

ROTONDES II

Inventarisatie en analyse van de beschikbare informatie

R-88-43

J. van Minnen

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



INHOUD

1. Inleiding
2. Probleemverkenning
3. Informatie uit literatuur
 - 3.1. Algemeen
 - 3.2. Historie
 - 3.3. Capaciteit
 - 3.4. Wacht- en verliestijden
 - 3.5. Veiligheid
 - 3.6. Snelheden
4. Overige informatie
5. Ongevallengegevens
6. Analyse en discussie
 - 6.1. Inleiding
 - 6.2. De functie van de rotonde
 - 6.3. De toepassing van rotondes
 - 6.4. De vormgeving en de afmetingen
 - 6.5. De voorrangsregeling
 - 6.6. Fietzers en bromfietzers op rotondes
7. Conclusies en aanbevelingen
8. Aanbevelingen voor onderzoek
 - 8.1. Onveiligheid van rotondes; Vergelijkende studie
 - 8.2. Onveiligheid en capaciteit van rotondes; Voor- en nastudie
 - 8.3. Plaats en voorrangsregeling langzaam verkeer
 - 8.4. Computersimulaties

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 11

Tabellen 1 t/m 7

1. INLEIDING

De doorstroming van het verkeer op een wegennetwerk wordt in belangrijke mate bepaald door de capaciteit van de kruispunten. Ook voor de verkeersveiligheid zijn kruispunten van groot belang; ruim 30% van de verkeersdoden en ruim 45% van de gewonden zijn het gevolg van ongevallen op kruispunten; binnen de bebouwde kom zijn die percentages nog hoger. Kruispunten hebben daarom veel aandacht gekregen en via de vormgeving, de voorangsregeling en de toepassing van verkeerslichten is getracht de problemen zo goed mogelijk op te lossen. Hoewel er al veel is bereikt, zoals met de geavanceerde verkeerslichteninstallaties, zijn zeker nog niet alle problemen opgelost. Zo blijkt veelvuldige toepassing van verkeerslichten te leiden tot irritatie van de weggebruiker, vooral als hij "onnodig" voor rood licht moet wachten. Het negeren van rood licht neemt toe en vooral bij het langzaam verkeer is dit geen zeldzaam verschijnsel meer. Passend in de trend tot deregulering is de opvatting dat er meer ruimte moet komen voor de eigen verantwoordelijkheid van de weggebruiker. Maar dan dient die weggebruiker ook in staat gesteld te worden op adequate wijze te handelen in kruispuntsituaties. Daarvoor zijn eenvoudige, overzichtelijke en herkenbare oplossingen nodig die ook de minder geroutineerde of bejaarde weggebruiker niet voor onoplosbare problemen stelt. Dit is van belang voor de veiligheid, naast andere vereisten zoals een aangepaste snelheid. Om dit laatste te bereiken worden wel maatregelen getroffen in de vorm van drempels en wegversmallingen. Een andere en wellicht meer vriendelijke mogelijkheid om snelheden te verlagen is de toepassing van rotondes, een oplossing die bijvoorbeeld in Engeland op grote schaal is toegepast. Maar ook in diverse andere landen, waaronder Nederland, is de rotonde problematiek (weer) actueel.

En met het groeien van de belangstelling neemt ook het aantal vragen toe, zoals:

- In welke situaties komen rotondes in aanmerking als kruispuntvorm?
- Hoe moeten ze worden gedimensioneerd?
- Welke voorangsregeling is het meest geschikt?
- Zijn rotondes wel zo veilig als vaak wordt beweerd?

Enkele van de belangrijkste vragen die naar voren komen wanneer het onderwerp "rotonde" aan de orde is, en die niet los van elkaar gezien mogen worden vanwege de onderlinge samenhang.

Men kan zich afvragen of er voldoende kennis aanwezig is om op genoemde vragen een afdoend antwoord te geven. En daarmee zijn we bij het onderwerp van dit rapport: de inventarisatie en analyse van de kennis die in eigen land en elders aanwezig is op het gebied van rotondes.

In principe worden daar drie verschillende bronnen voor gebruikt; in de eerste plaats de literatuur (Hoofdstuk 3); daarnaast informatie via andere bronnen zoals contacten en gesprekken met onderzoekers, verkeerskundigen en wegbeheerders (Hoofdstuk 4) en als derde een analyse van ongevallengegevens (Hoofdstuk 5). In Hoofdstuk 6 wordt gediscussieerd over de resultaten en over de toepasbaarheid voor de Nederlandse situatie. Na de conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 7) worden in Hoofdstuk 8 aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek op die terreinen waar de beschikbare kennis nog duidelijk tekort schiet.

2. PROBLEEMVERKENNING

Wat is een rotonde? Of juist geformuleerd: wat wordt in dit rapport verstaan onder rotonde?

Daarmee wordt bedoeld ieder plein, waarop het verkeer linksdraaiend*) om een centraal eiland rijdt en waarop tenminste drie wegen aansluiten. Keerlussen en afremrotondes in een wegvak blijven dus buiten beschouwing evenals de ingenieuze en gecompliceerde constructies met meer dan één eiland op één plein of een ringvormige weg waarin een aantal pleinen is opgenomen, zoals die in Engeland wel worden toegepast.

Formeel kan in ons land onderscheid worden gemaakt naar verkeerspleinen, aangeduid door bord nr. 15, en overige rotondes of circulatiepleinen. Maar de betekenis van het begrip verkeersplein ontgaat de meeste weggebruikers, als ze al zelfs het bord hebben gezien dan nog beseffen ze meestal niet dat op het plein afwijkende verkeersregels gelden voor rechts houden en inhalen. Zelfs sommige wegbeheerders zijn zich dit verschil niet bewust, zodat het onderscheid in dit rapport achterwege zal blijven.

De rotonde komt in grote verscheidenheid van afmetingen en uitvoeringen voor. Buiten de bebouwde kom zijn de afmetingen soms zo groot dat de rotonde typisch het karakter heeft van een rondgaande weg met T- of Y-aansluitingen. Deze afmetingen worden gekozen om de rotonde met voldoende snelheid te kunnen passeren (waarom ook vaak tangenciale toeritten) en/of om de zogenaamde weefvakken voldoende lengte te geven. Binnen de bebouwde kom zien we ook veel varianten met een soms ruimbemeten middeneiland, soms met een niet veel meer dan symbolisch eilandje. Naar Engels voorbeeld is het zinvol rotondes te verdelen in drie typen:

- de conventionele rotonde, waarbij de diameter van het eiland relatief groot is ten opzichte van de buitendiameter en waarbij de toeritten een nagenoeg constante breedte hebben;
- de kleine rotonde ("small roundabout"), waarbij het middeneiland relatief klein is, ten gunste van de rijbaanbreedte op de rotonde, en waarbij de toeritten uitwaaiëren tot soms vijf of zes rijstroken breed om een zo groot mogelijke capaciteit te bereiken;
- de minirotonde ("mini roundabout") met een fysiek aanwezig of soms slechts op het wegdek geschilderd middeneiland met een diameter van minder

*) Bij rechtsrijdend verkeer; in landen met linksrijdend verkeer dient hier "rechtsdraaiend" gelezen te worden.

dan 4 meter, teneinde binnen beperkte ruimte van een kruisingsvlak toch voldoende capaciteit te creëren; ook bij de minirotonde worden wel uitwaaierende toeritten toegepast.

Aan deze begrippen kan nog de term "basisrotonde" worden toegevoegd; daarmee wordt bedoeld de rotonde waarvan de rijbaan en meestal ook de toeritten slechts één rijstrook breed is. Dit type wordt de laatste tijd in ons land nogal eens toegepast en is inmiddels populair geworden.

Al deze verschijningsvormen vallen onder het begrip rotonde zolang ook het linksafslaande verkeer verplicht om het middeneiland heen moet rijden.

Hoe is het probleem ontstaan? De keuze van het onderwerp "rotondes" lijkt meer op een oplossingsgerichte dan op een probleemgerichte aanpak. Dit is ten dele waar en een logisch gevolg van de feitelijke ontwikkeling. De rotonde als oplossing is bepaald niet nieuw en wordt tenminste al meer dan 80 jaar toegepast. De feitelijke problematiek die bij deze oplossing behoort is voor een belangrijk deel in het verleden reeds aan de orde geweest, maar zeer recent en actueel zijn de vragen over toepassing, vormgeving en voorrangsregeling van rotondes. Die problematiek heeft zich ongeveer als volgt ontwikkeld.

Oorspronkelijk werd de rotonde gezien als enerzijds een stedenbouwkundige vormgeving die paste bij de bebouwing rond een plein, anderzijds als een verkeerskundige oplossing. De functie van de rotonde in verkeerskundige zin kan worden beschouwd als het opsplitsen van de complexe situatie op een kruispunt met veel conflictpunten in een aantal eenvoudige situaties met weinig conflictpunten. Vandaar dat nogal eens voor een rotonde werd gekozen op plaatsen waar meer dan vier wegen samenkomen en waar een kruispunt een te ingewikkelde constructie betekende. Toen het autoverkeer na de oorlog snel groeide en verkeersintensiteiten voorkwamen die men zich vroeger nauwelijks kon voorstellen, ging de rotonde aan betekenis verliezen. Onder meer door de gebruikelijke "rechts voorrang"-regel kwamen er capaciteitsproblemen en rotondes werden geleidelijk "doorsneden" met extra verbindingen of vervangen door andere kruispuntvormen, meestal nadat ze enige tijd met verkeerslichten hadden gefunctioneerd.

In Groot-Brittannië werd in diezelfde periode (de jaren zestig en zeventig) de rotonde steeds populairder, vooral nadat daar in 1966 de voorrang voor het verkeer op de rotonde als algemene regel was ingevoerd. Een situatie die in feite al lang in de Bondsrepubliek Duitsland had bestaan. In Nederland werd die voorrangsregeling sporadisch toegepast, zoals in Venlo,

Zaanstad en bij Wychen. Maar de meeste wegbeheerders zagen deze oplossing niet zitten. Bijna anekdotisch is de uitspraak van een ambtenaar uit die tijd: "Bij rechts voorrang op rotondes is er meer opstelruimte voor het wachtende verkeer omdat de files ook op de rotonde zelf kunnen staan". In al deze discussies werd relatief weinig aandacht besteed aan de veiligheid van rotondes. Het feit dat ze niet meer werden aangelegd, eventueel wel opgeruimd, is schijnbaar ook een goed argument voor die geringe belangstelling. Maar sinds een aantal jaren is er een weer toenemende interesse voor rotondes en ontwaakt ook in ons land het idee dat rotondes wel eens gunstig voor de veiligheid zouden kunnen zijn. Hoogeland (1983) bijvoorbeeld, poneerde dit na een verkeersanalyse van een wijk in Utrecht. Hier en daar gaan stemmen op om rotondes weer toe te passen zoals in de plannen voor de wijk Rokkeveen van Zoetermeer, en de rotonde als snelheidsremmer wordt (her)ontdekt (Talens, 1984a en b).

Een belangrijke stoot geeft Frankrijk als daar in 1984 de mogelijkheid wordt geopend op grote schaal voorrang voor het rotondeverkeer in te voeren.

Ook in Nederland neemt de belangstelling toe en worden weer rotondes aangelegd of wordt de voorrang gewijzigd, vaak in het kader van de zogenaamde AVOC- en BREV-regelingen.

Wat is het probleem? De nieuwe rotondeproblematiek is blijkbaar ontstaan als gevolg van de groeiende belangstelling en de recente ontwikkelingen in binnen en buitenland. En die problematiek kent vele kanten zoals:

- De veiligheid; zijn rotondes inderdaad zo veilig als op grond van Engelse en Franse ervaringen wordt beweerd en geldt dat ook voor Nederlandse situaties met zoveel meer (brom)fietsers?
- De toepassing; op welke plaatsen kan een rotonde worden toegepast, afhankelijk van de beschikbare ruimte, de totale intensiteit en de verdeling over de takken, de hoeveelheid langzaam verkeer inclusief voetgangers?
- De voorrangsregeling; het is eenvoudig in te zien dat een regeling met voorrang voor het rotondeverkeer gunstiger is voor de capaciteit omdat het verkeer op de rotonde blijft rijden, ook bij groot verkeersaanbod; maar veel moeilijker is aan te geven of deze oplossing gunstig is voor de veiligheid.
- De vormgeving; vasthouden aan klassieke vormen met tangenciale toeritten of volgen van Engels voorbeeld met kleine en minirotondes of juist maximale snelheidsvermindering via radiale toeritten?

- Verder spelen nog diverse andere elementen een meer of minder grote rol, bijvoorbeeld de toepassing van rotondes als alternatief voor verkeerslichten, passend in de opvattingen over deregulering, de internationale harmonisatie van de verkeerswetgeving en de positie van de fietsers op de rotonde.

Kort samengevat kan de actuele problematiek als volgt worden geformuleerd:

1. Zijn rotondes relatief veilig, tenminste zo veilig als met verkeerslichten geregelde kruispunten?
2. Zijn rotondes ook relatief veilig bij veel (brom)fietsverkeer?
3. Als rotondes veilig zijn, verdient dan toepassing op grote schaal de voorkeur en vooral ook op drukke kruisingen waar veel ongevallen plaatsvinden?
4. Is daarbij de voorrang voor het rotondeverkeer, noodzakelijk uit capaciteitsoverwegingen, ook gunstig voor de veiligheid?
5. Wat is, bijvoorbeeld uitgaande van voorrang voor het rotondeverkeer, de meest geschikte vormgeving ten aanzien van de positie van toeritten, wegbreedte, afronding, verkanting, etc.?
6. Wat is de beste plaats voor (brom)fietsen op de rotonde en hoe moet daar de voorrang voor worden geregeld?
7. Is het belangrijk dat in het gehele land, en eventueel ook internationaal, op alle rotondes dezelfde voorrangsregeling gaat gelden?
8. Wat voor invloed heeft de toepassing van rotondes op grotere schaal op milieu-aspecten zoals brandstofverbruik en luchtverontreiniging, lawaai en "visuele vervuiling" ?

Tenslotte nog enige aandacht voor de omvang van de problematiek uit veiligheidsoogpunt. Op kruispunten vallen jaarlijks ca. 500 doden en meer dan 20.000 gewonden; op rotondes slechts een fractie daarvan, nauwelijks 1% van de aantallen op alle kruisingen. De veiligheidsproblematiek op rotondes is zo gezien nauwelijks interessant, maar de afweging wordt heel anders als men bedenkt wat de mogelijkheden zijn wanneer rotondes op grotere schaal, en vooral ook op drukke kruispunten worden toegepast. Een rekenvoorbeeld toont dit aan: stel dat men 5% van de drukker kruispunten, die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor 15% van de verkeersslachtoffers op kruispunten, vervangt door rotondes; stel verder dat het effect van deze wijziging gemiddeld een vermindering met 1/3 van de aantallen slachtoffers is; dan komt dit neer op een vermindering van ca. 25 doden en ruim

duizend gewonden per jaar. Eventueel dient daar nog bij opgeteld te worden de gevolgen voor de veiligheid in de directe omgeving van de rotondes op de aansluitende wegvakken.

3. INFORMATIE UIT LITERATUUR

3.1. Algemeen

Het merendeel van de beschikbare literatuur is afkomstig uit Engeland waar het Transport and Research Laboratory (TRRL) veel onderzoek heeft verricht. De onderzoeken varieerden van overwegend theoretische studies en computersimulaties tot uitgebreide praktijktesten in feitelijke verkeerssituaties. Ook uit enkele andere landen is literatuur over rotondes beschikbaar, zoals Frankrijk, USA en Australië die rapporteren over eigen ervaringen of experimenten. Wel blijkt uit de literatuurverwijzingen dat ook in die landen veel gebruik wordt gemaakt van de Engelse ervaringen. Een aanzienlijk deel van de geraadpleegde literatuur heeft betrekking op de capaciteit van rotondes en de daarmee verband houdende wachttijden, in relatie tot vormgeving, afmetingen en voorrangregeling. Ook waren veel van de experimenten gericht op (vergroting van) de capaciteit. Daarnaast krijgt de verkeersveiligheid ruime aandacht, vaak in samenhang met de snelheid van het verkeer. De toepassing van rotondes in vergelijking met andere kruispuntvormen, inclusief de regeling met verkeerslichten, wordt diverse malen ter discussie gesteld.

Er blijkt relatief weinig te zijn gepubliceerd over langzaam verkeer op rotondes, zoals fietsers en overstekende voetgangers, en nog minder over milieu-invloeden zoals geluidoverlast en luchtverontreiniging.

In sommige gevallen zijn de uitkomsten van onderzoeken extreem positief, waardoor de behoefte ontstaat de resultaten nader te analyseren. Maar meestal ontbreekt dan voldoende informatie om de uitkomsten te kunnen toetsen. Dat gebrek aan informatie heeft soms ook tot gevolg dat de geldigheid van bepaalde uitspraken niet kan worden vastgesteld. Bijvoorbeeld: wat is de waarde van een vergelijking van rotondes met door verkeerslichten geregelde kruispunten, wanneer niets wordt vermeld om de regeling, bijvoorbeeld of deze conflictvrij is, al of niet verkeersafhankelijk is of het om een permanent werkende regeling gaat?

Waar nodig zal bij de volgende besprekingen op dit soort tekortkomingen worden gewezen.

3.2 . Historie

Het verkeersplein of de rotonde is een verkeersoplossing die al zeer lang bestaat; reeds in 1903 werd de rotonde door de Fransman Henard aanbevolen als oplossing voor drukke kruispunten met veel armen. Enkele bekende pleinen in Parijs, de Place de l'Etoile (tegenwoordig de Place de Charles de Gaulle) en de Place de la Nation, werden al voor 1910 gerealiseerd, evenals de Columbus Circle in New York en het Sollershot Circus in Letchworth (UK) (Troutbeck, 1984). Ook in Nederland zijn er pleinen die al een aardige historie achter de rug hebben zoals bijvoorbeeld het Weteringplein in Amsterdam of het Plein 1813 in Den Haag. In sommige villawijken werden al lang geleden pleinen aangelegd, waarbij vermoedelijk stedenbouwkundige argumenten bepalend waren (Talens, 1984).

Ook buiten de bebouwde kom werden pleinen gerealiseerd en gedurende enige tijd is deze constructie populair geweest als knooppunt in autosnelwegen; in gelijkvloerse uitvoering (Oudenrijn, Deil en Gorichem) of als aansluitingsrotonde boven de snelweg (Leidschendam, Ypenburg). Alle genoemde pleinen zijn of worden omgebouwd tot andere knooppunten, meestal nadat ze een aantal jaren met verkeerslichtenregeling hebben gefunctioneerd. Internationaal gezien blijken de ontwikkelingen rond de toepassing en regelingen van rotondes nogal te verschillen. Zo was in de Duitse Bondsrepubliek de rotonde een gewaardeerde oplossing; uit capaciteitsoverwegingen was daar de regel ingevoerd dat verkeer op de rotonde voorrang heeft op toerijgend verkeer. Omstreeks 1970 werd deze regel in het kader van de inter-nationale harmonisatie van de verkeerswetgeving weer afgeschaft. Wel bleef in de meeste gevallen de voorrang voor het rotondeverkeer gehandhaafd, maar nu via de gebruikelijke bebording. Maar de belangstelling voor de rotonde is sindsdien sterk teruggelopen (Brilon, 1984).

In Groot-Brittannië is de rotonde, daar bekend als "roundabout", al zeer lang redelijk populair en die populariteit nam nog sterk toe nadat in 1966 de algemene regel werd ingevoerd dat het rotondeverkeer voorrang heeft (off-side priority). Naast de conventionele rotonde met relatief grote diameter van het middeneiland, werden de "small" en "mini roundabout" ingevoerd, waardoor de toepassing nog meer werd gestimuleerd. Momenteel zijn er in Engeland naar schatting meer dan 10.000 rotondes.

In Frankrijk is de rotonde een bekend verschijnsel, zowel binnen als buiten de bebouwde kom. In het algemeen gold daar de regel dat verkeer van

rechts voorrang gegeven dient te worden, dus het verkeer dat de rotonde oprijdt. Om het vastlopen van het verkeer op de rotonde te kunnen vermijden werd in 1972 de mogelijkheid geschapen om voorrang voor het rotondeverkeer in te stellen (Le Coz, 1982). Van deze mogelijkheid werd aanvankelijk weinig gebruik gemaakt, maar na de gunstige resultaten van experimenten in Quimper kwam daar verandering in. In mei 1984 werd een nieuw rotondebord ingevoerd waarmee voorrangrotondes worden aangeduid. Deze regeling wordt nu in Frankrijk op grote schaal toegepast, zij het nog niet algemeen. Enkele andere landen zoals Australië en Zweden, hadden al eerder het Engelse voorbeeld gevolgd en off-side priority op rotondes ingevoerd (in Australië geldt overigens off-side priority als algemene voorrangregel!).

3.3. Capaciteit

Worden rotondes toegepast ter vervanging van drukkeren voorrangskruisingen of met lichten geregelde kruisingen, in het algemeen in situaties met veel verkeersaanbod, dan is de capaciteit belangrijk voor de vraag of het verkeersaanbod redelijk kan worden verwerkt, dus zonder grote file's en extreem lange wachttijden. We dienen ons wel te realiseren dat "de" capaciteit van een rotonde eigenlijk niet bestaat; de hoeveelheid verkeer die per tijdeenheid kan worden verwerkt is onder meer afhankelijk van de verdeling van het verkeer over de toeritten, de percentages afslaand verkeer, het aandeel vrachtverkeer en de weersomstandigheden. Wanneer we over de capaciteit in het algemeen praten, dan bedoelen we in feite de hoeveelheid verkeer, uitgedrukt in pae's*), die per uur kan worden verwerkt onder niet al te extreme omstandigheden, dus een enigszins gelijke verdeling van het aanbod over de toeritten en geen extreme percentages afslaand verkeer.

