

Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers?

Ir. A. Dijkstra

R-2004-14

Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers?

Welke voorrangregeling voor fietsers is veilig op rotondes in de bebouwde kom?

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2004-14
Titel:	Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers?
Ondertitel:	Welke voorrangsregeling voor fietsers is veilig op rotondes in de bebouwde kom?
Auteur(s):	Ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	41.203
Trefwoord(en):	Roundabout, urban area, cycle track, safety, cyclist, vehicle, priority (traffic), injury, moped rider, evaluation (assessment), Netherlands.
Projectinhoud:	In de afgelopen twintig jaar zijn in Nederland ongeveer 2000 kruispunten omgebouwd tot volwaardige rotondes. Rotondes blijken veel veiliger te zijn dan gewone gelijkvloerse kruispunten. Er is echter nog steeds discussie over de voorrangsregeling voor fietsers op vrijliggende fietspaden langs rotondes in de bebouwde kom: zouden fietsers wel of niet voorrang moeten hebben? Dit rapport geeft zicht op het veiligheidseffect van beide voorrangsregelingen. Daarvoor is een schatting gemaakt van het aantal rotondes met vrijliggend fietspad binnen de bebouwde kom in Nederland, en van het daarop geregistreerde aantal slachtoffers bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers of brom-/snorfietsers.
Aantal pagina's:	28 + 8
Prijs:	€ 10,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2005

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

Ongeveer twintig jaar geleden kwam de rotonde als kruispuntvorm in Nederland sterk in de belangstelling. Er zijn in die twintig jaar ongeveer 2000 volwaardige rotondes gebouwd. In die periode is er ook veel studie verricht naar effecten van rotondes op de verkeersafwikkeling en op de verkeersveiligheid. De studieresultaten laten zien dat rotondes veel veiliger zijn dan gewone gelijkvloerse kruispunten en dat de verkeersafwikkeling meestal ruim voldoende is. Er is echter nog steeds discussie over de voorrangsregeling voor fietsers op vrijliggende fietspaden langs rotondes in de bebouwde kom: zouden fietsers wel of niet voorrang moeten hebben? Dit rapport geeft zicht op het veiligheidseffect van beide voorrangsregelingen. Daarvoor is een schatting gemaakt van het aantal rotondes met vrijliggend fietspad binnen de bebouwde kom in Nederland, en van het daarop geregistreerde aantal slachtoffers bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers of brom-/snorfietsers.

Het eerdere onderzoek naar rotondes is in drie fasen te verdelen. Ten eerste is er het onderzoek naar de effecten van de ombouw van een gewoon kruispunt tot een rotonde op de verkeersveiligheid en de verkeersafwikkeling. In deze eerste fase stelde men een daling van 75% van het totale aantal slachtoffers vast; onder fietsers en brom- en snorfietsers was de daling iets lager: 60%.

In de tweede plaats is er onderzoek naar de verschillen in veiligheid tussen diverse fietsvoorzieningen op en langs rotondes. Op de rotondes zonder fietsvoorziening (fietsers op de rijbaan) is het aantal slachtoffers per rotonde ongeveer gelijk aan dat op de rotondes met fietsstroken. Dit geldt zowel voor het totaal aantal slachtoffers als voor het aantal slachtoffers onder fietsers, brom- en snorfietsers. De rotondes met fietspaden hebben echter een aanzienlijk lager aantal slachtoffers per rotonde dan de rotondes met stroken (zowel in totaal als onder fietsers, brom- en snorfietsers). Om die reden raadt men de toepassing van fietsstroken af.

Ten derde is er onderzoek naar de verschillen in veiligheid tussen voorrangsregelingen voor fietsers op vrijliggende fietspaden langs rotondes in de bebouwde kom. Volgens deze studies zouden er meer (letsel)ongevallen plaatsvinden wanneer fietsers op deze fietspaden voorrang hebben dan wanneer ze dit niet hebben.

Dit rapport laat zien wat er gebeurd zou zijn als de voorrangsregeling op alle rotondes met vrijliggend fietspad binnen de bebouwde kom in Nederland gelijk zou zijn geweest: fietsers óf allemaal 'in' óf allemaal 'uit de voorrang'. Bij 'alle fietsers *uit* de voorrang' zou het aantal ziekenhuisgewonden ten opzichte van een gewoon kruispunt zijn afgenomen met minimaal 59 en maximaal 84 ziekenhuisgewonden per jaar (-87%). Bij algemene toepassing van 'fietsers *in* de voorrang' zou de besparing ten opzichte van een gewoon kruispunt slechts 7 tot 11 ziekenhuisgewonden (-11%) hebben bedragen. Het verschil tussen de algemene toepassing van een van beide voorrangsregelingen ligt tussen de 52 en 73 ziekenhuisgewonden per jaar. Dit is het aantal slachtoffers dat 'extra' valt wanneer fietsers 'in de voorrang' zijn. Deze aantallen vormen respectievelijk 1,8 en 2,5% van het jaarlijkse totale aantal

ziekenhuisgewonden onder fietsers en bromfietsers in botsing met motorvoertuigen in Nederland.

Met ongevallestudies zoals hier zijn gebruikt, is het niet mogelijk direct te verklaren waarom fietsers 'uit de voorrang' tot minder botsingen leidt dan fietsers 'in de voorrang'. Gedragstudies zouden meer licht op deze kwestie kunnen werpen.

De SWOV ging in 1998 akkoord met de aanbeveling 'fietsers in de voorrang' mits de CROW-aanbevelingen voor de vormgeving van rotondes gevolgd zouden worden. Ook de SWOV verwachtte dat rotondes met een dergelijke vormgeving daadwerkelijk veiliger zouden zijn dan rotondes die afwijken van de CROW-aanbevelingen. Helaas blijkt de praktijk lang niet altijd volgens deze aanbevelingen te zijn vormgegeven of, als dit wel het geval is, de veiligheidswinst niet aantoonbaar te zijn.

Summary

Are roundabouts with separate cycle tracks also safe for cyclists? Which priority rule is safe for cyclists on individual urban roundabouts?

About 20 years ago, roundabouts as/instead of crossroads received a lot of attention in the Netherlands. During these 20 years, about 2000 complete roundabouts were constructed. Many studies of their effects on traffic flow and road safety were conducted. These studies showed that roundabouts were much safer than ordinary crossroads, and that the traffic flow was usually more than sufficient. However, there is still a lot of discussion going on about the priority rule for cyclists on separate (protected) cycle tracks on the outside of individual urban roundabouts: should cyclists have priority or not? This report shows the safety effects of both priority rules. To do this, we made an estimate of the number of urban roundabouts with separate cycle tracks, and the registered number of casualties on these roundabouts of crashes between motor vehicles and cyclists, mopedists, or slopedists (light-mopeds are also known as slopedists).

The previous study of roundabouts was divided into three phases. The first phase involved a study of the road safety and traffic flow effects of reconstructing an ordinary crossroads into a roundabout. A decrease of 75% of the total number of casualties, and a slightly smaller decrease of 60% among cyclists, mopedists, and slopedists, was found. The second phase involved a study of the safety differences between various bicycle facilities on and outside of roundabouts. On roundabouts without bicycle facilities (cyclists on the carriageway) the number of casualties per roundabout was about the same as on roundabouts with cycle lanes. This applied to the total number of casualties as well as to those among cyclists, mopedists, and slopedists. However, the roundabouts with cycle tracks had a considerably smaller number of casualties per roundabout (total as well as among cyclists, mopedists, and slopedists) than those with cycle lanes. For this reason we advise against constructing cycle lanes. The third phase involved studies of the safety differences between cyclists having priority or not on separate cycle tracks on the outside of urban roundabouts. These studies showed that more injury crashes occurred if cyclists on these cycle tracks had priority than if they did not.

This report shows what would have happened if the priority rule on all urban roundabouts with a separate cycle track had been the same: either all cyclists 'with priority' or all 'without priority'. In the case of all 'cyclists without priority', the number of in-patients would be 59-84 a year less (-87%) than on ordinary crossroads. In the case of all 'cyclists with priority', the number of in-patients would only be 7-11 a year less (-11%) than on ordinary crossroads. The difference between the general use of either one or the other priority rules is 52-73 in-patients a year. This is the 'extra' number of casualties in the case of 'with priority'. These numbers are 1.8% and 2.5% respectively of the total annual number of in-patients among cyclists, mopedists, and slopedists that collide with motor vehicles.

The crash studies used for this do not permit us to directly explain why cyclists 'without priority' have fewer collisions than cyclists 'with priority'. Behavioural studies would provide greater insight into this matter.

In 1998, SWOV agreed with the recommendation of 'cyclists with priority' provided that the CROW recommendations for the layout of roundabouts were followed. SWOV also expected that roundabouts with such a layout would really be safer than those that deviate from the CROW recommendations. Unfortunately, in practice, many roundabouts do not conform to these recommendations. If they do, the safety benefit cannot be proven.

Inhoud

1.	Inleiding	9
2.	Eerder onderzoek	10
2.1.	Eerste fase: van gewoon kruispunt naar rotonde	10
2.2.	Tweede fase: fietsvoorzieningen	11
2.3.	Derde fase: voorrangsregelingen voor fietsers	12
3.	Het veiligheidseffect van beide voorrangsregelingen	15
3.1.	Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde VrFpBi per jaar	15
3.2.	Aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers op rotondes VrFpBi	16
4.	Verschillen in veiligheid tussen een gewoon kruispunt en rotondes met een van beide voorrangsregelingen	19
4.1.	Veiligheidseffect van een rotonde (vervanging van een kruispunt door een rotonde)	19
4.2.	Veiligheidseffect van een rotonde in combinatie met fietspad en voorrangsregeling	21
4.3.	Kosteneffectiviteit en kosten-batenverhouding	23
4.4.	Conclusies	24
5.	Conclusies en nabeschuiving	25
5.1.	Conclusies	25
5.2.	Nabeschuiving	26
	Literatuur	28
Bijlage	Voorrang voor fietsers: effect van vormgeving?	29

1. Inleiding

Ongeveer twintig jaar geleden kwam de rotonde als kruispuntvorm in Nederland sterk in de belangstelling. Er zijn in die twintig jaar ongeveer 2000 volwaardige rotondes gebouwd¹⁾. In die periode is er ook veel studie verricht naar de effecten van rotondes op de verkeersafwikkeling en op de verkeersveiligheid. De studieresultaten laten zien dat rotondes veel veiliger zijn dan gewone gelijkvloerse kruispunten en dat de verkeersafwikkeling meestal ruim voldoende is. De meeste vragen omtrent rotondes zijn wel beantwoord, slechts enkele vragen resteren nog: vragen over meerstrooksrotondes (waaronder turborotondes) en vragen over de voorrangregeling voor fietsers op vrijliggende fietspaden²⁾ langs rotondes in de bebouwde kom.

