

Voor- en nastudies op rotondelocaties

Onderzoek naar veiligheid en capaciteitsaspecten via waarnemingen op een zestal locaties waar kruispunten werden gewijzigd in een rotonde

R-94-61

J. van Minnen

Leidschendam, 1994

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 170
2260 AD Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	5
2.	<i>Doelstelling</i>	7
3.	<i>Opzet van het onderzoek</i>	8
3.1.	Algemeen	8
3.2.	De onderzoekslocaties	9
4.	<i>De waarnemingsmethoden</i>	11
4.1.	Snelheden	11
4.2.	Conflictobservaties	11
4.3.	Voorrangsgedrag	12
4.4.	Intensiteiten	13
4.5.	Passagetijden	13
4.6.	Aantallen wachtende auto's	14
4.7.	Richting aangeven	14
5.	<i>Uitvoering van het onderzoek</i>	16
5.1.	Uitvoerenden	16
5.2.	Programma van waarnemingen	16
5.3.	Enkele problemen bij de uitvoering	18
5.3.1.	Passagetijden	19
6.	<i>Resultaten</i>	20
6.1.	Intensiteiten	20
6.2.	Aantallen wachtenden en wachttijden	22
6.3.	Passagetijden	24
6.4.	Snelheden	28
6.5.	Conflictobservaties	32
6.6.	Voorrangsgedrag	34
6.7.	Gebruik richtingaanwijzer	36
7.	<i>Discussie</i>	38
8.	<i>Conclusies</i>	40
8.1.	Conclusies met betrekking tot de doorstroming en de capaciteit	40
8.2.	Conclusies met betrekking tot de veiligheid	40
	<i>Literatuur</i>	42
	<i>Bijlagen 1 t/m 3</i>	43

1. Inleiding

Al meer dan tachtig jaar wordt in Nederland de rotonde toegepast als verkeerskundige oplossing voor kruispunten. Sinds ongeveer 1960, toen het autoverkeer snel groeide, zijn evenwel steeds meer rotondes vervangen door andere kruispuntvormen.

Hernieuwde belangstelling voor de rotonde ontstond in ons land halverwege de jaren tachtig, aansluitend op ontwikkelingen in Frankrijk. In enkele gemeenten werden nieuwe rotondes aangelegd met voorrang voor het rotondeverkeer of werd een bestaand plein gereconstrueerd. De SWOV vatte de kennis over rotondes samen (Van Minnen, 1988) en deed voorstellen voor onderzoek. Daarop volgden opdrachten voor een consult over de toepassing van rotondes (Van Minnen, 1989) en voor een studie naar de positie en voorrangregeling van fietsers op rotondes (Veling & Vos, 1988).

Een van de voorstellen had betrekking op onderzoek in de vorm van waarnemingen op rotonde-locaties. Een opdracht daarvoor werd afhankelijk gesteld van de uitkomsten van een studie naar de aanwezigheid van voldoende geschikte locaties voor een dergelijk onderzoek, het zogenaamde 'haalbaarheidsonderzoek'. Uit die verkenning bleek dat er inderdaad voldoende locaties waren die voor onderzoek in aanmerking kwamen; ook was al aangegeven voor welk type waarnemingen de diverse kruispunten en rotondes in aanmerking zouden komen.

In het najaar van 1988 verleende de Dienst Verkeerskunde aan de SWOV opdracht voor de uitvoering van onderzoek op een zestal locaties: vier kruispunten waar een rotonde zou worden aangelegd en twee reeds gerealiseerde rotondes (contract nr. DVK-718). Bij de vier kruispunten was sprake van een vooronderzoek dat te zijner tijd gevolgd zou worden door nastudies op dezelfde locaties.

Een belangrijk deel van de waarnemingen werd onder begeleiding van de SWOV uitgevoerd door een tweetal adviesbureaus.

In 1989 verleende de Dienst Verkeerskunde opdracht voor na-onderzoek op drie inmiddels gerealiseerde rotondes (contract nr. DVK-882); de uitvoering van de vierde rotonde was vertraagd, zodat een na-onderzoek op dit plein naar de toekomst werd verschoven. Met de opdrachtgever werd overeengekomen de rapportages van beide onderzoeken samen te voegen, onder meer om de vergelijking tussen voor- en nasituatie volledig tot zijn recht te laten komen.