In de literatuur komt de capaciteit van rotondes veel ter sprake; in een aantal gevallen gaat het om capaciteitsformules (of computersimulaties), vaak getest via waarnemingen op rotondes. Een ander belangrijk deel gaat over empirische vaststelling van capaciteiten via experimenten op proefterreinen of in feitelijke verkeerssituaties.

*) pae = personenauto-eenheid, een getal dat aan andere typen voertuigen wordt toegekend om hun equivalent in aantallen personenauto's uit te drukken.

Een van de eersten die een formule opstelde voor de capaciteit van rotondes was Wardrop, in 1957 (zie Troutbeck, 1984) en aangepast in 1962 (zie Webster & Newby, 1964). Hij ging uit van de veronderstelling dat de capaciteit van een rotonde wordt bepaald door die van de weefvakken. Zijn formule kwam tot stand na testen op een vliegveld en controle van de uitkomsten via waarnemingen op een aantal bestaande rotondes. De formule luidde als volgt:

$$Q_m = 108 w (1 + e/w)(1 - p/3)/(1 + w/l) \text{ pae per uur}$$

waarin:

Q_m = maximum doorstroming van een weefvak

w = breedte van het weefvak

l = lengte van het weefvak

e = gemiddelde breedte van de toerit

p = verhouding wevend verkeer: totaal verkeer in weefvak

} deze maten in Engelse voet

Uit deze formule kon worden afgeleid dat een grotere lengte van het weefvak ook tot een grotere capaciteit zou leiden. Dit principe werd in de praktijk ook veel toegepast voor drukke rotondes die vaak forse afmetingen kregen om voldoende weefvaklengte te bereiken.

Webster & Newby (1964) gaan dieper in op deze problematiek; zij stelden onder meer vast dat rotondes redelijk functioneren zolang de capaciteit nog niet is bereikt. Is dat wel het geval, dan loopt het verkeer vast en is politie-assistentie nodig tot het moment waarop alle files op en om de rotonde zijn opgelost. Een aanmerkelijke verbetering kon worden bereikt door toepassing van verkeerslichten; in bepaalde gevallen bleek een ingelaste "all red"-fase de capaciteit nog iets te verbeteren. Er werd vastgesteld dat de capaciteit met verkeerslichtenregeling ongeveer 10% groter was dan zonder lichten. Een andere mogelijkheid zagen de auteurs in deze toepassing van de zogenaamde "off-side priority", hetgeen neerkomt op het verlenen van voorrang aan het verkeer dat zich al op de rotonde bevindt. In vergelijking met de politieregeling wordt een capaciteitsvergroting van ca. 14% genoemd. Bovendien, en dat was nog wel zo belangrijk, liep het verkeer op de rotonde niet meer vast als het aanbod de capaciteit overtrof en ook onder die omstandigheden bleef de capaciteit volledig gehandhaafd. In de zestiger jaren groeide in Engeland het inzicht dat de off-side

priority de voorkeur verdiende, hetgeen in 1966 resulteerde in de algemene invoering van deze regel voor de voorrang op rotondes.

De theoretici reageerden daarop en pasten de basis voor de berekening van de capaciteiten aan; niet langer het weven in de weefvakken maar de "gap acceptance" bij de toeritten van de rotonde werd nu bepalend geacht voor de capaciteit. Een groot aantal onderzoekers ontwikkelden formules op basis van dit gegeven; als eerste Tanner in 1962, gevolgd door o.a. Armitage & McDonald (1974), Maycock (1974), Philbrick (1977), Kimber (1980), Semmens (1982). Vele geometrische kenmerken werden in de berekeningen betrokken; daarvan bleken de breedte van de toerit, de breedte van de rijbaan op de rotonde en de diameter van de rotonde de belangrijkste te zijn. In de meeste gevallen was er een redelijke tot goede overeenstemming tussen berekende en feitelijke waargenomen capaciteitswaarden hoewel individuele uitkomsten soms afwijkingen van ca. 30% vertonen.

Ook in de Bondsrepubliek Duitsland werd er gerekend; Brilon (1984) becijferde de capaciteiten van rotondes die gerealiseerd zouden kunnen worden binnen het kruisingsoppervlak van met lichten geregelde kruisingen. Hij kwam uit op waarden die ongeveer gelijk zijn voor een rotonde en voor verkeerslichten bij tweefasenregeling of een gunstiger uitkomst voor de rotonde ten opzichte van een vierfasenregeling voor de lichten. Laatstgenoemde (starre?) regeling lijkt niet erg realistisch, maar blijkt vooral in het zuiden van de Bondsrepubliek toch veel toegepast te worden. De door Brilon berekende capaciteiten komen uit op 2000-2400 voertuigen per uur voor de basisrotonde (dat is één rijstrook op de rotonde zowel als op elke toerit) en 4000-4500 voertuigen per uur voor een ruimere rotonde met twee rijstroken op elke doorsnede. De lagere waarden gelden voor ca. 30% linksafslaand verkeer, de hogere voor ca. 10% linksaffers.

Over langzaam verkeer wordt niet gesproken, zodat we moeten aannemen dat dat niet in de berekeningen is betrokken.

De laatste tijd worden de mogelijkheden voor berekeningen van capaciteiten, rekening houdend met een relatief groot aantal variabelen, aanzienlijk verruimd door de ontwikkeling van geschikte computerprogramma's, zoals "Arcady" (Hollis e.a., 1980). Zolang echter met de gebruikelijke formules wordt gewerkt leidt dit niet tot principieel andere uitkomsten. Misschien interessanter is daarom de computersimulatie die het proces op microscopische schaal doorrekent, zoals beschreven door Chin (1985). Zijn

model "SIMRO" maakt gebruik van acht gedragsmechanismen van weggebruikers zoals snelheid, acceleratie en deceleratie, car-following en gap-acceptance. De toegepaste waarden hierover werden empirisch vastgesteld. De resultaten vertonen goede overeenkomst met de waargenomen gegevens; in sommige gevallen is die overeenkomst beter dan bij toepassing van de gebruikelijke formules (zie Afbeelding 1).

Nagenoeg alle genoemde berekeningen zijn gebaseerd op snelverkeer, waarbij de invloed van vrachtauto's, bussen en motorfietsen wordt verdisconteerd via passende pae-waarden. Zeker voor Nederland is dat in veel gevallen niet erg realistisch gezien de aantallen (brom)fietsers en overstekende voetgangers. Het laatstgenoemde probleem werd, zij het theoretisch, aangepakt door Marlow & Maycock (1982). Zij berekenden de vermindering van de capaciteit van de toerit van een rotonde als gevolg van overstekende voetgangers op een zebra op korte afstand voor de rotonde. Afhankelijk van die afstand, en dus van de mogelijkheid voor auto's om zich tussen zebra en rotonde op te stellen, werden capaciteitsverminderingen van bijvoorbeeld 2 tot 8% becijferd. In Afbeelding 2 zijn de resultaten weergegeven van een situatie waarbij de zebra op ca. 15 m voor de rotonde ligt en er per uur 500 voetgangers oversteken. De invloed van overstekende voetgangers is vooral merkbaar in situaties waar relatief weinig circulerend en relatief veel binnenkomend autoverkeer is. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er bij deze berekeningen vermoedelijk van is uitgegaan dat alle voetgangers op zebra's voorrang krijgen.

Na al het min of meer theoretische gecijfer is het de moeite waard eens vast te stellen welke intensiteiten op rotondes in de praktijk voorkomen. Uiteraard zijn deze uitkomsten afhankelijk van afmetingen, vormgeving en voorraangsregeling. In de opgaven worden zowel aantallen voertuigen als pae's vermeld; dus deze gegevens zijn niet altijd volledig vergelijkbaar. - Webster & Newby (1964) laten zien dat er in de tijd dat off-side priority nog niet werd toegepast, rotondes voorkwamen met op werkdagen tussen 09.00 en 17.00 uur gemiddelde intensiteiten van 250 tot 4000 voertuigen per uur; het betrof de periode 1954-1956.

- In Australië worden rotondes toegepast op plaatsen waar vaak aanzienlijk meer dan 30.000 voertuigen per etmaal passeren (Horman, 1983).

- In Frankrijk, in het centrum van Quimper, komen rotondes voor met intensiteiten van 15.000 tot 23.000 voertuigen per etmaal; in de buitenwijken zelfs tot 38.000 voertuigen per etmaal.

Het betreft meestal rotondes met tweestrookstoeritten en een breedte van de rijbaan op de rotonde van 10 tot 12 m (Le Coz, 1982, 1983).

- Elders in Frankrijk komen rotondes voor met gerapporteerde intensiteiten van 3000 tot 40.000 voertuigen per etmaal; het betrof een steekproef van 45 rotondes, dus dit geeft zeker geen compleet beeld (SETRA, 1983).

Uit de gegeven voorbeelden zou afgeleid kunnen worden dat 4000 voertuigen per uur, resp. 40.000 per etmaal, ongeveer de bovengrens is. Maar dan blijkt dat bij experimenten op een aantal rotondes in Engeland nog aanzienlijk hogere waarden zijn vastgesteld. Het betreffen meestal waarnemingen over perioden korter dan een uur (minimaal 6 minuten), zodat de bereikbare uurintensiteiten wellicht iets lager geschat moeten worden. Hier volgt een aantal voorbeelden.

- Brook Hill Roundabout, Sheffield, was een conventionele 5-arms rotonde met een capaciteit van ca. 5000 pae per uur; diverse uitvoeringsvarianten werden uitgeprobeerd met als laatste versie een rond middeneiland van 35 m diameter, waarbij in het avondspitsuur 6300 en in het ochtendspitsuur zelfs 6600 pae per uur werd waargenomen (Marlow & Blackmore, 1973). Enkele voorbeelden van de toegepaste vormgevingen zijn weergegeven in Afbeelding 3.

- Swindon, eveneens een conventionele 5-arms rotonde waar maximaal 4500 pae per uur werden verwerkt; na wijziging werden met middeneilanden van zowel 20 als 38 m maxima van 6800 pae per uur gemeten (Halsall & Blackmore, 1975).

- Colchester, op een 4-arms rotonde die in de oorspronkelijke staat maximaal 4500 pae per uur verwerkte, werden na ombouw van het middeneiland van 36 m naar 20 m diameter en sterk verwijde toeritten 5060 pae per uur bereikt; een speciale oplossing, de zogenaamde "ring junction", bracht het tot 5280 pae per uur (Sawers & Blackmore, 1973).

- Wincheap, Canterbury, op een 4-arms rotonde werden bij diverse varianten 4950 tot 5600 pae per uur gemeten (Semmens e.a., 1980).

Geconcludeerd kan worden dat de capaciteit van rotondes en dus het toepassingsgebied zeker niet eindigt bij 4000 pae per uur, maar nog aanzienlijk groter kan zijn. Uiteraard wel onder het voorbehoud van een te verwaarlozen hoeveelheid fietsverkeer, omdat dat ook in de genoemde voorbeelden het geval zal zijn geweest.

In hoeverre de genoemde waarden voor de capaciteiten ook voor Nederlandse omstandigheden reëel kunnen zijn, moge blijken uit telresultaten op een

rotonde in Maastricht. Na reconstructie van de rotonde, waarbij op elke doorsnede één rijstrook beschikbaar bleef, en voorrang voor het rotondeverkeer werd ingesteld, werden in het spitsuur ca. 2000 auto's en ca. 600 (brom)fietsen per uur geteld. Daarnaast nog eens 380 overstekende voetgangers op de zebra's rond het plein.

3.4. Wacht- en verliestijden

De wachttijd is de tijd gedurende welke een weggebruiker stil staat voor een verkeerslicht of om aan ander verkeer voorrang te verlenen. Maar dat is niet het enige tijdverlies dat optreedt bij het passeren van kruispunten. Het is daarom in veel gevallen beter de verliestijd ("delay") te hanteren als vergelijkingsmaat. De verliestijd is het verschil tussen de feitelijk benodigde tijd voor het passeren van een kruispunt en de theoretisch benodigde tijd om het kruispunt met onverminderde snelheid te passeren. Ook het tijdverlies als gevolg van het vertragen en versnellen is dus hierin begrepen.

Webster & Newby (1964) besteedden ook aandacht aan het tijdverlies op rotondes. Zij maakten onderscheid tussen het geometrisch verlies dat optreedt bij het berijden van een rotonde zonder ander verkeer en het extra tijdverlies als gevolg van voorrang verlenen aan ander verkeer, door hen aangeduid met "queueing delay". Het geometrisch tijdverlies wordt door hen berekend voor verschillende kruissnelheden en varieert van 9 s bij een kruissnelheid van 30 mile/h tot 17 s bij 50 mile/h. De uitkomsten blijken nagenoeg onafhankelijk van de diameter van de rotonde; een grotere diameter geeft wel een grotere omweg, maar tevens een hogere snelheid waarmee de rotonde kan worden bereden.

De auteurs presenteren ook uitkomsten van waarnemingen op zes rotondes van het extra tijdverlies ten gevolge van het overige verkeer, en wel als functie van de verzadigingsgraad van de rotonde. De uitkomsten variëren van ca. 5 s bij halve verzadiging tot ca. 30 s bij een situatie dat de capaciteit wordt bereikt. Het vastlopen van het verkeer - de off-side priority was nog niet ingevoerd - werd om begrijpelijke redenen buiten beschouwing gelaten. Hoewel de uitkomsten interessant zijn is de bruikbaarheid wat beperkt omdat de directe vergelijking met andere kruispuntvormen ontbreekt.

Een formule voor de geometrische verliestijd van McDonald en Noon wordt genoemd door Kimber (1980):

$$Dg = 0,03 A + 0,13 V - 3,5$$

waarin:

A = totale hoekverdraaiing bij het passeren van de rotonde ($^{\circ}$)

V = het gemiddelde van de kruissnelheid voor en na de rotonde (km/h)

Ook nu ontbreekt de diameter van de rotonde als variabele.

Omdat in deze formule de hoekverdraaiing is opgenomen is het mogelijk het geometrisch tijdverlies afzonderlijk voor rechtdoorgaand en voor afslaand verkeer te berekenen.

Ook voor het tijdverlies ten gevolge van het overige verkeer werden diverse formules opgesteld, maar de resultaten lopen nogal uiteen (Troutbeck, 1984).

Een directe vergelijking van rotondes met door lichten geregelde kruispunten wordt gegeven door Brilon (1984), maar het gaat in dit geval om berekende waarden. Het is daardoor niet mogelijk om vast te stellen in welke mate deze, op zichzelf zo interessante uitkomsten overeenkomen met in de praktijk optredende verliestijden (Afbeelding 4).

Een essentieel probleem bij de verliestijden is het feit dat het verkeer zelden stationair is; het verkeersaanbod kan toe- of afnemen en sterk fluctueren. Het is daardoor aannemelijk dat de verliestijd niet alleen afhankelijk is van de momentane intensiteit maar ook van het verkeersaanbod in de voorafgaande periode. Hollis e.a. (1980) hebben dit gegeven toegepast in berekeningen met het computerprogramma Arcady. De ontwikkelingen van de filelengtes en de wachttijden gedurende een periode van 60 minuten, zoals door hen berekend, zijn interessant, maar ook nu ontbreekt weer de directe vergelijking met andere kruispuntvormen.

Geconcludeerd kan worden dat aan verliestijden op rotondes veel minder aandacht werd besteed dan aan de capaciteit en dat feitelijk waargenomen tijden zeldzaam zijn. Directe vergelijking tussen rotondes en andere kruispuntvormen komt nauwelijks voor en ook bij de vele praktijkexperimenten op bestaande rotondes in Engeland werd geen aandacht besteed aan de verliestijden.

3.5. Veiligheid

Er wordt in de literatuur ruime aandacht besteed aan de verkeersveiligheid van rotondes, als functie van verschillende rotondekenmerken en in vergelijking met andere kruispuntvormen. De gegevens komen uit Engeland, Frankrijk, de USA en Nederland.

Webster & Newby (1964) gaven reeds een vergelijking tussen rotondes en met lichten geregelde kruisingen, waaruit bleek dat de rotonde qua veiligheid zeker niet de mindere was. Wel vonden zij het opmerkelijk dat bij ongeveer een kwart van de letselongevallen met twee voertuigen fietsers betrokken waren, een voor dat land toch wel groot aandeel. In de discussie naar aanleiding van de bijdrage van Webster & Newby geeft Smith (1965) aanvullende informatie over de onveiligheid op rotondes. De uitkomsten zijn, samen met de eerder genoemde, opgenomen in onderstaande tabel.

Type kruising	Aantal armen	Aantal kruispunten	Periode van onderzoek	Gemiddelde intensiteit	Ongevallenquotiënt totaal	excl. voetg.	
geregeld	3	19	1954-1956	500-2200	2,42	1,92	(1)
geregeld	4	121	1954-1956	400-3500	2,02	1,12	(1)
geregeld	4	12	1951-1959	?	2,86	-	(2)
geregeld	4	12	1960-1962	?	2,96	2,38	(2)
geregeld	4	12	1954-1956	700-3000	3,4	-	(2)
rotonde	3	8	1954-1956	900-2000	2,18	-	(2)
rotonde	4	12	1954-1956	1100-3300	1,9	-	(2)
rotonde	4	34	1954-1956	250-4000	1,92	1,63	(1)
rotonde	4	12	1951-1959	?	1,67	-	(2)
rotonde	4	12	1960-1962	?	1,46	-	(2)

(1) bron: Webster & Newby (1964); (2) bron: Smith (1965)

Toelichting:

De gemiddelde intensiteit is bij Webster & Newby de gemiddelde waarde op werkdagen tussen 09.00 en 17.00 uur, uitgedrukt in voertuigen per uur. De ongevallen hadden betrekking op werkdagen.

Smith geeft geen nadere toelichting op de gegevens betreffende intensiteit en ongevallen.

Het ongevallenquotiënt is steeds het aantal letselongevallen per jaar, betrokken op de gemiddelde uurintensiteit in 1000-tallen.

Nergens is vermeld om welke soort verkeerslichtenregeling het gaat en of de lichten al of niet permanent werkten.

Ook Millard (1971) vergelijkt rotondes en met lichten geregelde kruisingen. Zonder de uitspraak met cijfers te onderbouwen en wijzend op niet gepubliceerde gegevens van het TRRL komt hij tot de conclusie dat het ongevallenquotiënt op rotondes ca. 2/3 is van dat op kruispunten met lichten. Eenzelfde verhouding zou ook gelden voor voetgangers, hoewel die zich op met lichten geregelde kruispunten meestal veiliger voelen. Zijn inzicht in de betekenis van de subjectieve onveiligheid demonstreert hij kernachtig in de volgende zin: "Pedestrians certainly feel less at risk at signals, but their danger at roundabouts is more apparent than real, or perhaps is not real because it is apparent".

Green (1977) beschrijft de resultaten van een voor- en nastudie op 150 kruispunten waar in de periode 1967-1973 wijzigingen zijn opgetreden. Een groot aantal (88) betreft voorrangskruisingen binnen 30 of 40 mile/h gebieden die werden gewijzigd in mini- of kleine rotondes. Aantallen letselongevallen daalden daarna met 34%, ernstige letselongevallen met 46%. Bij tien gelijksoortige wijzigingen in gebieden met maximum snelheden boven 40 mile/h was de daling nog iets sterker: 50% resp. 77% voor alle en voor de ernstige letselongevallen.

Bij 13 andere kruisingen gaat het om vervanging van de lichtenregeling door kleine rotondes. De aantallen letselongevallen dalen met 25% (nauwelijks significant), maar de ernstige ongevallen nemen met 62% af. Worden daarentegen conventionele rotondes vervangen door rotondes met een klein eiland, dan stijgt het aantal letselongevallen tot bijna het dubbele! Overigens wijst Green erop dat de veranderingen van de kruisingen meestal gepaard gingen met andere wijzigingen en aanpassingen, zodat de geconstateerde verschillen in onveiligheid niet uitsluitend aan het kruispunttype mogen worden toegeschreven.

Belangrijke informatie bevat ook het artikel van Hall & Surl (1981). Hierin worden diverse typen kruispunten en rotondes vergeleken; aantallen

letselonegevallen worden als functie van de intensiteit vastgesteld en via regressiekrommen weergegeven (Afbeelding 5). Eerdere bevindingen worden door deze uitkomsten bevestigd: rotondes zijn relatief veilige kruispuntvormen, vaak veiliger dan met verkeerslichten geregelde kruispunten, waarbij de conventionele rotonde gunstiger scoort dan de kleine of mini-rotonde. Maar niet alleen de aantallen letselonegevallen, ook de ernst daarvan blijkt afhankelijk van het type kruispunt en ook in dit opzicht vertonen rotondes een gunstig beeld (Afbeelding 6).

Maycock & Hall (1984) beschrijven de resultaten van een uitgebreid onderzoek naar letselonegevallen op in totaal 84 rotondes. Het gaat hier om 4-arms rotondes in zowel conventionele als kleine uitvoering en onderscheiden naar snelheidsregiem: 30-40 mile/h resp. 50-70 mile/h.

Minirotondes met een middeneiland van minder dan 4 m diameter werden buiten beschouwing gelaten. De etmaalintensiteiten op deze pleinen varieerden van 5000 tot ruim 70.000 (!) voertuigen per dag. Ongevallenquotiënten werden vastgesteld in de vorm van letselonegevallen per 100 miljoen voertuigpassages en onderscheiden naar dodelijke afloop, met ten hoogste ernstig en met ten hoogste licht gewonden. Over het algemeen blijkt de conventionele rotonde wat veiliger dan de kleine, hoewel het beeld niet in alle onderdelen consistent is.