Dit rapport gaat in op de *vragen over de voorrangregeling voor fietsers*. Welke voorrangregeling is veiliger: fietsers 'in' of 'uit de voorrang' op rotondes met vrijliggende fietspaden? En is er een verklaring te geven voor een eventueel verschil? Voor de beantwoording van deze vragen baseren we ons op eerder verschenen ongevalstudies (*Hoofdstuk 2*). Hieruit zijn ongevallencijfers van beide voorrangregelingen afgeleid en gecombineerd. Vervolgens is voor beide voorrangregelingen het gemiddelde aantal slachtoffers per rotonde geschat, die vielen bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers of brom-/snorfietsers. Aan de hand daarvan is geschat hoeveel verkeersslachtoffers in totaal zijn gevallen bij dat type ongeval op alle rotondes met vrijliggende fietspaden in heel Nederland (*Hoofdstuk 3*). Met dit resultaat is in *Hoofdstuk 4* berekend hoeveel slachtoffers een algehele invoering van een van beide regelingen zou besparen ten opzichte van de situatie met een gewoon drie- of viertakskruispunt. De beide voorrangregelingen zijn vervolgens met elkaar vergeleken. Ten slotte is nagegaan of de kosten van een verandering van de voorrangregeling opwegen tegen de baten (minder fietsslachtoffers).

Overigens is in dit rapport steeds het begrip 'fietspad' gehanteerd, maar in de gebruikte gegevens kunnen soms paden voorkomen die formeel in de categorie fiets-/bromfietspad vallen. In het geval van een fiets-/bromfietspad behoren ook bromfietsers tot het overstekende langzame verkeer. Zowel fietsers als bromfietsers zijn opgenomen in de gebruikte slachtoffercijfers.

¹⁾ Daarnaast zijn er nog ongeveer 1000 kruispunten die een ronde vorm hebben maar niet voldoen aan de formele definitie van een rotonde (met rotondebord en een diameter groter dan 20 m).

²⁾ Het vrijliggende karakter van het fietspad betreft hier vooral de positie van het pad bij de kruising met de toe- en afritten van de rotonde.

2. Eerder onderzoek

Het eerdere onderzoek naar rotondes is in drie fasen te verdelen:

1. onderzoek naar de effecten van de ombouw van een gewoon kruispunt tot een rotonde op de verkeersveiligheid en de verkeersafwikkeling;
2. onderzoek naar de verschillen in veiligheid tussen diverse fietsvoorzieningen op en langs rotondes;
3. onderzoek naar de verschillen in veiligheid tussen voorrangregelingen voor fietsers op fietspaden langs rotondes in de bebouwde kom.

2.1. Eerste fase: van gewoon kruispunt naar rotonde

De eerste fase van onderzoek werd afgesloten door Van Minnen (1990) met een rapportage waarin gegevens van 46 tot rotonde omgebouwde kruispunten zijn opgenomen, waarvan 38 locaties in de bebouwde kom. De ongevalgegevens van de periode voor en na de ombouw geven inzicht in de effecten van de rotonde als kruispuntvorm. De geselecteerde ongevallen hebben in de jaren 1984 tot en met 1989 plaatsgevonden (zie *Tabel 2.1*).

	Kruispunt	Rotonde	Daling in %
Totaal aantal ongevallen (incl. UMS)	5,94	2,75	53,7
Aantal doden en ziekenhuisgewonden	0,48	0,08	83,3
Aantal slachtoffers (doden, ziekenhuisgewonden en overige gewonden)	1,82	0,25	86,3
Aantal slachtoffers onder fietsers, brom- en snorfietsers	0,77	0,21	72,7

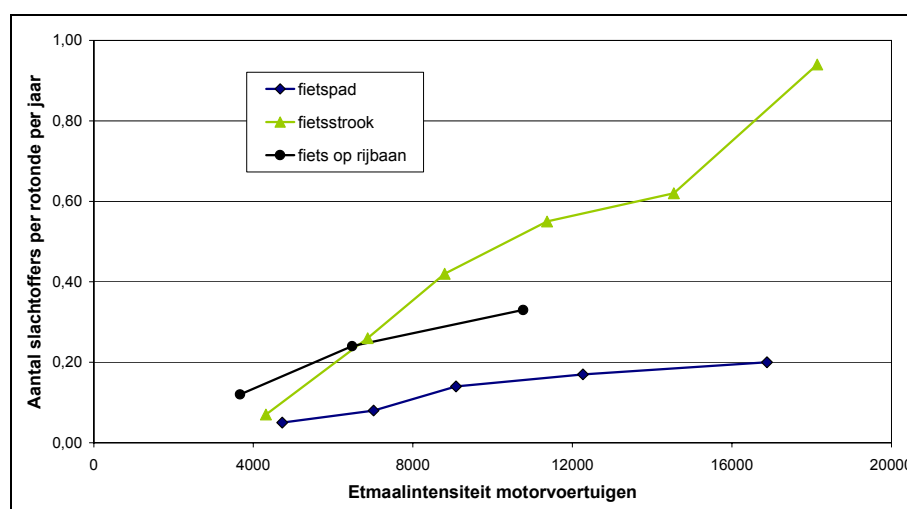
Tabel 2.1. Veiligheidseffect van het ombouwen van kruispunten tot rotondes op het aantal ongevallen (inclusief ongevallen met uitsluitend materiële schade - UMS) en het aantal slachtoffers per locatie per jaar; 38 locaties binnen de bebouwde kom.

De dalingen van het totale aantal slachtoffers met 86% en van het aantal ernstige slachtoffers met 83% zijn aanzienlijk. Onder fietsers, brom- en snorfietsers is er ook een grote, zij het iets lagere daling: 73% (zie *Tabel 2.1*). Al in deze eerste fase werd duidelijk dat rotondes een zeer gunstig effect hebben op het aantal ongevallen en het aantal slachtoffers. Overigens geeft Van Minnen (1990) de waargenomen aantallen ongevallen en aantallen slachtoffers op de gekozen locaties zonder verdere correcties voor algemene (dalende) trends op vergelijkbare controlelocaties. De reductiepercentages in *Tabel 2.1* zijn daardoor niet alleen toe te schrijven aan het 'rotonde-effect'. In de periode 1984-1989 is het aantal ongevallen en het aantal slachtoffers op kruispunten in de bebouwde kom met ongeveer 10% gedaald. De gevonden maatreefeffecten dienen in elk geval met dit percentage te worden verminderd. Dat betekent dat vervanging van een gewoon kruispunt door een rotonde leidt tot dalingen van het totale aantal slachtoffers en van het aantal ernstige slachtoffers met ongeveer 75%. Onder fietsers, brom- en snorfietsers is er ook een grote, zij het iets lagere, daling van ongeveer 60%.

Verder is het mogelijk dat de onderzochte rotondes zijn aangelegd op kruispunten die veel onveiliger waren dan gemiddeld. Soms komt die onveiligheid door toevulsfluctuaties en is er sprake van 'regressie naar het gemiddelde'. Dit betekent dat ook zonder enige maatregel een bovengemiddeld onveilige locatie na verloop van tijd weer naar het gemiddelde ongevallenniveau terugkeert. Soms is die hogere onveiligheid structureel, maar dan is er wellicht geen representatieve steekproef van kruisingen getrokken. Door deze fenomenen kan een overschatting van het rotonde-effect zijn opgetreden.

2.2. Tweede fase: fietsvoorzieningen

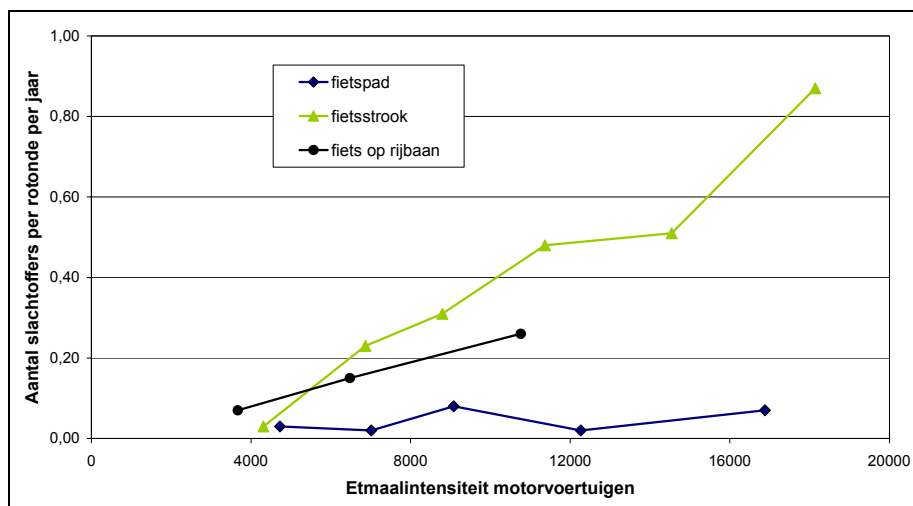
De tweede fase van het rotondeonderzoek mondde ook uit in een rapportage van Van Minnen (1995). Daarin zijn ongevalgegevens van 177 locaties verzameld, waarvan 133 in de bebouwde kom. De gerapporteerde gegevens en resultaten zijn niet alle te herleiden tot de locaties in de bebouwde kom; soms betreffen de uitkomsten ook andere locaties.



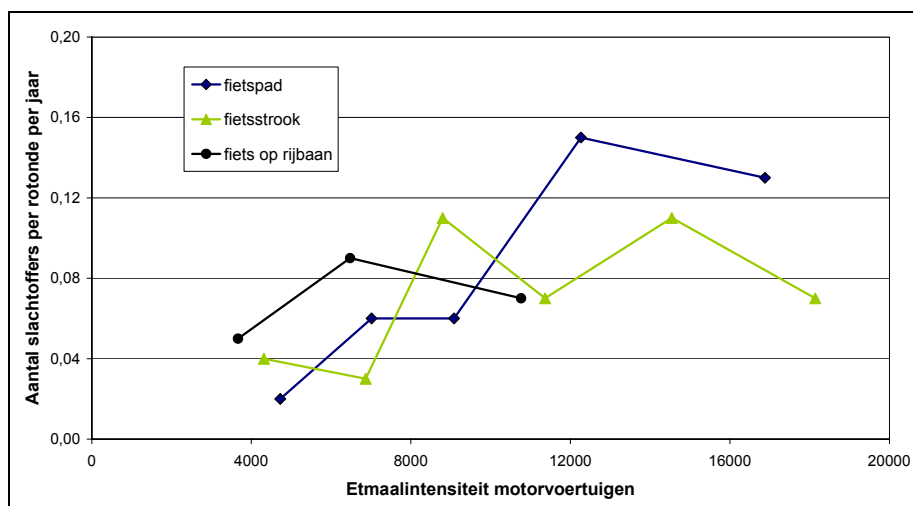
Afbeelding 2.1. Aantal slachtoffers per rotonde per jaar, voor drie typen fietsvoorziening en naar etmaalintensiteit van motorvoertuigen.