De gedetailleerde verslaglegging van de waarnemingen door de adviesbureaus is in een achttal rapporten met bijlagen opgenomen, die deel uitmaken van deze rapportage. Door bureau Van Roon is nog een vergelijkende studie toegevoegd waarin de resultaten van waarnemingen op een viertal locaties zijn gebundeld en geëvalueerd.

Dit rapport bevat een samenvatting, bespreking en evaluatie van de diverse voor- en nastudies. Na behandeling van het doel, de opzet en de uitvoering van het onderzoek in de hoofdstukken 2 t/m 5, komen de resultaten en analyses in de daarop volgende hoofdstukken aan de orde. In hoofdstuk 9 worden ten slotte enkele conclusies en aanbevelingen vermeld.

Waar in dit rapport over fietsers wordt gesproken zonder dat daarbij de bromfietser apart worden genoemd, worden steeds fietsers en bromfietsers bedoeld.

Beschrijvingen van waarnemingsmethoden en een bespreking van een correctiemethode voor de passagetijdwaarnemingen zijn in bijlagen opgenomen.

2. Doelstelling

In welke situaties kan een rotonde worden toegepast en hoe moet die worden uitgevoerd, rekening houdend met de veiligheid en de capaciteit? Dat zijn de vragen die een wegbeheerder zich kan stellen bij de toepassing van rotondes als kruispuntoplossing. Voor de beantwoording van die vragen is het van belang dat we meer inzicht krijgen in de manier waarop de veiligheid van rotondes samenhangt met (onder meer) de uitvoering en vormgeving. Ook zullen we moeten beschikken over gegevens omtrent de capaciteit van rotondes, om vast te kunnen stellen in welke gevallen de rotonde een bruikbaar en veilig alternatief is, ook voor kruisingen met verkeerslichteninstallaties.

De doelstelling van dit onderzoek behelst dan ook *het verkrijgen van meer inzicht in capaciteit en veiligheid van rotondes en de factoren die daarop van invloed zijn*. Uit deze doelstelling kan een aantal meer concrete vragen worden afgeleid, zoals:

- *Wat kunnen we nu reeds te weten komen over de veiligheid van rotondes, in vergelijking met gewone kruisingen?*

Daartoe kunnen verschillende waarnemingen zoals snelheidsmetingen en conflictobservaties worden uitgevoerd. Uitkomsten van deze waarnemingen dienen een eerste aanwijzing te geven over de veiligheid van rotondes in vergelijking met andere kruispuntvormen. Wanneer de resultaten daarvan te zijner tijd worden gecombineerd met de uitkomsten van ongevallenstudies, zal dit een zo volledig mogelijk beeld van de veiligheid opleveren.

- *Welke uitvoering/vormgevingsaspecten dragen het meest bij aan de veiligheid van de rotonde?*

Wanneer diverse uitvoeringen in het onderzoek worden betrokken, is het wellicht mogelijk om vast te stellen welke uitvoering de voorkeur verdient. Diverse variabelen zoals afmetingen, toepassing van overrijdbare stroken rond het middeneiland, de wijze van bebording enzovoort, kunnen beoordeeld worden. Maar de meeste aandacht zal worden besteed aan de toegepaste fietsvoorziening en de regeling van de voorrang voor fietsers en bromfietsers. De speciale aandacht voor deze categorie is het gevolg van de uitkomsten van eerdere onderzoeken die in andere landen werden uitgevoerd. Daaruit volgde heel duidelijk dat een rotonde voor automobilisten een veilige oplossing is. Maar over de veiligheid van fietsers werd niet of in enigszins ongunstige zin gerapporteerd.

- *In welk bereik van intensiteiten en intensiteitsverhoudingen zijn rotondes toepasbaar, ook rekening houdend met de aantallen (brom)-fietsers?*

Criteria die daartoe kunnen worden gehanteerd zijn onder meer: aantallen wachtenden, wacht- en passagetijden of verliestijden, voorrangsgedrag en conflicten. Voor dat doel was het gewenst zo veel mogelijk drukke locaties in het onderzoek te betrekken.