Veel opvallender zijn de verschillen in de verdeling naar type ongeval; op de kleine rotonde zijn aanrijdingen tussen binnenrijdend en circulerend verkeer met ruim 70% sterk in de meerderheid. Op de conventionele rotonde is er geen duidelijk dominerend type; enkelvoudige ongevallen komen relatief het meest voor (aandeel circa 30%; Tabel 1).

Ook in dit onderzoek blijkt dat fietsers betrekkelijk veel bij ongevallen betrokken zijn; de "involvement rate" is voor fietsers ongeveer 15 maal zo groot als die voor personenauto's. Uit de gegevens valt niet af te leiden of deze hoge risico's mede door de betrekkelijk geringe fietsintensiteiten worden veroorzaakt.

Het rapport besteedt uitgebreid aandacht aan een regressie-analyse waarmee werd getracht de relaties vast te stellen tussen de aantallen ongevallen en intensiteits- en geometrische gegevens. De relatie met intensiteiten komt duidelijk te voorschijn, maar in het geval van de geometrische variabelen zijn de uitkomsten nogal gecompliceerd omdat er veel correlaties en interacties voorkomen.

Belangrijke geometrische variabelen blijken te zijn:

- de verhouding tussen de rotonediameter en de diameter van het middeneiland; hiermee wordt grotendeels het verschil in onveiligheid tussen conventionele en kleine rotondes verklaard;
- de maximale kromming van de route bij het oprijden van de rotonde; een sterke kromming vermindert de kans op aanrijdingen tussen toerijgend en circulerend verkeer, maar werkt negatief op andere typen ongevallen; optimale waarden voor de kromming werden gevonden bij $R = 60$ m en $R = 20$ m voor toeritten met constante breedte resp. met wijd uitlopende toeritten;
- de breedte van de toerit blijkt belangrijk bij geringe kromming van de toerit, maar nauwelijks meer bij de maximale kromming.

Het is duidelijk dat het snelheidremmend effect van rotondes voor het grootste deel wordt bepaald door de mate waarin binnenrijdend verkeer moet afbuigen en de daarbij te rijden krommingen. Op kleine en minirotondes is deze afbuiging vaak (te) gering. Yee & Bell (1986) experimenteerden daarom met concentrisch aangebrachte rijstrookmarkeringen op minirotondes om na te gaan of daarmee de snelheid en de aantallen ongevallen gereduceerd zouden kunnen worden. De uitkomsten waren niet erg bemoedigend; er werd een zeer geringe vermindering van de gereden snelheden geconstateerd en de daling van de aantallen ongevallen was niet significant. Het laatstgenoemde zal zeker te maken hebben met de kleine aantallen; het betrof slechts vier rotondes.

Verkleining van het middeneiland en trechtervormig uitwaaiëren van de toeritten werd in Engeland veel toegepast om de capaciteit van rotondes te vergroten. Maar gaat dit niet ten koste van de veiligheid? Bulpitt & Harrison (1983) stellen dit ter discussie aan de hand van het experiment op het Wincheap Roundabout in Canterbury. De resultaten in de verschillende fasen van het experiment zijn samengevat in Tabel 2. Uit deze en andere ervaringen met rotondes in Kent komen zij onder meer tot de volgende conclusies:

- Snelheidsreductie is noodzakelijk voor de veiligheid; die kan worden bereikt door voldoende afbuiging en kromming bij de toeritten en niet of nauwelijks via de vormgeving van de uitritten.
- Rijstrookmarkeringen op de rotonde zijn niet effectief voor de snelheidsvermindering, zeker niet in de stillere uren en 's nachts.
- Op de grote (conventionele) rotondes dienen geen tangenciale toeritten

te worden toegepast; het verlengde van de buitenste rijstrook van de toerit dient nog juist op het middeneiland terecht te komen.

- Met een minirotonde is snelheidsverlaging niet in voldoende mate te bereiken; deze vorm wordt dan ook afgeraden, tenzij de naderingssnelheid door andere oorzaken al voldoende laag is.

- De rijbaanbreedte op de rotonde dient bij voorkeur niet groter te zijn dan 11 meter; bij grotere waarden ontstaan te veel problemen, zoals de onzekerheid bij toerijgend verkeer over het veilig kunnen oprijden van de rotonde en de soms zwalkende koers van automobilisten op de rotonde; ook in gevallen waarin de toeritten breder zijn zou de rijbaan op de rotonde tot 11 m beperkt moeten blijven.

Een artikel dat speciaal gewijd is aan de onveiligheid van fietsers op rotondes is dat van Layfield & Maycock (1986). In Groot-Brittannië is, uitgaande van de geregistreeerde ongevallen, bij ca. 12% van alle letselongevallen tenminste één fietser betrokken; op kruispunten is dat 15% en op rotondes 22%. Wel is de ernst van deze ongevallen, uitgedrukt in het percentage doden en ernstig gewonden, op rotondes wat lager en wel 15% op conventionele rotondes, 18% op minirotondes en 20% op overige kruisingen. De indruk bestaat dat ongevallen met fietsers nogal sterk geconcentreerd zijn op een betrekkelijk klein aantal rotondes. Ook uit een vergelijking van de "involvement rates" blijkt iets dergelijks, waarbij de kleine rotonde en de rotonde in dubbelbaanswegen nogal ongunstig afsteken in vergelijking met door lichten geregelde kruispunten.

Uit een onderzoek op 84 (4-arms)rotondes bleek dat 50% van de fietsersongevallen betrekking had op een aanrijding tussen een fietser op de rotonde en een motorvoertuig dat de rotonde opreed. Overige typen ongevallen kwamen aanzienlijk minder voor, zoals de aanrijding tussen fietsers op de rotonde en motorvoertuig dat de rotonde verlaat in ca. 10% van de ongevallen. Hoewel de auteurs stellen nog lang niet voldoende inzicht in deze problematiek te hebben, is het hun wel duidelijk dat de geometrie van de toeritten voor de veiligheid van fietsers evenals voor het andere verkeer. Bij de beoordeling van deze minder gunstige resultaten voor fietsers dienen we ons wel te realiseren dat de aandelen fietsers op de genoemde kruisingen en rotondes varieerden tussen 0,5% en 2% van het totale verkeer, exclusief de voetgangers. De ontmoeting met een fietser is daar dus een veel zeldzamer verschijnsel dan in ons land. Bovendien wordt in de besproken rapporten niets vermeld over de fietserspopulatie, zodat we geen inzicht hebben in bijvoorbeeld de leeftijdsverdeling.

Over de toepassing van rotondes in de USA en de invloed daarvan op de veiligheid is weinig bekend.

In Seattle is onderzocht wat de invloed was van het aanbrengen van "traffic circles" op een aantal betrekkelijk stille kruispunten (Scott Rutherford e.a., 1985). De traffic circle is enigszins vergelijkbaar met een mini-rotonde, waarbij in Seattle het verkeer in veel gevallen voor het eiland langs linksaf mag slaan. Een voor- en nastudie op 38 van deze kruispunten laat een reductie zien van 77% in de aantallen geregistreerde ongevallen (registratie vindt in principe plaats wanneer de materiële schade groter is dan \$ 300). Ook op de aansluitende wegvakken daalde het aantal ongevallen, in dit geval met 39%, vermoedelijk samenhangend met de daar gemeten verlaging van de gereden snelheden.

Hoewel over zeer significante resultaten wordt gesproken, kan er toch enige twijfel over de uitkomsten bestaan, omdat het zeer wel mogelijk is dat de kruispunten werden geselecteerd op basis van de aantallen ongevallen in het recente verleden. Is die veronderstelling terecht, dan is ook zonder maatregelen al enige verbetering te verwachten op zuiver statistische gronden ("regression to the mean"). Verder wordt niet vermeld of er verschil in onveiligheid werd geconstateerd tussen kruispunten waar wel en waar niet voor het middenpleintje linksafgeslagen mag worden. Evenmin wordt gesproken over mogelijke veranderingen in de ernst van de ongevallen als gevolg van het aanbrengen van de pleintjes.

Over de resultaten van rotondes in Quimper in Frankrijk rapporteert Le Coz (1982, 1983). Het meest opvallend is de verbetering van de veiligheid op het kruispunt van Ludugris. Ondanks een flinke toename van de intensiteit daalt het aantal gewonden van 13 per jaar naar 4 per jaar na ombouw tot rotonde; in 1981 werd op dat punt slechts één gewonde geregistreerd. De resultaten van andere rotondes zijn wel positief maar minder spectaculair, zoals te zien in Tabel 3.

Eind 1982 wordt nog eens de balans opgemaakt; op dat moment zijn er in Quimper 23 rotondes met voorrang voor het rotondeverkeer. In 1982 vielen er op deze rotondes 6 gewonden op in totaal 370.000 voertuigpassages per etmaal. In datzelfde jaar waren er op 24 kruispunten met verkeerslichten 14 gewonden op 470.000 dagelijks voertuigpassages. Omgerekend zou dit betekenen dat rotondes ca. 45% veiliger zijn. Maar ook nu ontbreekt weer informatie over het type lichtenregeling en het al of niet permanent werken van de verkeerslichten.

Op grond van de ervaringen in Quimper komt Le Coz tot de volgende aanbevelingen:

- radiale toeritten, met afrondingsstralen van 18 tot 20 meter bij de overgang van de rotonde;
- de diameter van de rotonde beperkt houden; de wegbreedte op de rotonde maximaal 10 meter;
- rotondes zeer goed signaleren (Ludugris is bijvoorbeeld van oranje knipperlichten voorzien).

Eenzijds ontbreekt meestal een goede onderbouwing voor deze adviezen, anderzijds is de gelijkenis met sommige resultaten in Engeland opvallend.

Een ander Frans onderzoek betreft 45 rotondes die buiten de bebouwde kom of in de periferie van steden zijn gesitueerd (SETRA, 1983). Eerst is de onveiligheid van gewone kruispunten (rechts voorrang?) vergeleken met die van rotondes en van kruispunten met verkeerslichten buiten de bebouwde kom. De rotonde komt dan gunstig uit de vergelijking tevoorschijn, maar het is niet duidelijk om welke ongevallen het gaat, wat de intensiteiten waren etc.

Meer informatie volgt uit de voor- en nastudie op 19 van de 45 rotondes, die in de voorperiode een normale kruising waren, met de volgende resultaten: 77,5% minder ongevallen, 82,2% minder gewonden en 94,5% minder doden. Deze waarden zijn niet gecorrigeerd voor de algemene trend in de verkeersonveiligheid; wel is het duidelijk dat de ernst van de ongevallen is afgenomen.

Rotondes met voorrang voor het rotondeverkeer bleken iets veiliger dan de andere typen, maar het verschil is niet significant. Vermeldenswaard is verder nog dat op ellipsvormige rotondes het van de weg raken ("pertes de controle") meer voorkomt dan op cirkelvormige rotondes.

Over twee Nederlandse rotondes buiten de bebouwde kom, bij Heerenveen en Joure, gaat een artikel van Bakker (1983). Het betreft een onderzoek naar de eigenschappen van rotondes in relatie tot de objectieve en subjectieve onveiligheid. De objectieve onveiligheid in de periode 1978 t/m 1980 is weergegeven in Tabel A op blz. 28.

Betrokken op de intensiteiten blijken Heerenveen meer ongevallen met uitsluitend schade, in Joure iets meer met letsel voor te komen. Het laatstgenoemde zou het gevolg kunnen zijn van de hogere snelheden die op de rotonde bij Joure werden gemeten.

Ongevallen	Aantallen ongevallen		Ongevallen per 10 ⁶ voertuigen	
	Heerenveen	Joure	Heerenveen	Joure
met uitsluitend				
materiële schade	142	51	1,45	0,92
met gewonden	5	4	0,05	0,07
met doden	0	0	-	-
Totaal	147	55		

Tabel A. Verkeersonveiligheid op twee rotondes in de periode 1978 t/m 1980

Combineren we de cijfers dan komen we op een gemiddelde etmaalintensiteit van ca. 89.000 voertuigen in Heerenveen en ca. 51.000 voertuigen in Joure. Dat lijken wel erg grote aantallen; misschien zijn voertuigpassages anders geteld?

Het is verleidelijk deze cijfers te vergelijken met Engelse uitkomsten zoals vermeld in Tabel 1. De beide Friese rotondes met 5, resp. 7 letselongevallen per 100 miljoen voertuigpassages slaan dan een goed figuur, maar we moeten daarbij bedenken dat:

- op de rotondes in Friesland nauwelijks sprake is van overstekende voetgangers;
- er verschillen kunnen zijn in het criterium voor letselongeval en in het registratieniveau van dat type ongeval;
- het niet duidelijk is in hoeverre ongevallen op toeritten zijn meegeteld;
- niet duidelijk is hoe voertuigpassages zijn geteld.

De beperkingen in de vergelijkbaarheid zoals hier genoemd gelden in feite voor nagenoeg alle resultaten die in deze paragraaf over de veiligheid van rotondes worden genoemd. Een systematische verzameling en vergelijking van alle uitkomsten is daardoor niet erg zinvol. Wel is het mogelijk tot enkele algemene conclusies te komen die gebaseerd zijn op een aantal onderzoeken, zeker in die gevallen waarin er een redelijke overeenstemming blijkt in de uitkomsten.

De ervaringen met de veiligheid op rotondes in het algemeen zijn vrijwel altijd gunstig tot zeer gunstig, onder meer afhankelijk van de afmetingen en de vormgeving van de rotondes.

Aanpassing van de vormgeving ten gunste van grotere capaciteit staat meestal op gespannen voet met de veiligheid.

Voorrang voor het verkeer op de rotonde is gunstig voor de capaciteit en wellicht ook iets beter voor de veiligheid.

Er is nog niet voldoende duidelijkheid over de veiligheid van de (brom)-fietsers; het lijkt alsof deze categorie niet of nauwelijks profiteert van de gunstige effecten van rotondes voor snelverkeer.

3.6. Snelheden

De positieve invloed van rotondes op de veiligheid wordt onder meer toegeschreven aan de lagere snelheden. Het is daarom de moeite waarde eens na te gaan wat er over die snelheden in de literatuur bekend is.

Snelheidsmetingen zijn onder andere verricht op de rotondes buiten de bebouwde kom bij Heerenveen en Joure (Bakker, 1983). De grotere diameter van de rotonde bij Joure blijkt inderdaad hogere snelheden tot gevolg te hebben. Snelheden op het gedeelte van de rotonde dat voorafgaat aan het ontmoetingspunt met het binnenrijdend verkeer liggen bij Heerenveen rond de 40 à 45 km per uur. Bij Joure is op dat gedeelte de snelheid aan het begin ca. 70 km per uur, daalt daarna tot ruim 50 km per uur om kort voor het ontmoetingspunt weer op te lopen tot 60 km per uur. Bij de beoordeling van dit snelheidsgedrag dienen we te bedenken dat hier rechts voorrang geldt, zodat het verkeer op de rotonde anticipeert of reageert op binnenkomend verkeer waaraan eventueel voorrang moet worden gegeven.

De hogere snelheden in Joure zouden een verklaring kunnen zijn voor de gemiddeld wat ernstiger ongevallen op deze rotonde in vergelijking met Heerenveen.

Ook in Nederland, maar in dit geval binnen de bebouwde kom in woongebieden, werden snelheidsmetingen verricht om het verschil tussen kruisingen en rotondes vast te stellen (Talens, 1984b). Een relatief ruim kruispunt werd vergeleken met een wat grotere rotonde en een klein kruispunt met een kleine rotonde. Doel van deze metingen was na te gaan of de rotonde een geschikte snelheidsremmer is bij de ingang van woongebieden ("poort"). Uit

de metingen blijkt dat de snelheden ter plaatse van de kruising, resp. de rotonde al gauw 4 tot 7 km per uur lager zijn bij de rotonde. Maar ook tot tenminste 60 m voorbij de kruising zijn dergelijke verschillen nog steeds aanwezig (Afbeelding 7). Ook bij de nadering van het kruispunt zijn er verschillen in de gereden snelheden vastgesteld; hier is het vooral de grote rotonde die een gunstiger beeld geeft dan de grote kruising.

Gelijksoortige ervaringen, zij het in geheel andere situaties, rapporteren McKelvey & Thomas (1984). Zij introduceren een variant op een rotonde, "impellor" genoemd, op de plaats van een versprongen T-aansluiting, waarbij ook van een eilandconstructie gebruik wordt gemaakt. Door het aanbrengen van dit eiland blijken de snelheden in twee gevallen met 25%, resp. 30% gedaald te zijn op de plaats van de kruising. Of het om gemiddelden van alle snelheden gaat of om die van vrij rijdend verkeer, wordt niet vermeld.

Resultaten van snelheidsmetingen rond kruisingen in woongebieden worden gepresenteerd door Jarvis (1979). Hij bespreekt en vergelijkt diverse mogelijkheden om de snelheid op "local streets" te beïnvloeden, waaronder de toepassing van rotondes op kruispunten of midden in wegvakken (laatstgenoemde type is volgens de in dit rapport gegeven definitie geen rotonde). In de omgeving van enkele kruispunten waar rotondes werden aangebracht, werden voor en na de reconstructie snelheidsmetingen verricht. Op 50 meter voor de rotonde bleken de snelheden 7 tot 11 km per uur gedaald te zijn; 50 meter voorbij de rotonde lagen de snelheden 5 tot 9 km per uur lager. Op 100 meter afstand, zowel voor als na de rotonde ontbreekt gedetailleerde informatie over de snelheidsmetingen.

Marconi (1977) vergelijkt de resultaten van verschillende snelheidremmende middelen, toegepast in de USA, zoals STOP-borden, kleine drempels ("rumble strips"), wegversmallingen en rotondes. Na het stopbord, dat het grootste effect sorteert, komt de rotonde op de tweede plaats als snelheidremmer. Daarbij bleek dat de naderingssnelheden het sterkst vermindert werden door het STOP-bord, terwijl bij een rotonde de snelheden voorbij het kruispunt tot op wat grotere afstand worden beïnvloed. Geometrische gegevens worden niet vermeld, evenmin de exacte plaats waar de snelheden werden gemeten. Vermoedelijk vonden de metingen op verschillende afstanden voor en na het kruispunt plaats, gezien de resultaten in de vorm van snelheidsprofielen (Afbeelding 8).

Tot slot nog de resultaten van snelheidsmetingen, verricht in het Amerikaanse Seattle (Scott Rutherford e.a., 1985). Op kruisingen waar rotonde-eilandjes werden geplaatst, werd ook voorbij de kruising een lagere snelheid gemeten in 9 van de 20 gevallen (Afbeelding 9). Helaas is niet vermeld op welke afstand tot de kruising deze "midblock speeds" werden vastgesteld.

Uit de verschillende onderzoeken kan het volgende worden geconcludeerd. Zoals te verwachten was leidt het aanbrengen van een rotonde tot daling van de gereden snelheden. De meetresultaten zijn niet voldoende of niet voldoende gedetailleerd om een goed inzicht te verkrijgen in de relaties tussen geometrische kenmerken van rotondes en de gereden snelheden. Nog minder duidelijk is het effect van rotondes op snelheden voor en na de rotonde, zoals op diverse plaatsen werd geconstateerd.

4. OVERIGE INFORMATIE

Naast de grote hoeveelheid informatie die via de literatuur beschikbaar is, is er ook sprake van informatie uit andere bronnen, zoals via persoonlijke contacten of uit niet gepubliceerde schriftelijke stukken. De aard van dit soort informatie is nogal gevarieerd; soms gaat het om min of meer persoonlijke meningen en ervaringen, in andere gevallen om meer objectieve gegevens. Als gevolg van de wijze waarop de informatie werd verkregen kan meestal niet de bron met name worden vernoemd, hoewel de gegevens vaak voldoende interessant zijn om vermeld te worden.

4.1. Ervaringen van weggebruikers

Diverse weggebruikers, al of niet deskundig op verkeersgebied, melden ervaringen met het gebruik van rotondes in Engeland en Frankrijk.

De situatie in Engeland wordt overwegend positief ervaren, waarbij het berijden van de rotondes weinig problemen oplevert. Een kritische kanttekening werd gemaakt bij de situatie waarin op doorgaande routes op korte afstand soms veel rotondes werden gepasseerd; in dat geval kan irritatie ontstaan door het gevoel te veel opgehouden te worden.

Een ander kritisch geluid betrof de toepassing van minirotondes die als gevolg van het uiterst kleine middeneiland soms nauwelijks aanleiding tot snelheidsvermindering gaven.

Recente ervaringen met rotondes in Frankrijk geven een nogal wisselvallig beeld. De uitvoering van rotondes in Frankrijk is zeer gevarieerd; er komen modern geconstrueerde rotondes voor, soms voorzien van aparte rechtsafstroken buiten de rotonde om, maar ook gecompliceerde en onoverzichtelijke situaties die alleen door het bord als rotonde herkenbaar zijn. Ook het voorrangsgedrag op rotondes is bepaald niet ideaal te noemen; daar waar het rotondeverkeer voorrang dient te krijgen is vaak een aarzelend en onzeker gedrag te zien. Desondanks maakt dit meestal geen duidelijk onveilige indruk als gevolg van de relatief lage snelheden.

