers zijn, zal het verkeer er vlotter verlopen wat een winst in tijd, brandstof en milieu kan opleveren. Het effect op de ongevallen is niet eenduidig. Dit effect op de overblijvende gebruikers op andere trajecten is praktisch niet kwantificeerbaar, maar zal waarschijnlijk bijdragen tot een grotere baat van de ombouw.

V. BESLUIT

We besluiten met te stellen dat door de vlottere en veiligere verkeersafwikkeling de rotonde te verkiezen is boven een geregeld kruispunt. Uit de sensitiviteitsanalyse bleek dit resultaat tamelijk robuust te zijn. We hebben echter met een aantal zaken geen rekening gehouden. Zo houden we allereerst geen rekening met het tijdsverlies dat de bestuurders ondervinden tijdens de ombouw. Ten tweede hielden we het aantal ongevallen constant over de tijd en ten derde namen we de fietsers en voetgangers niet op. Factoren één en twee maken dat we de baten van de rotondes overschatten. De derde factor leidt eerder tot een onderschatting.

Verder toont deze studie aan dat er nood is aan goede cijfers of aan een studie over de vergelijkbaarheid en overdraagbaarheid van cijfers tussen landen.

Tot slot willen we vermelden dat dit analysekader ook gebruikt kan worden voor de omvorming van een ongeregeld kruispunt tot een rotonde of voor mini en grote rotondes. De conclusie zal echter niet noodzakelijk dezelfde zijn. De effecten van de ombouw op ongeval- len, tijd-, milieu- en infrastructuurkosten zullen immers verschillend zijn. Zo bleek uit Delhaye (2001) dat de omvorming van een ongeregeld kruispunt, gegeven de veronderstellingen, leidde tot een maatschappelijke kost.

NOTEN

1. Dezelfde analyse kan uitgevoerd worden voor de omvorming van een ongeregeld kruispunt. Deze analyse wordt gedaan in Delhaye (2001). We opteren voor de omvorming van een geregeld kruispunt omdat de mogelijke baten groter zijn. Uit studies (zie paragraaf II) bleek immers dat de ongevalrisico's en de wachttijd meer dalen bij de omvorming van een geregeld kruispunt dan van een ongeregeld kruispunt naar een rotonde. Verder bleek ook dat de uitstoot van schadelijke stoffen en het brandstofverbruik steeg bij de omvorming van een ongeregeld kruispunt.
2. Met het woord *intersectie* duiden we elke kruising tussen twee of meer wegen aan. Een *intersectie* kan dus zowel op een ongeregeld kruispunt, een geregeld kruispunt als een rotonde slaan.
3. Het producentensurplus bestaat uit twee componenten. Allereerst heb je het surplus van de producenten van de aangekochte goederen, namelijk de winsten van de leveranciers van autobanden, benzine, ... We veronderstellen perfecte competitie en constante productiekosten r per kilometer zodat er geen economische winsten zijn. Dit eerste deel van het surplus is dus nul. Het tweede element bevat de tijds-kost van de automobilist. Deze produceert eigenlijk voertuigkilometers door de inzet van zijn eigen tijd. In hun dubbele rol van consument-producent betalen ze zichzelf die tijds-kost. Maar omdat ze precies de gemiddelde tijds-kost betalen is ook dit tweede surplus nul.
4. De externe kosten zijn gelijk aan $D-F-H-E_1$. Maar als we deze volledig zouden aftrekken, zouden we dubbeltellen. In onze berekening van het consumentensurplus werden de totale tijds-kosten immers reeds in rekening gebracht. Deze totale tijds-kosten omvatten de private en de externe tijds-kosten. We hebben dus al rekening gehouden met de externe tijds-kosten. Dit geldt ook voor een deel van de ongevalkosten. We mogen bij-gevolg enkel de oppervlakte $D-F-H-I$ aftrekken.
5. We veronderstellen dat extra gebruikers geen invloed hebben op de tijds-kost en het ongevalrisico op de rest van de weg. Deze veronderstelling wordt gemaakt uit praktische overwegingen. Merk op dat in realiteit een wijziging op één punt wel degelijk gevolgen kan hebben op de rest van het traject. Zo is het mogelijk dat het verkeer vlot-ter verloopt op de rotonde, maar dat de doorstroming elders minder vlot verloopt. Dit zou betekenen dat we de baten van de ombouw wat betreft tijd, milieu en brandstofverbruik overschatten. Het mogelijk effect op ongevallen is niet eenduidig. De precieze effecten hangen af van het netwerk en dit opnemen zou de analyse teveel compliceren.
6. We merken op dat deze figuur verschillend is van Figuur 1. Om reden van overzichtelijkheid hebben we de METK en de MEOK niet opgenomen.