3. Opzet van het onderzoek

3.1. Algemeen

Wanneer de eigenschappen van rotondes, zoals capaciteit en veiligheid, vergeleken moeten worden met die van gewone kruisingen, dan komen er in principe diverse methoden voor de vergelijking in aanmerking. Twee voor de hand liggende methoden zijn (a) de directe vergelijking van rotondes met andere kruisingen, en (b) de voor- en nastudies.

Ad (a) De eerstgenoemde methode heeft als voordeel dat de vergelijking betrekking heeft op reeds bestaande kruisingen, zodat een onderzoek niet erg lang hoeft te duren. Daar staat tegenover dat het vaak niet eenvoudig is geschikte kruispunten te vinden - dat wil zeggen: kruispunten die in zoveel mogelijk opzichten aan elkaar gelijk zijn en uitsluitend verschillen in kruispunttype.

Ad (b) Dat bezwaar telt nauwelijks bij een voor- en nastudie, waarvoor in dit geval werd gekozen. Wel vraagt dit een langere onderzoekstijd omdat de reconstructie en een gewenningsperiode moeten worden afgewacht voordat het na-onderzoek kan worden uitgevoerd. Ook geldt in dit concrete geval de beperking dat het onderzoek uitsluitend uitvoerbaar is op die locaties waar een dergelijke reconstructie binnen de onderzoeksperiode aan de orde is. Uit de haalbaarheidsstudie was evenwel gebleken dat er voldoende locaties waren die in aanmerking kwamen voor dit onderzoek, zodat toch aan deze methode de voorkeur werd gegeven.

Niet in alle gevallen was er sprake van een volledig voor- en na-onderzoek. Een tweetal rotondes was bij aanvang van het vooronderzoek al gerealiseerd, maar in beide gevallen was er toch wel enige informatie uit de voorperiode beschikbaar. Het bleef daardoor de moeite waard ook deze pleinen in het onderzoek te betrekken, ook al om de vergelijking van diverse rotonde-uitvoeringen onderling uit te kunnen breiden.

Daarnaast is er een rotonde gerealiseerd waar het na-onderzoek tot op heden nog niet werd uitgevoerd, zodat deze locatie nog niet zinvol in de analyse kon worden betrokken. Omdat het binnen dit onderzoek de enige locatie buiten de bebouwde kom was en bovendien de enige met een verkeerslichtenregeling in de voorsituatie, zou een na-onderzoek nog een belangrijke uitbreiding van de resultaten kunnen betekenen.

De keuze van de voor- en nastudie als onderzoeksmethode was onder meer gebaseerd op de gedachte dat bij deze werkwijze alleen het kruispunttype verandert, terwijl de andere variabelen nagenoeg constant blijven. Rekening houdend met een gewenningsperiode zou een nastudie niet eerder dan drie à vier maanden na de ombouw tot rotonde uitgevoerd kunnen worden. Om de vergelijkbaarheid optimaal te maken werd er maar gestreefd de voor- en nametingen zo veel mogelijk in hetzelfde seizoen of zelfs in dezelfde kalendermaand uit te voeren.

Op grond van deze overwegingen werd er voor gekozen het voor- en na-onderzoek een jaar na elkaar te laten plaatsvinden.

Uiteraard werd rekening gehouden met relatief kleine veranderingen in de intensiteiten als gevolg van algemene ontwikkelingen of als gevolg van de reconstructie tot rotonde. In één geval bleek, als gevolg van onvolledige

informatie, die veronderstelling niet geheel juist, maar de intensiteitsverschillen waren niet zo groot dat de locatie niet meer voor onderzoek in aanmerking zou kunnen komen (zie hoofdstukken 5 en 6).

3.2. De onderzoekslocaties

Voor het onderzoek was het gewenst dat er voldoende variatie in de uitvoeringsvormen van de rotondes zou voorkomen, vooral gelet op de fietsvoorzieningen. Met de verschillende fietsvoorzieningen wordt hier de gebruikelijke indeling in drie typen bedoeld:

- GEEN: Een plein zonder speciale fietsvoorzieningen; fietsers op het plein hebben voorrang.
- STROOK: Een plein met aan de buitenzijde van de rijbaan een fietsstrook, vaak rood van kleur; ook in dit geval hebben fietsers op het plein voorrang.
- PAD: Een plein waaromheen vrijliggende fietspaden zijn aangebracht; de fietsoverstekers bevinden zich meestal op enige afstand van de buitenrand van het plein en de fietser dient meestal voorrang te geven aan het autoverkeer.