4.2. Ervaringen en meningen van wegbeheerders en verkeerskundigen

Over de veiligheid van rotondes wordt verschillend geoordeeld; sommigen noemen die positief en verwijzen dan vooral naar de ervaringen met roundabouts in Engeland. Daartegenover de opvatting dat rotondes beslist niet

zo veilig zijn wanneer ook de ongevallen met uitsluitend materiële schade in de vergelijking worden betrokken. In een discussie over de mogelijke toepassing van rotondes in een nieuw te bouwen wijk van een groeigemeente worden daarnaast nog diverse andere negatieve aspecten van rotondes opsomd, zoals:

- op een rotonde moet het verkeer weven en dat is men in Nederland verleerd;
- rotondes moeten groot worden om voldoende weeflengte te creëren;
- de verkanting op de rotonde veroorzaakt slechte zichtbaarheid en ongewenste kantelbewegingen bij het oprijden van de rotonde;
- het naar links kijken bij het rijden op de rotonde om de baan te volgen is onverenigbaar met het naar rechts kijken om het toerijgend verkeer voorrang te verlenen;
- waar sprake is van een "hoofdroute" kan een rotonde niet worden toegepast omdat bij de rotonde de aansluitende wegen gelijkwaardig lijken zodat de hoofdroute als zodanig niet meer onderkend wordt;
- langzaam verkeer moet een omweg afleggen.

Als voordelen van de rotonde worden genoemd het feit dat er geen tegenliggers zijn en de mogelijkheid om lange rechtstanden te onderbreken. Opgemerkt dient te worden dat een deel van het hier genoemde negatieve oordeel is gebaseerd op rotondes met rechts voorrang.

De ervaring in Nederland met rotondes met voorrang voor rotondeverkeer is beperkt; het bekendste voorbeeld is een zeer drukke rotonde in Venlo, waar al lang geleden deze voorrangsregeling werd ingesteld. De ervaringen zijn niet in alle opzichten positief, onder meer als gevolg van betrekkelijk veel ongevallen met uitsluitend materiële schade. Een deel van deze ongevallen betreft kop-staartbotsingen op de rotonde als gevolg van het afremmen van verkeer dat de rotonde wil verlaten, maar daarbij eerst voorrang moet verlenen aan circulerend langzaam verkeer. De basisgedachte van deze voorrangsregeling, namelijk dat het verkeer steeds ongehinderd de rotonde kan afrijden, gaat in deze situatie dus niet volledig op. Een reden te meer om aandacht te schenken aan de positie en voorrangsregeling van fietsers.

Er zijn ook enkele rotondes waar de voorrang voor het rotondeverkeer recent werd ingesteld, zoals het plein St. Annadal in Maastricht. Bij de reconstructie van dit plein werden bepaalde opvattingen zeer consequent toegepast, zoals de mening dat toeritten radiaal aangelegd dienen te

worden en met geringe afrondingen op de rotonde moeten aansluiten. Ook is deze rotonde een zuiver voorbeeld van de toepassing van enkelstrooksrijbanen, zowel op de rotonde als op de toeritten, de basisrotonde. Deze uitvoering wordt gezien als het meest aansluitend op de voorrangregel, waarbij weven op de rotonde volledig wordt vermeden. Het (brom)fietsverkeer rijdt grotendeels op de rotonde op een roodgekleurde fietsstrook. De ervaringen met deze uitvoering zijn nog te gering voor een gefundeerd oordeel; de eerste indrukken zijn overwegend positief. Ook op enkele andere rotondes waar sinds kort de voorrang voor het rotondeverkeer geldt (of binnenkort gaat gelden) is de ervaring nog te gering om tot harde uitspraken te komen, maar de indrukken zijn overwegend positief.

Over diverse aspecten met betrekking tot rotondes bestaat weinig verschil van mening. Bijvoorbeeld de opvatting dat bij voorrang voor het rotondeverkeer de toeritten zoveel mogelijk radiaal geconstrueerd moeten worden. Eveneens is een overheersende mening dat de voorrangregeling binnen afzienbare tijd uniform zou moeten zijn, zodat het naast elkaar voorkomen van rotondes met rechts voorrang en met voorrang voor het circulerend verkeer gaat verdwijnen. Als derde punt kan worden genoemd de mening dat een rotonde met verkeerslichtenregeling weinig zinvol is; een gewone kruising verdient dan de voorkeur en is eenvoudiger te regelen. Veel minder eensgezind is men over de meest geschikte positie van het (brom)fietsverkeer op de rotonde en de toe te passen voorrangregeling voor dit verkeer. Die verschillen komen tot uitdrukking in de verschillende constructies van recente rotondes. Ook de terughoudendheid bij de toepassing van rotondes in situaties met veel fietsverkeer wijst in die richting.

Worden over de toepassing van rotondes binnen de bebouwde kom nogal eens positieve opvattingen gehuldigd, veel negatiever is men over de toepassing buiten de bebouwde kom. Als nadelen in die situatie worden genoemd de hoge naderingssnelheden en de hoge eisen die dat stelt aan zichtbaarheid en opvallendheid, met name 's nachts. Ook wordt wel gesteld dat buiten de bebouwde kom een duidelijke hiërarchie in de wegenstructuur herkenbaar moet zijn, waarbij het verkeer op de belangrijkste weg zoveel mogelijk ongehinderd moet kunnen doorrijden. De toepassing van rotondes past daar niet in. Een uitzondering werd gemaakt voor kruispunten met meer dan vier armen.

Het is interessant de genoemde opvattingen en ervaringen eens te vergelijken met die van R.E. Brindle, werkzaam bij het Australian Road Research Board, die veel ervaring met rotondes in Australië heeft opgedaan. Hij stelt onder meer het volgende:

- een rotonde is veiliger dan een gewone kruising en soms ook veiliger dan een met lichten geregelde kruising (eenvoudige regeling);
- voorrang voor het rotondeverkeer is belangrijk voor de capaciteit en bovendien veiliger, o.a. als gevolg van de lagere naderingssnelheid, zeker wanneer dit laatste wordt ondersteund door een passende vormgeving die het toerijgend verkeer laat afbuigen bij het oprijden van de rotonde;
- rotondes geven in vergelijking met door lichten geregelde kruispunten kortere wachttijden (vooral bij lagere intensiteiten), minder luchtverontreiniging en maken verkeerslichten vaak overbodig;
- een voorrangsregeling voor rotondes dient algemeen te zijn; een situatie zoals in Frankrijk met verschillende regelingen naast elkaar, scheidt verwarring (zijn eigen waarnemingen tijdens een bezoek aan Frankrijk);
- de capaciteit van rotondes wordt in sterke mate bepaald door de verdelingen van de intensiteiten over de armen en van de afslaan bewegingen; wanneer een bepaalde verkeersstroom sterk domineert kan een goede oplossing worden bereikt door toepassing van verkeerslichten op slechts één arm van de rotonde (wordt in Engeland wel toegepast);
- binnen een wegennetwerk is het alleszins acceptabel rotondes en met lichten geregelde kruisingen naast elkaar toe te passen; de "platoonvorming" via lichten kan de afwikkeling op een naastgelegen rotonde soms in gunstige zin beïnvloeden;
- rotondes verlagen de gereden snelheden ook op wegvakken tussen de rotondes in; dit is voor Australië belangrijk omdat daar de hoge snelheden binnen de bebouwde kom een groot probleem vormen;
- fietsers op rotondes vormen een probleem apart; in Australië rijden ze op kleine en smalle rotondes in het midden van de rijbaan, hetgeen gezien de lage snelheden in die gevallen geen problemen geeft; indien mogelijk moet vermeden worden dat verkeer dat een rotonde verlaat moet afremmen om voorrang te verlenen aan fietsers, omdat dat aanleiding tot kop-staartbotsingen kan geven.

De overeenkomst van deze opvattingen met de eerder in dit hoofdstuk vermelde meningen en ervaringen is aanzienlijk; ook blijkt een goede overeenstemming met de gegevens uit de literatuur. Verschillen van inzicht

spitsen zich kennelijk toe op enkele aspecten van de rotondeproblematiek waaronder die van het langzame verkeer als meest opvallende kan worden genoemd.

5. ONGEVALLENGEGEVENS

Inzicht in de onveiligheid van rotondes kan worden verkregen door middel van vergelijking met die van andere kruispuntvormen. Daartoe werden de ongevallengegevens van rotondes, van gewone kruisingen met vier of meer armen en van T-kruisingen of splitsingen over de periode 1978 t/m 1983 verzameld en bestudeerd. De uitkomsten hebben steeds betrekking op alle kruispunten in Nederland van het betreffende type, inclusief de kruispunten die met verkeerslichten worden geregeld. Het is daardoor niet mogelijk onderscheid te maken tussen diverse varianten van een bepaald type kruispunt. Wel was het mogelijk onderscheid te maken tussen kruispunten binnen en buiten de bebouwde kom.

De hier gepresenteerde gegevens betreffen slachtoffers van ongevallen, onderscheiden naar ernst van de gevolgen: overleden, in een ziekenhuis opgenomen en overige gewonden. De keuze van aantallen slachtoffers als maat voor de onveiligheid had twee redenen; in de eerste plaats omdat doden en gewonden in het verkeer in het algemeen als veel belangrijker worden ervaren dan materiële schade en ten tweede omdat de registratie van ongevallen met uitsluitend materiële schade erg onvolledig is en het registratieniveau ook sterk varieert naar plaats en tijd.

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de geregistreeerde aantallen slachtoffers naar type kruising en naar plaats binnen of buiten de bebouwde kom. Het valt op dat de aantallen slachtoffers op rotondes gering zijn, meestal niet meer dan 1% van alle slachtoffers op kruisingen. Toch zegt dit gegeven weinig over de relatieve onveiligheid van rotondes omdat het aantal rotondes en de verkeersintensiteiten op rotondes en op andere kruispunten niet of onvoldoende bekend zijn en dus ook niet verdisconteerd kunnen worden.

Wel blijkt uit dit overzicht dat letselongevallen op rotondes minder ernstig zijn, vooral buiten de bebouwde kom. Opvallend is ook dat op rotondes buiten de bebouwde kom in een periode van zes jaar slechts twee doden werden geregistreeerd: een motorrijder en een inzittende van een personenauto komen om het leven, beide door botsing tegen een vast voorwerp.

Bekijken we de verdeling van slachtoffers naar de wijze van deelname aan het verkeer (Tabel 5A t/m 5C), dan valt op dat er op rotondes relatief

veel inzittenden van vrachtauto's en bussen en berijders van motorfietsen zijn geregistreerd. De bromfietzers scoren relatief gunstig en de fietsers wijken niet merkbaar af van het gemiddelde beeld op rotondes. Enigszins in tegenstelling tot de ervaringen in Engeland ziet het er naar uit dat het niet de (brom)fietsers, maar de inzittenden van grote dan wel zware voertuigen zijn die op de rotondes relatief meer risico lopen. Het hogere risico van motorrijders is wel in overeenstemming met de Engelse cijfers.

Bij de beoordeling van deze uitkomsten dienen we wel rekening te houden met de soms geringe aantallen slachtoffers en de daardoor mogelijke grote toevalsspreiding. Zo betreft het hoge percentage van 16,7% van bussen op rotondes slechts één van de in totaal zes overleden businzittenden (Tabel 5B).

Een verdeling van de slachtoffers naar leeftijdklasse laat zien dat er relatief weinig zijn beneden 15 jaar, relatief veel in de klasse 20 t/m 29 jaar en in de klasse 30 t/m 44 jaar, de laatstgenoemden in feite alleen buiten de bebouwde kom. De verschillen, voorzover ze al significant zijn, zijn zeker niet opzienbarend.

Wel opvallend is het grote aandeel slachtoffers bij duisternis voor het snelverkeer op rotondes (Tabel 6A t/m 6C). Vooral bij de aantallen doden is dat verschil groot: 8 doden bij duisternis tegenover 3 bij daglicht. Hieruit volgt toch wel iets over de typische problematiek op rotondes; het is daarbij overigens niet bekend wat de invloed van alcoholgebruik is geweest op de geconstateerde verhouding tussen daglicht en duisternis. En ook in dit geval moet weer rekening worden gehouden met de relatief kleine aantallen.

De verdelingen van slachtoffers naar weersomstandigheden tijdens het ongeval (regen etc.) en naar de toestand van het wegdek (nat etc.) tonen geen significante verschillen tussen rotondes en andere kruispuntypen. Misschien toch wel een wat verrassende uitkomst omdat een grotere invloed van nat/glad wegdek op rotondes niet onaannemelijk scheen.

Wel interessant verschillen komen tevoorschijn bij de verdeling van de aantallen slachtoffers naar het type ongeval (conflictype) zoals weergegeven in Tabel 7A t/m 7C. Op rotondes komen enkelvoudige ongevallen, dat zijn dan in hoofdzaak de eenzijdige en botsingen tegen een vast voorwerp, relatief veel voor. Het betreft ruim een kwart tot een derde deel

van alle slachtoffers op rotondes, terwijl dit aandeel op T-kruisingen slechts ongeveer 10% bedraagt en op gewone kruispunten nog aanzienlijk minder. Aanrijdingen tussen snelverkeer onderling geven op rotondes betrekkelijk weinig slachtoffers, hetgeen niet onverwacht is gezien de lagere snelheden en de mogelijke inrijhoeken bij botsingen (een frontale botsing is in principe niet mogelijk en de kans op een ongeveer haakse aanrijding is niet erg groot). De overige categorieën, dus ook de aanrijdingen tussen snelverkeer en fietsers of voetgangers, vertonen op rotondes geen duidelijk afwijkend beeld in vergelijking met andere kruispunten. Uit Tabel 7A valt ook af te lezen dat de ernst van letselongevallen op rotondes in bijna alle gevallen gelijk of minder is dan op de andere kruispunten en dat geldt zeker ook voor aanrijdingen met (brom)fietsers. Uitsluitend de waarde van de E1 bij enkelvoudige ongevallen is hoger dan die van gewone kruisingen en ongeveer aan die van T-kruisingen.

Samengevat kan worden opgemerkt dat:

- de onveiligheid op rotondes niet goed vergeleken kan worden met die van andere kruispuntypen omdat expositiegegevens ontbreken;
- ongevallen op rotondes in het algemeen minder ernstig zijn;
- op rotondes relatief veel slachtoffers voorkomen onder inzittenden van bussen en vrachtwagens en berijders van motorfietsen;
- op rotondes relatief veel enkelvoudige letselongevallen plaatsvinden en relatief veel bij duisternis, voorzover het snelverkeer betreft.

6. ANALYSE EN DISCUSSIE

6.1. Inleiding

Behandeling van de rotondeproblematiek op systematische wijze is niet zo eenvoudig omdat de verschillende facetten van die problematiek zo sterk gekoppeld zijn. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk over voorrangregeling te spreken als ook de vormgeving daar niet bij betrokken wordt en de toepassing is weer afhankelijk van voorrangregeling en vormgeving. Toch zal getracht worden de belangrijkste facetten, de toepassing, de vormgeving en de voorrangregeling, achtereenvolgend aan de orde te stellen. Daarbij worden de diverse facetten voorzover mogelijk beoordeeld aan de hand van vier criteria: de capaciteit en de daarmee verband houdende wacht- en verliestijden, de veiligheid, de gevolgen voor het milieu en de kosten met betrekking tot investering en onderhoud. Het langzame verkeer op rotondes, vooral de fietsers en de bromfietsers, vormen een extra complicerende factor. Voor de duidelijkheid is daarom gekozen voor een behandeling in twee fasen; in eerste instantie wordt de rotonde in de situatie met uitsluitend snelverkeer beoordeeld en daarna wordt de specifieke problematiek van de (brom)fietsers aan de orde gesteld. Voor een goed begrip van de problematiek leek het gewenst vooraf de functie van de rotonde in een wat meer theoretische zin nog eens onder de loupe te nemen.

6.2. De functie van de rotonde

Een rotonde kan zowel een verkeersfunctie als een stedenbouwkundige functie vervullen; we zullen ons hier beperken tot de verkeersfunctie die als volgt kan worden weergegeven.

Op een normale haakse kruising met vier armen en zonder beperkingen in de mogelijke verkeersbewegingen kan het verkeer uit vier richtingen naderen en vanuit elke richting kiezen uit rechtdoorgaan, links- of rechtsafslaan (keren wordt gemakshalve verwaarloosd). Een schets van de 12 verschillende verkeersbewegingen laat zien dat er daarbij in principe 24 conflictpunten mogelijk zijn. Het is reëel om dit aantal wat overdreven te noemen als gevolg van de verregaande differentiatie. Maar het valt niet te ontkennen dat de situatie bij wat hogere intensiteiten nogal gecompliceerd kan worden. Diverse mogelijkheden om de problemen te verzachten of op te lossen

worden toegepast zoals het verbieden van sommige verkeersbewegingen, instelling van éénrichtingverkeer, opsplitsing in twee T-kruisingen, toepassing van voorrangskruisingen of van verkeerslichten. Er kleven aan de genoemde oplossingen diverse nadelen, zoals de soms lange wachttijden voor dwarsverkeer op voorrangskruisingen en de problematiek van het al of niet permanent laten werken van verkeerslichten. Bij instelling van éénrichtingverkeer wordt de gemiddelde af te leggen afstand vergroot met als resultaat meer voertuigkilometers.

Een wat andere oplossing is de toepassing van een rotonde; in de meest eenvoudige uitvoering, dat is één rijstrook op elke doorsnede, kent deze oplossing slechts één conflictpunt per aansluitende tak. Bovendien zijn de conflictpunten uit elkaar getrokken zodat ze één voor één afgehandeld kunnen worden. De mogelijke conflicten kunnen daarbij als "zacht" worden gekwalificeerd in verband met de relatieve rijrichtingen. Bij meer dan één rijstrook wordt de situatie wel wat gecompliceerder, maar nog altijd betrekkelijk eenvoudig in vergelijking met een volledig kruispunt, mits het aantal rijstroken beperkt blijft. Deze oplossing leent zich behalve voor 4-arms kruisingen ook voor 3-arms en net zo gemakkelijk voor vijf of meer armen, dus ook voor situaties waar andere kruispuntvormen meestal totaal ongeschikt blijken.

Ten opzichte van een rechte kruising heeft een rotonde ook een duidelijk nadeel: rechtuitrijdend verkeer wordt gedwongen om het middeneiland heen te rijden en kan dus niet volledig ongehinderd passeren. Maar dit nadeel is tegelijkertijd het sterke punt van een rotonde omdat daardoor alle verkeer wordt gedwongen snelheid te verminderen waardoor wellicht het aantal, maar zeker de ernst van ongevallen vermindert.

De werking van de rotonde berust in feite dus op twee elementen, de vermindering, uit elkaar halen en verzachten van conflictpunten en de verlaging van de passeersnelheid.

Tot zover de theoretische beschouwing over de functie van de rotonde; in het nu volgende zal nagegaan worden wanneer de rotonde in de praktijk goed kan functioneren, afhankelijk van vormgeving en voorrangstelling.

6.3. De toepassing van rotondes

Bij de bespreking van de capaciteitsoverwegingen gaan we hier uit van de voorrang voor rotondeverkeer als meest gunstige oplossing.

Ten aanzien van de te verwerken hoeveelheden verkeer kent de rotonde schijnbaar nauwelijks beperkingen als we zien dat in Engeland tot tegen de 7000 voertuigen per uur worden verwerkt. Dit zou betekenen dat 98 tot 99% van alle kruisingen in Nederland als rotonde kunnen worden uitgevoerd. De werkelijkheid is uiteraard anders omdat er voor de toepassing van rotondes diverse beperkingen aan de orde zijn. Zo is het, gezien de ervaringen in Engeland en elders, gewenst de omvang van de rotonde te beperken tot bij voorkeur niet meer dan een breedte van twee rijstroken op de rotonde. In het gunstigste geval, dat is zonder fietsverkeer en met geringe percentages linksafslaand verkeer, zal het capaciteitsbereik eindigen bij 4000 tot 4500 voertuigen per uur, hetgeen nog altijd een respectabele hoeveelheid is. Een min of meer harde ondergrens voor het intensiteitsbereik is niet aan te geven; wel is het duidelijk dat de toepassing bij zeer lage intensiteiten weinig zinvol is.

De toepassing van rotondes is niet gebonden aan het aantal armen van een kruispunt zodat zowel bij drie als bij vier armen een rotonde kan worden overwogen. Bij meer dan vier armen kent de rotonde nauwelijks serieuze concurrentie.

In situaties met sterk verschillend verkeersaanbod op de armen van een kruispunt is voorzichtigheid geboden; er zijn situaties denkbaar, zoals bij een sterk dominerende hoofdstroom, waarin een rotonde daar minder goed functioneert, tenzij toepassing van doserende verkeerslichten op één der toeritten uitkomst kan bieden.

Beoordeeld naar de wachttijden is het aannemelijk dat de rotonde in een groot deel van het intensiteitsbereik voordelen biedt boven andere oplossingen; alleen in vergelijking met geavanceerde verkeerslichteninstallaties is dat voordeel niet geheel zeker. Maar in gevallen van permanent werkende lichten met vaste cycli is het voordeel van de rotonde evident.

Letten we op de veiligheidsaspecten, dan bestaat de indruk dat de rotonde zich kan meten met door verkeerslichten geregelde kruispunten. Dat zou betekenen dat uit veiligheidsoverwegingen een rotonde nimmer afgewezen hoeft te worden. Deze conclusie is echter wat te voorbarig; waar in de literatuur de vergelijking met verkeerslichten wordt vermeld is nimmer volledig aangegeven welk type lichtenregeling het betrof, zowel waar het gaat om een al of niet permanent werkende lichten betreft. In de afweging dient ook rekening gehouden te worden met de wens tot deregulering en de mogelijkheid dat beperking van de aantallen regelinstallaties de rood-

licht-discipline zou kunnen bevorderen. Er zijn evenwel nog geen ervaringen die deze veronderstelling ondersteunen.