In de Afbeeldingen 2.1, 2.2 en 2.3 is het aantal slachtoffers (doden, ziekenhuisgewonden en overige gewonden) per rotonde per jaar uitgesplitst naar drie typen fietsvoorzieningen: fietspad, fietsstrook en geen voorziening (fiets op de rijbaan).

De toepassing van deze fietsvoorzieningen blijkt afhankelijk van het aantal motorvoertuigen per etmaal dat de rotonde passeert. Als er meer dan 8000 motorvoertuigen per etmaal passeren, is er op de geselecteerde rotondes een fietsvoorziening (strook of pad) aanwezig. Op de rotondes zonder fietsvoorziening is het aantal slachtoffers per rotonde (zowel het totaal aantal slachtoffers als het aantal slachtoffers onder fietsers, brom- en snorfietsers) ongeveer gelijk aan het aantal slachtoffers op de rotondes met stroken.



Afbeelding 2.2. Aantal slachtoffers onder fietsers, bromfietsers en snorfietsers per rotonde per jaar, voor drie typen fietsvoorziening en naar etmaalintensiteit van motorvoertuigen.



Afbeelding 2.3. Aantal slachtoffers onder overige verkeersdeelnemers per rotonde per jaar, voor drie typen fietsvoorziening en naar etmaalintensiteit van motorvoertuigen.

De rotondes met fietspaden hebben een *aanzienlijk lager* aantal slachtoffers per rotonde (zowel het totaal aantal slachtoffers als het aantal slachtoffers onder fietsers, brom- en snorfietsers) dan de rotondes met stroken. Om die reden raadt Van Minnen (1995) de toepassing van stroken af. Overigens maakt *Afbeelding 2.3* duidelijk dat het aandeel van de slachtoffers onder de overige verkeersdeelnemers (bijvoorbeeld inzittenden van motorvoertuigen en voetgangers) zeer gering is en geen enkel verband vertoont met het toegepaste type fietsvoorziening.

2.3. Derde fase: voorrangregelingen voor fietsers

De derde fase van rotondeonderzoek is eigenlijk nog gaande. Aanvankelijk heeft Van Minnen (1998) met ongevalgegevens van 45 rotondes in de

bebouwde kom een vergelijking tussen twee voorrangsregelingen voor fietsers gemaakt. Van Minnen selecteerde daarvoor 17 rotondes met fietsers 'in de voorrang' en 28 rotondes met fietsers 'uit de voorrang'. Vervolgens heeft Weijermars (2001) deze vergelijking uitgevoerd voor 66 rotondes (30 rotondes 'in de voorrang' en 36 rotondes 'uit de voorrang'). Als derde onderzoeker heeft Gerts (2002) 22 nieuwe rotondes 'in de voorrang' vergeleken met de 36 rotondes 'uit de voorrang' van Weijermars (2001). De genoemde onderzoekers vinden alle drie een verschil tussen 'in' en 'uit de voorrang'. Zowel het aantal (letsel)ongevallen als het aantal slachtoffers per rotonde is hoger wanneer de fietsers 'in de voorrang' zijn (zie *Tabel 2.2*).

Auteur	Ongevallen		Slachtoffers	
	In voorrang	Uit voorrang	In voorrang	Uit voorrang
Van Minnen (1998)	3,53*	2,02*	0,84	0,14
Weijermars (2001)	0,83**	0,29**	0,91	0,31
Gerts (2002)	0,59**	0,28**	niet vermeld	

*) ongevallen inclusief UMS-ongevallen

***) letselongevallen

Tabel 2.2. Aantal ongevallen en aantal slachtoffers (gedood, in ziekenhuis opgenomen, licht gewond) per rotonde per jaar, naar auteur en voorrangsregeling.

Voor deze drie studies geldt dat de groep rotondes met fietsers 'in de voorrang' wat betreft de motorvoertuigintensiteiten vergelijkbaar was met de groep rotondes waar fietsers 'uit de voorrang' zijn gehouden. Dat betekent dat de gevonden verschillen in ongevallencijfers tussen 'in' en 'uit de voorrang' vrijwel zeker door het verschil in voorrangsregeling zijn ontstaan en niet door een verschil in expositie (zie nogmaals *Afbeelding 2.1* en *Afbeelding 2.2*).

Uit een oogpunt van verkeersveiligheid zouden in de bebouwde kom fietsers dus 'uit de voorrang' moeten blijven op rotondes met fietspaden. Overigens is dit al de gebruikelijke regel op rotondes buiten de bebouwde kom. Het CROW (1998) zegt over rotondes met fietspaden in de bebouwde kom dat "de oplossing met fietsers in de voorrang iets minder veilig is, met name voor bromfietsers". Vervolgens beveelt het CROW evenwel aan op rotondes in de bebouwde kom fietsers volgens 'in de voorrang' te regelen. Daarbij hebben vele overwegingen een rol gespeeld, waaronder de overweging dat de rotondes met een vormgeving volgens de aanbevelingen van het CROW (1998) meer veiligheid zouden bieden dan rotondes (ook 'in de voorrang') met een andere vormgeving. Deze CROW-aanbevelingen betreffen vooral binnen- en buitenstraal, rijbaanbreedte, en afmetingen van toe- en afritten en van middengeleiders van rotondes. Gerts (2002) heeft echter laten zien dat er *geen* statistisch significant verschil in veiligheid is tussen rotondes met en zonder de CROW-vormgeving (respectievelijk 0,72 en 0,50 letselongevallen per rotonde); zie voor een uitgebreidere toelichting de *Bijlage*. De aanbevolen vormgeving levert kennelijk (nog?) geen wezenlijke verbetering in veiligheid op.

Een nieuw gezichtspunt geven Brouwer & Brouwer (2001). Zij hebben via onderzoek met een rijnsimulator aannemelijk gemaakt dat verkeersdeelnemers, zowel automobilisten als fietsers, bij het naderen van een fietsoversteek (gelegen naast de rotonderijbaan) de voorrangsregeling vooral afleiden uit de aanwezige verkeerstekens, met name de haaiantanden. Daar er op dit moment in de praktijk geen algemene voorrangsregeling voor fietsers op fietspaden langs rotondes bestaat, kunnen verkeersdeelnemers ook niet veel anders doen dan afgaan op de verkeerstekens ter plaatse. Voor zover bekend is er nog geen ongevalsonderzoek uitgevoerd waarbij de aan- en afwezigheid van haaiantanden is geëvalueerd.

3. Het veiligheidseffect van beide voorrangsregelingen

In de evaluatiestudies omtrent de voorrangsregelingen op rotondes met vrijliggende fietspaden (zie § 2.3) is steeds het aantal letselongevallen en/of slachtoffers per rotonde gebruikt als indicator voor de onveiligheid. Met die indicator kan inderdaad het effect van de voorrangsregeling worden vastgesteld, maar deze indicator maakt niet duidelijk wat het totale effect van de gekozen voorrangsregeling op alle rotondes met vrijliggende fietspaden in Nederland is (geweest). Om dit na te gaan is als indicator het totale aantal geregistreerde letselongevallen of slachtoffers op rotondes met vrijliggende fietspaden in Nederland nodig, onderscheiden naar de voorrangsregeling. Een dergelijk onderscheid van de letselongevallen en slachtoffers is niet direct af te leiden uit de gegevens die beschikbaar zijn bij de nationale overheid en bij de SWOV. De gewenste indicator is daarom afgeleid uit gegevens in de genoemde evaluatiestudies door onder andere aannames te doen over het aantal rotondes in Nederland, over het aantal rotondes in de bebouwde kom, en over het aandeel daarvan met vrijliggende fietspaden. Tevens zijn soms aannames gedaan over het aandeel ongevallen dat tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers plaatsvond. Er is alleen aandacht besteed aan het aantal ziekenhuisgewonden en niet aan het aantal dodelijke slachtoffers, omdat er nauwelijks doden vielen vóór, en zeker niet ná het aanleggen van de onderzochte rotondes. De rotondes met vrijliggende fietspaden in de bebouwde kom worden in het vervolg van dit rapport aangeduid met *rotondes VrFpBi*.

3.1. Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde VrFpBi per jaar

Weijermars (2001) heeft 30 rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang' geselecteerd en 36 rotondes met fietsers 'uit de voorrang'. Op deze rotondes zijn respectievelijk 34 en 14 ziekenhuisgewonden geregistreerd in een periode van zeven jaar. In *Tabel 3.1* is het aantal ziekenhuisgewonden per rotonde VrFpBi per jaar afgeleid: respectievelijk 0,16 en 0,06.

Vorrangsregeling	Aantal rotondes VrFpBi	Periode	Rotonde-jaren	Aantal ziekenhuisgewonden	Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde per jaar
In de voorrang	30	1994-2000	210	34	0,162
Uit de voorrang	36	1994-2000	252	14	0,056
Totaal of gemiddeld	66		462	48	0,104

Tabel 3.1. Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde VrFpBi per jaar volgens Weijermars (2001).

Gerts (2002) heeft een andere groep rotondes VrFpBi geselecteerd met fietsers 'in de voorrang'. Deze groep bestaat uit 25 rotondes, waarop binnen een periode van vijf jaar 96 letselongevallen en 22 ziekenhuisgewonden zijn geregistreerd. Het gemiddeld aantal ziekenhuisgewonden bedraagt $22/(25 \cdot 5) = 0,176$ per rotonde per jaar. Omdat drie rotondes uit deze groep niet in de volledige onderzoeksperiode bestonden, zijn deze door Gerts in

zijn analyse verder buiten beschouwing gelaten, waardoor 22 rotondes resteren voor verdere analyse. Op deze 22 rotondes zijn 82 letselongevallen geregistreerd. Het exacte aantal ziekenhuisgewonden op deze 22 rotondes is niet meer te achterhalen, maar bedraagt naar schatting $(82/96)*22=18,79$. In *Tabel 3.2* is het aantal ziekenhuisgewonden per jaar afgeleid: 0,171 bij 'in de voorrang' en, zoals al in *Tabel 3.1* vermeld, 0,056 bij 'uit de voorrang'. Gerts vindt een iets groter verschil tussen 'in de voorrang' en 'uit de voorrang' (in aantal ziekenhuisgewonden per rotonde per jaar) dan Weijermars: respectievelijk $(0,171 - 0,056 =) 0,115$ en $(0,162 - 0,056 =) 0,106$ ten gunste van 'uit de voorrang'.