Toepassing van voldoende variatie is grotendeels gelukt; van de zes pleinen zijn er drie met vrijliggende fietspaden en drie met fietsstroken, zoals in onderstaand overzicht is aangegeven. Geschikte rotondes zonder fietsvoorzieningen, de minst toegepaste oplossing, bleken op het moment van het vooronderzoek niet gepland.

Overzicht onderzoekslocaties

	bebouwde kom	fiets- voorz.	maand opening	locatie
1. Nieuw Milligen	buiten	pad	11 - 1989	N344/N302
2. Oss	binnen	strook	6 - 1989	Euterpelaaan - Kortfoortstraat
3. Sittard	binnen	strook	7 - 1988	Dr. Nolenslaan - Sportcentrumlaan
4. Wassenaar	buiten	strook	8 - 1988	Lange Kerkdam - Prinsenweg
5. Woerden	binnen	pad	6 - 1989	Hollandbaan - Molenvlietbaan
6. Zoetermeer	binnen	pad	5 - 1989	Van Leeuwenhoeklaan - Van Rijweg

Bij de pleinen met fietspaden waren er twee waarbij de fietser bij elke oversteek voorrang aan het snelverkeer moest verlenen - verreweg de meest toegepaste oplossing. Het derde plein met fietspaden, in Zoetermeer, had de gemengde voorrangoplossing waarbij fietsers voorrang moeten *verlenen* aan het verkeer dat de rotonde verlaat, maar voorrang *hebben* op het verkeer dat het plein nadert. Dit is een uit onderzoeksoogpunt interessante variant die niet veel wordt toegepast (de derde mogelijkheid, voorrang voor de fietser bij elke oversteek, was op dat moment bij nieuwe pleinen nog niet aan de orde).

Een andere interessante afwijking van de gebruikelijke oplossingen was het feit dat op de rotonde in Zoetermeer de bromfietzers op de rijbaan voor het autoverkeer waren toegestaan. Aandacht voor deze oplossing was relevant, onder meer gelet op de uitkomsten van de betreffende theoretische studie (Veling & Vos, 1988). Dit plein was bovendien van het '3 + 1'-type, dat wil zeggen dat er drie volwaardige takken waren,

terwijl de vierde tak uitsluitend de in- en uitrit van een parkeergelegenheid betrof.

In bijna alle gevallen was er sprake van relatief hoge verkeersintensiteiten, oplopend tot boven de 2000 passerende auto's in het drukste uur in Wassenaar; bovendien was er sprake van aanzienlijke aantallen fietsers. Maar ook het minst drukke plein, dat in Woerden, was uit onderzoeksoogpunt voldoende interessant, om twee redenen.

In de eerste plaats betrof het hier een experiment waarbij de rotonde nagenoeg volledig op de bestaande verharding werd gerealiseerd, gedeeltelijk met verplaatsbare elementen. De uitkomsten van het onderzoek zouden mede bepalend zijn voor de vraag of de rotonde (in definitieve uitvoering) gehandhaafd zou blijven, of zou worden vervangen door een verkeerslichteninstallatie.

In de tweede plaats ging het hier om een locatie met vrijliggende fietspaden, waarop relatief veel fietsverkeer in tegengestelde richting werd verwacht.

De enige rotonde buiten de bebouwde kom, die in Nieuw Milligen, bevindt zich op een typisch toeristische route, waardoor uitsluitend in het zomerseizoen flinke aantallen fietsers werden verwacht.

Ook de verkeers- en voorrangsregeling in de voorsituatie varieerde; in Wassenaar was de voorrang niet nader geregeld, terwijl in Nieuw Milligen het verkeer met lichten geregeld werd.

De overige vier locaties betroffen voorrangskruispunten.

