

TOEPASSING VAN ROTONDES

Informatie en aanbevelingen betreffende het toepassen van rotondes, in het bijzonder als alternatief voor kruispunten met verkeerslichtenregeling

R-89-56

J. van Minnen

Leidschendam, 1989

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding

2. Probleemstelling en aanpak
 - 2.1. Begrippen
 - 2.2. Probleemstelling
 - 2.3. Aanpak

3. Veiligheid
 - 3.1. Uit de literatuur
 - 3.2. Waarnemingen
 - 3.3. Ongevallengegevens

4. Capaciteit
 - 4.1. Het begrip "capaciteit"
 - 4.2. De enkelstrooksrotonde
 - 4.3. De tweestrooksrotonde

5. Diverse facetten
 - 5.1. Afmetingen en vormgeving
 - 5.2. Plaats en voorrangsregeling (brom)fietsers
 - 5.3. Regels en borden

6. Discussie omtrent toepassing

7. Conclusies en aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 7

1. INLEIDING

Al geruime tijd bestaat de wens ook in het verkeer te "dereguleren" door het terugbrengen van de aantallen regels, voorschriften en borden.

Bij de opzet van het nieuwe Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens is dit een belangrijk uitgangspunt geweest; waar enigszins mogelijk dient de keuze van het gedrag in het verkeer overgelaten te worden aan het inzicht en de verantwoordelijkheid van de weggebruiker. In dit streven past een terughoudend beleid ten aanzien van het toepassen van verkeerslichten in verkeersregelinstallaties (VRI) en het zoeken naar alternatieven. Ook andere overwegingen zoals het toenemend negeren van rood licht en de betrekkelijk hoge kosten van een moderne VRI zullen bijgedragen hebben aan de herwaardering van rotondes als oplossing voor drukke en/of gevaarlijke kruispunten.

Een andere ontwikkeling in de verkeerswereld is de herontdekking van de rotonde als mogelijke kruispuntvorm. Sinds ongeveer een jaar of drie is de belangstelling voor deze mogelijkheid sterk gegroeid, oorspronkelijk vermoedelijk ingegeven door de ontwikkelingen in Frankrijk en daarna gestimuleerd door de Rijksoverheid. De hernieuwde belangstelling betreft in de eerste plaats een "nieuw" type rotonde: het kleine plein met een enkele rijstrook op plein toeritten, en met voorrang voor het verkeer op het plein (Van Minnen, 1988). Dit type rotonde werd naar voren geschoven als een geschikte mogelijkheid om door snelheidsvermindering de veiligheid te verbeteren en de oversteekbaarheid voor voetgangers te bevorderen. Naarmate dit type rotonde meer werd toegepast - er zijn er momenteel ca. 50 - groeide het inzicht dat daarmee een vlotte verkeersafwikkeling kan worden bereikt en dat de capaciteit aanzienlijk is.

Brengt men de wens tot deregulering en de ervaring met nieuwe rotondes samen, dan ligt het voor de hand dat men zich afvraagt in hoeverre de rotonde ook als alternatief voor verkeerslichten in aanmerking komt. Dat heeft geleid tot twee verzoeken aan de SWOV:

1. Breidt het voorgenomen onderzoek naar de ervaringen met rotondes via voor- en nastudies uit tot (zeer) drukke locaties, ook buiten de bebouwde kom, en vooral in die situaties waar een rotonde als alternatief voor verkeerslichten wordt toegepast.
2. Breng een consult uit betreffende de toepassingsmogelijkheden van rotondes als alternatief voor verkeerslichteninstallaties, gebaseerd op bestaande kennis en informatie.

Over het eerstgenoemde onderzoek zal apart worden gerapporteerd. In dit consult zijn reeds enkele uitkomsten van het genoemde onderzoek verwerkt. Daarnaast is gebruik gemaakt van diverse informatiebronnen zoals een eerdere studie over rotondes (Van Minnen, 1988), literatuur uit binnen- en buitenland en van de ervaring die inmiddels met de nieuwe rotondes is opgedaan. Ook de resultaten van een recente theoretische studie naar de positie en voorrangsregeling van het (brom)fietsverkeer op rotondes (Veling & Vos, 1988) zijn in dit consult verwerkt.

Na deze Inleiding worden in Hoofdstuk 2 de probleemstelling en de aanpak aan de orde gesteld. In de Hoofdstukken 3, 4 en 5 worden de veiligheid, de capaciteit en een aantal andere facetten van de problematiek besproken. In Hoofdstuk 6 worden de toepassingsmogelijkheden besproken en bediscussieerd en in Hoofdstuk 7 volgen tenslotte enkele conclusies en aanbevelingen.

2. PROBLEEMSTELLING EN AANPAK

2.1. Begrippen

Er is de laatste tijd veel gediscussieerd over het gebruik en de betekenis van een aantal begrippen zoals rotonde, mini-rotonde, rotondje, plein en verkeersplein. Deze discussie is zeker nog niet voorbij en van tijd tot tijd zal dit aanleiding blijven geven tot verwarring. Om althans in dit rapport deze verwarring zoveel mogelijk te voorkomen zal in het kort worden aangegeven wat met de verschillende begrippen wordt bedoeld.

Onder een rotonde wordt verstaan een min of meer cirkelvormig plein met een fysiek aanwezig, onberijdbaar middenplein en tenminste drie aansluitende wegen waarbij alle verkeer op het plein slechts in de voorgeschreven richting mag rijden (bij ons linksom, in landen waar men links rijdt rechtsom).

De term rotonde wordt dus gebruikt ongeacht de voorrangregeling en geldt in principe ook als er een VRI aanwezig is. Fietsverkeer in twee richtingen op een vrijliggend fietspad doet volgens deze definitie geen afbreuk aan het begrip rotonde.

Een keerlus is geen rotonde en een cirkelvormige verwijding binnen een weg (snelheidsremmer) evenmin omdat er minder dan drie wegen aansluiten.

Een kruising met in het midden een "stip" of een andere voorziening, waar het linksafslaande verkeer voorlangs mag gaan, is geen rotonde, ongeacht het feit of de voorziening in het midden overrijdbaar is.

Een verkeersplein is een rotonde die als zodanig is aangeduid door het betreffende verkeersbord (bord 15, een rond blauw bord met drie witte pijlen in cirkelvormige opstelling). Dit bord regelt de rijrichting en voegt daar nog enkele regels aan toe betreffende het voorsorteren en rechts inhalen. Uit jurisprudentie valt af te leiden dat de rijbaan van een verkeersplein opgevat dient te worden als een doorlopende gebogen weg waar aan de rechterkant zijwegen op aansluiten. Dit betekent dat verkeer dat de rotonde verlaat in feite afslaand verkeer is en dus de doorgang moet vrijlaten voor "rechtdoorgaand" verkeer op de rotonde.

Het begrip minirotonde wordt zowel gebruikt om de nieuwe, betrekkelijk kleine rotonde aan te duiden als voor de kruising met stip waar linksaf-

slaand verkeer voor langs mag. Het begrip is oorspronkelijk afgeleid van het Engelse "mini roundabout", maar in dat geval heeft het "mini" uitsluitend betrekking op de diameter van het middenpleintje, dat dan in het algemeen kleiner is dan 4 meter (zie Afbeelding 1). De buitendiameter kan betrekkelijk groot zijn en er is een verplichte rijrichting voor alle verkeer, op dezelfde wijze als bij de "normal roundabout".

Gezien de vele betekenissen die er aan worden toegekend is het gebruik van de term minirotonde af te raden.

Het rotondje is een naam die in enkele gevallen werd gebezigd voor de eerder genoemde kruising met stip of andere voorziening in het midden. Hoewel de naam op deze wijze wel éénduidig is kan er toch verwarring ontstaan met de kleine rotonde, waarvoor wel een verplichte rijrichting geldt.

Tenslotte het woord plein; dit is een algemeen begrip waar niet alleen de rotondes, inclusief de verkeerspleinen onder kunnen vallen, maar ook veel andersoortige pleinen, zoals marktplainen en zelfs die zonder rijdend verkeer. Ter afwisseling van het woord rotonde kan "plein" wel gebruikt worden mits uit de context al voldoende duidelijk is waar het in dat geval om gaat.

2.2. Probleemstelling

De toepassing van rotondes is een actueel vraagstuk dat de laatste tijd veel aan de orde komt; dat blijkt uit het feit dat de laatste paar jaar ongeveer 50 nieuwe rotondes zijn gerealiseerd, terwijl er daarnaast nog een aantal op stapel staat. De wegbeheerders die in het recente verleden nieuwe pleinen hebben gerealiseerd, zijn daar meestal zeer tevreden over. Deze overwegend positieve ervaringen en de betrekkelijk geringe kosten hebben de rotonde populair gemaakt, hoewel zeker nog niet alle vragen rond de toepassing en uitvoering afdoende beantwoord kunnen worden. Vooral de plaats en voorrangsregeling van de fietser en de bromfietser geven aanleiding tot veel discussie en verschil van opvatting over de meest geschikte oplossingen.

In dit consult gaat het in de eerste plaats om de rotonde als alternatief voor een verkeersregelininstallatie (VRI). Er zijn twee belangrijke redenen om een VRI te plaatsen:

- capaciteit: de totale hoeveelheid te verwerken verkeer in samenhang met de verdeling van de afslaande bewegingen is zodanig dat die niet meer via de geldende voorrangsregels of met een voorrangsregeling op een behoorlijke manier kan worden verwerkt;

- veiligheid: als gevolg van diverse omstandigheden zoals het uitzicht, de gereden snelheden of de hoge intensiteiten, vinden er te veel (ernstige) verkeersongevallen plaats.

Soms is één van beide argumenten van toepassing, soms beide; in veel gevallen zal een hoge intensiteit ook gepaard gaan met veel ongevallen. Het zal daarom duidelijk zijn dat bij het vraagstuk van de toepassing van rotondes niet alleen de veiligheid, maar tenminste ook de capaciteit aandacht verdient. Wanneer bijvoorbeeld een rotonde uit veiligheidsoverwegingen een goed alternatief zou zijn voor een VRI dan zal de toepassing toch afhankelijk blijven van de vraag of de capaciteit wel voldoende is.

De ervaringen met de veiligheid van nieuwe rotondes in Nederland zijn tot nu toe overwegend positief, hoewel nog enige voorzichtigheid geboden is als het gaat om de veiligheid van bepaalde categorieën weggebruikers, met name de tweewielers. Dit gegeven naast de gunstige tot zeer gunstige ervaringen in andere landen, zoals die uit de literatuur naar voren komen, zouden deze oplossing als alternatief voor een VRI zeker aantrekkelijk maken.

Wat de capaciteit betreft heeft de nieuwe éénstrooksrotonde inmiddels laten zien wat hij waard is: meer dan 2000 motorvoertuigen per uur met daarnaast nog enkele honderden fietsers en bromfietzers is zeker niet gering.

Daarnaast zijn er in ons land diverse "oude" rotondes met soms nog aanzienlijk meer verkeer dan de genoemde 2000 mvt per uur, zoals het Europa-plein in Leeuwarden of het Tongerseplein in Maastricht. Het gaat dan om betrekkelijk grote en ruime pleinen waar de normale voorrangsregels van toepassing zijn. Dit soort erg drukke pleinen functioneert meestal niet naar tevredenheid, zowel wat de capaciteit als de veiligheid betreft. Het is daarom begrijpelijk dat ze in het verleden nogal eens werden gereconstrueerd en/of van een VRI voorzien. De voor de hand liggende vraag is of deze pleinen wel zouden voldoen als er voorrang voor het pleinverkeer zou worden ingesteld.

Er zijn of waren in Nederland enkele grotere pleinen met voorrang voor het verkeer op het plein zoals in Venlo en in Zaanstad. In Zaanstad waren er toch wat problemen, vooral met het fietsverkeer; bij een reconstructie werd onder meer het aantal armen van 8 naar 4 teruggebracht en overdag functioneert nu een VRI. In Venlo is de situatie ook niet in alle opzichten gunstig; er vinden betrekkelijk veel ongevallen plaats, hoewel gemiddeld niet ernstig. Het is niet voldoende duidelijk wat de oorzaken zijn van de gesignaleerde problemen. Onder meer worden genoemd:

- de oplossing voor de fietsers en bromfietsers is niet optimaal;
- de toepassing van tangenciale toeritten strookt niet met de voorrangssituatie;
- Nederlandse weggebruikers hebben te weinig ervaring met dit type rotonde.

Tegenover deze minder gunstige ervaringen staan de resultaten uit andere landen waar bijna uitsluitend rotondes met meer dan één rijstrook worden toegepast, in combinatie met voorrang voor het pleinverkeer. Zowel over de capaciteit als over de veiligheid is men meestal zeer positief. Dus blijft de onzekerheid over de vraag of het ook in ons land verantwoord is ruimere rotondes toe te passen in situaties met een groot verkeersaanbod. Het is ook een actuele vraag die de laatste tijd door vele wegbeheerders wordt gesteld, die op zoek zijn naar geschikte oplossingen voor drukke kruispunten. Maar ook als deze vraag bevestigend beantwoord kan worden dan blijven nog diverse andere vragen over, zoals de capaciteit van deze grotere rotondes, het maximum aantal toe te passen rijstroken en de meest geschikte oplossing voor de fietsers en bromfietsers.

Andere vragen, die betrekking hebben op de toepassing, zijn vaak dezelfde die ook worden gesteld als een kleine rotonde aan de orde is, zoals:

- moet er sprake zijn van aansluitende wegen van gelijke orde?
- mogen de verkeersintensiteiten op de aansluitende wegen belangrijk verschillen?
- is een rotonde wel geschikt als er veel linksafslaand verkeer is of als er een duidelijk dominerende verkeersstroom voorkomt?
- is een rotonde op zijn plaats op de grens van de bebouwde kom?
- wanneer kan een rotonde op een kruising buiten de bebouwde kom worden toegepast?

De feitelijke probleemstelling voor dit consult kan dus worden samengevat in de vraag in hoeverre het mogelijk is op grond van beschikbare informatie

de gestelde vragen te beantwoorden. Voorzover die informatie voldoende is kunnen aanbevelingen betreffende de toepassing en uitvoering van rotondes worden opgesteld. Het ontbreken van voldoende informatie kan aanleiding zijn tot aanbevelingen voor nader onderzoek.