Voorrangsregeling	Aantal rotondes VrFpBi	Periode	Rotonde-jaren	Aantal ziekenhuisgewonden	Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde per jaar
In de voorrang	22	1996-2000	110	19 (schatting)	0,171
Uit de voorrang	36	1994-2000	252	14	0,056
Totaal of gemiddeld	58		362	33	0,091

Tabel 3.2. Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde VrFpBi per jaar volgens Gerts (2002).

3.2. Aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers op rotondes VrFpBi

De relevante ongevallen en resulterende slachtoffers voor dit rapport zijn de ongevallen met conflicten tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers (M*F/B). Weijermars (2001) heeft 25 ziekenhuisgewonden gevonden bij ongevallen met conflicttype M*F/B op rotondes 'in de voorrang' en 4 ziekenhuisgewonden bij 'uit de voorrang'. Gerts (2002) trof 14 ziekenhuisgewonden (op 25 rotondes) aan bij 'in de voorrang'. Bij deze gegevens van Gerts is weer een schatting gemaakt van het aantal ziekenhuisgewonden op de gekozen groep van 22 rotondes: $(82/96)*14=11,96$ ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen M*F/B. Met deze aantallen is het aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per rotonde per jaar berekend (zie *Tabel 3.3*).

Voorrangsregeling	Aantal rotondes VrFpBi	Periode	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per rotonde per jaar
In de voorrang (Gerts, 2002)	22	1996-2000	12 (schatting)	0,109
In de voorrang (Weijermars, 2001)	30	1994-2000	25	0,119
Uit de voorrang (Weijermars, 2001)	36	1994-2000	4	0,016

Tabel 3.3. Aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuig en fiets/bromfiets (M*F/B) per rotonde VrFpBi per jaar volgens Gerts (2002) en Weijermars (2001).

Om met deze 'kencijfers' tot een aantal ziekenhuisgewonden voor geheel Nederland te komen, is een schatting nodig van het aantal rotondes VrFpBi in Nederland en de daar geldende voorrangsregelingen. *Tabel 3.4* laat deze schatting stapsgewijs zien. Het Nationaal Wegenbestand NWB bevatte in 2003 ongeveer 2000 rotondes (volgens een SWOV-bewerking van het NWB) die we wat betreft hun afmetingen als een formele en volwaardige rotonde mogen beschouwen. Dit in tegenstelling tot de (circa 1000) kruispunten met een inrichting die alleen bestaat uit een kleine ronde verhoging in het midden, zonder verdere rotondebeboording.

Het aandeel van de rotondes in de bebouwde kom is vooralsnog niet precies bekend. Uit gegevens van een steekproef (CBS, 1998) blijkt dat 70% van de rotondes in de bebouwde kom ligt.

We hanteren twee aannames voor het aandeel van rotondes met fietspaden: een maximum-variant met een aandeel van 55% (CBS, 1998) en een minimum-variant met een aandeel van 40% (Van Minnen, 1995).

Het aandeel rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang' bedraagt 60% (SGBO, 2001). Met deze aannames komen we op een aantal rotondes VrFpBi tussen de 336 en 470 met 'in de voorrang' en tussen de 224 en 314 met 'uit de voorrang'.

Aannames	Aantal rotondes	
	Maximum-variant (Max)	Minimum-variant (Min)
Totaal aantal rotondes	2000	2000
...waarvan 70% in de bebouwde kom (CBS, 1998)	1400	1400
... waarvan met fietspaden (Max = 55%, Min = 40%)	784	560
... waarvan 60% 'in de voorrang' (SGBO, 2001)	470	336
...en dus 40% 'uit de voorrang'	314	224

Tabel 3.4. Aannames omtrent aantallen rotondes, rotondes VrFpBi en geldende voorrangsregelingen in Nederland.

Uitgaande van deze aantallen rotondes (*Tabel 3.4*) en het aantal ziekenhuisgewonden M*F/B (*Tabel 3.3*) is een schatting gemaakt van het totale aantal ziekenhuisgewonden M*F/B voor beide voorrangsregelingen in heel Nederland. Bij deze schatting gebruiken we voor de rotondes 'in de voorrang' de gegevens van Gerts, omdat deze rotondes betreffen met een vormgeving volgens de CROW-aanbevelingen. Deze rotondes zullen beter aansluiten bij de beoogde 'ideale' vormgeving van een rotonde met fietsers 'in de voorrang'. Het geschatte aantal geregistreerde ziekenhuisgewonden bij ongevallen M*F/B op alle rotondes VrFpBi blijkt tussen 41 en 56 per jaar te liggen, waarvan tussen de 37 en 51 ziekenhuisgewonden op rotondes met fietsers 'in de voorrang' (zie *Tabel 3.5*).

Voorrangsregeling	Aantal ziekenhuisgewonden per rotonde per jaar	Max-variant Nederland		Min-variant Nederland	
		Aantal rotondes VrFpBi	Ziekenhuisgewonden per jaar	Aantal rotondes VrFpBi	Ziekenhuisgewonden per jaar
In de voorrang (A) (Gerts, 2002)	0,109	470	51	336	37
In de voorrang (B) (Weijermars, 2001)	0,119	470	56	336	40
Uit de voorrang (C) (Weijermars, 2001)	0,016	314	5	224	4
Totaal (A+C)	---	784	56	560	41

Tabel 3.5. *Geschatte jaarlijkse aantallen ziekenhuisgewonden in Nederland op rotondes VrFpBi bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/ bromfietsers (M*F/B) uitgaande van Gerts (2002) en Weijermars (2001).*

4. Verschillen in veiligheid tussen een gewoon kruispunt en rotondes met een van beide voorrangsregelingen

In het vorige hoofdstuk stond de vraag centraal hoeveel ziekenhuisgewonden vielen op de aanwezige rotondes met fietspaden in de bebouwde kom. Vervolgens is de vraag hoeveel ziekenhuisgewonden er zouden vallen in Nederland als hetzij de ene voorrangsregeling, hetzij de andere voorrangsregeling zou gelden op alle rotondes met fietspaden in de bebouwde kom. In dit hoofdstuk zetten we deze twee situaties – op dit soort rotondes fietsers alleen 'in de voorrang' of alleen 'uit de voorrang' – af tegen de situatie dat het nog gewone kruispunten zouden zijn. Met andere woorden: we schatten hoeveel ziekenhuisgewonden jaarlijks worden bespaard wanneer bij de ombouw van gewone kruispunten naar rotondes indertijd was gekozen voor fietsers altijd 'uit de voorrang' of fietsers juist altijd 'in de voorrang'.

Ook worden de kosteneffectiviteit en de kosten-batenverhouding beschouwd van een eventuele wijziging van de voorrangsregeling.

4.1. Veiligheidseffect van een rotonde (vervanging van een kruispunt door een rotonde)

In *Tabel 2.1* is een indruk gegeven van de grote reductie in aantal ongevallen en slachtoffers door een gewoon kruispunt door een rotonde te vervangen. Voor de vraagstelling in dit hoofdstuk dienen we deze algemene effecten uit te drukken in het aantal bespaarde ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers op rotondes met fietspaden in de bebouwde kom. Hiervoor zijn enkele aannames nodig omdat de belangrijkste bron (Van Minnen, 1995) deze gewenste aantallen niet rechtstreeks toont.

Van Minnen (1995) heeft gegevens van 177 rotondes (binnen en buiten de bebouwde kom) verzameld. Daarop zijn in de naperiode 67 ziekenhuisgewonden geregistreerd en in de voorperiode 354 ziekenhuisgewonden. Van elke rotonde waren ongevallen beschikbaar uit een onderzoeksperiode van ten minste vijf jaren (zowel voor- als naperiode). Per rotonde per jaar is het aantal ziekenhuisgewonden gedaald van 0,376 naar 0,076; deze daling bedraagt 80%. Overigens is dit een overschatting van het werkelijke rotonde-effect, want er is geen rekening gehouden met de algemene trend, eventuele 'regressie naar het gemiddelde', en eventuele selectie van meer dan gemiddeld onveilige kruispunten (§ 2.1).

	Aantal rotondes (binnen en buiten de bebouwde kom)	Periode	Rotonde- jaren	Aantal ziekenhuis- gewonden	Aantal zieken- huisgewonden per kruispunt of rotonde
Voor (kruispunt)	177	1984-1989	940	354	0,376
Na (rotonde)	177	1986-1994	878	67	0,076
Verskil	n.v.t.			287	-80%

Tabel 4.1. *Veiligheidseffect van een rotonde (in plaats van kruispunt) op het aantal ziekenhuisgewonden per jaar (Van Minnen, 1995).*

Het aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers is niet rechtstreeks uit Van Minnen (1995) af te lezen. Daarvoor zijn twee schattingen uitgevoerd.

Het aandeel fietsers/bromfietsers bedroeg in de voor- en naperiode respectievelijk 43% en 78% van alle slachtoffers (doden, ziekenhuisgewonden en overige gewonden). Deze percentages zijn gebruikt om te schatten welk aandeel van de ziekenhuisgewonden viel in ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers.

Verder is geschat welk aandeel van de ziekenhuisgewonden bij de bebouwde kom hoort. Dit is gedaan door te kijken hoeveel procent van alle slachtoffers in het totale onderzoeksbestand binnen de bebouwde kom viel in de voor- en naperiode: dit waren respectievelijk 76% en 89%.

Het aantal ziekenhuisgewonden bij letselonevallen M*B/F in de bebouwde kom bedraagt dan in de voorperiode $0,43 \cdot 0,76 \cdot 354 = 115$ en in de naperiode $0,78 \cdot 0,89 \cdot 67 = 47$ ziekenhuisgewonden (*Tabel 4.2*). Vervolgens zijn deze aantallen omgerekend naar aantallen ziekenhuisgewonden per kruispunt of rotonde per jaar.

	Aantal rotondes (binnen en buiten de bebouwde kom)	Periode	Rotonde-jaren	Aantal ziekenhuisgewonden in de bebouwde kom bij M*B/F	Aantal ziekenhuisgewonden per kruispunt of rotonde in de bebouwde kom bij M*B/F
Voor (kruispunt)	177	1984-1989	940	115	0,122
Na (rotonde)	177	1986-1994	878	47	0,053
Verschil	n.v.t.	n.v.t.		68	-56%

Tabel 4.2. Veiligheidseffect van een rotonde (in plaats van kruispunt) op het aantal ziekenhuisgewonden per jaar in de bebouwde kom bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers.