7. Merk op dat we de verschuivingen om redenen van duidelijkheid overdreven hebben.
8. Zie tweede veronderstelling: het verkeer op de zijweg is 30% van het verkeer op de hoofdweg.
9. Voor een wijziging van deze veronderstelling verwijzen we naar de sensitiviteitsanalyse.
10. Zie veronderstelling over de aandelen volgens richting: 1/2, 1/4, 1/4.
11. Merk op dat de prijs op de weg en op het geregeld kruispunt aan elkaar gelijk is door afronding.
12. We veronderstellen een gemiddelde belastingsvoet van 21%.
13. Deze veronderstelling is niet zo streng. Je kan dit ook beschouwen als een normalisatie. Van belang voor de analyse is dat het verschil in wachttijd 10 seconden bedraagt.
14. Voor een oefening waarbij het aantal auto-eenheden constant blijft, verwijzen we naar de sensitiviteitsanalyse.
15. De kost van het gras maaien is gelijk aan 0,62 euro/m². Bron: Vlaamse Gemeenschap: P. De Backer (2001), persoonlijke communicatie.
16. De kost van het onderhoud van het baanoppervlak is gelijk aan 0,16 euro/m². Bron: Vlaamse Gemeenschap: P. De Backer (2001), persoonlijke communicatie.
17. We veronderstellen dat het ongevalrisico constant blijft bij een stijgend verkeersvolume
18. Zoals eerder reeds gezegd kost het meer dan 1 euro om 1 euro belasting op te halen. Er is een extra kost, λ . Door de omvorming heb je een investeringskost, een winst in onderhoud en een verlies aan belastinginkomsten uit brandstof. In totaal is er een verlies van 61.468 euro. Maar dit verlies heeft dus een extra kost van 12.294 euro.

REFERENTIES

- Akçelik R., Chung E., Besley M., 1998, Roundabouts: Capacity and Performance Analysis, (ARRB Transport Research, Vermont Australia), 150.
- Belgisch Instituut Voor Verkeersveiligheid, 1999, Jaarverslag Verkeersveiligheid 1999, (Brussel), 120.
- Belgisch Instituut Voor Verkeersveiligheid, 2001, Aantal letselongevallen en slachtoffers in België in 1999, (Brussel), 1.
- Brent R., 1997, Applied Cost-Benefit Analysis, (Edward Elgar Publishing Limited, U.K.), 336.
- Button K., 1993, Transport, the Environment and Economic Policy, (Edward Elgard Publishing Limited, Great Britain), 165.
- Cedersund H.-^oA, 1995, Traffic Safety at Roundabouts, (Väg-Oh Transportforsknings-Institutet, Sweden), 1.
- Centre d'Etudes des Transport Urbain, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, 1993, Giratoires 92, (Bagneux), 296.
- De Borger B., Proost S.(red), 1997, Mobiliteit: de juiste prijs. (Garant, Leuven- Apeldoorn), 312.
- Delhaye E., 2001, Kosten-Baten analyse van het vervangen van een al dan niet geregeld kruispunt door een rotonde, licentiethesis, 87.
- De Wit, 1993, Verkeersafwikkeling op rotondes vlot en veilig, in *Wegen: officieel orgaan van de Vereniging Het Nederlandsche Wegencongres* 67 (issues), 15-19(5).
- European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs, 2000, *European Economy, No 70*, (Luxembourg), 393.
- Gunn et al., 1997, Value of Dutch Travel Time Savings in 1997, *8th WCTR Proceedings* 3, 513-526.
- Hyden C., Várhelyi A., 2000, The Effects on Safety, Time Consumption and Environment of Large Scale Use of Roundabouts in an Urban Area: a Case Study, *Accident Analysis and Prevention*.32, 11-23.