2.3. Aanpak

De ervaring met nieuwe rotondes is nog beperkt en betreft dan uitsluitend rotondes met één rijstrook. En ervaring met ruimere rotondes met voorrang voor het pleinverkeer is zeer gering en niet in alle opzichten relevant. De benodigde informatie zal dus voor een belangrijk deel van andere bronnen moeten komen. Daartoe is gebruik gemaakt van:

- de uitkomsten van een eerdere studie over rotondes (Van Minnen, 1988);
- meer recente literatuur uit binnen- en buitenland;
- recente ongevalgegevens van kruispunten en verkeerspleinen;
- resultaten van twee nastudies uit het deelproject "voor- en nastudies";
- ervaringen van wegbeheerders met de nieuwe rotondes;
- de theoretische studie naar positie en voorrangsregeling van het (brom)-fietsverkeer op rotondes (Veling & Vos, 1988);
- resultaten van capaciteits- en wachttijdberekeningen;
- overige informatie uit persoonlijke contacten of eigen observaties.

Bij de bespreking van de verzamelde informatie is gekozen voor een methode waarbij een aantal facetten van de (toepassing van) rotondes achtereenvolgend aan de orde komen onder verwijzing naar de gebruikte bronnen. De behandelde facetten betreffen in de eerste plaats de veiligheid en de capaciteit; daarnaast worden zaken zoals afmetingen, vormgeving, positie (brom)fietsers, verkeersregels en borden aan de orde gesteld. De samenhang tussen deze onderwerpen is vaak zo sterk aanwezig dat niet elk facet volledig geïsoleerd behandeld kan worden; waar nodig zal op deze onderlinge relaties worden gewezen. Ook de "toepassing van rotondes" komt hier en daar ter sprake, maar dit is een zo wezenlijk onderdeel van dit consult dat daaraan een apart hoofdstuk is gewijd.

3. VEILIGHEID

3.1. Uit de literatuur

Al geruime tijd staat de rotonde bekend als een relatief veilige kruispuntvorm. De belangrijkste oorzaken voor deze veiligheid zijn zo goed als zeker de eenvoud van de conflictsituaties (waardoor minder ongevallen) en de lage snelheden (waardoor minder en minder ernstige ongevallen). Bij elke beoordeling van de veiligheid van rotondes zijn tenminste deze beide criteria van essentieel belang.

Uit een eerdere studie (Van Minnen, 1988) was gebleken dat de verkeersveiligheid van rotondes in het algemeen gunstig afsteekt tegen die van andere kruispuntvormen en in bepaalde gevallen zelfs gunstiger dan van kruispunten met een VRI. Ook bij hogere intensiteiten en de daarbij behorende ruimere rotondes is de veiligheid nog steeds goed te noemen. Wel is gebleken dat het opvoeren van de capaciteit niet te ver kan worden doorgezet, omdat dan de veiligheid teveel in het gedrang komt. Dat bleek onder meer uit de resultaten van onderzoek in Engeland: de nieuwere "mini roundabout" met brede rijbaan en sterk uitwaaierende toeritten was aanzienlijk minder veilig dan de klassieke roundabout met grotere diameter en in het algemeen rijbanen met twee rijstroken. De verschillen zijn ook verklaarbaar; een mini roundabout heeft een (te) klein middeneiland zodat de snelheid te weinig wordt afgeremd en een (te) brede rijbaan die een complex verkeersbeeld met veel weef- en zwalkbewegingen op het plein veroorzaakt. Het gevolg was dat in Engeland werd geadviseerd de breedte van de rijbaan op de rotonde tot maximaal 11 m te beperken en meer radiaal gerichte toeritten toe te passen. Adviezen uit Frankrijk waren nagenoeg identiek; daar werd een maximum rijbaanbreedte van 10 m genoemd en werden ook radiale toeritten geadviseerd.

Nieuwere informatie bevestigt de eerder genoemde uitkomsten. Uit een studie in Engeland blijkt dat sterkere afremming van het verkeer door middel van kleinere kromtestralen in het autotraject ("path deflection") gunstig is voor de veiligheid (Kimber, 1988). Franse informatie wijst erop dat te brede en tangenciale toeritten moeten worden vermeden en dat de diameter van de rotonde bij voorkeur niet groter dan 50 m moet zijn (Gambard, 1988). De geringere ernst van ongevallen op rotondes blijkt ook uit een Frans

onderzoek: op rotondes buiten de bebouwde kom is er sprake van 2 doden per 100 letselongevallen tegenover 15 doden per 100 letselongevallen op voorrangskruisingen (Gambard, 1988).

Maar niet in alle opzichten waren de geluiden over de veiligheid positief en dat gold vooral de tweewielers en in het bijzonder de fietsers op rotondes in Engeland. Het risico voor de fietser om gewond te raken bij een rotondepassage zou 15 maal zo groot zijn als voor een automobilist (Van Minnen, 1988). Inmiddels zijn er nieuwere cijfers waaruit blijkt dat tweewielers op rotondes hebben een 4 maal zo grote kans op een letselongeval hebben dan automobilisten, maar op voorrangskruisingen is sprake van een 6 maal zo grote kans (Kimber, 1988). Ook onderzoek in Australië geeft minder positieve uitkomsten voor fietsers (Jordan, 1985). Na de aanleg van een aantal rotondes neemt het aantal ongevallen met fietsers op die locaties toe met 28% (de toename was niet significant). Maar er zijn geen gegevens over expositie en er wordt zelfs niet vermeld welk type kruispunt en voorrangregeling het in de voorsituatie betrof.

Het blijft echter moeilijk uit dit soort informatie conclusies voor de Nederlandse situatie te trekken omdat de intensiteit van het fietsverkeer hier zoveel groter is; de weggebruiker zal daardoor veel eerder bedacht zijn op een ontmoeting met fietsverkeer. Een ander belangrijk verschil betreft de in Engeland veel toegepaste tangentiale en brede toeritten die hogere naderingssnelheden mogelijk maken en minder overzichtelijk zijn. Dat is dan wellicht ook de verklaring voor het feit dat 50% van de ongevallen met fietsers te maken had met oprijdend snelverkeer in conflict met fietsers op de rotonde. In Australië werd zelfs een vergelijkbaar percentage van 74% vastgesteld! (Jordan, 1985).

3.2. Waarnemingen

In het begin van dit hoofdstuk is al gewezen op het belang van de lage naderingssnelheden voor de veiligheid. De resultaten van snelheidsmetingen geven daarom ook enige indicatie van de te verwachten veiligheid. Uit waarnemingen in de USA was al gebleken dat een rotonde tot de beste snelheidsremmers behoort en dat de snelheidsverlaging zich soms uitstrekt tot ver in de aansluitende wegvakken (Van Minnen, 1988). Inmiddels zijn er ook enkele resultaten van waarnemingen op twee locaties in Nederland.

De eerste betreft een pakket maatregelen op een locatie in de gemeente Lossen, waar men onder meer de snelheid op de belangrijkste weg wilde verlagen (DHV/DVK, 1989). In eerste instantie werd de rijbaan versmald door de aanleg van fietsstroken en parkeerkommen. Er werd daarna een zeer geringe verlaging van de snelheden vastgesteld die nauwelijks significant genoemd kan worden. De aanleg van een rotonde op het kruispunt zorgde voor een daling van de gemiddelde wegvaksnelheden met 7 tot 10 km/uur.

In het andere geval betreft het de (nog niet gepubliceerde) resultaten van een voor- en nastudie op een locatie in Sittard waar een voorrangskruising door een rotonde werd vervangen. De snelheden werden gemeten op de twee takken van de voorrangsweg waarop een maximum snelheid van 50 km/uur van toepassing is. Op 100 m voor het kruispunt werd geen merkbare daling van de snelheden geconstateerd. Op 100 m voorbij het kruispunt daalde de gemiddelde snelheid in één geval met ruim 4 km/uur; in het andere geval werd geen daling waargenomen.

Op afstanden van ca. 35 m voor en voorbij het kruispunt daalden de gemiddelde snelheden met 5 tot 9 km/uur. Ook de spreiding in snelheden nam drastisch af; dit laatste is verklaarbaar omdat in de oude situatie met voorrangskruising uitsluitend afslaand verkeer moest afremmen, terwijl bij de rotonde al het naderend verkeer snelheid moet verminderen.

Een andere vorm van waarnemingen betreft de conflictobservaties die onder meer op een nieuwe rotonde in Wassenaar werden uitgevoerd (nog niet gepubliceerd). Soortgelijke waarnemingen in de voorperiode zijn niet voorhanden zodat een directe vergelijking niet mogelijk is. Ook bieden de waargenomen conflicten nog niet voldoende houvast om de omvang van de onveiligheid vast te stellen, maar wel blijkt daaruit waar en tussen welke weggebruikers zich conflicten voordoen. Het gaat in dit geval om een drukke rotonde met meer dan 2000 auto's en 300 à 400 fietsers in het spitsuur. De fietsers rijden op een in rood uitgevoerde fietsstrook aan de zijkant van de rijbaan van de rotonde. In de eerste plaats valt het op dat het aantal conflicten betrekkelijk groot is, zij het gemiddeld niet ernstig; ook nu komt weer de relatie met de snelheid naar voren. Nagenoeg alle waargenomen conflicten behoorden tot één van de volgende twee typen:

A. Door snelverkeer dat de rotonde oprijdt wordt geen of te laat voorrang verleend aan verkeer op de rotonde (zowel fietsers als auto's). Hoewel een

volledige analyse nog niet heeft plaats gevonden zijn er toch al aanwijzingen voor de factoren die van invloed zijn op het ontstaan van dit type conflict. In de eerste plaats is dit de onbekendheid met de voorrangssituatie; de rotonde was pas enkele maanden oud en de minste conflicten vonden plaats op de route waar veel dagelijkse weggebruikers passeren. Daarnaast lijkt de aard van de verkeersstroom van belang omdat het verkeer in een enigszins dominerende stroom wat minder geneigd is voorrang te verlenen. Tenslotte kan worden geconstateerd dat verkeer dat relatief lang moet wachten om de rotonde op te kunnen rijden genoeg neemt met een kleinere "gap" in de verkeersstroom en soms de toegang tot de rotonde min of meer forceert.

B. Autoverkeer dat de rotonde afrijdt laat niet de doorgang vrij voor (brom)fietsers op de fietsstrook rechts naast hen die de rotonde blijven volgen. Natuurlijk kan hier gewezen worden op uitzichtproblemen, omdat de automobilist schuin rechts naar achteren moet kijken en zeker bij vrachtauto's kan er sprake zijn van de bekende dode hoek. Maar er is in dit geval nog iets meer aan de hand. Bij rotondes van dit soort afmetingen komt het vaak voor dat afslaand verkeer wordt geconfronteerd met doorgaand fietsverkeer dat nog maar net de rotonde is opgereden via de voorafgaande tak. De kans wordt daardoor groter dat dit fietsverkeer niet door de automobilist wordt opgemerkt (Westerveld, 1988). Ook kan het voorkomen dat de automobilist in de veronderstelling verkeert dat hij, komende van de tegenoverliggende tak, in feite rechtuit rijdt. De duidelijke cirkelvorm van het plein, geaccentueerd door de rode fietsstrook, verkleint wellicht de kans op dit soort vergissingen. Maar het veelvuldig niet gebruiken van de richtingaanwijzer door de afslaande automobilist is een aanwijzing dat misverstand niet uitgesloten mag worden. De fietser ervaart ook de problematiek van deze situatie en reageert daarop soms door met hand uitsteken aan te geven dat men rechtdoor gaat, soms door af te zien van het recht om door te rijden.

Eigen waarnemingen bij het berijden en observeren van een aantal nieuwe rotondes bevestigen de uitkomsten van de hiervoor besproken systematische conflictobservaties. De primaire indruk dat er op deze pleinen nogal eens wat mis dreigt te gaan, gaat geleidelijk over in de constatering dat het in het algemeen toch wel weer goed afloopt, mede als gevolg van de lage snelheden.

3.3. Ongevallengegevens

De onveiligheid van rotondes in vergelijking met andere kruispuntvormen aan de hand van ongevallengegevens over de periode 1978 t/m 1983 is reeds eerder aan de orde gesteld (Van Minnen, 1988). Uit de samenvatting van het betreffende Hoofdstuk 5 lichten we het volgende:

- de onveiligheid van rotondes kan niet goed worden vergeleken met die van andere kruispunttypen omdat expositiegegevens ontbreken;
- ongevallen op rotondes zijn in het algemeen minder ernstig;
- op rotondes komen relatief veel slachtoffers voor onder inzittenden van bussen en vrachtwagens en onder motorrijders;
- op rotondes vinden relatief veel enkelvoudige letselgevallen plaats en relatief veel bij duisternis voorzover het snelverkeer betreft.

Bij deze uitkomsten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst. Het gaat hier om ongevallen waarbij is vermeld dat ze op "verkeerspleinen" plaats vonden. Het was reeds bekend dat ook de rotondes die formeel geen verkeersplein zijn, daaronder werden gerekend. Inmiddels is duidelijk geworden dat sommige kruisingen tot de verkeerspleinen worden gerekend hoewel ze in geen enkel opzicht aan de definitie van rotondes voldoen. Het feitelijke aantal ongevallen en slachtoffers op rotondes zal daarom wat lager zijn dan de cijfers aangeven.

De vermelde gegevens hebben bijna uitsluitend betrekking op de "oude" rotondes met meestal tangentiale toeritten en brede rijbanen met twee of meer rijstroken; de geconstateerde verschillen bij bepaalde categorieën weggebruikers en ongevallen moeten daarom ook in dat licht worden gezien. Een eventueel groter risico voor (brom)fietzers ten opzichte van de andere kruispuntvormen, zoals uit enkele buitenlandse onderzoeken afgeleid kan worden, zou volgens deze ongevallencijfers niet van toepassing zijn voor de Nederlandse situatie.

Het is de vraag of het zinvol is opnieuw naar dit soort ongevallengegevens te kijken, inclusief recentere informatie. Nu de aandacht vooral uitgaat naar de nieuwe pleinen is de totale onveiligheid van alle rotondes (plus wat nog meer daartoe wordt gerekend) niet meer maatgevend. Bovendien is er vermoedelijk in 1985 iets mis gegaan met de registratie zoals uit de volgende tabel valt af te leiden.