Een ander veiligheidsaspect betreft de toepassing in stillere gebieden zoals bij de ingang van woongebieden. Hier is het vooral het snelheidsremmend effect dat doorslaggevend kan zijn.

Voorlopig zal de toepassing van rotondes buiten de bebouwde kom, en vooral die op wegen met relatief hoge snelheden, zorgvuldig bekeken moeten worden. De hoge naderingssnelheden kunnen nadelige gevolgen hebben voor de ongevalkans en de ernst van ongevallen, maar dat laatste geldt natuurlijk ook voor andere kruispuntvormen. In ieder geval zal bij toepassing veel zorg aan de zichtbaarheid en de opvallendheid van de rotondes, ook bij duisternis, besteed moeten worden.

Over de gevolgen voor het milieu van de toepassing van rotondes is nog weinig bekend. Kortere wachttijden kunnen als gunstig worden beschouwd omdat er minder schadelijke uitlaatgassen worden geproduceerd. Of de geluidproductie minder wordt in vergelijking met andere kruispunttypen is niet te zeggen; de snelheden, de acceleratie en de af te leggen wegen zijn onder meer van belang. Deze materie is echter zo gecompliceerd dat vermoedelijk uitsluitend via metingen in praktijksituaties een bruikbaar antwoord verkregen kan worden.

De visuele vervuiling is een nogal subjectief begrip; voor degenen die in werking zijnde verkeerslichten als visueel negatief beoordelen zal een rotonde een betere oplossing zijn, maar dit aspect zal weinig gewicht in de schaal leggen.

Een uitvoerige studie van de kosten voor de verschillende oplossingen is (nog) niet gemaakt. Het ziet er naar uit dat een kleine rotonde voor wat betreft de aanlegkosten zeker niet duurder is dan een kruispunt met verkeerslichten; mogelijk wel iets duurder is dan een voorrangskruising. Maar voor wat betreft de onderhouds- en energiekosten is de verkeerslichteninstallatie duidelijk in het nadeel.

In feite zou bij de kostenoverwegingen ook de mogelijke brandstofbesparing betrokken moeten worden; volgens berekeningen van Le Coz (1982) zijn die besparingen in het geval van Quimper aanzienlijk, maar als gevolg van de onmogelijkheid de uitkomsten te verifiëren zullen we deze mogelijke voordelen voorlopig buiten beschouwing moeten laten.

Naast de beoordeling op de genoemde criteria mag niet onvermeld blijven dat de toepassing van rotondes ook nog afhankelijk is van het ruimtebeslag. In situaties waarin de ruimte door omringende bebouwing of andere oorzaken erg beperkt is, zal niet altijd voldoende ruimte aanwezig zijn voor de aanleg van een rotonde. Uiteraard is dat mede afhankelijk van de afmetingen van de rotonde en daarmee ook van de vraag of grote voertuigen gebruik moeten kunnen maken van het kruispunt.

Voeg hier nog bij de irritatie bij de weggebruiker die kan ontstaan bij overmatige toepassing van rotondes en het is duidelijk dat de rotonde wel een belangrijke plaats kan innemen, maar zeker niet in alle gevallen in aanmerking komt.

6.4. De vormgeving en de afmetingen

Afgezien van stedenbouwkundige overwegingen zijn er twee criteria die in hoofdzaak bepalend zijn voor de vormgeving: de capaciteit en de veiligheid. En gebleken is dat dit tot tegenstrijdige eisen kan leiden, want om een maximale capaciteit te bereiken is het noodzakelijk dat de breedte van de rijbaan op de rotonde zo groot mogelijk is, terwijl het voor de veiligheid gewenst is die breedte te beperken tot één of maximaal twee rijstroken. Daarmee staat ook de diameter van het middeneiland ter discussie; uit veiligheidsoverwegingen mag die diameter niet te klein zijn omdat dan onvoldoende afbuiging van het rechtdoorgaande verkeer wordt bereikt. Mini-rotondes zijn daarom minder geschikt als het gaat om de veiligheid.

Ook de afmetingen van de toeritten zijn van belang; voor een maximale capaciteit is een uitwaaieren tot meer rijstroken gunstig, terwijl dit nadelig is voor de overzichtelijkheid van de voorrangssituatie en daardoor ook nadelig voor de veiligheid. Het zal duidelijk zijn dat de afmetingen bij voorkeur zodanig gekozen moeten worden dat zowel op de rotonde als op de toeritten sprake is van één rijstrook; er is dan geen sprake van weven en de veiligheid is vermoedelijk optimaal. Is de capaciteit van een dergelijke rotonde, geschat op 2000 tot 2400 voertuigen per uur, onvoldoende voor het verkeersaanbod, dan kan een wat ruimere rotonde overwogen worden als compromis, maar ook in dat geval is het aan te raden geen grotere breedte dan twee rijstroken toe te passen. Extra capaciteit kan nog worden verkregen door toepassing van aparte rijstroken buiten de eigenlijke rotonde om voor rechtsafslaand verkeer, in welk geval de veiligheid vermoedelijk niet negatief wordt beïnvloed. Het is goed er in dit

verband nog eens op te wijzen dat we hier praten over situaties met uitsluitend snelverkeer!.

De grote diameter die bij klassieke rotondes vaak werd toegepast, vooral buiten de bebouwde kom, is uit veiligheidsoogpunt niet aan te bevelen omdat een grote diameter ook hogere snelheden mogelijk maakt. Ook voor de capaciteit zijn grote diameters niet noodzakelijk, althans indien de voorrang voor het rotondeverkeer wordt toegepast. Verder zijn er aanwijzingen dat de voorkeur gegeven moet worden aan cirkelvormige rotondes boven ellipsvormige. Dit is goed verklaarbaar omdat al lang uit ervaring bekend is dat een variërende kromtestraal funeste gevolgen kan hebben voor de veiligheid (een bekend voorbeeld is de vroegere rotonde Ypenburg).

Een ander vormgevingsfacet betreft de toeritten tot de rotonde die in het verleden vaak tangenciaal werden uitgevoerd. Die constructie lijkt gunstig voor een vlotte doorstroming en past ook wel bij de "rechts voorrang"-regel, in die zin dat het rotonde oprijdende verkeer voorrang dient te krijgen. Maar deze vorm is nadelig als het gaat om het afremmen van de snelheid en ook nadelig voor een goed uitzicht van op de rotonde rijdend verkeer op het toerijdend verkeer. Dit was voor Bakker (1983) onder meer een reden om de "rotonde" aan te bevelen. Gaan we evenwel uit van voorrang voor het rotondeverkeer dan is de kwestie volkomen duidelijk; zowel voor de snelheidsvermindering als voor de ondersteuning van de voorrangregeling is een meer radiaal gerichte toerit de voor de hand liggende keuze. Ook in Engeland is dit inzicht gegroeid en beseft men het belang van de veiligheid dat niet opgeofferd mag worden aan de grootste mogelijke capaciteit.

Bij alle beperkingen van afmetingen en kromtestralen mogen we uiteraard niet vergeten dat een rotonde ook bereikbaar moet zijn en meestal niet alleen voor personenauto's. Dat stelt eisen aan de afmetingen, zoals een minimale buitenstraal van 12,5 m.

Over bepaalde vormgevingsfacetten bestaat nog verschil van opvatting, zoals de verkanting op de rotonde, die voor een plezierig rijden op de rotonde naar binnen toe gericht zou moeten zijn. Maar andere overwegingen zoals het vermijden van kantelbewegingen bij het oprijden van de rotonde en de zichtbaarheid van het wegdek bij nadering pleiten voor een verkanting in de andere richting. Evenmin is er eensgezindheid als het gaat om

de aanleiding van het middeneiland. Soms wordt gepleit voor de toepassing van hoogstens lage beplanting zodat er steeds een vrij uitzicht bestaat naar alle richtingen, terwijl anderen menen dat juist de belemmering van het uitzicht naar de tegenovergelegen zijde gunstig is voor de veiligheid. In ieder geval staat wel vast dat een wat hogere beplanting of bebouwing van het eiland in gunstige zin gebruikt kan worden om de opvallendheid van de rotonde te bevorderen.

6.5. De voorrangsregeling

Uit capaciteitsoverwegingen lijdt het geen twijfel dat de voorrang voor het rotondeverkeer de aangewezen oplossing is. De capaciteit is dan niet onbelangrijk groter dan bij rechts voorrang en bovendien vertoont de rotonde geen vastloopneigingen zodat ook onder verzadigingsomstandigheden de capaciteit volledig op peil blijft. Er zijn lichte aanwijzingen dat de voorrang voor het rotondeverkeer ook gunstig is voor de veiligheid, nog afgezien van de daarbij passende radiale richting van de toeritten. Toch is en zal het ook in de toekomst steeds moeilijk blijven om de invloed van uitsluitend de voorrangsregeling op de onveiligheid vast te stellen omdat de wijziging van de regel bijna altijd gepaard gaat aan wijzigingen in de vormgeving. Misschien is daarom de invloed van de gecombineerde wijzigingen nog wel zo interessant en in dat geval lijkt de voorrang voor het rotondeverkeer beter voor de veiligheid.

Welke voorrangsregeling ook de voorkeur verdient, het is ongewenst dat er verschillende regelingen door elkaar worden gebruikt, zoals nu in Frankrijk en in zekere mate ook in Nederland het geval is. De ervaringen in Groot-Brittannië zouden wijzen op een duidelijke voorkeur voor hun off-side priority. Maar we moeten wel beseffen dat niet alle buitenlandse ervaring onverkort voor ons van toepassing is, bijvoorbeeld als gevolg van verschillend verkeersgedrag. Ter illustratie van een dergelijk verschil dient Afbeelding 10. Op de bovenste opname is te zien dat op een ruime rotonde in Nederland het verkeer de neiging heeft de buitenkant op te zoeken, vermoedelijk uit voorzorg om tijdig de rotonde te kunnen verlaten? Een heel ander beeld vertoont een opname van een rotonde in Engeland, waar het verkeer juist de binnenste rijstrook opzoekt; wellicht overheerst daar de wens de kortste route te volgen.

Gezien dit soort verschillen is het van belang de ervaringen met rotondes

in Nederland af te wachten. En het toenemend aantal rotondes, ook die waar voorrang voor het rotondeverkeer geldt, vergroot de mogelijkheden om ervaring op te doen.

6.6. Fietsers en bromfietsers op rotondes

Tot nu toe is in dit hoofdstuk uitsluitend gesproken over de situatie zonder langzaam verkeer. Maar juist dit onderwerp geeft een extra dimensie aan de rotondeproblematiek. Zo is er enerzijds de Engelse ervaring die duidt op een voor fietsers relatief onveilige situatie op rotondes, anderzijds ongevallengegevens en overige informatie uit eigen land die doen vermoeden dat het met het fietsersrisico nog wel meevalt. Het is daarbij nog niet duidelijk of dit verschil kan worden toegeschreven aan de veel geringere fietsintensiteiten in Engeland.

Wanneer we de mogelijkheden voor de positie van de (brom)fietsers op de rotonde met de daarbij behorende vóór- en nadelen bekijken, dan blijkt dat de problemen nauw verwant zijn aan die op gewone kruispunten. Ook bij rotondes is een ongelijkvloerse kruising voor langzaam verkeer de mooiste maar meestal onbetaalbare oplossing. In Engeland wordt de laatste tijd wel geprobeerd om reeds bestaande voetgangerstunnels ook voor het fietsverkeer bruikbaar te maken (Layfield & Maycock, 1986). Bij een gelijkvloerse oplossing kan in principe gekozen worden tussen de fietser op de rotonde of op aparte fietspaden erbuiten.

De fietser op de rotonde biedt enkele voordelen; zo kan het snelverkeer dat de rotonde wil verlaten zich eventueel tussen het fietsverkeer invoegen. En in het geval van voorrang voor het rotondeverkeer geniet dan ook de fietser daarvan. Maar voor een goed functioneren van deze oplossing is het wel van belang dat zowel de naderingssnelheid als de snelheid op de rotonde van het autoverkeer niet te hoog is, bijvoorbeeld niet meer dan 25 à 30 km per uur. Het eerste is nodig om te bewerkstelligen dat snelverkeer inderdaad voorrang geeft aan (brom)fietsers, het tweede om de snelheidsverschillen op de rotonde minimaal te houden.

Het alternatief van de fietsers op de rotonde kent twee varianten; óf de fietser rijdt op de rijbaan naast en tussen het autoverkeer, óf er is een duidelijk gemarkeerde fietsstrook aan de rechterzijde van de rijbaan. Laatstgenoemde variant biedt het voordeel dat de fietser duidelijk een eigen en enigszins beschermde positie krijgt. Daar staat dan weer als nadeel tegenover dat autoverkeer dat de rotonde verlaat veel minder ge-

neigd zal zijn zich tussen de fietsers in te voegen, waardoor de kans op "snijden" van fietsers toeneemt.

Het andere alternatief, een vrijliggend fietspad buiten de rotonde, concentreert de problemen op de plaatsen waar deze fietspaden de armen van de rotonde kruisen. En evenals bij gewone kruisingen zijn er ook voor dit alternatief weer enkele varianten. Als eerste de situering van het fietspad dicht tegen de rotonde aan, zodat het als onderdeel van de rotonde wordt opgevat. De voorrangsregeling is dan identiek aan die van de fietsstrook op de rotonde en de te verwachten problemen zullen ook voor een belangrijk deel identiek zijn. Het is nu echter uitgesloten dat auto's die de rotonde verlaten zich invoegen tussen het fietsverkeer.

Een andere variant is die waarbij het fietspad zo ver mogelijk van de rotonde wordt verwijderd waardoor de plaatsen waar het pad de armen van de rotonde kruist als afzonderlijke kruisingen worden opgevat. In dat geval ligt het voor de hand dat het snelverkeer voorrang krijgt op de overstekende (brom)fietsers. Deze oplossing bevordert de vlotte afwikkeling van het snelverkeer en is daardoor gunstig voor de capaciteit. Maar het is een uitgesproken achteruitstelling van het langzaam verkeer en maakt een flink aantal extra verkeersborden noodzakelijk.

In principe is er ook nog een derde variant denkbaar voor de situatie met voorrang voor het rotondeverkeer, gebaseerd op consequente toepassing van het principe: voorrang geven bij oprijden van de rotonde en ongehinderd de rotonde weer verlaten. Dit betekent dat de fietser voorrang krijgt bij het kruisen van de toerit en voorrang moet geven bij het kruisen van de afrit. Ook deze oplossing vraagt extra verkeersborden en is moeilijk te realiseren in situaties waar de toe- en afrit per arm één rijbaan vormen. Het is duidelijk dat het laatste woord over deze problematiek nog niet is gesproken. Vooralsnog bestaat de indruk dat binnen de bebouwde kom en met name in situaties met lage snelheden, de problemen het geringst zijn wanneer de (brom)fietsers op de rotonde zelf rijden.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op grond van de gegevens uit de literatuur, de ongevalgegevens en andere aanvullende informatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De rotonde is een relatief veilige kruispuntoplossing die wellicht minder ongevallen, maar zeker minder ernstige ongevallen oplevert dan diverse andere kruispuntvormen; de veiligheid blijkt tenminste zo goed als die van met lichten geregelde kruispunten.

2. Op grond van beperkte informatie bestaat de indruk dat de veiligheid van (brom)fietsers op rotondes minder gunstig is; er zijn overigens geen aanwijzingen dat rotondes voor langzaam verkeer minder veilig zouden zijn dan andere, niet met lichten geregelde, kruispuntvormen.

3. Het capaciteitsbereik van rotondes is zeer uitgebreid en reikt in ieder geval tot ca. 4000 motorvoertuigen per uur, mits het verkeer op de rotonde voorrang heeft op het toerijgend verkeer. Volgens ervaringen in Engeland komen er daar rotondes voor die zelfs tot ca. 7000 voertuigen per uur kunnen verwerken.

4. Toepassing van rotondes als alternatief voor een regeling met verkeerslichten past in de trend tot deregulering en biedt enkele voordelen zoals gemiddeld kortere wachttijden, permanent functioneren (ten opzichte van niet permanent werkende verkeerslichten) dan wel geen overbodig wachten (ten opzichte van wel permanent werkende verkeerslichten).

5. Er bestaat nationaal, maar zeker ook internationaal gezien, een grote diversiteit in afmetingen, vormgeving, voorrangsregelingen en toepassing van rotondes die een optimaal gebruik van dit type kruispunt in de weg staat.

6. De uitgebreide informatie uit de literatuur met betrekking tot ervaring in het buitenland is voor de situatie in ons land wel van belang, maar niet altijd volledig toepasbaar omdat zowel de omstandigheden (zoals het aan- deel langzaam verkeer) als het rijgedrag kunnen verschillen.

Als resultaat van deze studie kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd.

- De toepassing van rotondes verdient meer aandacht dan er tot voor kort in Nederland aan gegeven werd, zowel als alternatief voor verkeerslichten of voorrangskruisingen op drukke situaties als voor minder drukke situaties ter verlaging van de snelheden van het gemotoriseerde verkeer.

- Vooralsnog is terughoudendheid geboden als het gaat om de toepassing van rotondes op plaatsen met veel (brom)fietsverkeer en in situaties met hoge naderingssnelheden, zoals buiten de bebouwde kom vaak het geval is.

- Uniformering van de voorrangsregeling is gewenst, nationaal maar ook in internationaal verband. De tot nu toe beschikbare informatie tendeert in de richting van voorrang voor het verkeer op de rotonde als meest geschikte keuze. De vormgeving van de rotonde dient daarop te worden afgestemd, zoals radiale toeritten en aangepaste afrondingsstralen bij de overgang van toerit naar rotonde.

8. AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK

8.1. Onveiligheid van rotondes; Vergelijkende studie

Uit de literatuur is vrij veel bekend over de onveiligheid van rotondes van verschillende afmetingen en uitvoeringen, maar het betreft bijna uitsluitend onderzoek uit andere landen. De verkeerssituaties daar, zoals de hoeveelheid langzaam verkeer en het (voorrangs)gedrag, kunnen belangrijk afwijken van de situaties in Nederland. Het is daarom gewenst ook hier onderzoek te verrichten naar de onveiligheid van rotondes in vergelijking met andere kruispuntvormen.

In een dergelijk onderzoek dienen zowel de rotondes met rechts voorrang als die met voorrang voor het rotondeverkeer te worden betrokken. Speciale aandacht zal gegeven moeten worden aan de veiligheid van het langzaam verkeer, met name de fietsers.

Het onderzoek kan worden uitgevoerd door vergelijking van de onveiligheid op een aantal geselecteerde rotondes en andere kruispunttypen, zoals die met rechts voorrang, voorrangskruisingen en met lichten geregelde kruisingen. Gegevens zijn nodig met betrekking tot ongevallen over een wat langere periode, intensiteiten en samenstelling van het verkeer, afmetingen, situering e.d. De analyse uit te voeren door middel van groepsgewijze vergelijking van de diverse kruispuntvormen in relatie tot de verkeersprestaties.

Het is mogelijk dit type onderzoek uit te breiden met gedragsobservaties zoals snelheidsmetingen en conflictobservaties, waardoor verschillen in onveiligheid wellicht beter verklaard kunnen worden. Dit inzicht is van belang bij de keuze van kruispuntvormen en van de vormgeving.

8.2. Onveiligheid en capaciteit van rotondes; Voor - en nastudies

Op een toenemend aantal plaatsen in Nederland komt het voor dat:

- rotondes worden gewijzigd in andere kruispuntvormen
- andere kruispuntvormen worden vervangen door rotondes
- de voorrangsregeling op een rotonde wordt gewijzigd, al of niet in combinatie met reconstructie van de rotonde.

Een aantal van deze gevallen zal zich goed lenen voor een voor- en na-studie, die in de eerste plaats op de veiligheid gericht dient te worden. Uitspraken over de veiligheid op grond van ongevallengegevens vragen meestal een lange naperiode van tenminste drie jaar. Het is daarom zinvol ook het verkeersgedrag in voor- en naperiode te bestuderen, ook in dit geval in de vorm van snelheidsmetingen en conflictobservaties.

In voorkomende gevallen kan aansluiting worden gezocht bij het onderzoek dat in het kader van de AVOC- of BREV-regeling wordt uitgevoerd.

Is er sprake van een groot verkeersaanbod, dan is het zinvol eveneens onderzoek te verrichten naar wacht- en verliestijden, waaruit tevens informatie over capaciteiten kan worden afgeleid. Dit is vooral van belang wanneer er veel fietsverkeer is en/of veel overstekende voetgangers, omdat nog weinig bekend is over de capaciteit in die gevallen.

Overwogen kan worden in situaties waarin een met lichten geregeld kruispunt wordt vervangen door een rotonde, of omgekeerd, ook geluidswaarnemingen in het programma op te nemen, waardoor meer inzicht verkregen wordt in dat milieu-aspect.

8.3. Plaats en voorrangregeling langzaam verkeer

Zoals in Hoofdstuk 6 werd besproken zijn er in principe verschillende mogelijkheden en varianten voor de plaats van het (brom)fietsverkeer op rotondes en de regeling van de voorrang voor dit verkeer.

Het is denkbaar dat uit de in par. 8.1 en 8.2 genoemde onderzoeken al wat aanwijzingen komen, maar wellicht niet voldoende om tot een verantwoorde keuze te komen. Een uitgebreid onderzoek in praktijksituaties waarin alle mogelijke oplossingen en varianten worden betrokken is niet realiseerbaar; het op zich onmisbare praktijkonderzoek zal slechts op beperkte schaal mogelijk zijn. Voorafgaand zal een selectie van de daarvoor in aanmerking komende oplossingen verkregen moeten worden. Die selectie kan worden uitgevoerd op basis van een overwegend theoretische studie waarin de verschillende facetten en de voor- en nadelen van de mogelijke oplossingen systematisch worden geordend en gewaardeerd.