Met de slachtoffercijfers per kruispunt of rotonde uit *Tabel 4.2* is het effect van het relevante aantal rotondes uit *Tabel 3.4* (560 en 784) op het aantal ziekenhuisgewonden geschat. Er is zo een indicatie verkregen van het effect voor *geheel Nederland* van de vervanging van kruispunten door rotondes, ongeacht de gekozen fietsvoorziening of voorrangsregeling. Op het aantal ziekenhuisgewonden M*B/F heeft dit het volgende effect: in de maximum-variant een jaarlijkse besparing van 54 ziekenhuisgewonden en in de minimum-variant een jaarlijkse besparing van 38 ziekenhuisgewonden (een afname gelijk aan 56%). Deze berekening van aantallen ziekenhuisgewonden houdt nog geen rekening met een registratiegraad van slechts 60%. Volgens de ophogingsmethode van Polak (1997) zou het aantal bespaarde ziekenhuisgewonden gelijk zijn aan respectievelijk $(10/6 \times 54 =) 90$ en $(10/6 \times 38 =) 64$ ziekenhuisgewonden per jaar.

	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per rotonde per jaar	Max-variant (784 rotondes)	Min-variant (560 rotondes)
Kruispunt	0,122	96	68
Rotonde	0,053	42	30
Verskil		54	38

Tabel 4.3. *Veiligheidseffect van rotondes (in plaats van kruispunt) op het aantal ziekenhuisgewonden per jaar in heel Nederland, bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers.*

4.2. Veiligheidseffect van een rotonde in combinatie met fietspad en voorangsregeling

De voorgaande paragraaf geeft een indicatie van het totale effect van de 560 of 784 relevante rotondes op het aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers. Het effect van het vrijliggend fietspad en de voorangsregeling voor fietsers is daarbij nog niet meegenomen. Om dat te kunnen doen zijn de gegevens van Van Minnen (1995) over de 177 gewone kruispunten (voorperiode) achtereenvolgens gecombineerd met gegevens van Gerts (2002) over 22 rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang' en met gegevens van Weijermars (2001) over 36 rotondes VrFpBi met fietsers 'uit de voorrang'.

Voor rotondes VrFpBi met fietsers 'uit de voorrang' nemen we als uitgangspunt de gegevens over het aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers uit *Tabel 4.2* (0,122 ziekenhuisgewonden per kruispunt per jaar) en *Tabel 3.3* (0,016 ziekenhuisgewonden per rotonde per jaar). Deze gegevens zijn samengebracht in *Tabel 4.4*.

Voorangs- regeling	Aantal rotondes binnen en buiten de be- bouwde kom	Roton- de jaren	Alle ziekenhuisgewon- den binnen en buiten de bebouwde kom		Ziekenhuisgewonden M*F/B in de bebouwde kom	
			Aantal	Aantal per kruispunt of rotonde per jaar	Aantal	Aantal per kruispunt of rotonde per jaar
Voor (kruispunt)	177	940	354	0,376	115	0,122
Na (rotonde 'uit de voorrang')	36	252	14	0,056	4	0,016

Tabel 4.4. *Aantal ziekenhuisgewonden (totaal en ongevallen M*B/F) op kruispunten en rotondes VrFpBi met fietsers 'uit de voorrang'.*

Vervolgens berekenen we het effect van de rotondes VrFpBi in Nederland wanneer op al deze rotondes de regeling fietsers 'uit de voorrang' zou gelden (zie *Tabel 4.5*). Dit doen we voor beide aannames omtrent het aantal aanwezige rotondes VrFpBi in Nederland. Bij de ombouw van 784 kruispunten tot dergelijke rotondes zou het jaarlijkse aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers in totaal met 84 zijn afgenomen; bij 560 rotondes met 59 ziekenhuisgewonden. Voor beide varianten betekent dit een besparing van 87%.

Hogen we deze aantallen in verband met onderregistratie weer op volgens de methode in § 4.1, dan bedraagt de reductie respectievelijk maximaal 138 en minimaal 98 ziekenhuisgewonden per jaar.

Voorrangsregeling	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per kruispunt of rotonde per jaar	Max-variant (784 rotondes VrFpBi)	Min-variant (560 rotondes VrFpBi)
Kruispunt	0,122	96	68
Rotonde 'uit de voorrang'	0,016	12	9
Verschil	-87%	84	59

Tabel 4.5. *Veiligheidseffect van rotondes VrFpBi op het aantal ziekenhuisgewonden bij ongevallen M*F/B bij een algemene voorrangsregeling 'uit de voorrang'.*

Voor de berekening van het aantal ziekenhuisgewonden bij alle rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang' nemen we als basis voor de kruispunten weer de gegevens uit Tabel 4.2 (0,122 per kruispunt per jaar) en voor de rotondes de gegevens uit Tabel 3.3 (0,109 per rotonde per jaar); zie Tabel 4.6.

Voorrangsregeling	Aantal rotondes binnen en buiten de bebouwde kom	Rotonde-jaren	Alle ziekenhuisgewonden binnen en buiten de bebouwde kom		Ziekenhuisgewonden M*F/B in de bebouwde kom	
			Aantal	Aantal per kruispunt of rotonde per jaar	Aantal	Aantal per kruispunt of rotonde per jaar
Voor (kruispunt)	177	940	354	0,376	115	0,122
Na (rotonde 'in de voorrang')	22	110	19	0,171	12	0,109

Tabel 4.6. *Aantal ziekenhuisgewonden (totaal en ongevallen M*B/F) op kruispunten en rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang'.*

De ombouw van 784 respectievelijk 560 kruispunten tot rotondes VrFpBi met fietsers 'in de voorrang' zou jaarlijks een besparing in van 11 respectievelijk 7 ziekenhuisgewonden M*F/B hebben ingehouden. Dit is een besparing van 11% (Tabel 4.7).

Voorrangsregeling	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per rotonde per jaar	784 rotondes VrFpBi	560 rotondes VrFpBi
Kruispunt	0,122	96	68
Rotonde 'in de voorrang'	0,109	85	61
Verschil	-11%	11	7

Tabel 4.7. *Veiligheidseffect van rotondes VrFpBi op ziekenhuisgewonden bij ongevallen M*F/B bij een algemene voorrangsregeling 'in de voorrang'.*

Hogen we deze aantallen in verband met onderregistratie weer op, dan bedraagt de reductie respectievelijk maximaal 187 en minimaal 12 ziekenhuisgewonden per jaar.

De reducties van beide voorrangsregelingen zijn in *Tabel 4.8* samengevat: op een totaal van 784 rotondes VrFpBi zouden per jaar 85 ziekenhuisgewonden M*F/B vallen bij 'in de voorrang' en 12 ziekenhuisgewonden bij 'uit de voorrang'. Het verschil tussen beide regelingen bedraagt bij 784 rotondes *73 ziekenhuisgewonden* (85%) in het voordeel van 'uit de voorrang'; bij 560 rotondes is het voordeel 52 ziekenhuisgewonden. In 2002 zijn er 2913 ziekenhuisgewonden geregistreerd onder fietsers en bromfietzers in botsing met een motorvoertuig. De genoemde aantallen 52 en 73 vormen daarmee respectievelijk 1,8 en 2,5% van dat jaarlijkse totale aantal ziekenhuisgewonden in Nederland.

Voorrangsregeling	Aantal ziekenhuisgewonden M*F/B per rotonde per jaar	784 rotondes VrFpBi	560 rotondes VrFpBi
Rotonde 'in de voorrang'	0,109	85	61
Rotonde 'uit de voorrang'	0,016	12	9
Vershil	-85%	73	52

Tabel 4.8. *Vershil tussen algemene toepassing van 'in de voorrang en 'uit de voorrang' op rotondes VrFpBi.*

4.3. **Kosteneffectiviteit en kosten-batenverhouding**

De kosteneffectiviteit laat zien welke kosten moeten worden gemaakt voor elk bespaard slachtoffer (Wesemann, 2000a). Bij de berekening van de kosteneffectiviteit is het van belang dat de kosten en de effecten op dezelfde periode betrekking hebben. Als bijvoorbeeld de kosten van een infrastructurele maatregel in dertig jaar worden afgeschreven, dan dienen de effecten (in dit geval een besparing van slachtoffers) ook die periode van dertig jaar te betreffen.

Volgens een opgave van een gemeentelijke dienst³⁾ kostte de ombouw van de voorrangsregeling (van 'uit' naar 'in' door de markering en bebakening aan te passen) op acht rotondes ongeveer 10.000 euro per rotonde (prijsspeil 2004). We nemen aan dat deze aanpassingen een afschrijvingstermijn van vijf tot tien jaar hebben.

In de vorige paragraaf is vastgesteld dat een jaarlijkse besparing van 73 ziekenhuisgewonden op 784 rotondes (*Tabel 4.8*) kan optreden. Het aantal te besparen slachtoffers in tien jaar kunnen we bepalen met de methode die Wesemann (2000a) het 'contante aantal slachtoffers' noemt. Volgens deze methode bedraagt de besparing in een periode van vijf tot tien jaar 337 tot 612 ziekenhuisgewonden. De kosteneffectiviteit is dan ongeveer gelijk aan $(784 \cdot 10.000) / 612$ bij tien jaar en $(784 \cdot 10.000) / 337$ bij vijf jaar. Per bespaarde ziekenhuisgewonde liggen de kosten tussen 12.810 en 23.270 euro.

³⁾ Telefonische informatie omtrent de aanpassing van acht rotondes in een gemeente.

Volgens Wesemann (2000b) kostte een ziekenhuisgewonde in 1997 394.000 *gulden* aan totale maatschappelijke kosten (medische kosten, productieverlies, materiële kosten, afhandelingskosten, filekosten en immateriële schade). Uitgaande van een toename van deze kosten door inflatie in de periode 1997 tot 2004 van 18,2%, zou in 2004 dit bedrag gelijk zijn aan 210.730 *euro*. Dat betekent dat de verhouding tussen baten (besparing van 210.730 euro per ziekenhuisgewonde) en kosten tussen 9,1 en 16,4 ligt.

4.4. Conclusies

Zo'n 40 tot 55% van alle rotondes binnen de bebouwde kom in Nederland hebben vrijliggende fietspaden. Wanneer voor al deze rotondes indertijd was gekozen voor fietsers 'uit de voorrang', dan had de ombouw van gewone kruispunten naar deze rotondes naar schatting jaarlijks 59 tot 84 ziekenhuisgewonden bespaard bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers. Een besparing van 87%. Als juist was gekozen voor alle fietsers 'in de voorrang', dan bespaarde de vervanging van gewone kruispunten door dit type rotonde jaarlijks 7 tot 11 ziekenhuisgewonden; een besparing van 11%.