Jaar	Slachtoffers op verkeerspleinen		
	doden	ziekenhuisopnamen	overige gewonden
1983	7	67	183
1984	4	54	160
1985	0	5	21
1986	1	39	163
1987	4	41	172
1988	2	38	169

Vanaf 1986 maken de geregistreerde aantallen slachtoffers weer een "regelmatige" indruk; of ze ook enigszins betrouwbaar zijn en vergelijkbaar met voorgaande perioden, is niet duidelijk. Vergelijking van de geregistreerde aantallen slachtoffers in de periode 1986 t/m 1988 met die uit eerder onderzoek, 1978 t/m 1983, levert de volgende uitkomsten op:

- het aandeel doden op rotondes is gedaald van 0,6% naar 0,2%;
- het aandeel ziekenhuisopnamen daalde van 0,7% naar 0,3% en
- het aandeel overige gewonden daalde van 1,2% naar 0,5%.

Een feitelijke daling van het aandeel slachtoffers op rotondes is niet onwaarschijnlijk, maar een daling van deze omvang kan moeilijk verklaard worden.

Veel meer relevante informatie zou kunnen worden verkregen uit een gedetailleerde vergelijking en analyse van ongevalgegevens van de locaties waar nieuwe rotondes zijn aangelegd. Een dergelijke studie wordt overwogen, maar valt verder buiten het kader van dit consult. Enige aanwijzingen komen van de ervaringen van wegbeheerders met de nieuwe rotondes. Die informatie is zeker niet compleet, maar tot nu toe ziet het er naar uit dat de resultaten overwegend positief zijn. Berichten hierover variëren van één of enkele, meestal minder ernstige, ongevallen in de naperiode tot geen enkel geregistreerd ongeval in het eerste jaar na de reconstructie. Omdat pleinen met twee rijstroken volgens het nieuwe rotondeconcept in ons land nog niet voorkomen kan uiteraard nog niets over de onveiligheid op dit type pleinen worden gemeld.

Samengevat: "rotondes nieuwe stijl" kunnen door het concept in principe als veilige oplossingen beschouwd worden; snelheidsmetingen bevestigen die veronderstelling, conflictobservaties doen in eerste instantie twijfel rijzen, maar feitelijke ongevalgegevens wijzen tot nu toe duidelijk in positieve richting.

"Rotondes nieuwe stijl" met twee rijstroken komen in ons land nog niet voor. De conflictsituaties zijn in dat geval wat gecompliceerder, maar het lage snelheidsniveau is nog steeds van toepassing zodat er een reële kans bestaat dat ook deze uitvoering voldoende veilig zal zijn. Resultaten van buitenlands onderzoek wijzen in die richting.

4. CAPACITEIT

4.1. Het begrip "capaciteit"

Het begrip "capaciteit" in de verkeerskunde bestaat al lang en wordt gebruikt om aan te geven hoeveel verkeer per tijdeenheid maximaal kan worden verwerkt door een onderdeel van de infrastructuur (weg, wegvak, rijbaan, kruispunt etc.). Maar zo lang die capaciteit niet nader wordt gedefinieerd is het een nauwelijks bruikbaar begrip; in het verleden zijn daarom al varianten bedacht zoals de theoretische en de praktische capaciteit. Of het begrip wordt omzeild door te spreken over afwikkelingsniveaus. Gesteld kan worden dat de maximale hoeveelheid te verwerken (snel)verkeer onder meer afhangt van:

- de snelheid en samenstelling van het verkeer
- de weersomstandigheden (bij regen bijvoorbeeld is de capaciteit geringer)
- de tijdeenheid gedurende welke de capaciteit gehaald moet kunnen worden
- de mate van instabiliteit die bij hoge intensiteiten kan optreden
- het gedrag van de weggebruikers dat per land en per streek kan variëren
- het tijdstip en dagtype (werkdag, zondag, spitsuur etc.)
- de verdeling van het verkeersaanbod en de percentages afslaand verkeer (bij kruispunten e.d.)
- de hoeveelheid langzaam verkeer en/of overstekende voetgangers.

Uit deze opsomming, die zeker niet uitputtend is, blijkt dat het weinig zin heeft over de capaciteit van rotondes te spreken. Toch is het een begrip waar de wegbeheerder of ontwerper vaak niet omheen kan als de vraag zich voordoet of in een concreet geval de beoogde rotonde geschikt zal zijn om het te verwachten verkeersaanbod te verwerken. En zeker als we de rotonde zien als alternatief voor een VRI zal duidelijk moeten zijn hoeveel verkeer kan worden verwerkt, gegeven een bepaalde rotonde. Of omgekeerd: gegeven het verkeersaanbod, aan welke eisen moet dan de rotonde voldoen om dat verkeer te kunnen verwerken.

Om het begrip wat beter hanteerbaar te maken voeren we de volgende beperkingen in:

1. Zonder nadere aanduiding heeft de capaciteit steeds betrekking op een vol uur; waarnemingen over kortere perioden kunnen tot belangrijk hogere maximum intensiteiten leiden.

2. De intensiteit wordt uitgedrukt in auto's per uur, wanneer er veel vrachtverkeer is, bijvoorbeeld meer dan 5%, dan is het verstandig om over te gaan op personenauto-eenheden (pae per uur).
3. Zonder nadere aanduiding heeft de capaciteit betrekking op normale omstandigheden zoals daglicht en droog weer.
4. Om tot bruikbare waarden te komen stellen we dat de capaciteit van een kruising, rotonde of onderdeel daarvan, wordt bereikt als de gemiddelde wachttijd van alle passerende auto's de waarde van 30 s bereikt.
5. Bij rotondes wordt bij voorkeur gewerkt met de capaciteit per "conflict-punt", dat is elke plaats waar verkeer op de rotonde en toerijgend verkeer samenvoegt (een rotonde met vier takken kent in het algemeen ook vier conflictpunten).
6. De capaciteit van een rotonde is een globale aanduiding van de hoeveelheid autoverkeer dat door een rotonde kan worden verwerkt wanneer het verkeersaanbod redelijk gelijk verdeeld is over de toeritten (stel maximaal een factor 2 tussen hoogste en laagste aanbod), de percentages rechts- en linksafslaand verkeer niet abnormaal zijn (tussen 10% en 30%) en het fietsverkeer geen belangrijke invloed heeft (op vrijliggende rijwielpaden met voorrang voor het autoverkeer of minder dan ca. 200 fietsers per uur als ze op de rotonde rijden).

Hierna zal besproken worden wat bekend is over de capaciteit van kleine en grotere rotondes; zowel uitkomsten van berekeningen als van waarnemingen komen daarbij aan de orde. Er zal uitsluitend aandacht worden besteed aan rotondes met voorrang voor het rotondeverkeer, omdat deze regeling inmiddels als meest doeltreffende is erkend en omdat bij rechts voorrang de capaciteit van een rotonde een moeilijk te hanteren begrip is als gevolg van de bij hoge intensiteiten optredende instabiliteit ("dichtslibben").

4.2. De enkelstrooksrotonde

De "rotonde nieuwe stijl" met een enkele rijstrook zowel op de rotonde als op de toeritten, wordt in andere landen weinig toegepast. Informatie over de capaciteit zal dus in de eerste plaats uit eigen land moeten komen. De vele formules en computerprogramma's voor berekening van de capaciteit, zoals die in de afgelopen tientallen jaren vooral in Engeland werden ontwikkeld, zijn dan ook minder geschikt gebleken voor toepassing op onze nieuwe rotondes. Nemen we bijvoorbeeld de veel toegepaste formules van

Kimber (1988), dan blijkt dat daarin op geen enkele manier rekening wordt gehouden met de rijbaanbreedte of het aantal rijstroken op de rotonde. Voor Engelse omstandigheden wellicht geen probleem omdat de rijbaan daar bijna altijd breed is en tenminste twee rijstroken telt of de ruimte daarvoor heeft. Maar waarnemingen op een nieuwe rotonde in Wassenaar lieten zien dat de uitkomsten voor de capaciteit van een conflictpunt niet voldoende in overeenstemming waren met die van de formule van Kimber. Dit wordt geïllustreerd in Afbeelding 2A waar de mogelijke hoeveelheid toerij-dend verkeer ter plaatse van het conflictpunt is uitgezet als functie van de hoeveelheid op de rotonde circulerend verkeer.

De getrokken lijn geeft de capaciteit aan zoals die werd berekend met de formule voor deze situatie. De uitkomsten van de feitelijke waarnemingen zijn met cirkeltjes weergegeven. De vergelijking is niet helemaal reëel omdat de capaciteit in Wassenaar nog niet volledig werd bereikt en omdat de formule van Kimber geen rekening houdt met fietsverkeer. Desondanks is te zien dat de overeenkomst niet voldoende is; bij lage rotonde-intensiteiten geeft Kimber een te geringe capaciteit aan. Bij hoge rotonde-intensiteiten daarentegen wordt de capaciteit overschat. De laatstgenoemde afwijking kan verklaard worden met de geringere rijbaanbreedte op de rotonde in Wassenaar; de eerstgenoemde is minder eenvoudig te verklaren en kan onder meer met een verschil in rijgedrag te maken hebben. Ook is het mogelijk dat deze afwijking het gevolg is van extrapolatie van de regressie-curve naar een gebied waar te weinig waarnemingen van beschikbaar waren.

Verschillende benaderingen voor de berekening van de capaciteit en mogelijk ook verschillen in gedrag van de automobilisten in verschillende landen kunnen er toe leiden dat de uitkomsten voor eenzelfde situatie sterk variëren. Dit wordt duidelijk als we de curven in Afbeelding 3A bekijken (Brilon, 1988); de capaciteit van een conflictpunt in het geval dat het rotondeverkeer en het toerij-dend verkeer gelijk zijn, varieert van 1250 tot 1600 auto's per uur. Welke benadering past nu het beste in onze situatie?

Waarnemingen zoals die in Wassenaar zijn een bruikbaar begin om inzicht te verkrijgen in de capaciteit van de nieuwe rotondes. Maar het is de vraag of het aantal waarnemingen ooit voldoende zal zijn om de capaciteit als functie van een aantal variabelen te kunnen vaststellen (denk aan de diameter, de rijbaanbreedte, de afrondingsstraal van de toerit, de hoeveelheid fietsverkeer, de intensiteit op de rotonde en de snelheden van dat

verkeer). Het verdient daarom de voorkeur met modellen te werken die, mits voldoende getoetst aan praktijkwaarnemingen, gebruikt kunnen worden om de capaciteit te berekenen. Om diverse redenen is daarbij gekozen voor een aanpak via verkeerssimulatie, onder meer omdat daarmee ook wachttijden en wachtrijlengten berekend kunnen worden (zie ook Hornman e.a., 1988; Van Boekhold e.a., 1988). De eerste resultaten die met een betrekkelijk primitief proefmodel werden verkregen zijn al redelijk bruikbaar gebleken en via een geringe aanpassing konden de uitkomsten in overeenstemming worden gebracht met de telresultaten van Wassenaar (zie Afbeelding 2B).

Afgaande op de eerste bruikbare resultaten kan gesteld worden dat de capaciteit van een conflictpunt zonder fietsverkeer 1300 à 1400 auto's per uur bedraagt, mits de omstandigheden niet veel afwijken van die in Wassenaar. Bij een aanzienlijke hoeveelheid fietsverkeer waaraan voorrang gegeven dient te worden, zal de capaciteit afnemen. Daarbij is het aannemelijk dat die afname groter is naarmate de auto-intensiteit van het rotondeverkeer lager is.

Gaan we uit van maximaal 1300 auto's per conflictpunt dan kan worden berekend dat bij een volledig symmetrisch verkeersaanbod, dat is eenzelfde aantal auto's uit iedere tak en gelijke percentages links- en rechtsafslaand verkeer, in totaal 2600 auto's per uur de rotonde kunnen passeren. In de praktijk met meer ongelijk verkeersaanbod en met niet al te veel fietsers kan worden gerekend met een rotondecapaciteit van 2000 à 2200 auto's per uur. Ter vergelijking: in Maastricht zijn aantallen van meer dan 2000 auto's per uur waargenomen (+ ruim 500 fietsers en bromfietsers), in Wassenaar maximaal 2140 auto's, gecombineerd met meer dan 300 (brom)-fietsers.

Dit betekent dat de enkelstrooksrotonde zonder veel problemen hoeveelheden verkeer kan verwerken, waar bij andere kruispuntvormen al lang VRI's worden geplaatst dan wel zeer lange wachttijden worden geaccepteerd.

4.3. De tweestrooksrotonde

In de vorige paragraaf is aangetoond dat de capaciteit van een enkelstrooksrotonde wel betrekkelijk groot is, maar uiteraard niet onbegrensd. Bij intensiteiten die belangrijk hoger zijn dan de ruim 2000 auto's per uur zal naar andere oplossingen gekeken moeten worden. Komt dan de tweestrooksrotonde als alternatief voor de VRI in aanmerking? Los van het vei-

ligheidsaspect dat in andere hoofdstukken aan de orde komt, zal hier worden ingegaan op de vraag welke capaciteit met een dergelijke rotonde haalbaar is.

Met de aanduiding "tweestrooksrotonde" is een rotonde nog niet voldoende gekarakteriseerd. De twee rijstroken kunnen afzonderlijk op zowel de rotonde zelf als op de toe- en afritten betrekking hebben. Dat levert in principe zes combinaties op, maar elke combinatie waarbij de rotonde slechts één rijstrook heeft, lijkt niet realistisch. Als we die buiten beschouwing laten blijven er drie combinaties over:

Combinatie	Aantal rijstroken op:		
	rotonde	toeritten	afritten
A	2	2	1
B	2	1	2
C	2	2	2

Het is mogelijk nog verder te differentiëren door per tak het aantal rijstroken vast te stellen. Afgezien van de vraag of het wel verstandig is dergelijke specifieke oplossingen toe te passen, zal het duidelijk zijn dat in die gevallen niet meer over de capaciteit van de rotonde als algemeen gegeven gesproken kan worden. Daarom blijven die oplossingen verder buiten beschouwing.

Achtereenvolgend zullen we de drie combinaties in het kort toelichten en een eerste globale inschatting van de mogelijke capaciteit geven.

Combinatie A lijkt uit zuivere capaciteitsoverwegingen een goede oplossing; ter plaatse van het conflictpunt waar de capaciteit in principe wordt bepaald, zijn twee maal twee rijstroken beschikbaar. En daar waar het verkeer de rotonde verlaat en de intensiteit nooit erg hoog kan zijn, wordt volstaan met één rijstrook. De kans is erg groot dat het feitelijke verkeersgedrag onvoldoende op deze mogelijkheden zal inspelen. Wetend dat een afrit slechts één rijstrook breed is zal een groot deel van de automobilisten krampachtig proberen op de rotonde rechts te blijven rijden of zo snel mogelijk naar rechts te komen. In dat geval wordt de theoretisch aanwezige capaciteit op het conflictpunt bij lange na niet benut en zal de winst ten

opzichte van de enkelstrooksrotonde betrekkelijk gering zijn. Toepassing zou dan beperkt moeten blijven tot locaties met een verkeersaanbod waarvoor een enkelstrooksrotonde net niet meer toereikend wordt geacht.