8.4. Computersimulaties

Praktijkonderzoek is onmisbaar om vast te stellen wat zich feitelijk in het verkeer afspeelt, maar het is een nogal kostbaar type onderzoek, zeker

wanneer het op uitgebreide schaal wordt toegepast. Voor bepaalde aspecten, zoals de capaciteit, wacht- en verliestijden en filevorming, is het heel goed mogelijk een aanzienlijk deel van de benodigde kennis te verkrijgen door middel van modelvorming en (computer)berekeningen. Dit is bijvoorbeeld van belang wanneer niet uitsluitend enkele kruisingen geïsoleerd worden bestudeerd, maar een groter aantal kruisingen in een wegennetwerk in onderlinge samenhang. Deze studies zijn nodig om meer inzicht te verkrijgen in het functioneren van combinaties van rotondes en geregelde kruispunten op korte afstand van elkaar. Maar ook voor andere deelstudies, zoals de dosering van het verkeer met verkeerslichten op een toerit van een rotonde, of de invloed van fietsverkeer op de capaciteit, kan van deze methode dankbaar gebruik worden gemaakt.

De indruk bestaat dat computersimulatie met de zogenaamde "microscopische" benadering de beste perspectieven biedt. Nagegaan dient te worden of bij de ontwikkeling van deze aanpak kan worden voortgeborduurd op ervaringen van anderen op dit terrein, zoals het werk van Chin (1985). Een voorafgaande gerichte literatuurstudie is daarom op zijn plaats.

LITERATUUR

Armitage, D.J. & McDonald, M. (1974). Roundabout capacity. *Traffic Engineering & Control* 15 (1974) 18 : 812-815.

Bakker, J.W. (1983). Het functioneren van de rotondes Heerenveen en Joure. *Verkeerskunde* 34 (1983) 2 : 87-90.

Blackmore, F.C. & Marlow, M. (1975). Improving the capacity of large roundabouts. *Laboratory Report LR 677. TRRL, 1975.*

Brilon, W. (1984). Der Kreisverkehr; Eine vergessene Knotenpunktform? *Strassenverkehrstechnik* (1984) 6: 208 e.v.

Bulpitt, M. & Harrison, I. (1983). Conflicts between capacity and safety in roundabout design. In: *Proceedings PTRC Summer Annual Meeting, Seminar J, 1983, pp. 153 e.v.*

Chin, H.C. (1985). SIMRO: A model to simulate traffic at roundabouts. *Traffic Engineering & Control* 26 (1985) 3 : 109 e.v.

Christie, A.W. & Chisholm, J. (1981). Goods vehicle manoeuvres: A computer simulation and its application to roundabout design. *Supplementary Report SR 662 TRRL, 1981.*

Glen, M.G.M.; Summer, S.L. & Kimber, R.M. (1978). The capacity of off-side priority roundabout entries. *Supplementary Report SR 436. TRRL, 1978.*

Green, H. (1977). Accidents at off-side priority roundabouts with mini or small islands. *Laboratory Report LR 774. TRRL, 1977.*

Hall, R.D. & Surl, R.A.J. (1981). Accidents at four-arm roundabouts and dual-carriageway junctions; Some preliminary findings. *Traffic Engineering & Control* 22 (1981) 6 : 339 e.v.

Halsall, R.C. & Blackmore, F.C. (1975). Capacity measurements on experimental roundabout design at Swindon. *Supplementary Report 145 UC. TRRL, 1975.*

- Hoogeland, G.D. (1983). Verkeersanalyse Overvecht-Noord. In: Verkeerskundige Werkdagen 1983, pp. 495 e.v.
- Hollis, E.M.; Semmens, M.C. & Denniss, S.L. (1980). Arcady: A computer program to model capacities, queues and delays at roundabouts. Laboratory Report LR 940. TRRL, 1980.
- Horman, C.B. (1983). Experience with roundabouts in the Australian Capital Territory. Contribution Second National Conference on Local Government Engineering, Brisbane, 1983.
- Jarvis, J.R. (1979). Speed control on local streets. In: Proceedings 17th Regional Road Research Board, Perth, 1979, p. 117-150.
- Kimber, R.M. The traffic capacity of roundabouts. Laboratory Report LR 942. TRRL, 1980.
- Layfield, R.E. & Maycock, G. (1986). Pedal cyclists at roundabouts. Traffic Engineering & Control 27 (1986) 6 : 343 e.v.
- Le Coz, J. (1982). Quimper: Carrefour giratoire a anneau prioritaire. TEC (1982) 50 (januari/februari).
- Le Coz, J. (1983). Bilan fin 1982.
- Marconi, W. (1977). Speed control measures in residential areas. Traffic Engineering 47 (1977) 3 : 28-30.
- Marlow, M. & Blackmore, F.C. (1973). Experiment at Brook Hill roundabout Sheffield, Yorkshire. Laboratory Report LR 562. TRRL, 1973.
- Marlow, M. (1979). Conversion of rural and semi-rural major/minor T-junctions to offside priority. Laboratory Report LR 883. TRRL, 1979.
- Marlow, M. & Maycock, G. (1982). The effect of zebra crossings on junction entry capacities. Supplementary Report SR 724. TRRL, 1982.

Maycock, G. (1974). Capacity, safety and delay at new types of roundabouts with offside priority. PIARC 12th International Study week in Traffic Engineering and Safety, Theme IX, Belgrade, 1974.

Maycock, G. & Hall, R.D. (1984). Accidents at 4-arm roundabouts. Laboratory Report LR 1120. TRRL, 1984.

McKelvey, G.M. & Thomas, I.G. (1984). The roundabout that isn't. Technical Note No. 3. Australian Road Research 14 (1984) 1 (March).

Millard, R.S. (1971). Roundabouts and signals. Traffic Engineering & Control 13 (1971) 1 : 13-15.

Philbrick, M.J. (1984). A filter lane for left-turning traffic at Slough. Central roundabout (M4/A355). Laboratory Report LR 634. TRRL, 1974.

Philbrick, M.J. (1977). In search of a new capacity formula for conventional roundabouts. Laboratory Report LR 773. TRRL, 1977.

Sawers, C.P. & Blackmore, F.C. (1973). Capacity measurements on experimental roundabout designs at Colchester. Laboratory Report LR 610. TRRL, 1973.

Scott Rutherford, G. e.a. (1985). Traffic circles for residential intersection control. Paper 64th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1985.

Semmens, M.C. e.a. (1980). Roundabout capacity: Public road experiment at Wincheap, Canterbury. Supplementary Report SR 554. TRRL, 1980.

Semmens, M.C. (1982). The capacity of some grade-separated roundabout entries. Supplementary Report SR 721. TRRL, 1982.

SETRA (1983). Carrefours giratoires, analyse de la securite. Rapport d'etude. 1983.

Smith, H.C. (1965). Discussion on Webster & Newby (1964). Proc. Instn. civ. Engrs. 30 (1965) (April) : 755-756.

Stevenage Development Corporation "Roundabouts".

Talens, H. (1984a). Rotonde als poort; Afstudeerverslag. Verkeersakademie Tilburg, (mei) 1984.

Talens, H. (1984b). Ingang door rotonde; Vervolg-afstudeerverslag, Verkeersakademie Tilburg, (december) 1984.

Troutbeck, R.J. (1984). Capacity and delays at roundabouts; A literature review. Australian Road Research 14 (1984) 4 (December).

Webster, G.M. & Newby, R.F. (1964). Research into the relative merits of roundabouts and traffic signal controlled intersections. Paper No. 6736. Proc. Instn. civ. Engrs. 27 (1964) (January) : 47-76.

Yee, W.C.K.O. & Bell, M.G.H. (1986). The impact on accidents and driver behaviour of concentric lane-markings in small roundabouts. Traffic Engineering & Control 27 (1986) 5 : 225 e.v.

AFBEELDINGEN 1 T/M 10

Afbeelding 1. Waargenomen en berekende relatie tussen verkeersaanbod en capaciteit van twee rotondes (Chin, 1985).

Afbeelding 2. Invloed van aanwezigheid van oversteekplaats (ca. 15 m voor rotonde; 500 voetgangers per min.) op relatie tussen verkeersaanbod en capaciteit van rotonde (Marlow & Maycock, 1982).

Afbeelding 3. Enkele voorbeelden van toegepaste vormgevingen (Marlow & Blackmore, 1973).

Afbeelding 4. Wachttijden in relatie tot capaciteit bij een door lichten geregeld kruispunt en een rotonde (Brilon, 1984).

Afbeelding 5. Regressiekrommen voor letselongevallen als functie van de intensiteit voor rotondes en andere kruispuntvormen (Hall & Surl, 1981).

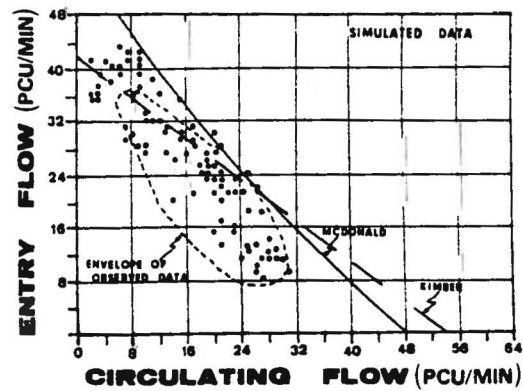
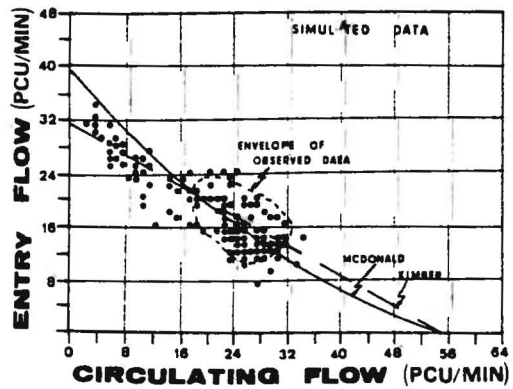
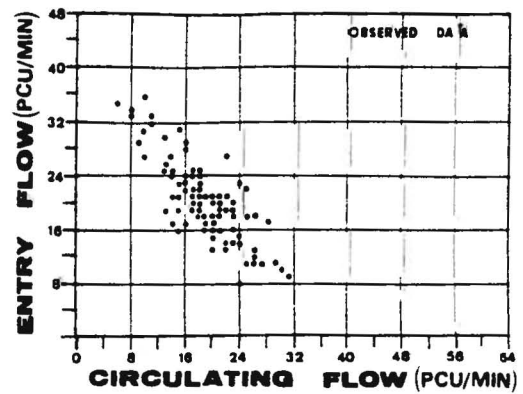
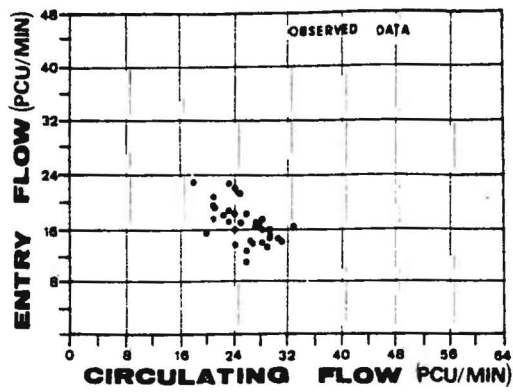
Afbeelding 6. Ernst van ongevallen bij verschillende kruispuntvormen bij verschillende snelheden (Hall & Surl, 1981).

Afbeelding 7. Verschillen in rijsnelheid voor en na verschillende kruispuntvormen (Talens, 1984b).

Afbeelding 8. Verschillen in rijsnelheid voor en na een stopbord en een rotonde (Marconi, 1977).

Afbeelding 9. Verschillen in rijsnelheid voor en na 10 verschillende rotondes (Scott & Rutherford e.a., 1985).

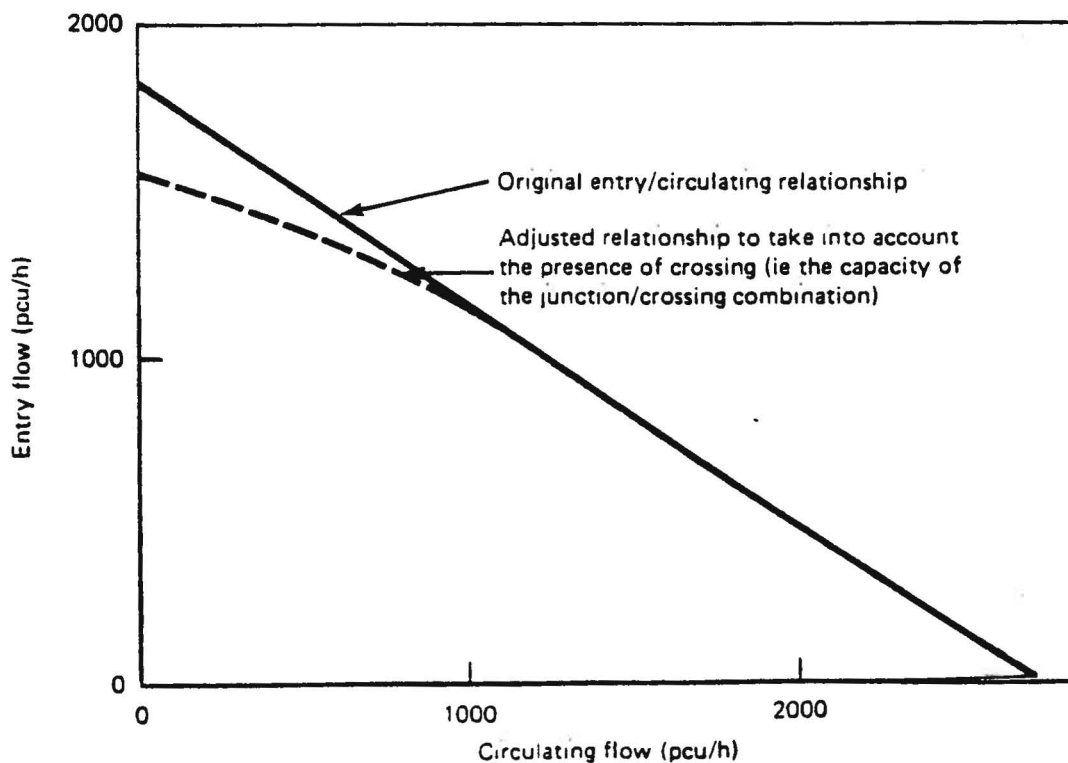
Afbeelding 10. Vergelijking van verkeersgedrag op rotondes in Nederland en in Engeland.



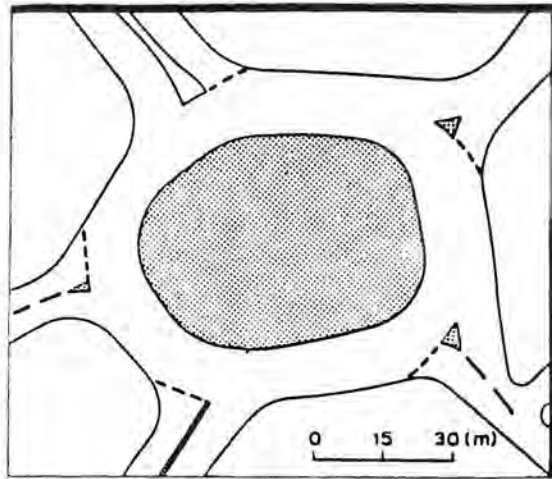
Observed and simulated entry flow data for North Station Road Roundabout, Colchester.

Observed and simulated entry flow data for Stamfordham Road Roundabout, Newcastle-upon-Tyne.

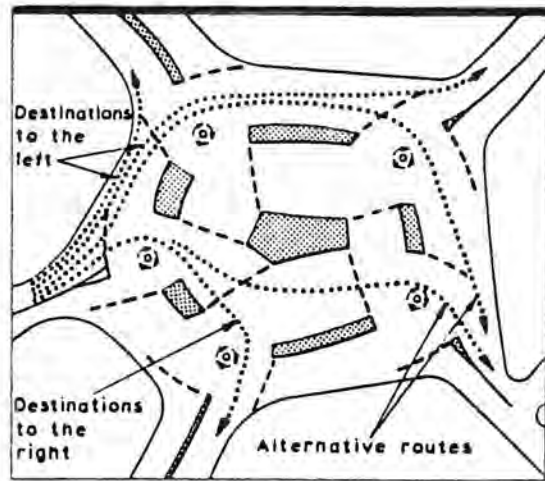
Afbeelding 1. Waargenomen en berekende relatie tussen verkeersaanbod en capaciteit van twee rotondes (Chin, 1985).



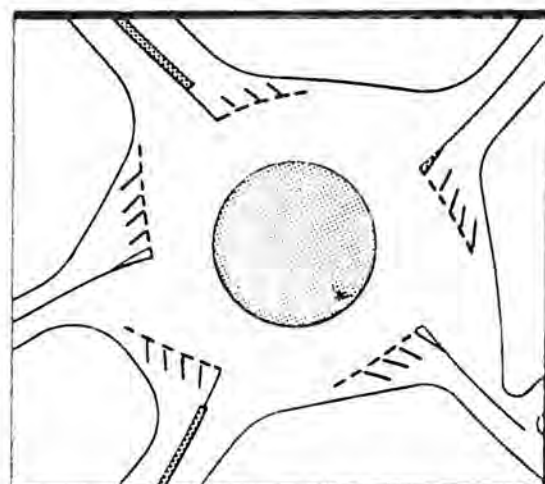
Afbeelding 2. Invloed van aanwezigheid van oversteekplaats (ca. 15 m voor rotonde; 500 voetgangers per min.) op relatie tussen verkeersaanbod en capaciteit van rotonde (Marlow & Maycock, 1982).



ORIGINAL ROUNDBOUT

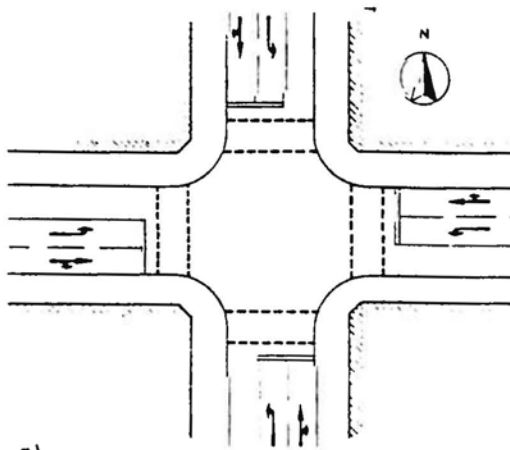


LAYOUT 1. RING JUNCTION

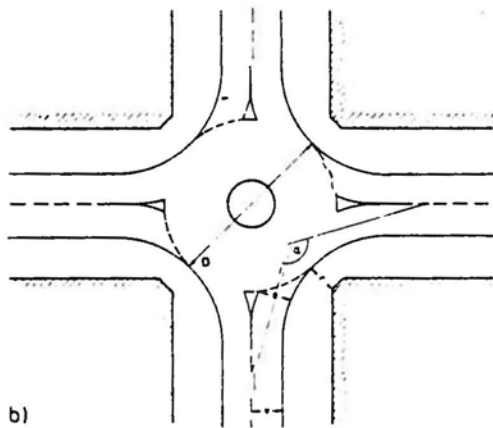


LAYOUT 2. SINGLE ISLAND ROUNDBOUT

Afbeelding 3. Enkele voorbeelden van toegepaste vormgevingen (Marlow & Blackmore, 1973).