Ten slotte is het vermeldenswaard dat in Wassenaar de belangrijkste verkeersstroom op het kruispunt afslaat, dus een kwart, respectievelijk driekwart gedeelte van de rotonde gebruikt. Volgens sommigen vormt dit een verkeerssituatie waarvoor een rotonde een minder geschikte oplossing zou zijn.

4. De waarnemingsmethoden

Om een beeld van de veiligheid te verkrijgen zijn drie soorten waarnemingen gekozen:

1. snelheidsmetingen
2. conflictobservaties
3. voorrangsobservaties

Voor de beoordeling van de verkeersafwikkeling zijn de verkeersintensiteiten, de passagetijden en de wachtrijlengten geregistreerd. De verkeersintensiteiten zijn overigens ook van belang voor een juiste beoordeling van de verkeersonveiligheid.

Ten slotte is ook het gebruik van de richtingaanwijzer vastgelegd, uitsluitend in de rotonde-situatie. Dit gegeven is zowel voor de veiligheid als voor de doorstroming van belang.

4.1. Snelheden

Er wordt verondersteld dat de veiligheid van de rotonde als kruispuntoplossing voor een deel het gevolg is van de lagere snelheden. Het is daarom van belang na te gaan in welke mate die snelheden dalen, en op welke weggedeelten. Ook een vermindering van de spreiding in snelheden kan uit veiligheidsoverwegingen van belang zijn.

Lagere snelheden op het plein zelf zijn vanzelfsprekend, omdat snel rijden daar fysiek onmogelijk is. Maar ook het snelheidsgedrag op enige afstand voor en voorbij de rotonde is van belang om vast te kunnen stellen tot welke afstanden de invloed van een rotonde zich uitstrekt.

Hogere snelheden in de kruispuntsituatie komen vooral voor op de belangrijkste weg, waar het verkeer meestal voorrang had. Rechtdoorgaand verkeer kon daarom in principe ongehinderd doorrijden. De snelheidsmetingen zijn daarom steeds op de belangrijkste weg uitgevoerd, in principe op afstanden van 100m en 30m voor en voorbij het plein, dus zowel van het toerijgend als van het afrijgend verkeer.

Op één plein, de rotonde in Wassenaar, zijn geen snelheidsmetingen uitgevoerd. De belangrijkste reden was het feit dat er geen gegevens uit de voorperiode beschikbaar waren omdat het plein bij het begin van dit onderzoek al was aangelegd.

Ook het plein in Sittard bestond reeds, maar daar waren in het voorafgaande jaar al snelheidsmetingen verricht als onderdeel van een testprogramma dat was bedoeld om de verschillende typen waarnemingen rond kruisingen en pleinen uit te proberen.

De snelheidsmetingen werden hoofdzakelijk buiten de spitsuren uitgevoerd; in die perioden wordt de snelheidskeuze minder door de verkeersdruk beïnvloed, zodat het effect van de ombouw tot rotonde zo duidelijk mogelijk kan worden vastgesteld.

4.2. Conflictobservaties

Wanneer betrekkelijk kort na een reconstructie nog niet voldoende ongevallengegevens beschikbaar zijn kunnen, om toch een bruikbaar beeld van de te verwachten onveiligheid te krijgen, conflictobservaties worden

uitgevoerd. Hoewel de relatie met de feitelijke onveiligheid misschien niet eenduidig is als het om de aantallen ongevallen gaat, kan op deze wijze toch duidelijk worden welke conflicttypen het meest voorkomen en/of het ernstigst lijken. Daarmee kunnen ten minste de sterke en zwakke kanten van de verschillende kruispuntoplossingen worden blootgelegd.

Voor de uitvoering van deze observaties is gekozen voor de DOCTOR-methode, rekening houdend met het gegeven dat zowel bij de SWOV als bij de betrokken adviesbureaus medewerkers waren die voor deze observatiemethode waren opgeleid. Op die manier kon bij alle waarnemingen dezelfde methode worden toegepast, waardoor een maximale vergelijkbaarheid kon worden bereikt, zowel tussen voor- en nasituatie als tussen de locaties onderling.