Combinatie B kent wel de tweestrooksafrit met het gevolg dat de linker rijstrook op de rotonde meer gebruikt zal worden. Het toerijgend verkeer kan daarvan profiteren, maar niet onbeperkt, omdat er voor dit verkeer maar één rijstrook beschikbaar is. Er is dus sprake van capaciteitstoename en wellicht wat meer dan bij combinatie A, afhankelijk van de mate waarin de linker strook op de rotonde wordt benut. De grootste winst mag worden verwacht in situaties met relatief veel verkeer op de rotonde (rechter deel van de grafiek in Afbeelding 2).

Combinatie C biedt de beste perspectieven uit capaciteitsoverwegingen. In dit geval geldt nog sterker dan bij combinatie B dat de feitelijke capaciteit wordt bepaald door het gedrag van de verkeersdeelnemers en dan vooral het gebruik van de linker rijstrook, zowel op de toerit als op de rotonde. Maar ook in het gunstigste geval mag niet worden verwacht dat de capaciteit twee maal zo groot wordt als die van een enkelstrooksrotonde.

Ook voor combinatie C is het interessant de uitkomsten van verschillende berekeningsmethoden eens naast elkaar in één grafiek te zien, zoals in Afbeelding 3B (Brilon, 1988). Nu lopen de resultaten nog verder uit elkaar dan bij de enkelstrooksrotonde; weer uitgaande van gelijke intensiteiten op rotonde en toerit zou de capaciteit van het conflictpunt kunnen variëren tussen 1650 en 2500 auto's per uur! Stellen we de rotondecapaciteit op 80% van wat theoretisch haalbaar is bij symmetrisch verkeersaanbod, dan komen we op waarden van 2600 tot 4000 auto's per uur voor de gehele rotonde. Gezien deze uitkomsten zal het duidelijk zijn dat het geen enkele zin heeft te spreken over de capaciteit van een tweestrooksrotonde.

Eerder is er sprake van een capaciteitsbereik en allerlei omstandigheden zoals de verkeersdruk, de bekendheid met de situatie van de passerende weggebruikers en vermoedelijk ook de diameter van de rotonde zullen bepalend zijn voor de vraag welke intensiteiten in een concreet geval maximaal kunnen worden verwerkt.

Relevante informatie van tweestrooksrotondes in ons land is niet beschikbaar; dit type rotonde met radiale toeritten en voorrang voor het pleinverkeer is, voorzover bekend, (nog) niet toegepast.

Omdat de capaciteit in belangrijke mate wordt bepaald door het verkeersgedrag, is het niet verwonderlijk dat er per land verschillende uitkomsten worden vastgesteld. Maar ook in de tijd kan er een verschuiving optreden als gevolg van het accepteren van steeds kleinere tijdsintervallen. Uit onderzoek in Tsjechoslowakije bleek bijvoorbeeld dat de kritische gap die bij het weven op een rotonde werd geaccepteerd in tien jaar tijds daalde van 5,8 naar 4,7 seconden (Jirava & Karlicky, 1988). Dergelijke ontwikkelingen, die onder andere door de ontwikkeling van de auto kunnen worden veroorzaakt (uitzicht, acceleratie), kunnen wijzen op geleidelijke toename van capaciteiten. Niet bekend is in hoeverre die ontwikkeling negatieve gevolgen kan hebben voor de veiligheid.

Bij een tweestrooksrotonde kan een bepaalde mate van weven optreden, afhankelijk van het gebruik van de linker rijstrook. Het is niet uitgesloten dat de capaciteit in dat geval toch enigszins afhankelijk is van de diameter van de rotonde; uit onderzoek in Engeland zou een verband zijn vastgesteld waarbij de maximale capaciteit pas wordt bereikt bij een diameter van ca. 100 m. In recent onderzoek worden deze uitkomsten weer in twijfel getrokken voorzover het pleinen met grote diameters betreft (Marstrand, 1988).

Ook bij de tweestrooksrotonde zal de capaciteit afhankelijk kunnen zijn van de hoeveelheid (brom)fietsverkeer op de rotonde waaraan voorrang moet worden verleend. In situaties kritisch ten aanzien van de capaciteit zou daarom de voorkeur gegeven kunnen worden aan vrijliggende fietspaden waarbij het fietsverkeer bij elke oversteek voorrang aan het snelverkeer zou moeten verlenen.

Tot slot kan nog worden gewezen op een constructie die in Engeland, Australië en Frankrijk nogal eens wordt toegepast, en daar "slip lane" of "slip road", resp. "voie directe tourne-à-droite" wordt genoemd (CETUR, 1988). De laatste naam maakt het voldoende duidelijk: het gaat om een aparte, zelfstandige baan die het rechtsafslaan buiten de feitelijke rotonde mogelijk maakt (Afbeelding 4A en 4B). In situaties waarin één of twee rechtsafslaande verkeersstromen verantwoordelijk zijn voor overbelasting van de rotonde, kan dit een bruikbare oplossing zijn. Wel moet bij deze oplossing bijzondere aandacht aan de positie van het fietsverkeer worden besteed en zal het de voorkeur verdienen dat de rijstrook van de

slip lane samen met de van de rotonde komende rijstrook overgaat in een rijbaan met twee rijstroken. In Nederland is deze constructie eind 1988 gerealiseerd in Rosmalen en is in een geheel andere uitvoeringsvorm gepland in Deventer.

5. DIVERSE FACETTEN

5.1. Afmetingen en vormgeving

Sinds rotondes met voorrang voor het pleinverkeer worden toegepast is het duidelijk dat de capaciteit in de eerste plaats wordt bepaald door "gap acceptance" ter plaatse van de conflictpunten en niet meer door het weven op de rotonde. Lange weefvakken werden daarom overbodig en opstelruimte op het plein om binnenrijdend verkeer voorrang te geven is ook niet meer aan de orde. Daarmee konden de minimaal vereiste afmetingen worden teruggebracht tot wat nodig is voor de bereidbaarheid door grote voertuigen zoals bussen, vrachtauto's met aanhangwagens en trekkers met opleggers. Berijdbaarheid is gegarandeerd vanaf buitendiameters van ca. 25 m. Om een wat soepeler verkeersafwikkeling te bereiken en niet het uiterste van de stuurmanskunst te vergen wordt wel aanbevolen de buitendiameter, als de ruimte dat toelaat, niet kleiner dan 30 m te kiezen.

De ervaring die inmiddels is opgedaan met de "rotondes nieuwe stijl" hebben duidelijk gemaakt dat deze kleine maten van een rotonde niet in alle opzichten ideaal zijn. De formele situatie dat een rotonde, of althans een verkeersplein, een gebogen doorgaande weg is, is bij kleine afmetingen moeilijk te rijmen met wat de weggebruiker in feite ervaart. Het geconstateerde inconsequente gebruik van de richtingaanwijzer wijst ook in die richting. Daarmee verband houdend kan de toerijdende weggebruiker bij kleine pleinen vaak pas op het allerlaatste moment vaststellen of een van links komende auto de rotonde gaat verlaten of niet. Ook het conflict tussen de rondrijdende fietser en de afslaande automobilist wordt wat meer in de hand gewerkt naarmate de rotonde kleiner is. Een buitendiameter van omstreeks 40 m blijkt in de praktijk prima te bevallen; dergelijke afmetingen bieden ook wat meer mogelijkheden voor diverse varianten van fietsstroken op de rotonde.

De minimum afmetingen van een rotonde worden ten dele ook bepaald door de vereiste afmetingen van het middenplein, waarvoor meestal wordt gesteld: "het verlengde van de rechterzijde van de toerit dient binnen de rand van het middenplein uit te komen". Deze eis is gebaseerd op de gedachte dat het autoverkeer niet de gelegenheid mag krijgen om bijna zonder snelheidsvermindering door te rijden. Extra aandacht is nodig voor rotondes met

drie armen of met vier armen wanneer die niet altijd loodrecht op elkaar staan. Dan zal per locatie beoordeeld moeten worden of plaats en diameter van het eiland in alle gevallen voldoende belemmering in de route van het autoverkeer veroorzaken.

Een maximum buitendiameter is niet zo eenvoudig aan te geven; theoretisch valt te verwachten dat de snelheden op het plein zullen toenemen naarmate de diameter groter is. Maar ervaringen met een rotonde met een buitendiameter van 60 m zijn nog altijd positief (St. Annadal, Maastricht).

In het geval van tweestrooksrotondes, die als gevolg van de bredere rijbaan toch al wat groter zullen uitvallen, zou een grotere maat positief voor de capaciteit kunnen zijn als wordt verondersteld dat op deze pleinen een bepaalde vorm van weven voorkomt.

In verschillende publikaties wordt er op gewezen dat een rotonde bij voorkeur cirkelvormig moet zijn (Gambard, 1988; CETUR, 1988).

Afwijkingen van de cirkelvorm zouden ongunstig zijn voor de veiligheid, een gedachte die kennelijk ook in ons land heeft post gevat omdat de nieuwe rotondes typisch met een passer zijn ontworpen. Een extreem consequent voorbeeld is te vinden in Nunspeet waar op een tweetal rotondes ook de fietsstrook en de aangrenzende voetpaden zuiver cirkelvormig zijn uitgevoerd (Hooning e.a., 1988).

Dat een toerit radiaal aangesloten dient te worden staat nauwelijks meer ter discussie. Het onderstreept de voorrangssituatie en zorgt mede voor voldoende snelheidsvermindering, mits de afrondingsbogen bij de toerit niet te ruim worden gekozen. Maar er wordt nog wel eens overwogen de afritten meer tangentiaal uit te voeren omdat bij het verlaten van het plein de snelheid weer mag worden opgevoerd. Bovendien wordt de afstand tussen toerit en afrit van eenzelfde tak vergroot waardoor eerder wordt waargenomen of verkeer de rotonde zal verlaten. Zolang het om rotondes zonder fietsverkeer gaat lijkt dit een aanvaardbare constructie; bij fietsers op of rond de rotonde is deze oplossing niet aan te bevelen.

In het geval van een fietsstrook op de rotonde kan het wel gunstig zijn de rechtsafslaande fietser zo vroeg mogelijk de gelegenheid te bieden de rotonde te verlaten. De rechtsafslaande automobilist kan daardoor sneller vaststellen welke fietsers op de rotonde blijven rijden (Ploeger, 1987).

5.2. Plaats en voorrangsregeling (brom)fietsers

Geschikte oplossingen voor het fiets- en bromfietsverkeer zouden wel eens doorslaggevend kunnen zijn voor het al-of-niet goed functioneren van rotondes in Nederland. Daarom krijgt dit aspect in de diverse deelprojecten veel aandacht en is een theoretische studie specifiek hieraan gewijd (Veling & Vos, 1988). En uit de grote diversiteit van oplossingen die bij de nieuwe rotondes worden toegepast blijkt dat opvattingen hierover nogal verschillen. Bij de keuze van een oplossing gaat het vaak om een afweging tussen de mogelijkheid de fietsers gelijke (voorrangs)rechten te geven en het bieden van maximale veiligheid.

Het nu volgende is gebaseerd op de genoemde studie en de inmiddels met de nieuwe pleinen opgedane ervaringen.

De twee meest toegepaste oplossingen zijn:

1. Voor de fietsers en bromfietsers is een speciale strook op de rijbaan van de rotonde aangegeven, vaak in rode kleur uitgevoerd. De fietsers op deze strook hebben dus ook voorrang en omdat ze bij het oprijden van de rotonde eigenlijk alleen aan andere fietsers voorrang hoeven te verlenen, is hun positie wat dat betreft gunstiger dan die van het autoverkeer. Het is daarom niet vreemd dat in fietskringen nogal eens de voorkeur aan deze oplossing wordt gegeven (Ploeger, 1987). Het is wel belangrijk dat de fietsstrook voldoende breed is, minimaal 2 m en bij hoge fietsintensiteiten wellicht nog wat breder. De ervaringen met deze oplossing lijken gunstig voor wat betreft de aantallen ongevallen maar er worden wel veel conflicten gesignaleerd (zie Hoofdstuk 3). Het komt dan ook wel voor dat ouders hun schoolgaande kinderen adviseren een dergelijke rotonde te mijden. Verbetering is wellicht te bereiken met:

- een wat grotere pleindiameter;
- de vervroegde rechtsafgelegenheid voor de fietsers (zie par. 5.1) (beide bedoeld om de conflicten met afslaand autoverkeer te verminderen);
- het aanbrengen van een fysieke scheiding tussen fietsstrook en rijbaan zoals toegepast in Deventer (Afbeelding 5).

2. Vrijliggende fietspaden rond de rotonde waarbij de (brom)fietsers bij elke oversteek voorrang aan het autoverkeer moet verlenen. Het verdient aanbeveling de fietsoversteken op enige afstand van de rotonde te houden. Toerijgend autoverkeer dat voorrang moet verlenen kan zich dan tussen de

fietsoversteek en de rotonde opstellen. En voor afslaand autoverkeer is het daardoor wat duidelijker dat de fietser geen rechtdoorgaand verkeer is waaraan voorrang moet worden verleend. Het laatste komt toch wel voor, maar dit leidt niet gauw tot ernstige conflicten omdat beide partijen menen dat ze voorrang moeten geven. Hetzelfde geldt voor de toerijende automobilisten die aan overstekende fietsers voorrang verlenen, een verschijnsel dat onder meer bij een rotonde in Arnhem betrekkelijk vaak werd waargenomen. Misschien is dit gedrag uitgelokt door de op enige afstand voor het plein geplaatste waarschuwingsborden met de teksten "u nadert een rotonde" en "voorrang verlenen".

De afstand tussen de rotonde en de fietsoversteek zal ook niet te groot moeten worden; vooral voor linksafslaande (brom)fietsers wordt dan de omweg groter en daardoor neemt de kans toe dat ze de fietspaden in tegengestelde richting gaan gebruiken of op de rotonde zelf gaan rijden. En vooral in het laatste geval zijn ernstiger conflicten niet uitgesloten.