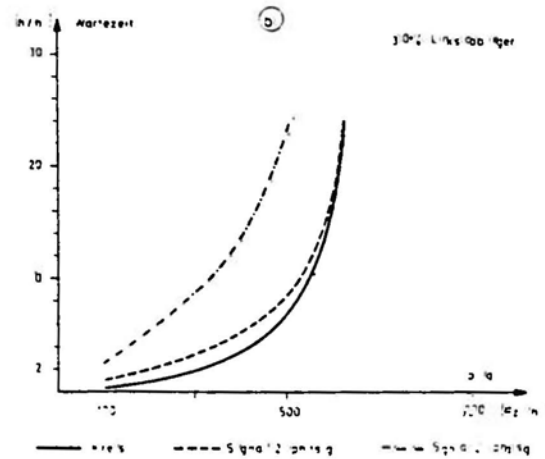
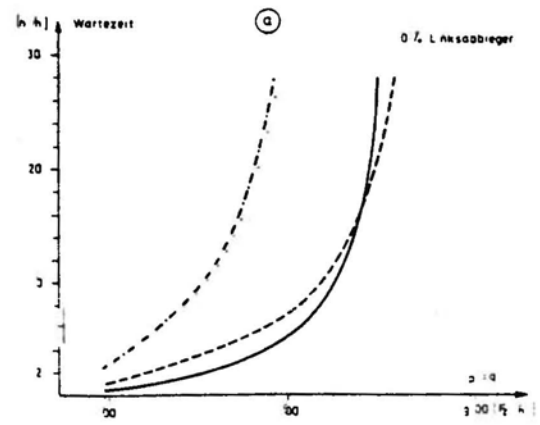


a)



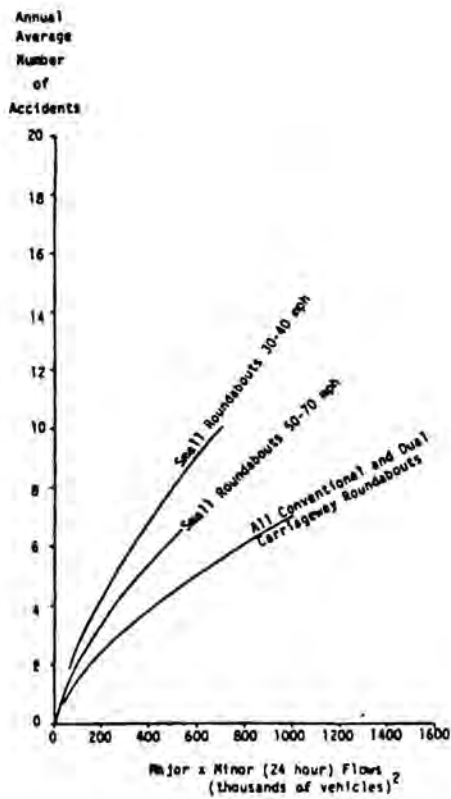
b)

Lagepläne für Beispiel 1: Kreuzung zweier 2spuriger Straßen

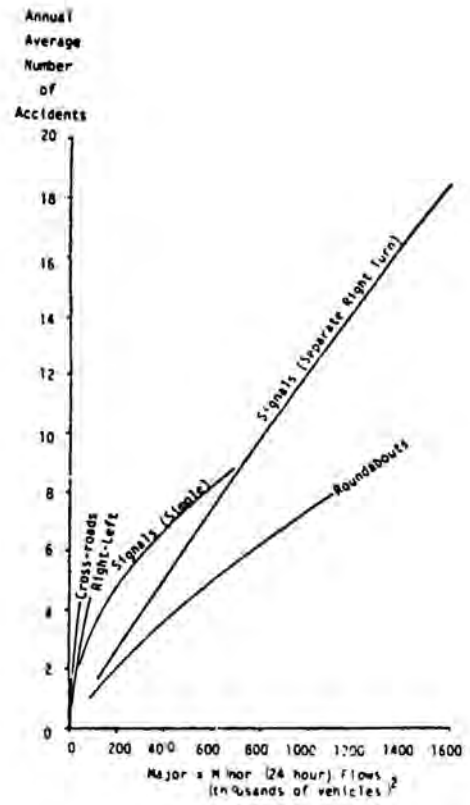


Summe aller Wartezeiten in der Spitzenstunde als Funktion der Verkehrsbelastung $p = q$ für Beispiel 1

Afbeelding 4. Wachtijden in relatie tot capaciteit bij een door lichten geregeld kruispunt en een rotonde (Brilon, 1984).

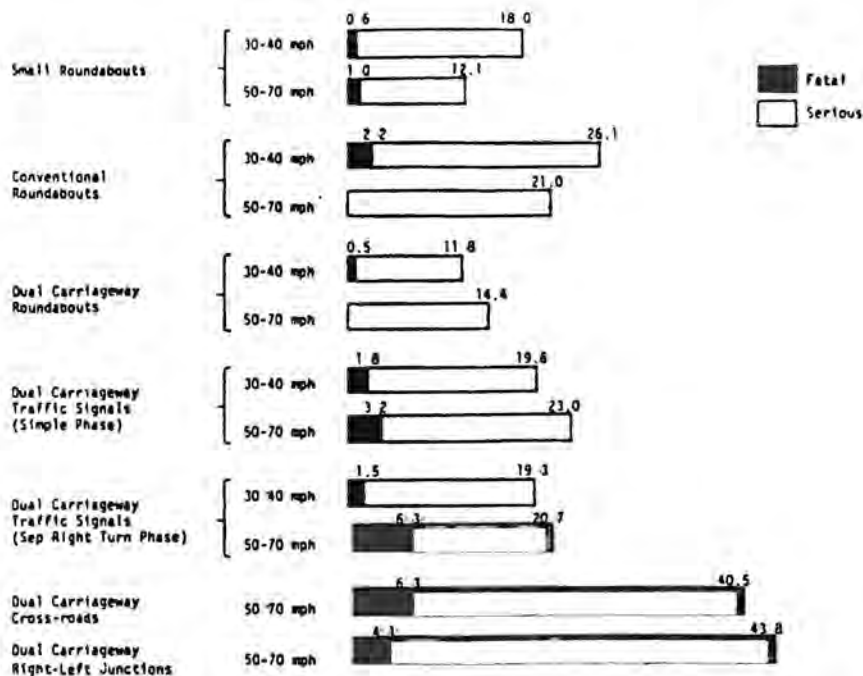


Regression lines for roundabouts.

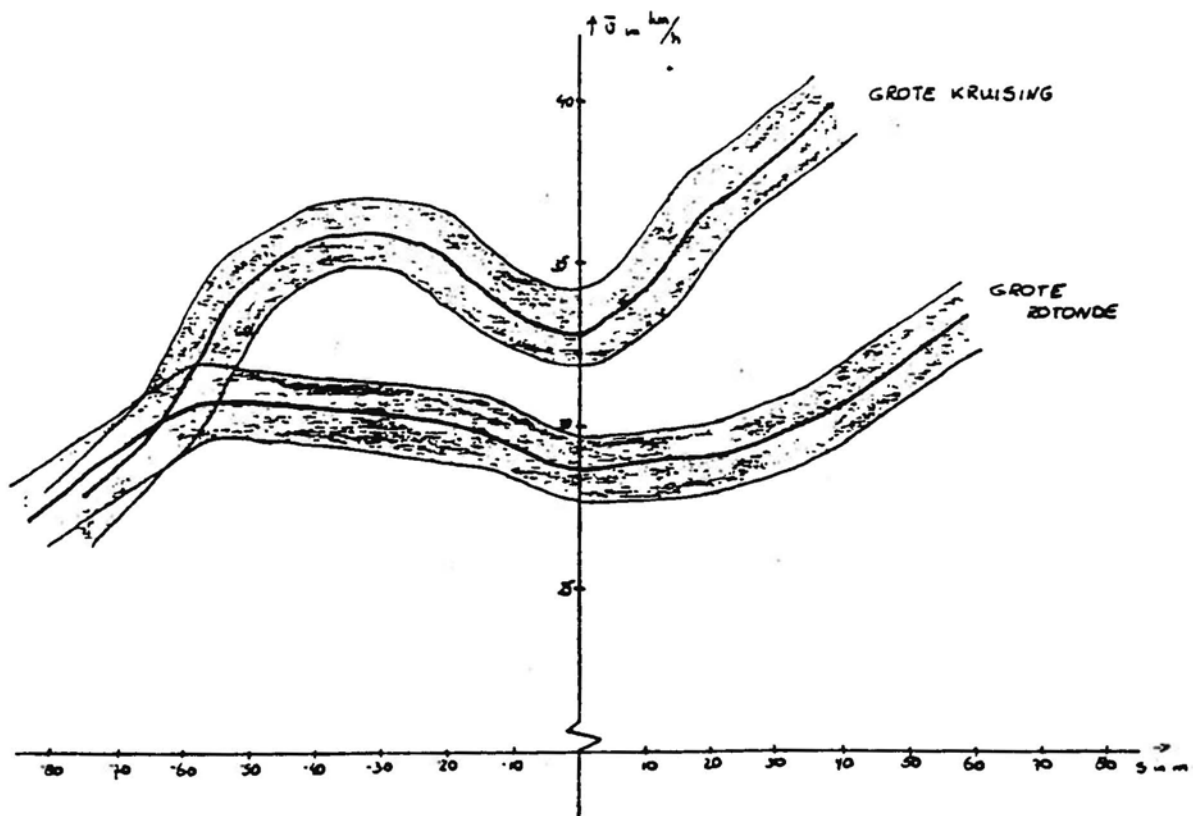
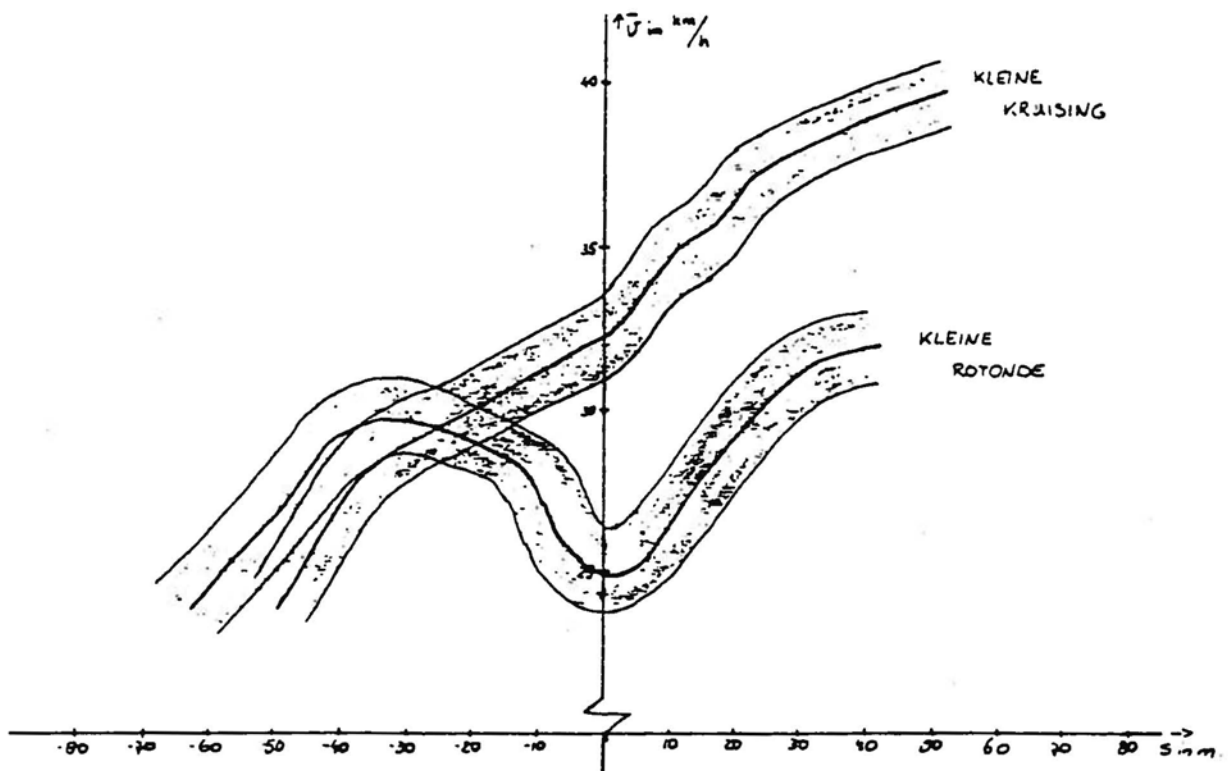


Regression lines for dual-carriageway junctions.

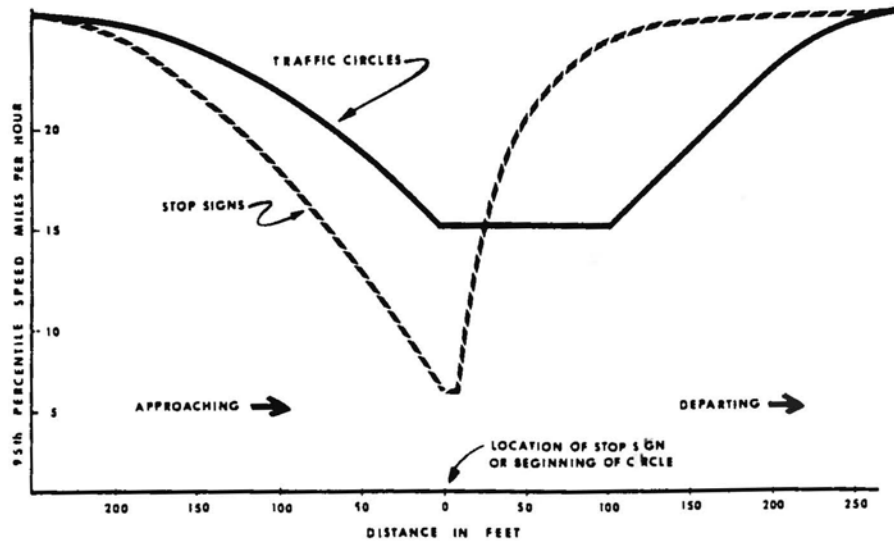
Afbeelding 5. Regressiekrommen voor letselongevallen als functie van de intensiteit voor rotondes en andere kruispuntvormen (Hall & Surl, 1981).



Afbeelding 6. Ernst van ongevallen bij verschillende kruispuntvormen bij verschillende snelheden (Hall & Surl, 1981).

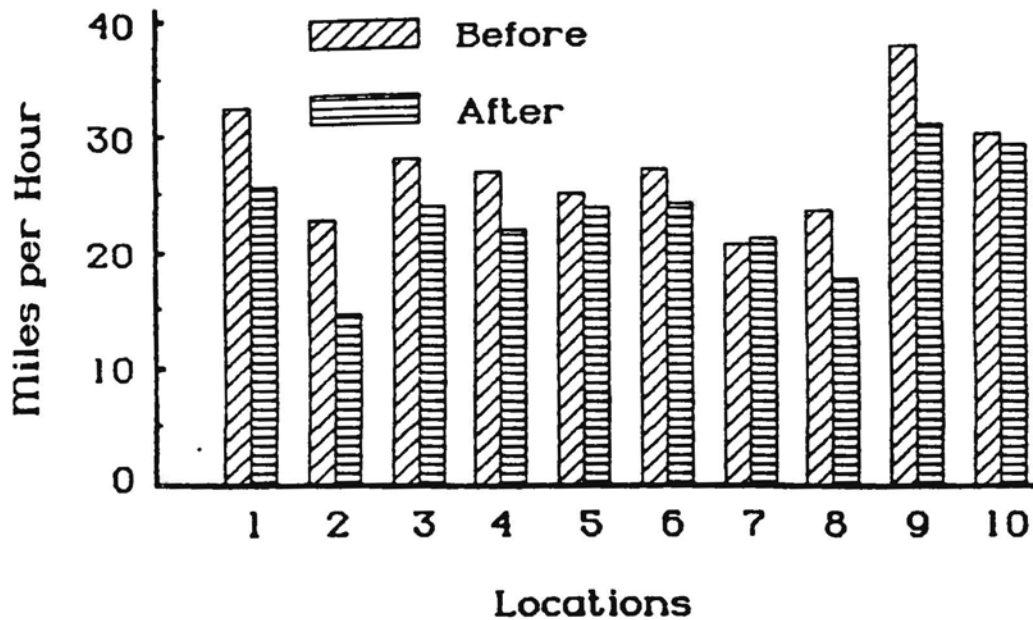


Afbeelding 7. Verschillen in rijsnelheid voor en na verschillende kruispuntvormen (Talens, 1984b).

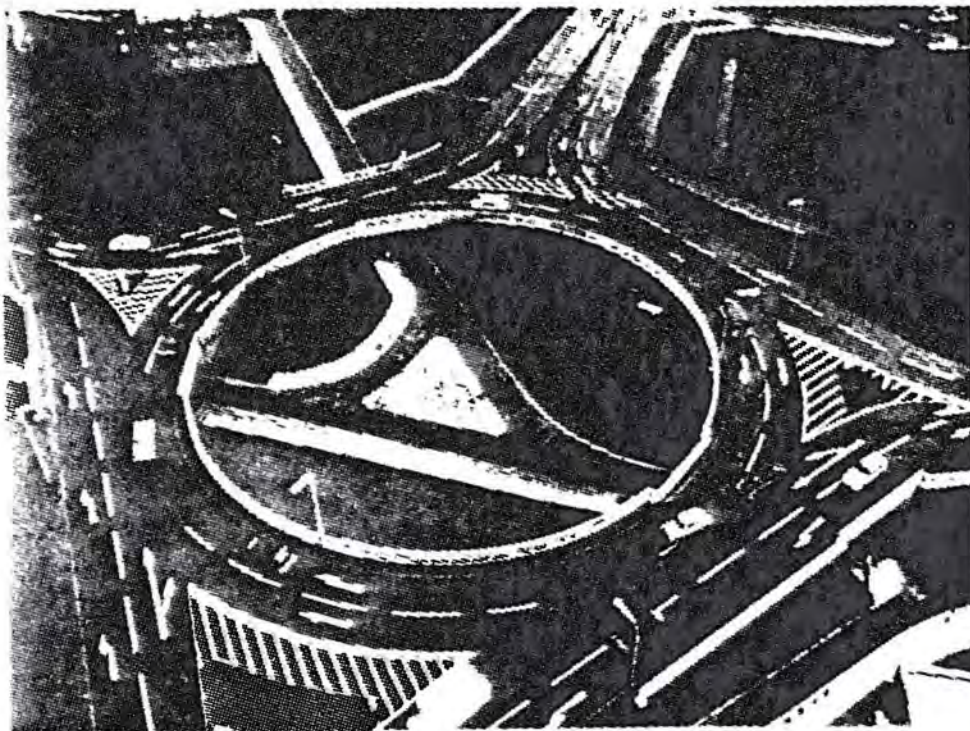
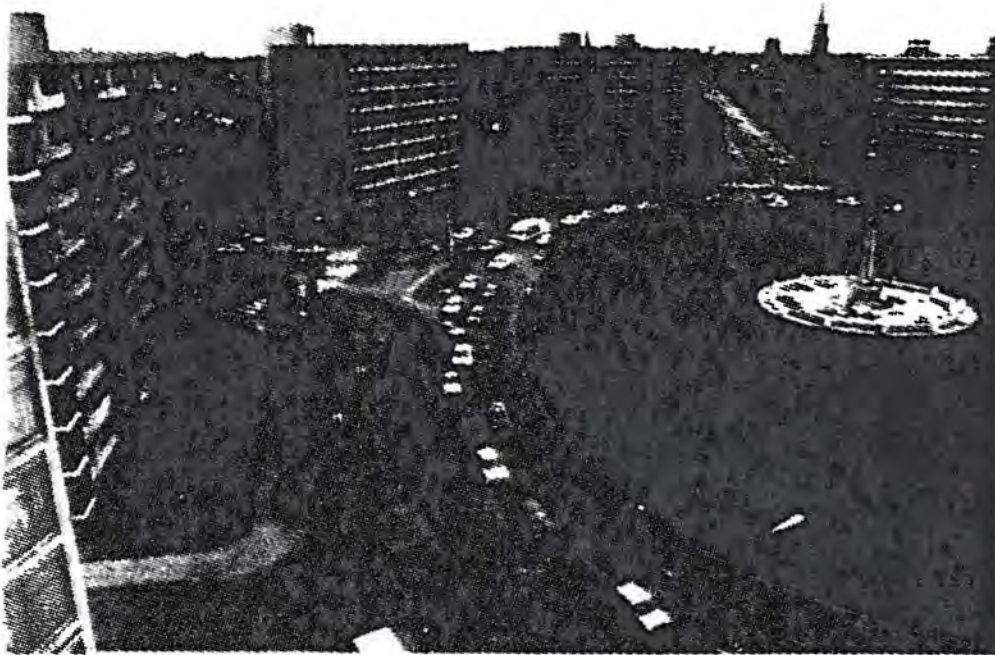


Area of influence on speeds—STOP signs versus traffic circles.

Afbeelding 8. Verschillen in rijnsnelheid voor en na een stopbord en een rotonde (Marconi, 1977).



Afbeelding 9. Verschillen in rijnsnelheid voor en na 10 verschillende rotondes (Scott & Rutherford e.a., 1985).



Afbeelding 10. Vergelijking van verkeersgedrag op rotondes in Nederland en in Engeland.

TABELLEN 1 T/M 7

Tabel 1. Aantallen ongevallen en accident rates van verschillende rotondes in Engeland (Bron: Maycock & Hall, 1984).

Tabel 2. Experimenten op Wincheap Roundabout, Canterbury (Bron: Harrison, 1983).

Tabel 3. Overzicht van rotondes in Quimper, Frankrijk in voor- en nasituatie (Le Coz, 1982).

Tabel 4. Aantallen en percentages slachtoffers en ernst naar type kruispunt binnen en buiten de bebouwde kom in de periode 1978-1983.

Tabel 5A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

Tabel 5B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

Tabel 5C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

Tabel 6A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

Tabel 6B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

Tabel 6C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

Tabel 7A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

Tabel 7B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

Tabel 7C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

Roundabout category	Total number of accidents	Average accident rate (per 10 ⁸ vehicles)	Percentage by accident type				
			Entering-circulating	Approaching	Single-vehicle	Other	Pedestrian
Small:							
30-40 mile/h	497	37.1	72.2	6.6	7.5	9.7	4.0
50-70 mile/h	150	28.7	67.3	8.0	10.7	12.0	2.0
Total	647	34.8	71.1	7.0	8.2	10.2	3.5
Conventional:							
30-40 mile/h	146	21.2	16.4	18.6	37.6	19.2	8.2
50-70 mile/h	193	28.7	24.9	26.9	29.0	17.1	2.1
Dual-carrageway:							
30-40 mile/h	244	22.5	21.7	24.2	24.2	18.4	11.5
50-70 mile/h	197	22.4	16.8	29.9	32.5	17.8	3.0
Total	441	23.5	20.3	25.3	30.0	18.0	6.4

Tabel 1. Aantallen ongevallen en accident rates van verschillende rotondes in Engeland (Bron: Maycock & Hall, 1984).

Layout	Calendar Period	Months	Accident Total	Accident Rate (per Year)	Impact on Capacity
A	Apr. 1975- March 1978	36	6	2.0	Long queues at peak periods
B	July 1978- Jan. 1979	7	7	12.0	Little delay
C	Feb. 1979- March 1980	13	5	5.5	Queues at peak periods especially a.m.
D (pre By-Pass)	Mar. 1980- Oct. 1981	19	17	10.7	Small delays at peak periods
D (post By-Pass)	Nov. 1981-	17	5	3.5	Small delays at peak periods

Tabel 2. Experimenten op Wincheap Roundabout, Canterbury (Bron: Harrison, 1983).