Overeenkomstig de adviezen voor deze methode werd op de vier in aanmerking komende locaties zowel in de voor- als in de naperiode gedurende drie dagen en zes uur per dag geobserveerd. In Sittard werden geen conflictobservaties uitgevoerd. De reden hiervoor was dat tijdens de proefwaarnemingen in de voorperiode geen observaties waren gedaan, zodat vergelijking tussen kruising en rotonde niet mogelijk zou zijn. Ook in Nieuw Milligen (voorperiode) werden geen conflicten geregistreerd, in dit geval omdat het een kruising met verkeerslichtenregeling betrof.

4.3. Voorrangsgedrag

Invoering van voorrang voor alle verkeer op een rotonde was voor Nederland een betrekkelijk nieuw fenomeen dat nog maar weinig was toegepast. De weggebruiker werd daarom meestal via extra (onder)borden op de voorrangssituatie geattendeerd.

Gezien het nieuwe karakter van de voorrangregeling was het van belang te weten te komen in hoeverre het feitelijke voorrangsgedrag overeen zou komen met het voorgeschreven gedrag. Voor het autoverkeer onderling ging het daarbij uitsluitend om de vraag of de automobilisten die het plein naderden inderdaad voorrang zouden verlenen aan het verkeer op het plein.

Het voorrangsgedrag van automobilisten ten opzichte van fietsers en omgekeerd is wat complexer van aard. Bij de pleinen met vrijliggende fietspaden zijn het de fietsers die voorrang moeten verlenen aan de auto's, met uitzondering van een deel van de oversteken rond het plein in Zoetermeer.

Bij de pleinen met fietsstrook is er de voorrangssituatie van automobilisten die het plein willen oprijden en daarbij aan fietsers *op* het plein voorrang moeten geven. Deze situatie is vergelijkbaar met die op kruispunten met een voorrangsweg, waarbij automobilisten voorrang dienen te verlenen aan fietsers op de voorrangsweg.

Automobilisten die het plein verlaten, dienen voorts de fietsers rechts naast hen op de fietsstrook die niet afslaan, voor te laten gaan. Ook dat komt op kruispunten voor, wanneer autoverkeer afslaat en doorgaande fietsers voor moet laten gaan.

Om dezelfde redenen als genoemd bij de conflictobservaties, werden voorrangsobservaties niet uitgevoerd in Sittard en in Nieuw Milligen.

4.4. Intensiteiten

Er zijn vele redenen om op de onderzoekslocaties de verkeersintensiteiten vast te leggen. In de eerste plaats kan daardoor een indruk van de capaciteit van enkelstrooks rotondes worden verkregen. Maar minstens zo belangrijk is het om de uitkomsten van de diverse andere waarnemingen aan de verkeersintensiteiten te kunnen relateren.

De aantallen conflicten bijvoorbeeld, zijn sterk afhankelijk van de intensiteiten van de betreffende verkeersstromen. Maar ook het voorrangsgedrag kan voor een deel worden bepaald door de verhouding tussen de intensiteiten van de beide betrokken verkeersbewegingen. En enkele van de hierna te bespreken waarnemingen, zoals de gemiddelde wachttijd, zijn uitsluitend te berekenen met behulp van de gegevens over de intensiteiten. De onderlinge samenhang tussen diverse waarnemingen die met de verkeersafwikkeling te maken hebben, impliceert dat die waarnemingen gelijktijdig uitgevoerd dienden te worden. Omdat capaciteiten en wachttijden vooral een spitsuurprobleem zijn, zijn voor deze waarnemingen de spitsperioden gekozen. Daarnaast kan via deze uitkomsten een redelijke schatting van de etmaalintensiteiten worden gemaakt.

Een goed beeld van de verkeersafwikkeling is slechts mogelijk wanneer alle verkeersbewegingen op het kruispunt of de rotonde afzonderlijk worden geregistreerd. Op een vierarmskruising of plein gaat het dan, wanneer ook kerend verkeer apart wordt meegeteld, om zestien verschillende bewegingen. Het onderscheid naar verkeersbeweging maakt het mogelijk zowel de 'conflict-puntbelastingen' als de 'pleinbelasting' vast te stellen (zie *Bijlage 1* voor een toelichting op beide begrippen).