Diverse andere oplossingen komen voor zoals de vrijliggende fietspaden met geen voorrang voor de fietser op het eerste deel van de oversteek en wel voorrang op het tweede deel. De ervaring met deze en andere oplossingen is nog te gering en de indicaties uit het theoretisch onderzoek zijn soms negatief. Dat laatste geldt niet voor de splitsing tussen fietsers en bromfietsers waarbij de fietsers op een vrijliggend fietspad rijden en de bromfietsers met het autoverkeer op de rotonde zelf. Deze oplossing is het overwegen waard en is ook interessant in verband met de actuele discussie over de plaats van de bromfiets op de weg in het algemeen.

Bij toepassing van tweestrooksrotondes wordt de positie van de fietsers wat moeilijker; de theoretische studie laat zien dat dan de kans op conflicten met snelverkeer wat groter is dan bij enkelstrooksrotondes. Zolang geen resultaten van praktijkonderzoek beschikbaar zijn zou de voorkeur gegeven kunnen worden aan vrijliggende fietspaden. Het nadeel ten opzichte van de enkelstrooksrotonde blijft dan beperkt tot de grotere oversteeklengte op de tweestrooks toe- of afrit.

Wanneer de fietser op een fietsstrook op de rotonde rijdt dan bestaat de kans dat zowel conflicten met toerijend autoverkeer toenemen (parallel rijdend autoverkeer heeft bijvoorbeeld minder goed uitzicht) als de conflicten met afslaand autoverkeer (meer aandacht van de automobilist nodig voor de wat gecompliceerder situatie op de rotonde). Wordt deze oplossing

toch gekozen, bijvoorbeeld als de beschikbare ruimte geen vrijliggende fietspaden toelaat, dan zou een fysieke afscheiding tussen rijbaan en fietsstrook de voorkeur verdienen.

5.3. Regels en borden

De keuze van de voorrangsregeling op een rotonde is van groot belang voor de capaciteit en indirect ook voor de veiligheid. Voor de nieuwe enkelstrooksrotonde is de keus nu wel definitief bepaald; voorrang voor het pleinverkeer is als meest geschikte oplossing vrijwel algemeen geaccepteerd. Bij de grotere pleinen ligt dat anders en blijkt men in ons land nog van mening te verschillen. Dit in tegenstelling tot diverse andere landen die korter of langer geleden definitief kozen en voorrang voor het pleinverkeer algemeen toepassen, waaronder Engeland, Frankrijk, Australië en vermoedelijk ook de Bondsrepubliek Duitsland.

Zeker in Engeland en in Frankrijk ging de keuze van de voorrangsregel gepaard aan een sterke opleving van de belangstelling voor rotondes. In Engeland zijn er naar schatting meer dan 10.000 in gebruik.

Uit een oogpunt van uniformiteit zou het de voorkeur verdienen als op elke rotonde dezelfde voorrangsregel van toepassing was. Een dergelijke uniformiteit is gunstig voor de herkenbaarheid, bevordert het snel opdoen van ervaring door de weggebruiker en kan daardoor gunstig voor de verkeersveiligheid worden genoemd. Is voor nieuwe pleinen de keus in feite al gemaakt, bij de bestaande oudere pleinen ligt de situatie wat moeilijker.

Uniformering betekent in die gevallen meestal niet alleen het plaatsen van voorrangsborden, maar vaak ook dat de aansluiting van toe- en afritten moet worden aangepast aan de nieuwe voorrangsregeling, een wel wat kostbaarder ingreep. Zonder stimulering of verplichting door de (rijks)overheid mag worden verwacht dat het nog vele jaren duurt voordat op elke rotonde dezelfde regeling van toepassing is.

Samenhangend met de voorrangsregeling is er de vraag welke verkeersborden nu en in de toekomst moeten worden toegepast. Ook op dat punt is er sprake van een ontwikkeling die bepaald nog niet tot eensluidende opvattingen heeft geleid. Kijken we bijvoorbeeld naar de rotondes nieuwe stijl: in alle gevallen wordt bord 9 toegepast bij de toerit tot de rotonde (zie Afbeelding 6 voor de betekenis van de hier gebruikte bordnummers). De

eerste vraag luidt dan of op het plein zelf door middel van borden moet worden aangegeven dat men voorrang heeft. De opvattingen daarover lopen uiteen en dat vindt men terug in de toepassingen. Soms redeneert men dat deze borden achterwege kunnen blijven als het voor de weggebruiker voldoende duidelijk is dat hij voorrang heeft; de betreffende borden worden dan niet geplaatst. In andere gevallen komt men, soms in overleg met de Officier van Justitie, tot de conclusie dat dergelijke borden noodzakelijk zijn om niet in juridische problemen terecht te komen. Men plaatst dan bij op het plein bij elke toerit bord 8 of ook wel bord 6, in welk geval de rotonde tot voorrangsweg wordt verheven.

Een volgende vraag betreft de plaatsing van bord 15 waarmee de rotonde tot verkeersplein wordt bestempeld. Gaat het om een enkelstrooksrotonde dan lijkt dit bord op het eerste gezicht volkomen overbodig omdat voorsorteren en rechts inhalen per definitie niet aan de orde zijn. Maar uit jurisprudentie zou blijken dat uitsluitend bij een verkeersplein geldt dat op het plein rijdend verkeer als rechtdoorgaand verkeer moet worden beschouwd; het plein afrijdend verkeer is daarmee dan tot afslaand verkeer bestempeld. Deze wetenschap brengt wegbeheerders er nogal eens toe om toch maar bord 15 te plaatsen, waarmee dan tevens de verplichte rijrichting wordt aangegeven. Maar dan nog zijn er blijkbaar twijfels of die verplichte rijrichting wel voldoende duidelijk is aangegeven want op veel pleinen wordt ook nog bord 14 toegepast op het middeneiland tegenover elke toerit. In andere gevallen wordt bord 15 op diezelfde plaatsen aangetroffen.

Het gevolg van deze verwarring is dat er al gauw een bordenwoud op en om de rotonde ontstaat; een totaal van ca. 40 borden, inclusief de waarschuwingen, komt wel voor. Het zal duidelijk zijn dat de weggebruiker hiermee niet gediend is. Het is bekend dat verkeersdeelnemers in het algemeen slechts een deel van de borden waarnemen; bij grote concentraties van verkeersborden zal de kans dat men borden over het hoofd ziet alleen maar toenemen. Als dan ook nog de toepassing van borden op en om rotondes van geval tot geval verschilt dan blijkt daaruit de noodzaak zo snel mogelijk tot een eenvoudige en uniforme oplossing te komen.

Hoe zou zo'n oplossing er in het ideale geval uit moeten zien?

De voorkeur gaat uit naar een minimum aan borden waarmee alle gewenste regelingen worden aangeduid. Het simpelst lijkt de oplossing waarbij met

een algemene bepaling de regels voor rotondes worden vastgelegd zodat borden in principe overbodig worden. Maar dan is de kans aanwezig dat de weggebruiker (te) laat constateert dat hij een rotonde nadert; en dan ontstaat toch weer de behoefte om dit met een bord aan te geven. In dat geval ligt het voor de hand alle bijbehorende regels aan dat ene bord te verbinden, zoals:

- de verplichte rijrichting;
- het voorrang verlenen aan het verkeer op de rotonde;
- verkeer dat de rotonde verlaat is afslaand verkeer dat het doorgaande verkeer voor moet laten gaan en richting aan moet geven;
- bij meer rijstroken op de rotonde mag snelverkeer links rijden (het links mogen rijden op een tweestrookstoerit kan wellicht het beste geregeld worden via pijlen op het wegdek).

De vormgeving van het bord zou de herkenbaarheid van de situatie en de toe te passen regels zo veel mogelijk moeten bevorderen; dan ligt het voor de hand dat de elementen van bord 15 (de verplichte rijrichting) en bord 9 (het voorrang verlenen) op één of andere wijze worden gecombineerd. Zolang een dergelijk bord nog niet kan worden toegepast, en gezien het gewenste internationale overleg zal dat ook niet op zeer korte termijn komen, zou voorlopig gebruik gemaakt kunnen worden van zowel de borden 15 als 9. De betekenis daarvan bij een rotonde zou voor de weggebruiker duidelijker kunnen worden als er de nodige publiciteit aan wordt gegeven. Via voorlichting kan de automobilist die de rotonde verlaat erop gewezen worden dat hij doorgaande fietsers op een naastgelegen fietsstrook voor moet laten gaan. Voorlichting is ook nuttig om het juiste gebruik van de richtingaanwijzer te bevorderen. Dat het laatstgenoemde niet voor elke automobilist duidelijk is blijkt uit onderstaande tabel die betrekking heeft op ruim 400 waarnemingen in Wassenaar.

Voorgenomen beweging	Aangegeven richting							
	bij oprijden (in %)				bij afrijden (in %)			
	links	rechts	niets	totaal	links	rechts	niets	totaal
rechtsaf	0	83	17	100	0	85	15	100
rechtdoor	3	5	92	100	1	31	68	100
linksaf	50	1	49	100	4	36	59	100

De laatste ontwikkelingen bij het tot standkomen van het nieuwe RVV wijzen op een grotendeels handhaven van de bestaande situatie zodat zowel bord 9 als bord 15 kunnen worden toegepast (huidige nummering). Een verbetering is wellicht dat het aangeven van de voorrang op de rotonde via de borden 8 of 6 volgens het concept nieuw RVV niet meer nodig zal zijn.

6. DISCUSSIE OMTRENT TOEPASSING

Een rotonde in het algemeen en zeker de rotonde nieuwe stijl blijkt een relatief veilige oplossing voor een kruispunt. De capaciteit valt niet tegen en de kosten zijn betrekkelijk gering, in veel gevallen minder dan die van een VRI. De ervaringen van de wegbeheerders met deze nieuwe rotondes zijn overwegend gunstig of zeer gunstig. Waarom zouden we rotondes dan niet op zeer grote schaal toepassen?

In de eerste plaats moeten we ons realiseren dat geen enkele wegbeheerder binnen korte tijd alle kruisingen in zijn wegennet kan reconstrueren, zelfs niet als het om een relatief goedkope oplossing gaat. Ombouw tot rotonde kan aan de orde komen als er sprake is van een onveilig kruispunt (AVOC), als de verkeersbelasting een VRI noodzakelijk maakt of wanneer een oudere VRI vervangen zou moeten worden.

Verder moeten we er rekening mee houden dat er "oververzadiging" kan optreden zoals al eerder bij VRI's is voorgekomen. Waar de grens ligt voor de toepassing van rotondes zal nog moeten blijken, maar vermoedelijk zal geen enkele weggebruiker het waarderen, en dat geldt zeker voor de bestuurders van zwaar verkeer, als hij op iedere kruising weer zijn stuurmanskunst moet bewijzen.

In de derde plaats kan dan gewezen worden op een aantal aspecten waarover nog onvoldoende duidelijkheid bestaat en die in het voorgaande meer of minder uitgebreid aan de orde zijn gekomen. Denk bijvoorbeeld aan de veiligheid van fietsers en bromfietsers en de toepassing van tweestrooksrotondes. Dit kan voldoende reden zijn om toepassing in bepaalde gevallen (nog) niet te overwegen.

Tenslotte kunnen er allerlei situaties of omstandigheden zijn waar een rotonde zeker niet de meest aangewezen oplossing is. Wanneer een rotonde wel en wanneer niet op zijn plaats is zal hierna aan de orde komen, vanzelfsprekend gebaseerd op de kennis die op dit moment beschikbaar is.

Een rotonde kan een geschikt alternatief zijn voor een VRI. In typische verkeerssituaties met relatief hoge verkeersintensiteiten is de toepassing van een rotonde altijd het overwegen waard; en dat geldt zowel voor binnen als buiten de bebouwde kom. Kan daarmee de plaatsing of vervanging van een VRI voorkomen worden dan biedt dit diverse voordelen. Zo is een rotonde dag en nacht aanwezig zodat de vaak arbitraire keuze tussen wel of niet

permanent werkende VRI vermeden kan worden. En wellicht is een bescheidener gebruik van de VRI ook gunstig om het negeren van rood licht te verminderen. Verder ziet het er naar uit dat de wachttijden voor het verkeer in een groot deel van het intensiteitsbereik bij toepassing van een rotonde gunstiger zijn dan bij een VRI waardoor onder meer vermindering van de luchtverontreiniging bereikt zou kunnen worden (o.a. Hooning e.a., 1988). Toepassing van een rotonde in dit soort situaties betekent vaak vermindering van het benodigde wegoppervlak omdat een groot aantal opstelstroken, zoals bij een VRI, niet meer nodig is. Ook versmalling van de aansluitende wegen in de vorm van vermindering van het aantal rijstroken is in een aantal gevallen mogelijk.

Een rotonde kan een geschikte oplossing zijn op plaatsen waar verlaging van de snelheid gewenst is. Er kunnen verschillende redenen zijn om die snelheid te willen verlagen zoals de verkeersveiligheid in het algemeen, bevordering van de oversteekbaarheid voor voetgangers of de overgang op een andere waarde van een snelheidsbeperking. Het laatstgenoemde doet zich onder andere voor aan de grens van de bebouwde kom, waar een rotonde zeker op zijn plaats kan zijn (zie ook Hooning e.a., 1988). Maar ook kan worden gedacht aan overgangen tussen verkeersgebieden en verblijfsgebieden. En hoewel de eerste set relevante meetresultaten (Sittard) laat zien dat de snelheidsvermindering vooral in de nabijheid van de rotonde optreedt, in één richting is de snelheid op ruim 100 m voorbij de rotonde in de nasituatie ook merkbaar gedaald.

Wanneer er sprake is van een probleemkruising dan kan in bepaalde gevallen de aanleg van een rotonde een geschikte oplossing zijn. In dit verband wordt met een probleemkruising bedoeld elke kruising waar door de verkeerssituatie of door andere omstandigheden zich problemen voordoen bij de verkeersafwikkeling en/of de veiligheid. Enkele voorbeelden:

- Een kruising met relatief veel linksafslaand verkeer geeft vaak problemen, zowel wat de capaciteit als de veiligheid betreft; conflictvrije verkeersregelingen zijn mogelijk, maar dan neemt de wachttijd weer toe en zijn soms meer opstelstroken nodig om voldoende capaciteit te bereiken. Een rotonde kan in dergelijke situaties een eenvoudige en doeltreffende oplossing zijn.

- Door bochten in de naderingswegen of door obstakels kan het uitzicht op verkeer waaraan voorrang moet worden gegeven, ernstig worden belemmerd;

een rotonde biedt dan de mogelijkheid de snelheid flink te verlagen en daarmee de uitzichtlengte te verkleinen. Eveneens kan worden gedacht aan kruisingen met wel goed uitzicht maar met te weinig opvallendheid van kruisend verkeer als gevolg van onvoldoende achtergrond.