- Insurance Institute for Highway Safety, 2000, Roundabouts, they Sharply Reduces Crashes, study finds, *Status report* 35, 5, May 13, (Arlington), 7.
- Mayeres I., S. Oehelen en S. Proost, 1996, The Marginal External Costs of Urban Transport, *Transportation Research D*, 1, 111-130.
- Mayeres I., Proost S., 2001, Should Diesel Cars be Discouraged, *Regional Science and Urban Economics* 1.31, 4, 453-470.
- Mayeres I, Van Dender K., 2001, The External Cost of Transport, in De Borger-Proost (eds.), *Reforming Transport in the European Union- A Modelling Approach*, (Edward Elgar, U.K.). 135-169.
- Ministerie van Economische Zaken, Bestuur Energie, Afdeling Petroleum, 2001, Dagelijkse prijsberekening aardolieproducten, http://mineco.fgov.be/energy/energy_prices/energy_prices_nl_002.htm.
- Ministerie van Economische Zaken, Nationaal Instituut voor Statistiek, 1994, Verkeersongevallen op de openbare weg met doden en gewonden, (Brussel), 88.
- Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, 2000, Verkeer en Vervoer in België: Statistiek, 29e uitgave, (Brussel), 123.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, departement Leefmilieu en Infrastructuur, administratie Wegen en Verkeer, afdeling Verkeerskunde, 1997, Belgisch Wegencongres 1997 te Brugge: Evaluatie van enkele verkeerstechnische ingrepen op gewestwegen in Vlaanderen, 7.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, departement Leefmilieu en Infrastructuur, administratie Wegen en Verkeer, afdeling Verkeerskunde, 1997, *Vademecum Rotondes* 1997, (Brussel) 201.
- Ministère Wallon de l'Équipement et des transports, direction generale des autoroutes et des routes, 1992, *Vade-Mecum relatif aux carrefours giratoires*, (Bruxelles), 149.
- Nationale Bank van België, departement Algemene Statistiek, 2001, Indexcijfers van de consumptieprijzen-historisch overzicht, 3.
- Proost S., Van Dender K., 1998, Effectiveness and Welfare Impacts of Alternative Policies to Address Atmospheric Pollution in Urban Road Transport, Center for Economic Studies, *Discussion Paper Series 98.31*, (Leuven), 24.
- Schwab N., Soguel N., 1995, Le prix de la souffrance et du chagrin, une évaluation contingente appliquée aux accidents de la route, (Institut de recherches économique et regionales, Neuchâtel), 165.
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1998, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales: carrefours plans, Guide Technique, (Bagneux), 131.
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1999, Accidents en carrefours à sens giratoires: études d'enjeu, (Bagneux), 15.
- STRATEC, Plan Régional des Déplacements, Analyse de l'Enquête Ménages, 1992, (Stratec, Brussel).
- Technologisch Instituut-K VIV, Genootschap Verkeerskunde, 1995, Rotondes, deel 1: referaten, (Antwerpen).
- Technologisch Instituut-K VIV, Genootschap Verkeerskunde, 1995, Rotondes, deel 2: conclusies en aanbevelingen, (Antwerpen), 27.
- Van De Voorde, 1987, The Marginal Cost of Public Funds in Belgium, Master's Thesis, KULeuven, (Leuven).
- Van Minnen J., 1989, Toepassing van rotondes, Informatie en aanbevelingen betreffende het toepassen van rotondes, in het bijzonder als alternatief voor kruispunten met verkeerslichtenregeling, (Swov, Leidschendam), 45.
- Van Minnen J., 1993, Ongevallen op rotondes II, Tweede onderzoek naar de onveiligheid van rotondes vooral voor fietsers en bromfietzers, (Swov, Leidschendam), 80.
- Van Minnen J., 1994, Voor- en nastudies op rotondelocaties, Onderzoek naar veiligheid en capaciteitsaspecten via waarnemingen op een zestal locaties waar kruispunten werden gewijzigd in een rotonde, (Swov, Leidschendam), 55.