Om diverse redenen was het gewenst het intensiteitsverloop als functie van de tijd zo nauwkeurig en gedetailleerd mogelijk vast te leggen, waardoor een optimale koppeling met andere waarnemingen mogelijk zou zijn. Bovendien kon daardoor voldoende precies het drukste uur worden vastgesteld, van belang voor capaciteitsbepalingen.

4.5. Passagetijden

De verkeersafwikkeling op een kruispunt wordt voor een belangrijk deel bepaald door de wachttijden van de verkeersdeelnemers en de totale tijd die zij nodig hebben om de kruising of het plein volledig te passeren, de 'passagetijd' genoemd. Met behulp van deze informatie kunnen kruispunten en rotondes worden vergeleken, zowel wat de gemiddelde waarden over alle takken betreft, als wat de verdeling over de takken betreft. Het ligt namelijk voor de hand dat een rotonde een belangrijke verschuiving in die verdeling teweeg zal brengen, omdat deze oplossing in principe elke tak gelijkwaardig behandelt.

Passagetijden zijn vanzelfsprekend sterk afhankelijk van het verkeersaanbod en dienen daaraan ook gerelateerd te worden. De waarnemingen vonden daarom eveneens tijdens de spitsuren plaats tijdens welke ook de intensiteiten werden geregistreerd.

Onderscheid werd gemaakt naar elke verkeersbeweging over het kruispunt of plein, zodat ook veranderingen in passagetijden voor rechtdoorgaand en afslaand verkeer afzonderlijk konden worden vastgesteld.

In de veronderstelling dat de passagetijden voor fietsers slechts in geringe mate door de kruispuntoplossing en de voorrangregeling worden

beïnvloed, zijn gelijksoortige waarnemingen voor deze categorie niet in het onderzoek opgenomen.

Op vijf van de zes locaties werden de passagetijden zowel in voor- als in nasituatie geregistreerd. De intensiteiten in Woerden waren van dien aard dat geen interessante uitkomsten voor dit doel werden verwacht. Daarom zijn deze waarnemingen op dit kruispunt achterwege gebleven.

4.6. Aantallen wachtende auto's

Direct verwant aan de passagetijd is de *wachttijd* die een passerende weggebruiker vóór en soms ook óp het kruispunt doorbrengt. De wachttijd is in feite een onderdeel van de passagetijd. Het is in dit verband wellicht nuttig nog even stil te staan bij de verschillende tijden die bij het passeren van een kruising onderscheiden kunnen worden.

Om te beginnen is er de totale benodigde tijd voor het passeren, de *passagetijd* genoemd. Deze tijd is onder meer afhankelijk van de posities voor en na de kruising waartussen de passagetijd gemeten wordt, de zogenaamde passeerlijnen. Omdat ook het wachten in een file voor de kruising tot de passagetijd wordt gerekend, dient de passeerlijn voor naderend verkeer voldoende ruim voor de kruising gekozen te worden. Dit betekent dat ook zonder wachten al een wat langere passagetijd wordt geregistreerd, die steeds in relatie tot de afstand tussen de beide passeerlijnen bekeken dient te worden.

De passagetijd kan worden onderverdeeld in drie delen: (1) de zuivere rijtijd die voor het passeren van dat weggedeelte nodig is als er geen ander verkeer is (en geen verkeerslichten), (2) de extra benodigde tijd voor afremmen en optrekken om te stoppen en/of voorrang te verlenen en (3) de tijd dat men stilstaat in het verkeer, de pure wachttijd. De som van wachttijd en extra afrem- en optrektijd wordt ook wel 'verliestijd' genoemd. Of anders geformuleerd: de verliestijd is het verschil tussen de feitelijke passagetijd en de minimale passagetijd die men nodig heeft voor ongehinderd doorrijden.

Voor het vaststellen van de wachttijden is in dit geval gekozen voor een indirecte waarnemingsmethode, waarbij de aantallen *wachtende voertuigen* werden geregistreerd (ook wel aangeduid als 'file-lengte'). In combinatie met de bijbehorende intensiteiten kunnen dan de gemiddelde wachttijden worden berekend. De maximale aantallen wachtende voertuigen zijn ook een aanwijzing voor de maximaal optredende filelengte en kunnen daardoor een aanwijzing zijn voor de problemen die eventueel als gevolg van (te) lange files kunnen worden verwacht.