- Een wat drukker kruising met meer dan vier takken is bijna altijd een probleemgeval; ook met een VRI is de oplossing niet eenvoudig. Een rotonde biedt hier een mogelijke oplossing mits er voldoende ruimte is om de daarvoor benodigde diameter te realiseren. Er wordt wel beweerd dat een dergelijke rotonde minder gunstig is omdat de weggebruiker wat moeite heeft met het kiezen van de juiste tak bij het verlaten van de rotonde. Dat zal zeker het geval zijn, maar dat geldt bijna even sterk voor een "normale" kruising met 5 of 6 armen. In ieder geval zal het berijden van een rotonde met meer dan 4 armen aanzienlijk eenvoudiger zijn dan het passeren van een kruising met een dergelijk aantal takken.

Op locaties waar veel keerbewegingen voorkomen is een rotonde in het voordeel in vergelijking met ieder andere oplossing. Dergelijke situaties doen zich nog wel eens voor bij wegen met gescheiden rijbanen of in de directe omgeving van basisscholen e.d. waar veel kinderen door ouders met de auto worden gebracht. Keren op een weg of op een kruising is normaal gesproken een relatief gevaarlijke manoeuvre; op een rotonde daarentegen is het keren niet anders dan het kiezen van een volgende afslag.

In het voorafgaande is aangegeven in welke gevallen de toepassing van een rotonde overweging verdient. Maar er zijn ook locaties waar dit bij voorkeur niet moet gebeuren; daarom wordt in het nu volgende aandacht besteed aan de vraag waar de grenzen van het toepassingsbereik liggen.

Om te beginnen het capaciteitsbereik; tot welke intensiteiten de enkelstrooksrotonde bruikbaar is volgt uit Hoofdstuk 4. Globaal tot 1200 à 1300 auto's per uur op een conflictpunt of nog globaler 2000 à 2200 auto's per uur op de rotonde. Bij nog hogere intensiteiten of extreem veel fietser's zou een tweestrooksrotonde in aanmerking komen. Maar we weten nog weinig van de daarmee haalbare intensiteiten. Toepassing daarvan op beperkte schaal (5 à 10) is gewenst om meer ervaring met dit type op te kunnen doen, zowel wat de veiligheid als de capaciteit betreft. Op grond van die ervaring kan in een later stadium besloten worden of toepassing op grotere schaal aanbeveling verdient.

Door het ontbreken van die ervaring in eigen land durfden wegbeheerders het tot voor kort niet aan voor deze oplossing te kiezen; het ziet er naar uit dat daar nu verandering in komt.

Een ondergrens van de intensiteiten waarbij een rotonde geen zin meer heeft, is moeilijk aan te geven; het blijft een afweging van de noodzakelijke investering tegenover de te verwachten "winst" die bij dergelijke lage intensiteiten meestal in het vlak van de veiligheid (snelheid) en oversteekbaarheid zal liggen.

Wat betreft de intensiteitsverhoudingen is er zuiver verkeerstechnisch gezien geen grens; elke verhouding van verkeersaanbod kan door een rotonde worden verwerkt zolang per conflictpunt de belasting niet hoger dan de capaciteit is. En in de praktijk blijken rotondes met sterk ongelijk verkeersaanbod per tak en met sterk wisselende percentages afslaand verkeer goed te functioneren (Wassenaar, Rosmalen). Toch tekenen zich wat dit betreft grenzen af; uit conflictobservaties en waarnemingen van het voorrangsgedrag in Wassenaar lijkt afgeleid te kunnen worden dat een sterk dominerende verkeersstroom wat meer "moeite" heeft met het voorgeschreven voorrangsgedrag. En zeker buiten de bebouwde kom, waar de naderingssnelheden aanzienlijk hoger kunnen zijn, zal hier aandacht aan besteed moeten worden. Daar zal in situaties waar zowel het wegkarakter als de daarop voorkomende intensiteiten sterk uiteenlopen, een rotonde vermoedelijk een minder geschikte oplossing zijn (zie ook Kimber, 1988). Wellicht kan in de toekomst hiervoor een criterium worden ontwikkeld waarin niet alleen de intensiteiten maar ook het aandeel lange-afstandsverkeer op de hoofdroute wordt betrokken (Gambard, 1988).

Vaak geeft men de voorkeur aan grafieken om het toepassingsbereik van bepaalde oplossingen weer te geven. Voor rotondes zijn de randvoorwaarden nog onvoldoende bekend om op verantwoorde wijze dergelijke grafieken te construeren. De behoefte daaraan is evenwel zo groot dat toch een eerste poging in die richting is ondernomen (zie Afbeelding 7). De vorm van de grafiek is zo gekozen dat vergelijking mogelijk is met soortgelijke figuren voor de toepassing van VRI's zoals in de ASVV (1988, zie blz. 257) is opgenomen.

Ter toelichting het volgende:

Het toepassingsbereik wordt aan de onderzijde begrensd door het eerder genoemde verschijnsel dat een toerijgende verkeersstroom die aan het ver-

keer op de rotonde voorrang moet verlenen, niet te sterk mag domineren. Aan de rechterbovenzijde is de capaciteit bepalend; de bovenste grens, een maximale conflictbelasting van 1250 mvt/uur, geldt voor gunstige omstandigheden, zoals weinig vrachtverkeer, weinig fietsers en overstekende voetgangers. De onderste grens, maximale conflictbelasting van 1000 mvt/uur, is van toepassing onder minder gunstige omstandigheden, zoals veel fietsers, voetgangers en vrachtverkeer. In beide gevallen is rekening gehouden met ongelijk verkeersaanbod uit de diverse richtingen.

Bij zeer lage intensiteiten is een rotonde wellicht niet zinvol, maar er is (nog) geen enkel duidelijk criterium dat voor het trekken van een grens kan worden gebruikt.

Ter illustratie zijn twee lijnen uit de eerdergenoemde grafieken uit de ASVV overgenomen; voor dat doel zijn de intensiteiten opgehoogd omdat in de oorspronkelijke grafieken het "8e drukste uur" werd gehanteerd, terwijl in Afbeelding 7 het spitsuur als maatgevend wordt beschouwd.

De ingetekende lijnen betreffen de grafiek voor snelheden tot 50 km/uur en bij de meest eenvoudige wegsituatie. De betekenis van beide lijnen is: bij een waarde van $\alpha < 1.00$ zijn verkeerslichten gewenst; bij een waarde tussen 1.00 en 1.33 is een VRI mogelijk en als $\alpha > 1.33$ dan is een VRI noodzakelijk.

Uit de vergelijking blijkt dat ook de enkelstrooksrotonde al tot ver in het toepassingsgebied van de VRI reikt.

De snelheden van het naderend verkeer zijn al eerder genoemd; binnen de bebouwde kom is dat geen punt van discussie, maar daarbuiten wordt dit vaak als een probleem gezien. In de eerste plaats geldt hier wat reeds eerder is gesteld: een combinatie van hogere intensiteiten met veel lange-afstandsverkeer en daarbij ook nog hoge snelheden is misschien niet de ideale locatie voor een rotonde. Hetzelfde geldt overigens ook voor een VRI; in het algemeen is het ongewenst verkeer vanaf hoge snelheid te laten stoppen of voorrang te laten verlenen op plaatsen waar de weggebruiker dat niet verwacht. In die situaties is zelfs een uitgebreide voorwaarschuwing niet altijd voldoende om aanrijdingen te voorkomen. In alle overige gevallen, en dus ook daar waar nu een VRI naar behoren functioneert, kan een rotonde op zijn plaats zijn, mits de weggebruiker tijdig op de nadering daarvan wordt geattendeerd, ook onder slechte zichtomstandigheden.

Ervaringen met enkele nieuwe rotondes buiten de bebouwde kom zijn naar de mening van de betreffende wegbeheerders niet ongunstig en daarbij komen naderingssnelheden tot boven de 100 km/uur voor (o.a. in Sittard).

Het ligt voor de hand dat de beschikbare ruimte voldoende moet zijn voor de aanleg van een rotonde. Bij een enkelstrooksrotonde dienen we uit te gaan van 25 m als absoluut minimum voor de buitendiameter en bij voorkeur niet minder dan 30 m. Een tweestrooksrotonde zal al gauw iets groter uitvallen en hetzelfde geldt voor rotondes met meer dan 4 armen. Ook is er ruimte nodig voor de fietsvoorzieningen, hetzij als fietsstrook met al of niet een fysieke scheiding, hetzij als vrijliggend fietspad, en eventueel voor de voetgangers. Het verdient geen aanbeveling in situaties met onvoldoende ruimte dan toch maar een (te) krappe rotonde aan te leggen en het zware verkeer om te leiden.

Het verdient aanbeveling ook aandacht te besteden aan de verkeersomgeving in ruime betekenis. Zoals in het begin van dit hoofdstuk al naar voren is gebracht zou onbeperkte toepassing van rotondes wel eens ongunstig kunnen zijn. Dit betekent dat bij de keuze voor een rotonde nagegaan zal moeten worden hoeveel rotondes in de nabijheid van de kruising al zijn of worden gerealiseerd, vooral voorzover het eenzelfde doorgaande route betreft. Maar de ervaring met veel rotondes op één route ontbreekt in Nederland zodat dit criterium nog niet kwantitatief gesteld kan worden.

Een ander aspect betreft de mogelijke filevorming door de nabijheid van verkeerslichten, beweegbare bruggen of andere oorzaken. Een rotonde met voorrang voor het pleinverkeer functioneert ook bij overbelasting op volle capaciteit zolang de afvoer van het verkeer verzekerd is. Maar als de staart van een file voor een volgend kruispunt, brug o.i.d. tot op de rotonde reikt dan kan de capaciteit fors afnemen (evenals die van de meeste andere oplossingen).

Tenslotte nog twee opmerkingen over de toepassing.

1. In sommige gevallen is door omwonenden van een kruispunt wel eens gepleit voor de aanleg van een rotonde in de veronderstelling dat daarmee de hoeveelheid passerend autoverkeer verminderd zou kunnen worden. De ervaring heeft geleerd dat dit een illusie is; zolang de rotonde niet wordt overbelast zullen weggebruikers niet de neiging hebben alternatieve routes te zoeken.
2. Er is nog geen studie gemaakt van of ervaring opgedaan met nieuwe rotondes in combinatie met een trambaan. Vragen die daarop betrekking hebben, zoals de situering van de trambaan (terzijde of middendoor) en de noodzaak van speciale waarschuwingslichten, kunnen daarom nog niet worden

beantwoord. Wel is het aannemelijk dat de capaciteit van een rotonde, gegeven de gebruikelijke tramfrequenties, slechts in geringe mate door de aanwezigheid van de tram beïnvloed zal worden.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het algemeen kan worden vastgesteld dat de kennis omtrent rotondes de afgelopen jaren flink is toegenomen, maar nog niet toereikend is om op alle gerezen vragen een afdoend antwoord te geven. De beschikbare kennis kan in grote lijnen worden samengevat in de volgende conclusies:

Recent onderzoek bevestigt dat rotondes gunstig zijn voor de veiligheid van het autoverkeer, voor een belangrijk deel als gevolg van de lage snelheden. Beperkte ervaring met een aantal nieuwe rotondes in Nederland lijkt er op te wijzen dat de rotonde ook voor de fietser en bromfietser een redelijk veilige oplossing is.

De feitelijke onveiligheid van alle rotondes in Nederland is moeilijk vast te stellen als gevolg van tekortkomingen in de ongevallenregistratie.

Het gedrag van de weggebruikers bij nadering van en op rotondes verschilt in principe weinig van het (voorrangs)gedrag dat in het algemeen kan worden geconstateerd. Zo heeft snelverkeer nogal moeite met het verlenen van voorrang aan langzaam verkeer; maar bij lagere snelheden zoals die bij radiale toeritten worden bereikt, is de situatie iets beter. Van de andere kant realiseert de fietser zich dat hij de zwakste partij is waardoor hij nogal eens afstand doet van zijn "recht" op voorrang.

Ook bij rotondes blijkt dat een duidelijk dominerende verkeersstroom meer moeite heeft met het verlenen van voorrang aan ander verkeer; en valt eveneens te constateren dat bij lange wachttijden kortere "gaps" worden geaccepteerd of de toegang min of meer wordt geforceerd.

De capaciteit van rotondes met voorrang voor het pleinverkeer is betrekkelijk groot en reikt tot tenminste 2000 mvt/uur bij een enkelstrooksrotonde. De capaciteit van een tweestrooksrotonde is hoger, maar het is nog allerminst duidelijk hoeveel hoger; voorlopig moet worden volstaan met het aanduiden van een capaciteitsbereik tussen ca. 2600 en ca. 4000 mvt/uur.

De opvattingen over afmetingen en vormgeving lopen steeds minder uiteen. Ook de mening over de meest geschikte voorrangsregeling en de daarbij behorende radiale toeritten is bijna unaniem.

Wel verschil van opvatting komt nog voor over de plaats en voorrangsregeling van (brom)fietzers. Door de recente ervaringen met nieuwe rotondes,

gesteund door de uitkomsten van een theoretische studie, begint zich een voorkeur voor enkele oplossingen af te tekenen.

Een grote diversiteit bestaat in de toepassing van verkeersborden en (voor)waarschuwingen; het toekomstige nieuwe RVV kan daarin verbetering brengen.

Hoewel een rotonde zeker niet in alle gevallen op zijn plaats is wordt het toch steeds duidelijker dat er veel mogelijkheden zijn voor toepassing; die mogelijkheden doen zich voor onder allerlei verkeersomstandigheden, zowel binnen als buiten de bebouwde kom en in overgangssituaties. De begrenzingen kunnen liggen in het vlak van de beschikbare ruimte, de (zeer hoge) intensiteiten of het karakter van de passerende verkeersstromen.