Het verschil tussen algemene toepassing van óf fietsers 'in de voorrang' óf 'uit de voorrang' ligt naar schatting tussen 52 en 73 ziekenhuisgewonden per jaar bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers. Dit verschil ligt in het voordeel van fietsers 'uit de voorrang'.

In 2002 zijn er 2913 ziekenhuisgewonden geregistreerd onder fietsers en bromfietsers bij botsingen met een motorvoertuig. De bespaarde 52 en 73 ziekenhuisgewonden vormen daarmee respectievelijk 1,8% en 2,5% van dat jaarlijkse totale aantal.

De kosteneffectiviteit van het veranderen van de voorrangsregeling 'in de voorrang' naar 'uit de voorrang' (voornamelijk door markering) bedraagt naar schatting 12.810 tot 23.270 euro per bespaarde ziekenhuisgewonde. De verhouding tussen baten (besparing 210.730 euro per ziekenhuisgewonde) en kosten ligt tussen 9,1 en 16,4.

5. Conclusies en nabeschuiving

5.1. Conclusies

Vervanging van een gewoon kruispunt door een rotonde leidt tot dalingen van het totale aantal slachtoffers en van het aantal ernstige slachtoffers met ongeveer 75%. Onder fietsers, brom- en snorfietzers is er ook een grote, zij het iets lagere, daling van ongeveer 60%. Deze cijfers zijn gecorrigeerd voor de landelijk dalende trend in de onderzoeksperiode, maar niet voor (mogelijke) regressie naar het gemiddelde.

Rotondes met fietspaden hebben een *aanzienlijk lager* aantal slachtoffers per rotonde (zowel alle slachtoffers als de groep fietsers, brom- en snorfietzers) dan de rotondes met stroken. Om die reden raadt Van Minnen (1995) de toepassing van stroken af.

Bij rotondes met fietsers 'in de voorrang' is er geen statistisch aantoonbaar verschil in veiligheid tussen rotondes met en zonder de vormgeving volgens de aanbevelingen van het CROW.

Er liggen naar schatting tussen de 560 en 780 rotondes met vrijliggende fietspaden binnen de bebouwde kom. Hiervan heeft 60% de voorrangsregeling 'fietsers in de voorrang'.

Het geschatte jaarlijkse aantal geregistreerde ziekenhuisgewonden (bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers) op deze rotondes ligt tussen de 41 en 56, waarvan er 37 tot 51 ziekenhuisgewonden per jaar op rotondes met fietsers 'in de voorrang' vallen.

Als alle rotondes met vrijliggende fietspaden in de bebouwde kom zouden zijn voorzien van de voorrangsregeling fietsers 'uit de voorrang', dan zou dat een besparing hebben opgeleverd (ten opzichte van de uitgangssituatie met een gewoon kruispunt) tussen de 59 en 84 (87% minder) ziekenhuisgewonden per jaar (uitsluitend ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers). Als de kruispunten destijds waren vervangen door uitsluitend rotondes met fietsers 'in de voorrang' dan zou deze besparing jaarlijks 7 tot 11 ziekenhuisgewonden (11% minder) hebben bedragen.

Het verschil tussen algemene toepassing van óf fietsers 'in de voorrang' óf 'uit de voorrang' is naar schatting 52 tot 73 bespaarde ziekenhuisgewonden per jaar (ten opzichte van de uitgangssituatie met gewone kruispunten en bij ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers/bromfietsers). Dit verschil ligt in het voordeel van fietsers 'uit de voorrang'.

In 2002 zijn er 2913 ziekenhuisgewonden geregistreerd onder fietsers en bromfietsers bij botsingen met een motorvoertuig. De bespaarde 52 en 73 ziekenhuisgewonden vormen daarmee respectievelijk 1,8% en 2,5% van dat jaarlijkse totale aantal.

De kosteneffectiviteit van het veranderen van de voorrangsregeling 'in de voorrang' naar 'uit de voorrang' (voornamelijk door markering) bedraagt naar schatting 12.810 tot 23.270 euro per bespaarde ziekenhuisgewonde. De verhouding tussen baten (besparing 210.730 euro per ziekenhuisgewonde) en kosten bedraagt in dat geval 9,1 tot 16,4.

5.2. Nabeschuwing

De aanbevelingen van het CROW vermelden dat rotondes met fietsers 'in de voorrang' "iets minder veilig" zijn dan rotondes met fietsers 'uit de voorrang'. Dit SWOV-rapport geeft meer zicht op de omvang van 'iets minder': tussen de 52 en 73 extra ziekenhuisgewonden per jaar.

Het feit dat het CROW de aanbeveling doet om fietsers voorrang te geven, heeft niet met deze veiligheidskwestie te maken maar met mobiliteitsargumenten pro fiets. Deze keuze is legitiem. De SWOV onderzoekt verkeersveiligheidskwesties en wijst wegontwerpers, beleidsambtenaren en politieke beslissers op de gevolgen van deze keuze: rotondes met fietsers 'uit de voorrang' vertonen minder ongevallen dan rotondes met fietsers 'in de voorrang'.

Met ongevallenstudies zoals hier besproken, is het niet mogelijk direct te verklaren waarom 'uit de voorrang' tot minder botsingen leidt dan 'in de voorrang'. Twee mogelijke verklaringen zijn plausibel.

De eerste veronderstelling is dat automobilisten ten onrechte menen voorrang boven de fiets te hebben, wellicht in verwarring gebracht door het feit dat er in de bebouwde kom in Nederland geen uniformiteit van de voorrangsregeling op rotondes is. Hierover zijn voor zover bekend geen feitelijke gegevens beschikbaar.

De tweede veronderstelling is dat automobilisten bij het oprijden en berijden van een rotonde en bij het verlaten ervan (te) veel waarnemingen in korte tijd moeten uitvoeren waardoor een fietser te laat wordt opgemerkt.

Gedragstudies die gewoonlijk bestaan uit experimenten in simulatoren of waarnemingen in de praktijk, zouden meer licht kunnen werpen op de mogelijkheden voor een betere voorrangssituatie op rotondes met fietspaden. Onder deze mogelijkheden vallen onder andere aanpassing van de vormgeving, aanpassing of aanvulling van gedragsregels en gerichte voorlichting aan weggebruikers en wegontwerpers.

Rotondes zijn veel veiliger dan gewone kruispunten; dat blijft nog steeds een belangrijk argument om kruispunten te vervangen door rotondes. Er zijn nauwelijks redenen om een kruispunt van gebiedsontsluitingswegen niet om te bouwen tot rotonde, behalve te veel passerend autoverkeer of te weinig ruimte. In Duurzaam Veilig passen rotondes niet in verblijfsgebieden of bij elke aansluiting van een erftoegangsweg op een gebiedsontsluitingsweg. Toch komen op deze plaatsen rotondes voor, vooral gekozen om de rijsnelheid te remmen maar functioneel overbodig (want een uitritconstructie of voorrangskruispunt is voldoende voor een veilige verkeersafwikkeling).

De SWOV ging in 1998 akkoord met de aanbeveling 'fietsers in de voorrang' mits de CROW-aanbevelingen voor de vormgeving van rotondes gevolgd zouden worden. Ook de SWOV verwachtte dat rotondes met een dergelijke vormgeving daadwerkelijk veiliger zouden zijn. Helaas blijkt de praktijk lang niet altijd volgens deze aanbevelingen te zijn vormgegeven of, als dit wel het geval is, de veiligheidswinst niet aantoonbaar te zijn.

In dit rapport is op tamelijk grote schaal gebruikgemaakt van schattingen. Het resultaat kenmerkt zich daarom door een onzekerheidsmarge. Om een discussie te bevorderen is zoveel mogelijk de onderbouwing van elke geïntroduceerde schatting gegeven. De lezer kan daardoor zelf de waarde

van elke schatting nagaan en eventueel eigen schattingen ervoor in de plaats stellen.

Een aanpassing van de voorrangregeling van fietsers op rotondes houdt soms veel meer in dan de aanpassing van de bebording en de markering. Een aanpassing van de vormgeving van de rotonde leidt tot veel hogere kosten dan de genoemde 10.000 euro per rotonde. De gevonden verhouding tussen baten en kosten ligt tussen 9,1 en 16,4. Het punt waarop de kosten gelijk zijn aan de baten (kosten-batenverhouding gelijk aan 1,0) ligt tussen 91.000 en 164.000 euro per rotonde. Met dat bedrag zijn ook 'maatschappelijk rendabele' aanpassingen van de vormgeving te realiseren.

Literatuur

Brouwer, R.F.T. & Brouwer, S.M.J. (2001). *Ontwerpelementen van rotondes met fietsers in en uit de voorrang*. TNO-rapport TM-01-C009. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.

CBS (1998). *Tabel met opgehoogde gegevens uit een steekproef* [niet gepubliceerd].

CROW (1998). *Eenheid in rotondes*. Publicatie 126. CROW, Ede.

Gerts, F.H.J. (2002). *CROW-tonde of rotonde? Een onderzoek naar de verkeersveiligheid op enkelstrooksrotondes binnen de bebouwde kom*. Stagerapport. NHTV, Breda.

Minnen, J. van (1990). *Ongevallen op rotondes; Vergelijkende studie van de onveiligheid op een aantal locaties waar een kruispunt werd vervangen door een 'nieuwe' rotonde*. R-90-47. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Minnen, J. van (1995). *Rotondes en voorrangregelingen*. R-95-58. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Minnen, J. van (1998). *Rotondes en voorrangregelingen II*. R-98-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Polak, P.H. (1997). *Registratiegraad van in ziekenhuis opgenomen verkeersslachtoffers*. R-97-15. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

SGBO (2001). *Duurzaam Veilig fase 1; een onderzoek naar de stand van zaken*. SGBO Onderzoeks- en adviesbureau van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten bv., Den Haag.

Sloot, M. (2001). *Fietsers op rotondes: in of uit de voorrang?* In: *Wegen*, vol. 75, nr. 4, p. 10-15.

Weijermars, W. (2001). *Voorrang aan veiligheid op rotondes; Een onderzoek naar de veiligheid van verschillende voorrangregelingen voor fietsers op rotondes met vrijliggende fietspaden*. Afstudeerscriptie. Universiteit Twente, Enschede.

Wesemann, P. (2000a). *Verkeersveiligheidsanalyse van het concept-NVVP; deel 2: Kosten en kosteneffectiviteit*. D-2000-9 II. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Wesemann, P. (2000b). *Kosten van de verkeersonveiligheid in Nederland, 1997*. D-2000-17. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Gerts (2002) heeft gegevens van rotondes met fietspaden en met de regeling 'fietsers in de voorrang' verzameld die zoveel mogelijk zijn vormgegeven volgens de aanbevelingen van het CROW (1998). Het aantal ongevallen op deze rotondes heeft hij vergeleken met het aantal ongevallen op rotondes (ook met fietspaden en met fietsers eveneens 'in de voorrang') die waren gebouwd vóór het verschijnen van de richtlijnen van het CROW (1998) en die een vormgeving hebben die afwijkt van de nadien aanbevolen vormgeving.