VILLE DE QUIMPER - SERVICE VOIRIE
GIRATOIRES EN AGGLOMÉRATION (Situation au 1^{er} novembre 1980)

Designation	N°	Date de mise service	Caractéristique		Nbre entr	Comutage		16 % du comutage par jour	Lires d'essence économisées par an	Economie réalisée en F/an	Accidents par an		
			Rayon ext.	Larg. chauss.		Période	Moy. par jour				avant (moy)	après (moy)	en 1981
Existants													
Ludugris	1	juin 76	31	11	4	déc. 79	33 000	5 300	27 500	110 000	14	4	1
Manoir	2	sept 77	20	10	4	fév 81	15 000	2 400	12 500	50 000	1	0	1
Croix des Gardiens	3	fév 78	18	10	4	mars 80	21 000	3 400	17 500	70 000	2	0	
Chemin des Justices	4	nov 77	20	10	3	fév 80	12 000	1 900	10 000	40 000	1	0	
Lebon	5	nov. 79	39	14	4	déc 80	33 500	5 400	28 000	112 000	1	2	1
Eau-Blanche	6	nov 79	26	10 50	5	déc. 80	33 000	5 300	27 500	110 000	4	1	1
Rte Benodet-Frugy	7	avr 78	29 5	10 00	4	juin 80	31 000	5 000	26 000	104 000	1	0	
ZUP Kermoisan	8	oct. 77	34 50	10	5	mars 80	17 000	2 700	14 000	56 000	1	1	1
Leon-Blum	9	juil. 80	20	10	5	déc 80	12 000	1 900	10 000	40 000			
Kerustum	10	nov. 80	47 50	12	5	mars 81	26 000	4 200	21 500	86 000			
Erque-Armeil	11	déc 80	57	12 50	4	mars 81	14 300	2 300	12 000	48 000			
Alexandre-Massa	12	mars 81	19	10	4	juin 80	22 300	3 500	18 000	72 000			
Bracen 1	13	sept 81	26	10	5				225 000	900 000	25	3	5
Projetés													
Bracen 2	14		25	10	4								

Tabel 3. Overzicht van rotondes in Quimper, Frankrijk in voor- en nasituatie (Le Coz, 1982).

	Overleden				Ziekenhuisgewonden			
	+	T/Y	R	Totaal	+	T/Y	R	Totaal
binnen								
bebouwde kom	1311	714	19	2044	20794	12480	282	33556
% hor.	64,1	34,9	0,9	100,0	62,0	37,2	0,8	100,0
Buiten								
bebouwde kom	1204	557	2	1763	8088	4655	59	12802
% hor.	68,3	31,6	0,1	100,0	63,2	36,4	0,5	100,0
Totaal	2515	1271	21	3807	28882	17135	341	46358
% hor.	66,1	33,4	0,6	100,0	62,3	37,0	0,7	100,0

	Overige gewonden				Ernst						
	+	T/Y	R	Totaal	E1			E2			
	+	T/Y	R	Totaal	+	T/Y	R	+	T/Y	R	
binnen											
bebouwde kom	55033	32285	1037	88355	5,9	5,4	6,5	28,7	29,0	22,0	
% hor.	62,3	36,5	1,2	100,0							
buiten											
bebouwde kom	11074	7420	200	18694	13,0	10,7	3,3	45,6	41,3	23,4	
% hor.	59,2	39,7	1,1	100,0							
Totaal	66107	39705	1237	107049	8,0	6,9	5,8	32,2	31,7	22,6	
% hor.	61,8	37,1	1,2	100,0							

Verklaring:

+ = kruispunt met 4 of meer armen
T/Y = T-kruising of splitsing
R = rotonde

bibeko = binnen de bebouwde kom
bubeko = buiten de bebouwde kom

E1 - aantal doden als percentage van het aantal doden + ziekenhuisgewonden
E2 = aantal doden + ziekenhuisgewonden als percentage van het totaal aantal slachtoffers

Tabel 4. Aantallen slachtoffers en ernst naar type kruispunt en bebouwing, over de periode 1978-1983.

WIJZE DEELNAME	GEWOON KRUISPUNT					T/Y KRUISING					ROTONDES					TO TAAL
	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2	
PERSONEN AUTO	1039	11222	26739	8.47	31.44	319	4351	11576	6.83	28.75	5	114	442	4.20	21.21	55007
VRACHT AUTO	14	151	345	8.48	32.35	6	70	195	7.89	28.04	2	5	16	28.57	30.43	804
BESTEL AUTO	32	359	896	8.18	30.38	8	108	325	6.90	26.30	0	2	16	0.00	11.11	1746
BUS	1	63	358	1.56	15.17	4	29	162	12.12	16.92	1	2	29	33.33	9.37	649
MOTORFIETS	92	1412	2918	6.12	34.01	85	1152	2373	6.87	34.27	3	29	131	9.37	19.63	8195
BROMFIETS	312	6881	17404	4.34	29.24	175	430	12862	3.48	28.41	2	60	238	3.23	20.67	984
FIETS	732	1855	14267	9.65	34.72	527	5365	10492	8.94	35.96	6	94	292	6.00	25.51	38670
VOETGANGER	283	1858	2975	13.22	41.85	136	1082	1608	11.17	43.10	1	34	67	2.86	34.31	804
RAIL VOERTUIG	0	4	81	0.00	4.71	0	1	15	0.00	6.25	0	0	2	0.00	0.00	103
OVERIGE VOERT	9	77	125	10.47	40.76	11	49	97	18.97	37.42	1	1	4	50.00	33.33	372
TO TAAL	2514	28882	66108	8.01	32.20	1271	17135	39705	6.91	31.67	21	341	1237	5.80	22.64	157214

* WAARBIJ E1 = GEDODE SLACHTOFFERS : (OVL + ZHS) X 100
 E2 = (GEDODE + OPGENOMEN) : ALLE SLACHTOFFERS X 100
 OVL = GEDODE SLACHTOFFERS
 ZHS = IN ZIEKENHUIS OPGENOMEN SLACHTOFFERS
 REST = OVERIGE LICHT GEWONDE SLACHTOFFERS

Tabel 5A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

WIJZE DEELNAME	GEWOON KRUISPUNT					T/Y KRUISING					ROTONDES				
	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2
PERSONEN AUTO	76.23	71.54	68.99			23.40	27.74	29.87			0.37	0.73	1.14		
VRACHT AUTO	63.64	66.81	62.05			27.27	30.97	35.07			9.09	2.21	2.88		
BESTEL AUTO	80.00	76.55	72.43			20.00	23.03	26.27			0.00	0.43	1.29		
BUS	16.67	67.02	65.21			66.67	30.85	29.51			16.67	2.13	5.28		
MOTORFIETS	51.11	54.45	53.82			47.22	44.43	43.77			1.67	1.12	2.42		
BROMFIETS	63.80	57.96	57.05			35.79	41.53	42.16			0.41	0.51	0.78		
FIETS	57.67	55.67	56.95			41.66	43.57	41.88			0.47	0.76	1.17		
JOETGANGER	67.38	62.47	63.98			32.38	36.38	34.58			0.24	1.14	1.44		
RAIL VOERTUIG	0.00	80.00	82.65			0.00	20.00	15.31			0.00	0.00	2.04		
OVERIG VOERT	2.86	61.60	55.31			52.38	17.60	42.92			4.76	0.80	1.77		
TOTAAL	66.05	62.30	61.75			33.39	36.96	37.09			0.55	0.74	1.16		

Tabel 5B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

WIJZE DEELNAME	GEWOON KRUISPUNT					T/Y KRUISING					ROTONDES					TOTAAL
	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2	OVL	ZHS	REST	E1	E2	
PERSONEN AUTO	41.33	38.85	40.45			25.10	25.39	29.16			23.81	33.43	35.73			35.50
VRACHT AUTO	0.56	0.52	0.52			0.47	0.41	0.49			9.52	1.47	1.29			0.51
BESTEL AUTO	1.27	1.24	1.36			0.63	0.63	0.82			0.00	0.59	1.29			1.11
BUS	0.04	0.22	0.54			0.31	0.17	0.41			4.76	0.59	2.34			0.41
MOTORFIETS	3.66	4.89	4.41			6.89	6.72	5.98			14.29	8.50	10.59			5.21
BROMFIETS	12.41	23.82	26.33			13.77	28.77	32.39			9.52	17.60	19.24			27.26
FIETS	29.12	23.73	21.58			41.46	31.31	26.42			28.57	27.57	23.61			24.57
JOETGANGER	11.26	6.43	4.50			10.70	6.31	4.05			4.76	9.97	5.42			5.12
RAIL VOERT	0.00	0.01	0.12			0.00	0.01	0.04			0.00	0.00	0.16			0.07
OVERIG VOERT	0.36	0.27	0.19			0.87	0.27	0.24			4.76	0.29	0.32			0.24
TOTAAL	100.00	100.00	100.00			100.00	100.00	100.00			100.00	100.00	100.00			100.00

Tabel 5C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname, 1978-1983.

WIJZE DEELNAME EN LICHTGESTELD- HEID	BEWOON KRUISFANT						T/Y KRUISING						KOTNOES						TOTAAL
	OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2		
SNELVERKEER																			
DAGLICHT	874	8940	21729	8.91	31.11		249	3560	9941	6.54	27.70		3	76	375	3.80	17.40	45747	
SCHERMER	30	391	842	7.13	33.33		11	165	437	6.25	28.71		0	3	27	0.00	13.00	176	
DUISTER	274	3876	8682	6.60	32.34		162	1985	4252	7.55	33.55		8	73	232	9.88	25.88	19544	
ONBEKEND	0	0	3	0.00	0.00		0	0	1	0.00	0.00		0	0	0	0.00	0.00	4	
BRUGFIETS + FIETS																			
DAGLICHT	824	10718	25540	7.14	31.13		536	8051	19033	6.24	31.09		6	120	439	4.76	22.30	45217	
SCHERMER	31	422	973	6.84	31.77		28	315	769	8.16	30.85		0	4	18	3.00	18.18	2530	
DUISTER	189	2595	5148	6.79	35.10		138	1926	3551	6.69	36.76		2	30	73	6.25	30.48	17652	
ONBEKEND	0	1	10	0.00	9.09		0	3	1	0.00	75.00		0	0	0	0.00	0.00	15	
VOETGANGERS																			
DAGLICHT	184	1278	2214	12.59	39.77		86	772	1238	10.02	40.94		1	22	46	4.35	33.33	5841	
SCHERMER	6	58	91	9.37	41.29		4	34	51	10.53	42.70		0	2	3	0.00	40.00	249	
DUISTER	93	521	670	15.15	47.82		45	275	319	14.06	50.08		0	10	18	0.00	35.71	1951	
ONBEKEND	0	1	0	0.00	100.00		1	1	0	50.00	100.00		0	0	0	0.00	0.00	3	
OVERIG VOERT																			
DAGLICHT	9	70	175	11.39	31.10		9	43	95	17.31	35.37		1	1	4	50.00	33.33	407	
SCHERMER	0	2	7	0.00	22.22		0	2	5	0.00	28.57		0	0	0	0.00	0.00	14	
DUISTER	0	9	24	0.00	27.27		2	3	12	40.00	29.41		0	0	2	0.00	0.00	52	
TOTAAL	2514	28882	66108	8.01	32.20		1271	17135	39705	6.91	31.67		21	341	1237	5.80	22.64	157214	

Tabel 6A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

WIJZE DEELNAME EN LICHTGESTELD- HEID	GEWOON KRUISPUNT						T/Y KRUISING						KOTONDES					
	OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2	
SNELWEEKPEER																		
DAGLICHT	77.62	71.09	67.81				22.11	28.31	31.02				0.27	0.60	1.17			
SCHERER	73.17	69.95	64.47				26.83	29.52	33.46				0.00	0.54	2.07			
DUISTER	61.71	65.32	65.94				26.49	33.45	32.30				1.80	1.23	1.76			
ONBEKEND	0.00	0.00	75.00				0.00	3.00	25.00				0.00	0.00	0.00			
PROMFIETS + FIETS																		
DAGLICHT	60.32	56.74	56.74				39.24	42.62	42.28				0.44	0.64	0.98			
SCHERER	52.54	56.95	55.28				47.46	42.51	43.69				0.00	0.54	1.02			
DUISTER	57.45	57.02	58.69				41.95	42.32	40.48				0.61	0.66	0.83			
ONBEKEND	0.00	25.00	90.91				0.00	75.00	9.09				0.00	0.00	0.00			
JOETGANGERS																		
DAGLICHT	67.90	61.68	63.29				31.73	37.26	35.39				0.37	1.06	1.32			
SCHERER	60.00	61.70	62.76				40.00	36.17	35.17				0.00	2.13	2.07			
DUISTER	67.39	66.64	66.53				32.61	34.12	31.68				0.00	1.24	1.79			
ONBEKEND	0.00	50.00	0.00				100.00	50.00	0.00				0.00	0.00	0.00			
OVERIG VOERT																		
DAGLICHT	47.37	61.40	63.87				47.37	37.72	34.67				5.26	0.88	1.46			
SCHERER	0.00	50.00	58.33				0.00	50.00	41.67				0.00	0.00	0.00			
DUISTER	0.00	75.00	63.16				100.00	25.00	31.58				0.00	0.00	5.26			
TOTAAL	66.05	62.30	61.75				33.39	36.96	37.09				0.55	0.74	1.16			

Tabel 6B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

WIJZE DEELNAME EN LICHTGESTELD- HEID	GEWOON KRUISPUNT						T/Y KRUISING						KOTONDES						TOTAAL
	OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2		OVL	ZHS	REST	E1	E2		
SNELWEEKPEER																			
DAGLICHT	34.77	30.95	32.87				19.59	20.78	25.04				14.29	22.29	20.32			29.11	
SCHERER	1.19	1.35	1.77				0.87	0.96	1.10				0.00	0.88	2.18			1.21	
DUISTER	10.90	13.42	13.13				12.75	11.58	10.71				38.10	21.41	18.76			12.47	
ONBEKEND	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00			1.03	
PROMFIETS + FIETS																			
DAGLICHT	32.78	37.11	38.63				42.17	46.99	47.94				28.57	35.19	35.49			41.51	
SCHERER	1.23	1.46	1.47				2.20	1.84	1.94				0.00	1.17	1.46			1.63	
DUISTER	7.52	8.98	7.79				10.86	11.24	8.94				9.52	8.80	5.90			8.68	
ONBEKEND	0.00	0.00	0.02				0.00	0.02	0.00				0.00	0.00	0.00			0.01	
JOETGANGER																			
DAGLICHT	7.32	4.42	3.35				6.77	4.51	3.12				4.76	6.45	3.72			3.72	
SCHERER	0.24	0.20	0.14				0.31	0.20	0.13				0.00	0.59	0.24			0.16	
DUISTER	3.70	1.80	1.01				3.54	1.60	0.80				0.00	2.93	1.46			1.24	
ONBEKEND	0.00	0.00	0.00				0.08	0.01	0.00				0.00	0.00	0.00			0.00	
OVERIG VOERT																			
DAGLICHT	0.36	0.24	0.26				0.71	0.25	0.24				4.76	0.29	0.32			0.28	
SCHERER	0.00	0.01	0.01				0.00	0.01	0.31				0.00	0.00	0.00			0.00	
DUISTER	0.00	0.03	0.04				0.16	0.02	0.03				0.00	0.00	0.16			0.03	
TOTAAL	100.00	100.00	100.00				100.00	100.00	100.00				100.00	100.00	100.00			100.00	

Tabel 6C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar wijze van verkeersdeelname en lichtgesteldheid, 1978 t/m 1983.

CONFLICT TYPE	GEWOON KRUISPUNT						T Y KRUISING						ROTONDES						TOTAAL		
	OVL		ZHS		REST		E1		E2		OVL		ZHS		REST		E1			E2	
EENIJDIG	8	544	1856	1.45	22.92	50	710	1794	6.58	29.76	2	40	146	4.76	22.34	5150					
VAST VOORW	19	695	1602	5.31	31.42	71	1028	2029	6.46	35.13	5	61	192	7.58	25.58	5222					
REST ENKELV	3	63	257	4.55	20.43	5	131	391	3.68	25.81	0	3	10	0.00	23.08	803					
SUB totaal enkelv	50	1302	3715	3.70	26.68	126	1869	4214	6.32	32.13	7	104	348	6.31	24.18	11755					
SNELVERKEER																					
ONDERLING	761	9189	31816	7.65	31.32	203	3402	9170	5.63	28.22	0	36	244	0.00	12.86	44821					
MET PROMF-FIETS	928	11593	26035	7.41	32.47	583	8164	18081	6.67	32.60	6	98	356	5.77	22.61	65844					
MET VOETGANGER	230	393	1963	14.17	45.26	111	839	1108	11.68	46.16	1	19	39	5.00	33.90	5200					
BROMFIETS/FIETS																					
ONDERLING	6	748	2320	0.80	24.53	18	762	2228	2.31	25.93	0	14	53	0.00	20.90	6149					
MET VOETGANGER	6	237	578	2.47	29.60	1	157	305	0.63	34.13	0	9	22	0.00	29.08	1315					
OVERIG 2 OBJ	60	337	901	15.11	30.59	48	758	566	15.69	35.09	1	14	32	6.67	31.91	2217					
SUB totaal 2 obj	1991	23497	53613	7.81	32.22	964	13582	31458	6.63	31.62	8	190	746	4.04	20.97	12409					
2 EN MEER OBJ	473	4083	8780	10.38	34.16	180	1464	4034	9.66	31.60	6	47	143	11.32	27.04	19430					
TOTAAL	3514	28882	66108	8.01	32.20	1270	17135	39706	6.90	31.67	21	341	1237	5.80	22.64	157214					

Tabel 7A. Aantallen slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

CONFLICT TYPE	GEWOON KRUISPUNT						T/Y KRUISING						ROTONDES						TOTAAL			
	OVL		ZHS		REST		E1		E2		OVL		ZHS		REST		E1			E2		
EENIJDIG	13.33	42.04	48.89				83.33	54.87	47.26				3.33	3.09	3.85							
VAST VOORW	33.91	38.96	41.90				61.74	57.62	53.07				4.35	3.42	5.02							
REST ENKELV	17.50	31.98	39.06				62.50	66.50	59.42				0.00	1.52	1.52							
Sub totaal enkel	27.32	39.76	44.88				48.85	57.07	50.91				3.83	3.18	4.20							
SNELVERKEER																						
ONDERLING	78.94	72.77	69.86				21.06	26.94	29.36				0.00	0.29	0.78							
MET BRONF-FIETS	61.17	58.39	58.54				38.43	41.12	40.66				0.40	0.49	0.80							
MET VOETGANGER	67.25	61.88	63.12				32.46	37.27	35.63				0.29	0.84	1.25							
BROMFIETS-FIETS																						
ONDERLING	25.00	49.08	50.42				75.00	50.00	48.42				0.00	0.92	1.15							
MET VOETGANGER	85.71	58.81	63.87				14.29	38.96	33.70				0.00	2.23	2.43							
OVERIG 2 OBJ	55.06	55.34	60.11				44.04	42.36	37.76				0.92	2.30	2.13							
Sub totaal 2 obj	67.20	63.05	62.47				32.53	36.44	36.66				0.27	0.51	0.87							
2 EN MEER OBJ	71.67	70.23	67.77				27.42	28.96	31.13				0.91	0.81	1.10							
TOTAAL	66.05	62.30	61.75				33.39	36.96	37.09				0.55	0.74	1.16							

Tabel 7B. Rijpercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

CONFLICT TYPE	GEWOON KRUISPUNT						T/Y KRUISING						ROTONDES						TOTAAL			
	OVL		ZHS		REST		E1		E2		OVL		ZHS		REST		E1			E2		
EENIJDIG	0.32	1.88	2.81				3.93	4.14	4.52				9.52	11.73	11.80							3.28
VAST VOORW	1.55	2.41	2.42				5.59	6.00	5.11				23.81	17.89	15.52							3.64
REST ENKELV	0.12	0.22	0.39				0.39	0.76	0.98				0.00	0.88	0.81							0.55
Sub totaal enkelv	1.99	4.51	5.62				9.91	10.91	10.61				33.33	30.50	28.13							7.46
SNELVERKEER																						
ONDERLING	30.27	31.82	33.00				15.97	19.85	23.10				0.00	10.56	19.73							28.51
MET BRONF-FIETS	36.91	40.14	39.38				45.87	47.65	45.54				28.57	28.74	28.78							41.88
MET VOETGANGER	9.15	4.82	2.97				8.73	4.90	2.79				4.76	5.57	3.15							3.63
BROMFIETS+FIETS																						
ONDERLING	0.24	2.59	3.51				1.42	4.45	5.61				0.00	4.11	4.28							3.91
MET VOETGANGER	0.24	0.82	0.87				0.08	0.92	0.77				0.00	2.64	1.78							0.84
OVERIG 2 OBJ	2.39	1.17	1.36				3.78	1.51	1.43				4.76	4.11	2.59							1.41
Sub totaal 2 obj	79.20	81.36	81.10				75.85	79.26	79.23				38.10	55.72	60.31							80.18
2 en meer obj	18.81	14.14	13.28				14.24	9.83	10.16				28.57	13.78	11.56							12.36
TOTAAL	100.00	100.00	100.00				100.00	100.00	100.00				100.00	100.00	100.00							100.00

Tabel 7C. Kolompercentages slachtoffers per type kruising en ernst letsel naar conflicttype, 1978 t/m 1983.