Op grond van de beschikbare informatie en inzichten kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Rotondes dienen bij voorkeur toegepast te worden in situaties waar verlaging van de snelheden noodzakelijk is, bij overgangssituaties, waar verkeerslichtenregeling minder gewenst is en waar andere oplossingen problematisch zijn.
2. Als een rotonde wordt toegepast verdient die oplossing de voorkeur waarbij aan het verkeer op het plein voorrang wordt gegeven en de toeritten radiaal worden uitgevoerd. Voor uitgebreider aanbevelingen omtrent de afmetingen en de vormgeving kan gewezen worden op de publikatie "Verkeerspleinen" van het C.R.O.W.
3. Het verdient aanbeveling niet te veel te experimenteren met allerlei oplossingen voor de positie en de voorrangsregeling van het fiets- en bromfietsverkeer. Vooralsnog zou aan de volgende oplossingen de voorkeur gegeven kunnen worden:
 - gescheiden fietspaden voor fietsers en bromfietzers op enige afstand van de rotonde waarbij de (brom)fietzers steeds voorrang verlenen aan het autoverkeer;
 - een variant op de bovengenoemde oplossing waarbij de bromfietzers op de rijbaan van de rotonde rijden;
 - een in rood uitgevoerde rijstrook voor de (brom)fietzers aan de buitenkant van de rijbaan van de rotonde en, voorzover mogelijk, fysiek gescheiden van die rijbaan; de (brom)fietser op het plein heeft voorrang.

4. Toepassing van rotondes met twee rijstroken, voorlopig op zeer beperkte schaal, verdient aanbeveling. Toepassing op grotere schaal is pas verantwoord als er ook in ons land voldoende ervaring met deze variant is opgedaan, zowel wat de veiligheid als de capaciteit betreft.

5. Het is gewenst dat in de toekomst meer uniformiteit wordt bereikt door de voorrangsregeling op alle, dus ook de oudere, rotondes gelijk te maken en door uniformering van de toe te passen bebording. De toe te passen borden zouden in de toekomst vervangen kunnen worden door één bord dat zowel de voorrang als de verplichte rijrichting regelt en waarmee tevens duidelijk wordt dat rotonde verlatend verkeer ook afslaand verkeer is.

6. Het juiste rijgedrag bij en op rotondes dient bevorderd te worden door doeltreffende voorlichting waarin onder meer wordt gewezen op het gebruik van de richtingaanwijzer en het verlenen van de vrije doorgang aan fietsers op het plein door automobilisten die het plein verlaten.

LITERATUUR

Boekhold, H. van e.a. (1988). Rotonde nieuwe stijl eem wondermiddel? 1988.

Brilon, W. (1988). Leistungsfähigkeit von Kreisverkehrsplätzen; Ein Zwischenbericht. Strassenverkehrstechnik 32 (1988) 5: 167 t/m 175.

CETUR (1988). Conception des carrefours a sens giratoire implantés en milieu urbain. Centres d'Études des Transport Urbains, Bagneux, 1988.

Department of Transport (1984). The geometric design of roundabouts. Departmental Standard TD 16/84. London, 1984.

DHV/DVK (1989). Verwerking meetgegevens Floating Car Evaluatie Gronausestraat te Losser. DHV Raadgend Ingenieursbureau BV, 1989.

Gambard, J.M. (1988). Safety and design of unsignalized intersections in France. In: Brilon, W. (1988). Intersections without traffic signals; Proceedings of an International Workshop, Bochum, FRG, 16-18 March 1988, pp. 48-61. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Hooning, J.J.; Kooistra, S.M. & Mudde, A. (1989). Van doorgaande weg naar Dorpsweg. Verkeerskunde 41 (1989) 3: 122 t/m 126.

Jirava, P. & Karlicky, P. (1988). Research on unsignalized intersections with impact on the Czechoslovak design standard. In: Brilon, W. (1988). Intersections without traffic signals; Proceedings of an International Workshop, Bochum, FRG, 16-18 March 1988, pp. 103-110. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Jordan, P.W. (1985). Pedestrian and cyclists at roundabouts. In: National Conference Publication of the Third National Government Engineering Conference, Melbourne, 26-29 August 1985, pp. 290-295. Institution of Engineers, Australia.

Kimber, R.M. (1988). The design of unsignalized intersections in the UK. In: Brilon, W. (1988). Intersections without traffic signals; Proceedings of an International Workshop, Bochum, FRG, 16-18 March 1988, pp. 20-34. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Marstrand, E.B. (1988). The capacity of large roundabouts. The Journal of the Institution of Highways and Transportation (1988) (March) 9-12.

Minnen, J. van (1988). Rotondes II; Inventarisatie en analyse van de beschikbare informatie. R-88-43. SWOV, Leidschendam, 1988.

Ploeger, J. (1987). Rotondes in de mode. De Vogelvrije Fietser 12/5 (1987): 8 en 9.

Troutbeck, R.J. (1988). Current and future Australian practices for the design of unsignalized intersections. In: Brilon, W. (1988). Intersections without traffic signals; Proceedings of an International Workshop, Bochum, FRG, 16-18 March, 1988, pp. 1-19. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Veling, I.H. & Vos, M.A. (1988). Positie en voorrangsregeling van fietsers en bromfietsers op rotondes "nieuwe stijl"; Theoretische inventarisatie en evaluatie. Rapport TT88-22. Traffic Test BV, Veenendaal, 1988.

Verkeerspleinen: Rapport van de werkgroep "Rotondes". Publikatie 24. Stichting CROW, Ede, 1989.

Westerveld, H. (1988). Voorrang op verkeerspleinen. CBR Reflector (1988) 9 : 14 en 15.

AFBEELDINGEN 1 T/M 7

Afbeelding 1. Voorbeelden van de Engelse "normal" en "mini roundabout".

Afbeelding 2A. Capaciteit conflictpunt volgens Kimber.

Afbeelding 2B. Capaciteit conflictpunt volgens simulatieberekeningen.

Afbeelding 3A. Capaciteiten enkelstrooksrotondes.

Afbeelding 3B. Capaciteiten tweestrooksrotondes.

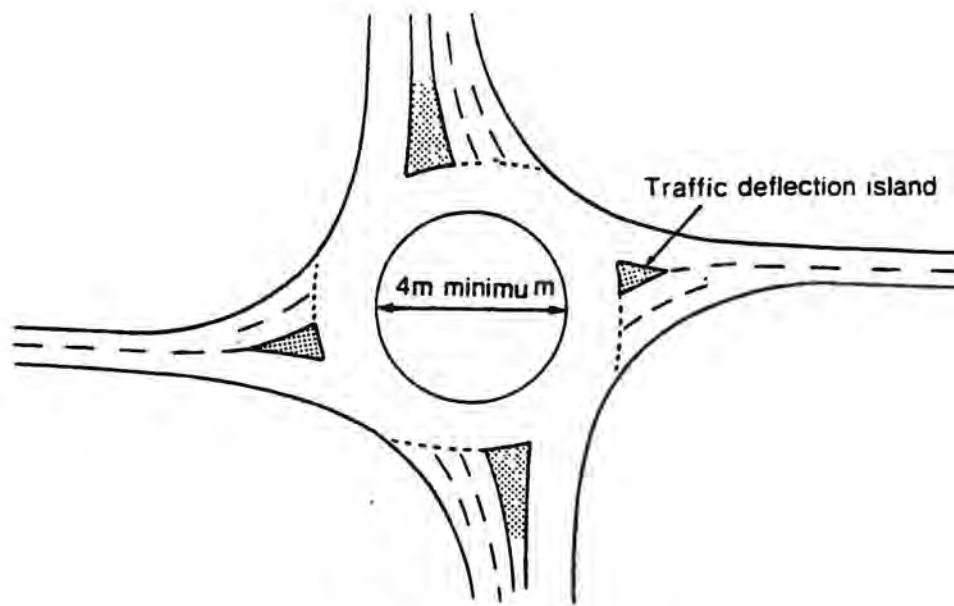
Afbeelding 4A. Voorbeeld "sliplane" in Australië.

Afbeelding 4B. De "voie directe tourne-à-droite".

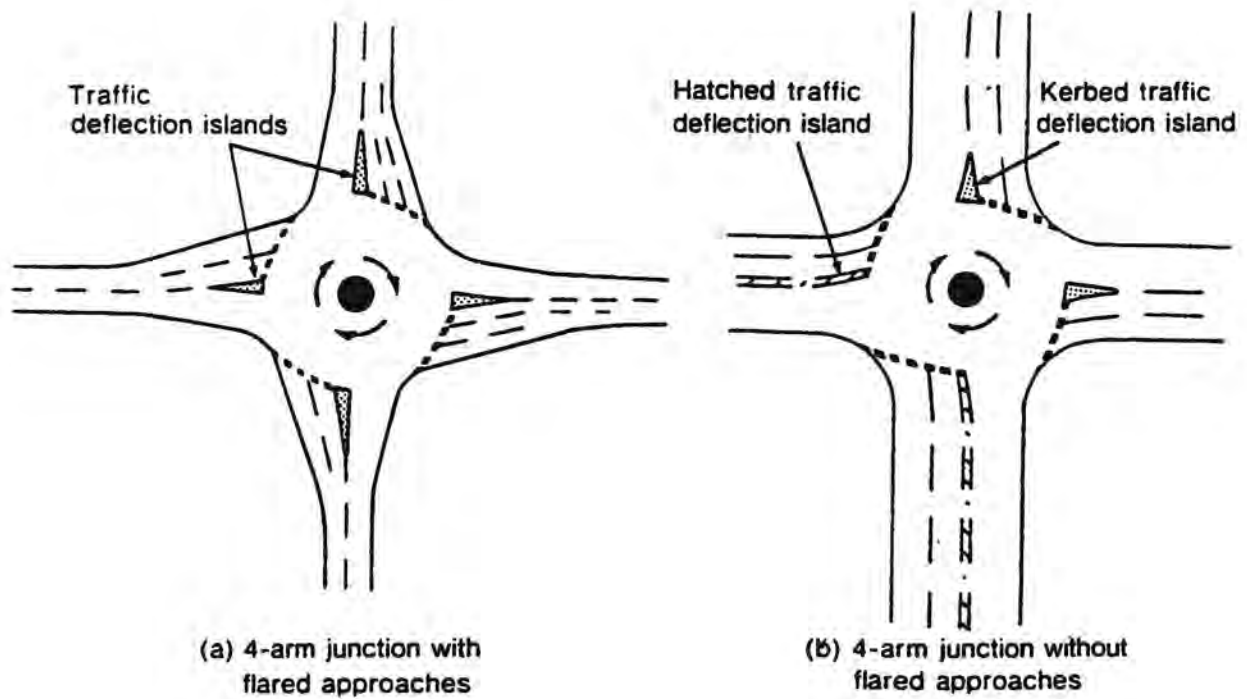
Afbeelding 5. Deventer, Laan van Borgele.

Afbeelding 6. Enkele verkeersborden.

Afbeelding 7. Toepassingsbereik rotondes (4 armen).



Normal Roundabout

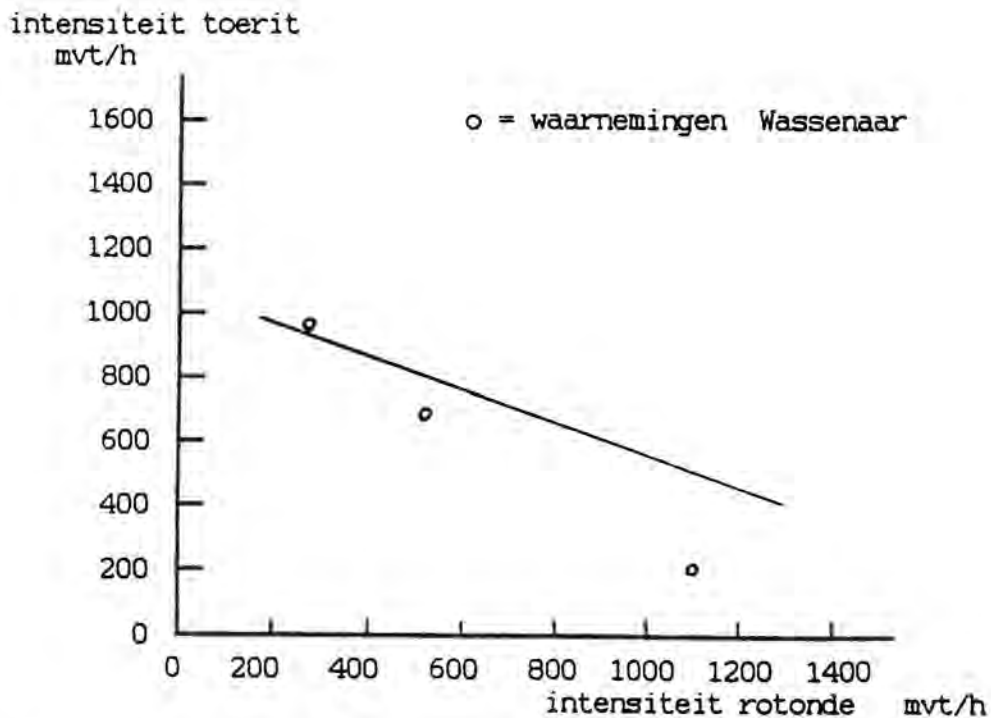


(a) 4-arm junction with flared approaches

(b) 4-arm junction without flared approaches

Mini Roundabouts

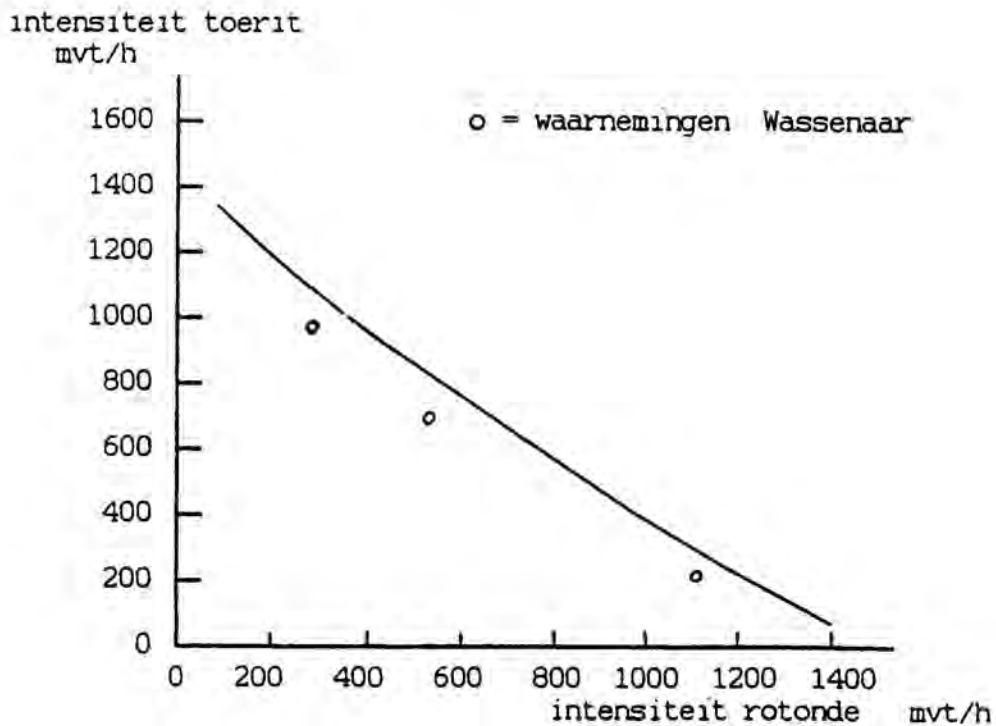
Afbeelding 1. Voorbeelden van de Engelse "normal" en "mini roundabout".