Hierna is een deel van het rapport van Gerts (2002) nagenoeg letterlijk weergegeven.

Uitvoering van het onderzoek en de verwerking van de gegevens

Het vinden van geschikte rotondes

Wegbeheerders van rotondes binnen de bebouwde kom zijn vaak gemeenten. Een aantal gemeenten is benaderd omdat bekend was dat zij rotondes met vrijliggende fietspaden en fietsers 'in de voorrang' hadden, en met andere gemeenten is contact opgenomen omdat zij 'random' geselecteerd waren. Overigens moet hierbij vermeld worden dat bij het random selecteren gemeenten in de provincies Friesland, Groningen of Drente buiten beschouwing zijn gelaten. De noordelijke provincies zijn namelijk van mening dat rotondes met fietsers 'uit de voorrang' veiliger zijn dan rotondes met fietsers 'in de voorrang' (Sloot, 2001) waardoor het lastig zal zijn om in deze provincies rotondes te vinden met fietsers 'in de voorrang'. Uiteindelijk is er contact opgenomen met 75 gemeenten door heel Nederland. Dit heeft geleid tot 39 rotondes in 21 gemeenten.

Toelichting op de gestelde vragen

Aan de gemeenten is een vragenlijst voorgelegd om zodoende te weten te komen of ze überhaupt wel rotondes hebben. Wanneer een gemeente deze vraag bevestigend beantwoordde, werd eveneens nagegaan of er ook sprake was van enkelstrooksrotondes binnen de bebouwde kom met vrijliggende fietspaden en fietsers 'in de voorrang'. Als ook deze vraag bevestigend werd beantwoord, dan werden er per rotonde nog een aantal specifieke vragen gesteld.

In eerste instantie was het de bedoeling om rotondes te verzamelen die in 1998 aangelegd en in gebruik genomen waren. In 1998 is 'Eenheid in rotondes' door het CROW uitgebracht; in principe was het dus ook pas vanaf die datum mogelijk om een zogenoemde 'CROW 126-rotonde' aan te leggen. De richtlijnen die worden aangegeven in 'Eenheid in rotondes' moeten echter ergens op gebaseerd zijn. De gedachte was dan ook dat er rotondes moesten zijn die voor 1998 aangelegd en in gebruik genomen waren, die al overeenkwamen met de richtlijnen van 'Eenheid in rotondes'. Uiteindelijk is ervoor gekozen om op zoek te gaan naar rotondes die dateren van 1994 of later.

De gemeenten is ook gevraagd of er recentelijk aanpassingen aan de rotonde hebben plaatsgevonden. Dit houdt namelijk verband met het feit dat

aanpassingen aan de rotonde invloed gehad zouden kunnen hebben op de intensiteiten en/of veiligheid op de rotonde. Hierdoor zou er twijfel kunnen ontstaan rond de vraag of de desbetreffende rotonde dan nog wel opgenomen diende te worden in het onderzoek.

Tot slot is ook geïnformeerd naar de intensiteiten van het snelverkeer (motorvoertuigen) en het langzame verkeer (bromfietzers en fietsers). Door het berekenen van de gemiddelde intensiteit van het snelverkeer en de gemiddelde intensiteit van het langzame verkeer voor de groep rotondes die wel voldoen en de groep rotondes die niet voldoen, kan namelijk bepaald worden of er sprake is van twee enigszins homogene groepen rotondes. Een tweede reden waarom naar de intensiteiten is gevraagd, is om een eventueel verschil in aantallen ongevallen per groep door die intensiteiten te kunnen verklaren.

Verdeling van de rotondes in twee groepen

Om de geschikt bevonden rotondes te kunnen verdelen, is gebruik gemaakt van een selectie uit de richtlijnen die gelden voor rotondes. Sommige richtlijnen hebben weinig invloed op de verkeersveiligheid, en worden daarom überhaupt niet meegenomen bij de indeling van de rotondes, zoals de buitenstraal, rijbaanbreedte, aansluitbogen van de toe- en afrit, breedte van de toe- en afrit, de overrijdbare strook en de aanwezigheid van middengeleiders.

Voor de indeling van de rotondes in twee groepen zijn de volgende richtlijnen geselecteerd: afstand tussen de fietsoversteek en de rijbaan op de rotonde circa 5 m, markering conform CROW-richtlijnen, cirkelvormig vrijliggend fietspad rond de rotonde, eenrichtingsfietspad, binnenstraal circa 10,50 m en bromfietser op de rijbaan.

De rotondes zijn allereerst verdeeld aan de hand van alle zes geselecteerde richtlijnen. Daarna zijn er indelingen gemaakt aan de hand van vijf richtlijnen met alle mogelijke combinaties. Dit is eveneens gedaan voor indelingen met vier richtlijnen en met drie richtlijnen. De laatste indeling is de indeling gebaseerd op de afstand tussen de fietsoversteek en de rijbaan op de rotonde, en de markering: aan deze eisen moet namelijk altijd worden voldaan. In onderstaande Tabel staan de resultaten weergegeven van de verschillende indelingen.

Zoals blijkt uit *Tabel B.1* is indeling 12 de mooiste indeling. Weliswaar verschillen in de laatste indeling (indeling 16) van de rotondes de groepen niet zo heel veel van elkaar (19 om 20), maar indeling 12 heeft betrekking op meerdere richtlijnen. Dit wordt belangrijker gevonden dan dat de groepen bijna exact aan elkaar gelijk zijn qua aantallen rotondes. Zoals uit *Tabel B.1* ook blijkt zijn de andere indelingen erg 'scheef'. Betrouwbare uitspraken over rotondes zijn dan ook nauwelijks mogelijk.

Richtlijnen	Voldoet wel	Voldoet niet
1) D_{f-r} & M & E_{FP} & C_{FP} & BOR & R_{bi}	6	33
2) D_{f-r} & M & E_{FP} & BOR & R_{bi}	9	30
3) D_{f-r} & M & C_{FP} & BOR & R_{bi}	8	31
4) D_{f-r} & M & E_{FP} & C_{FP} & BOR	7	32
5) D_{f-r} & M & E_{FP} & C_{FP} & R_{bi}	6	33
6) D_{f-r} & M & BOR & R_{bi}	12	27
7) D_{f-r} & M & E_{FP} & BOR	11	28
8) D_{f-r} & M & C_{FP} & BOR	10	29
9) D_{f-r} & M & E_{FP} & R_{bi}	9	30
10) D_{f-r} & M & C_{FP} & R_{bi}	8	31
11) D_{f-r} & M & E_{FP} & C_{FP}	7	32
12) D_{f-r} & M & BOR	17	22
13) D_{f-r} & M & E_{FP}	12	27
14) D_{f-r} & M & R_{bi}	12	27
15) D_{f-r} & M & C_{FP}	11	28
16) D_{f-r} & M	19	20

D_{f-r} = Afstand tussen fietsoversteek en rijbaan op de rotonde
M = Markering volgens CROW-richtlijnen
 E_{FP} = Eenrichtingsfietspad
 C_{FP} = Cirkelvormig fietspad rond de rotonde
BOR = Bromfiets op de rijbaan
 R_{bi} = Binnenstraat

Tabel B.1. *Indeling van rotondes door verschillende richtlijnen.*

Indeling 12 houdt met zoveel mogelijk richtlijnen rekening en vertoont ook nog eens een mooie verdeling. Tevens blijkt na berekening van de gemiddelde intensiteiten van het gemotoriseerde en het langzame verkeer voor beide groepen rotondes dat indeling 12 over twee homogene groepen rotondes beschikt). De groepen kunnen zodoende mooi met elkaar vergeleken worden (*Tabel B.2*).

	Conforme rotondes	Niet-conforme rotondes
Gem. I_{sv}	12.871	13.045
Gem. I_{lv}	2.068	2.593

Gem. I_{sv} = Gemiddelde intensiteit van het snelverkeer in motorvoertuigen/etmaal
Gem. I_{lv} = Gemiddelde intensiteit van het langzame verkeer in (brom)fietsers/etmaal

Tabel B.2. *Gemiddelde intensiteiten van het snelverkeer en het langzame verkeer.*

Over de indeling zijn de letselongevallen opgevraagd over de periode 1996-2000. Letselongevallen in 2001 kunnen niet worden opgenomen in het onderzoek. Voor het verzamelen van de ongevallen is namelijk gebruik gemaakt van het Nationaal Wegen Bestand (NWB) en hierin waren de ongevallen van 2001 nog niet ingelezen. Een andere reden waarom de letselongevallen alleen over de periode 1996-2000 worden beschouwd, is

dat een periode van vijf jaar een gebruikelijk tijdsinterval bij dit soort onderzoek is; als er een langere periode dan vijf jaar wordt bekeken, bestaat het risico dat het verkeersbeeld te veel veranderd is. In *Tabel B.3* is het totaal aantal letselgevallen per rotonde weergegeven.

Rotonde	Voldoet wel / niet	Totaal letselgevallen
Apeldoorn	Wel	7
Boxtel 1	Niet	8
Boxtel 2	Niet	3
Den Haag 1	Wel	13
Den Haag 2	Wel	1
Deventer	Niet	5
Enschede	Niet	4
Etten-Leur 1	Niet	1
Etten-Leur 2	Niet	0
Etten-Leur 3	Wel	0
Etten-Leur 4	Wel	9
Etten-Leur 5	Niet	0
Goes 1	Niet	8
Goes 2	Niet	3
Goes 3	Niet	3
Goes 4	Wel	7
Goes 5	Wel	3
Goes 6	Wel	2
Hellendoorn 1	Niet	0
Hellendoorn 2	Wel	2
Hellendoorn 3	Wel	1
Hellendoorn 4	Wel	6
Hillegom 1	Niet	0
Hillegom 2	Niet	2
Huizen	Wel	3
Leidschendam-Voorburg 1	Wel	1
Leidschendam-Voorburg 2	Niet	3
Maastricht	Niet	1
Oldenzaal 1	Niet	3
Oldenzaal 2	Niet	0
Oldenzaal 3	Niet	1
Oudewater	Niet	6
Raalte	Niet	1
Veenendaal	Wel	8
Velsen	Niet	7
Waalwijk	Niet	0
Waterland	Wel	0
Zeist	Wel	4
Zoetermeer	Wel	2

Tabel B.3. *Letselgevallen per rotonde.*

Welke toets voor het berekenen van de significantie?