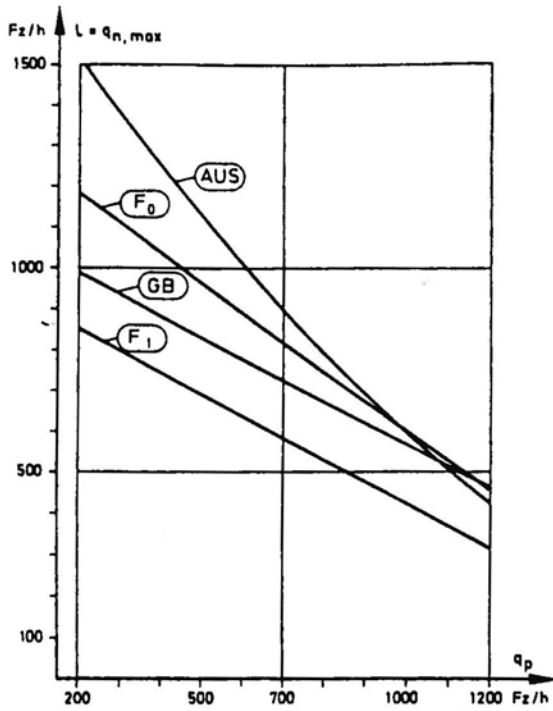
Afbeelding 2A. Capaciteit conflictpunt volgens Kimber.

"Intensiteit rotonde" is de intensiteit van het verkeer dat op de rotonde rijdt, op het gedeelte onmiddellijk voor de betreffende toerit.

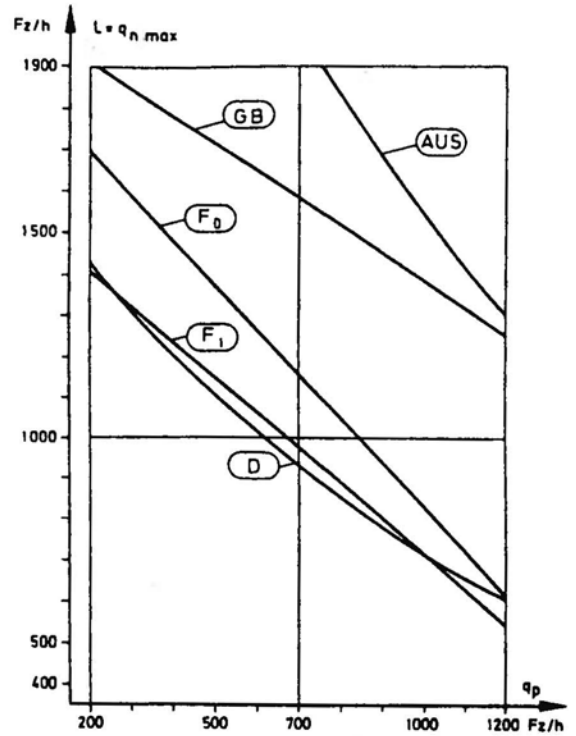
"Intensiteit toerit" is de intensiteit van het verkeer op de betreffende toerit dat naar de rotonde toe rijdt.



Afbeelding 2B. Capaciteit conflictpunt volgens simulatieberekeningen.



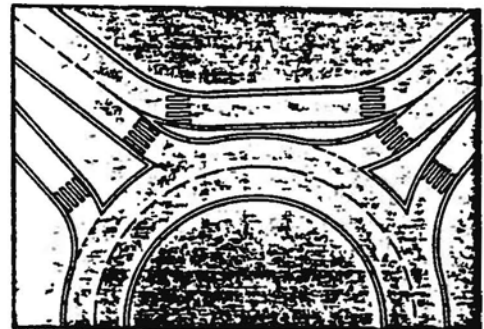
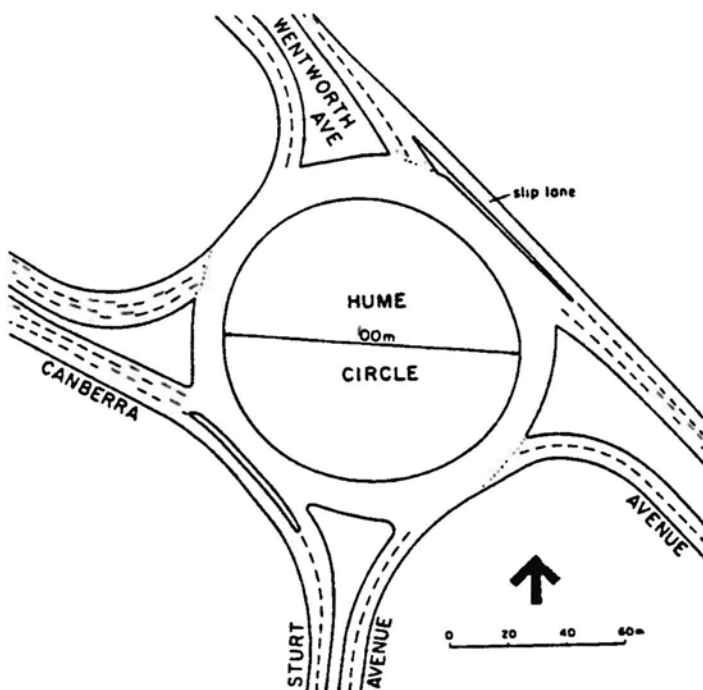
Vergleich der Leistungsfähigkeitsformeln für den 1-streifigen Kreis



Vergleich der Leistungsfähigkeitsformeln für die 2-streifige Zufahrt zu einem 2-streifigen Kreis

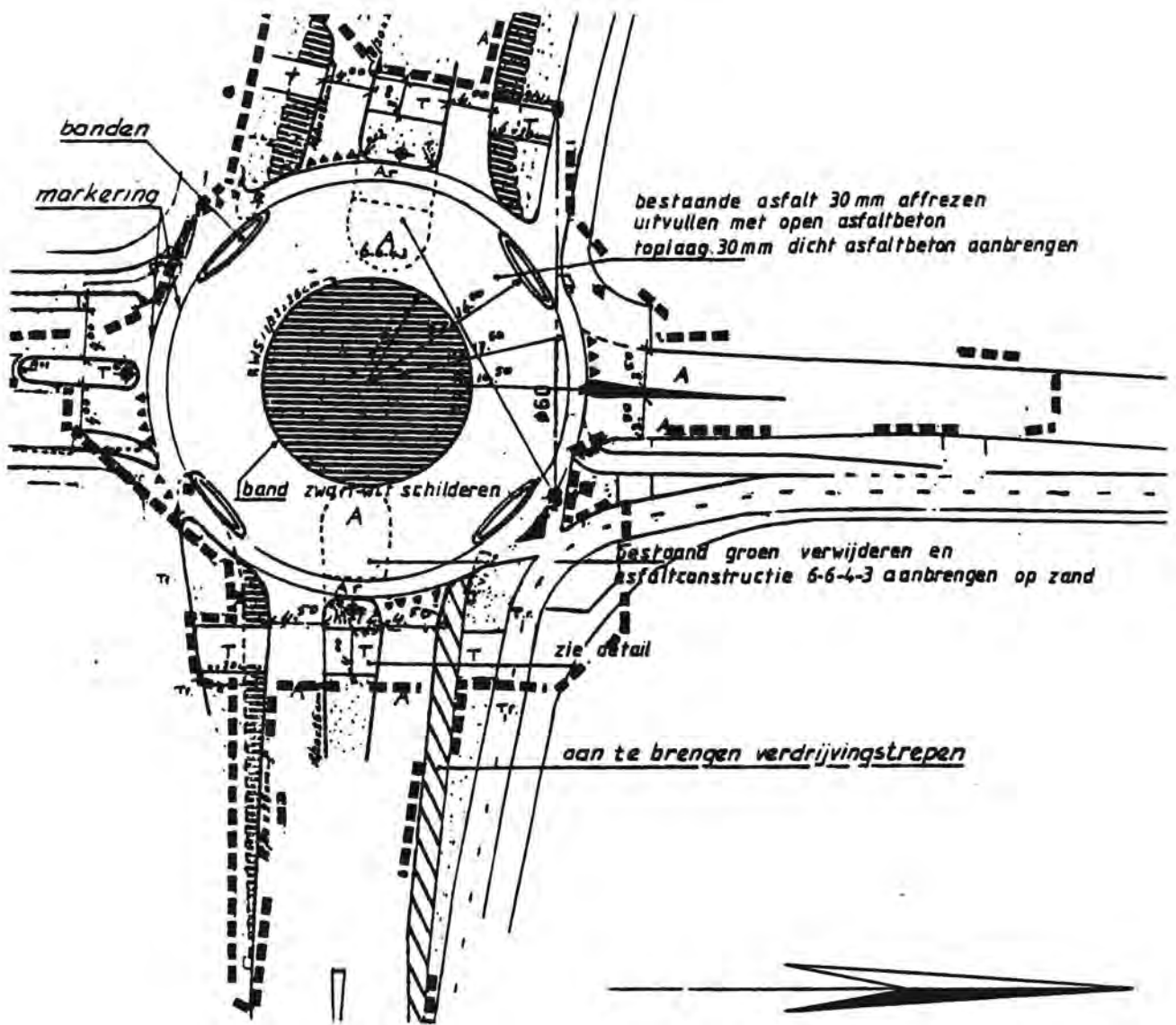
Afbeelding 3A. Capaciteiten enkelstrooksrotonde

Afbeelding 3B. Capaciteiten tweestrooksrotonde



Afbeelding 4A. Voorbeeld "sliplane" in Australië.

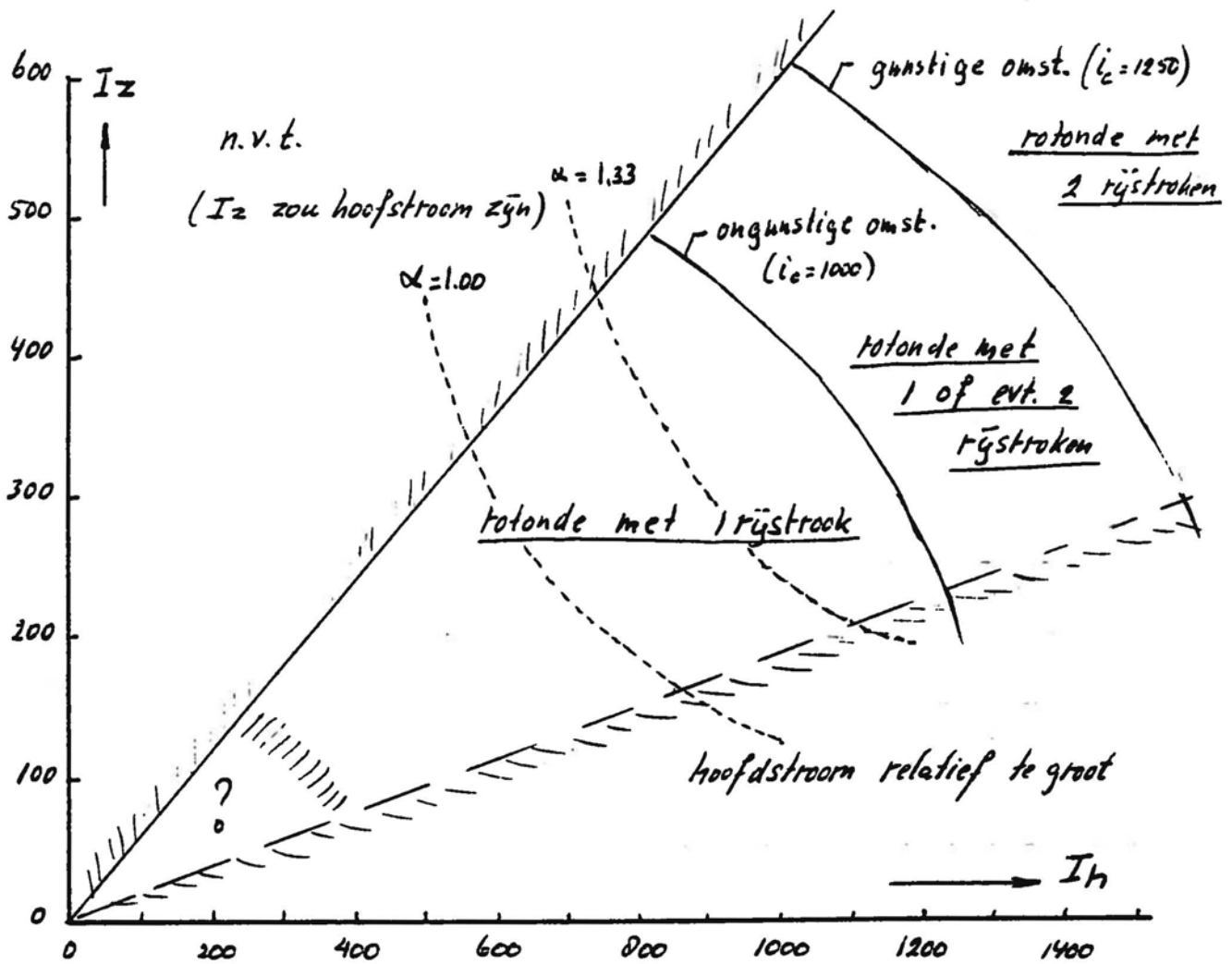
Afbeelding 4B. De "voie directe tourne-à-droite".



Afbeelding 5. Deventer, Laan van Borgele.



Afbeelding 6. Enkele verkeersborden.



Toelichting

Toepassingsbereik rotondes (4 armen)

I_h = hoofdstroom: spitsuurintensiteit op hoofdroute, beide richtingen samen

I_z = zijstroom: spitsuurintensiteit op zijweg met de hoogste toevoerintensiteit; één richting

$\alpha = 1.00$ en $\alpha = 1.33$: criteria uit ASVV (omgerekend) m.b.t. toepassing VRI.

Afbeelding 7. Toepassingsbereik rotondes (4 armen).