Nu de indeling van de rotondes bekend is, alsmede het aantal letselongevallen op de rotondes, kan begonnen worden met het toetsen van de significantie om zodoende tot een oordeel te kunnen komen of er een werkelijk verschil is tussen beide groepen rotondes.

De keuze voor een bepaalde toets is niet ingewikkeld. Omdat ongevallen onafhankelijk van elkaar gebeuren en de kans op een ongeval in een tijdsinterval klein is, zijn de ongevallen verdeeld volgens de Poissonverdeling. Een chi-kwadraattoets is dan een uitgelezen methode om te gebruiken, omdat deze toets in staat is Poisson-verdeelde aantallen te vergelijken en te toetsen.

De chi-kwadraattoets: eerste berekening

Er zijn 17 rotondes die aan de richtlijnen voldoen en 22 rotondes die hier niet aan voldoen. In de lijst van gebruikte rotondes komt echter ook een aantal rotondes voor die pas halverwege de periode 1996-2000 in gebruik is genomen. Omdat er sprake is van een gewenningsperiode na de ingebruikname van de rotonde, zullen de rotondes die pas halverwege de beschouwde periode in gebruik zijn genomen in eerste instantie niet mee worden genomen bij de berekening van de chi-kwadraattoets. Zij zouden namelijk een verkeerd beeld kunnen geven van de verkeersveiligheid op rotondes.

Van de rotondes die gedurende de hele periode van 1996-2000 al in gebruik waren (de zogenoemde 'volledige' rotondes), voldoen 9 rotondes aan de richtlijnen en 13 rotondes voldoen hier niet aan. Op de rotondes die conform de richtlijnen zijn uitgevoerd, hebben in deze periode 34 letselongevallen plaatsgevonden; de rotondes die niet conform de richtlijnen zijn uitgevoerd telden 48 letselongevallen. Met deze aantallen kan de chi-kwadraattoets worden berekend. Daarbij zijn de verwachte aantallen letselongevallen (E_i) berekend door het totaal aantal letselongevallen te verdelen over 'Wel conform' en 'Niet conform' in de verhouding van de aantallen rotondes (N_i).

	Wel conform	Niet conform	Totaal
Aantal rotondes (N_i)	9	13	22
Waargenomen aantallen letselongevallen (O_i)	34	48	82
Verwachte aantallen letselongevallen (E_i)	33,5	48,5	82

Tabel B.4. De chi-kwadraattoets over 'volledige' rotondes.

Voordat echter verder gegaan zal worden met de berekening, moeten eerst nog twee hypothesen worden opgesteld, de zogenoemde nulhypothese (H_0) en de alternatieve hypothese (H_1). Onder andere met deze twee hypothesen kan bepaald worden of het verschil significant is of niet.

De twee hypothesen die opgesteld kunnen worden, luiden:

H_0 = Er is geen significant verschil tussen de verkeersveiligheid op rotondes die wel conform zijn en rotondes die niet conform zijn.

$H_1 =$ Er is wel een significant verschil tussen de verkeersveiligheid op rotondes die wel conform zijn en rotondes die niet conform zijn.

Vervolgens kan chi-kwadraat worden berekend:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(34 - 33,5)^2}{33,5} + \frac{(48 - 48,5)^2}{48,5} \approx 0,01$$

Het getal 0,01 zegt nu nog niets. Naast de twee hypothesen H_0 en H_1 dient ook de grenswaarde bepaald te worden. Met behulp van de grenswaarde en chi-kwadraat kan bepaald worden of de nulhypothese verworpen moet worden of niet, en of het verschil dus respectievelijk niet of wel significant is.

Bij analyses over verkeersveiligheid wordt vaak gewerkt met een onbetrouwbaarheidsniveau van 5%. Het betrouwbaarheidsinterval bedraagt dan dus 95%. Voor het bepalen van de grenswaarde is ook het aantal vrijheidsgraden van belang. Het aantal vrijheidsgraden is in dit geval te berekenen met de formule $(n - 1)$, waarbij 'n' het aantal verdelingen van O_i weergeeft. Het aantal verdelingen van O_i is in dit geval twee: er is namelijk een verdeling van letselongevallen op conforme rotondes en een verdeling van letselongevallen op niet-conforme rotondes. Het aantal vrijheidsgraden bij deze toets bedraagt dus $(2 - 1) = 1$. De grenswaarde die hierbij hoort is $g_{0,95} = 3,84$.

Bij een waarde groter dan 3,84 begint het kritieke gebied. De waarde 0,01 is kleiner dan 3,84; deze uitkomst valt dus niet in het kritieke gebied, en dit houdt vervolgens in dat de nulhypothese niet verworpen mag worden. Kortom, het verschil in de verkeersonveiligheid op de rotondes is dus *niet* significant.

Opvallend is echter wel dat het gemiddelde aantal letselongevallen per rotondejaar (= 12 maanden) bij rotondes die voldoen aan de richtlijnen hoger is dan bij rotondes die niet aan de richtlijnen voldoen. Per rotondejaar gebeuren er op rotondes conform de richtlijnen gemiddeld 34 letselongevallen / (9 rotondes * 5 rotondejaren) = $34/45 \approx 0,76$ letselongevallen, tegenover gemiddeld 48 letselongevallen / (13 rotondes * 5 rotondejaren) = $48/65 \approx 0,74$ letselongevallen per rotondejaar op rotondes die niet conform de richtlijnen zijn.

De chi-kwadraattoets: tweede berekening

In deze tweede berekening van de chi-kwadraattoets zullen ook de rotondes worden meegenomen die halverwege de beschouwde periode in gebruik zijn genomen: het onderzoek betreft tenslotte het toetsen van de verkeersveiligheid op alle gevonden rotondes. Om rekening te houden met het verschijnsel van gewenning worden de ongevallen die in het jaar van ingebruikname van de rotonde hebben plaatsgevonden niet meegeteld. Uit de gegevens is niet duidelijk wanneer een rotonde exact is aangelegd en wanneer een ongeval exact heeft plaatsgevonden, en daarom worden de ongevallen in het jaar van ingebruikname niet in de berekening van chi-kwadraat opgenomen. Omdat niet alle rotondes even lang meegerekend worden, wordt bij de berekening nu gewerkt met aantallen rotondejaren.

	Wel conform	Niet conform	Totaal
Aantal rotondes (N_i)	64	100	164
Waargenomen aantallen letselongevallen (O_i)	46	50	96
Verwachte aantallen letselongevallen (E_i)	37,5	58,5	96

Tabel B.5. De chi-kwadraattoets over alle rotondes.

Invullen van de formule voor chi-kwadraat levert op:

$$\chi^2 = \frac{(46 - 37,5)^2}{37,5} + \frac{(50 - 58,5)^2}{58,5} \approx \mathbf{3,19}$$

De nulhypothese en de alternatieve hypothese zijn gelijk aan de hypothesen die bij de eerste berekening zijn gebruikt. Ook het aantal vrijheidsgraden en de onbetrouwbaarheid zijn onveranderd gebleven; de grenswaarde bedraagt dus ook nu weer $g_{0,95} = 3,84$. De berekende waarde van chi-kwadraat is kleiner dan 3,84 en ligt niet in het kritieke gebied. De nulhypothese mag dus niet verworpen worden: er is geen significant verschil tussen de verkeersveiligheid op rotondes die wel conform zijn en rotondes die niet conform zijn.

Ook hier zien we echter weer dat het gemiddeld aantal letselongevallen per rotondejaar voor rotondes die voldoen aan de richtlijnen hoger is ($46/64 \approx 0,72$) dan het gemiddeld aantal letselongevallen op rotondes die niet voldoen aan de richtlijnen ($50/100 = 0,50$).

Conclusie

Nu twee keer de significantie is berekend, een keer voor alle 'volledige' rotondes en een keer voor alle rotondes, en er beide keren "niet significant" als antwoord uitkwam, kan geconcludeerd worden dat het geen significant verschil maakt of rotondes binnen de bebouwde kom volgens de CROW-richtlijnen zijn aangelegd of niet.

Intrigerend is wel de vraag hoe het komt dat het gemiddeld aantal letselongevallen per rotondejaar hoger is bij rotondes die conform de richtlijnen van het CROW zijn dan rotondes die daar niet aan voldoen. Verwacht zou namelijk mogen worden dat wanneer aan de richtlijnen voldaan wordt, het in de regel ook verkeersveiliger zou moeten zijn dan wanneer die richtlijnen niet in acht zouden worden genomen. Naar deze "waarom"-vraag wordt nader onderzoek aanbevolen.

Uit het rapport van Weijermars kan worden opgemaakt dat de verkeersonveiligheid op rotondes met fietsers 'in de voorrang' is gedaald van gemiddeld 0,831 letselongevallen per rotondejaar naar gemiddeld $96/164 \approx 0,585$ letselongevallen per rotondejaar. De verkeersonveiligheid is echter nog wel steeds twee keer hoger op rotondes met fietsers 'in de voorrang' dan op rotondes met fietsers 'uit de voorrang' (respectievelijk gemiddeld 0,585 en 0,296 letselongevallen per rotondejaar). Om de vraag te beantwoorden of dit verschil significant is, wordt chi-kwadraat berekend.

	Fietsers in de voorrang	Fietsers uit de voorrang	Totaal
Aantal rotondes (N_i)	164	179	343
Waargenomen aantallen letselongevallen (O_i)	96	53	149
Verwachte aantallen letselongevallen (E_i)	71,2	77,8	149

Tabel B.6. De chi-kwadraattoets voor significantie tussen rotondes met fietsers 'in' en 'uit de voorrang'.

De twee hypothesen die opgesteld kunnen worden, zijn:

H_0 = Er is geen significant verschil tussen de verkeersveiligheid op rotondes met fietsers 'in de voorrang' en rotondes met fietsers 'uit de voorrang'.

H_1 = Er is wel een significant verschil tussen de verkeersveiligheid op rotondes met fietsers 'in de voorrang' en rotondes met fietsers 'uit de voorrang'.

Invullen van de formule voor chi-kwadraat levert op:

$$\chi^2 = \frac{(96 - 71,2)^2}{71,2} + \frac{(53 - 77,8)^2}{77,8} \approx 16,5$$

Evenals bij de andere berekening voor chi-kwadraat is ook nu de grenswaarde weer $g_{0,95} = 3,84$. De uitkomst 16,5 is groter dan 3,84 en ligt dus in het kritieke gebied. De nulhypothese dient verworpen te worden: er is een significant verschil in verkeersveiligheid. Omdat het gemiddelde aantal letselongevallen per rotondejaar is berekend, kan gesteld worden dat rotondes met fietsers 'uit de voorrang' verkeersveiliger zijn dan rotondes met fietsers 'in de voorrang'.