Om dezelfde reden als genoemd bij de passagetijden, zijn ook in dit geval geen waarnemingen in Woerden verricht.

4.7. Richting aangeven

Al eerder was gebleken dat de weggebruikers bij het berijden van een rotonde geen uniform en consequent gedrag vertonen als het gaat om het richting aangeven (waarnemingen door Van Roon in Alphen aan de Rijn). Toch kan dit aspect van belang zijn voor zowel de veiligheid als de doorstroming.

Richting aangeven bij het oprijden van het plein is overbodig omdat er een verplichte rijrichting is. Maar bij het verlaten van het plein is richting

aangeven via de rechter richtingaanwijzers wèl zinvol; de overstekende voetganger en fietser (vrijliggend fietspad) weten dan beter waar zij aan toe zijn.

Maar ook voor een wachtende automobilist die het plein wil oprijden is het van belang te weten of een van links komende auto het plein gaat verlaten of op het plein blijft rijden. In dit geval hoeft het nalaten van richting aangeven niet riskant te zijn; de situatie waarin de wachtende automobilist ten onrechte veronderstelt dat een naderende auto het plein blijft volgen en daarom nog blijft wachten, vormt niet per se een gevaar. Maar ook het tegenovergestelde is denkbaar: wanneer een aantal achter elkaar rijdende automobilisten het plein verlaten zonder richting aan te geven, wordt al gauw aangenomen dat ook de daarop volgende auto het plein wel zal verlaten. Is dat niet het geval, dan kan een gevaarlijke situatie ontstaan.

Los van de mogelijke risico's betekent consequent gebruik van de richtingaanwijzer wel dat de capaciteit van het plein beter benut kan worden omdat er minder onnodig wordt gewacht.

Waarnemingen van het richting aangeven door automobilisten werden uitgevoerd op de rotondes in Oss, Wassenaar, Woerden en Zoetermeer.

Een compleet overzicht van de per locatie uitgevoerde waarnemingen wordt hieronder weergegeven.

Overzicht type waarnemingen

rotonde	Mill	Oss	na	Sittard		Wass.	Woerden		Zoeterm.	
	voor	voor		voor	na	na	voor	na	voor	na
snelheidsmetingen	x	x	x	x	x		x	x	x	x
conflictobservaties		x	x			x	x	x	x	x
voorrangobservaties		x	x			x	x	x	x	x
richting aangeven			x			x		x		x
<i>in spitsen:</i>										
intensiteiten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
passagetijden	x	x	x	x	x	x			x	x
file-lengtes	x	x	x	x	x	x			x	x

5. Uitvoering van het onderzoek

5.1. Uitvoerenden

De opzet van het onderzoek en de keuze van de waarnemingsmethoden is gemaakt door de SWOV. Een belangrijk deel van de uitvoering van het onderzoek werd verricht door een tweetal adviesbureaus; het betrof de waarnemingen, de bewerking van de uitkomsten en de rapportage.

VIA verkeersadvisering (uit Vught) verrichtte het onderzoek in Oss en Nieuw Milligen en adviesbureau *Van Roon* (uit Den Haag) deed dit in Wassenaar, Woerden en Zoetermeer.

De waarnemingen in Sittard werden door de SWOV uitgevoerd, waarbij tevens gebruik kon worden gemaakt van video-opnamen die door het Bureau voor Verkeerskundige Advisering BVA (uit Raalte) op dat kruispunt werden gemaakt als onderdeel van een BREV-onderzoek¹, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Verkeer & Waterstaat.

5.2. Programma van waarnemingen

In onderstaand overzicht is per locatie aangegeven wanneer welke waarnemingen werden verricht en door wie ze werden uitgevoerd. Bij de uitvoering is opgenomen wie de waarnemingen heeft verricht. De keuze van de spitsperioden werd meestal afgestemd op de verwachtingen ten aanzien van het verkeersaanbod. De ochtendspits in Sittard werd bepaald door het kunnen 'meeliften' met andere waarnemingen.

Nieuw Milligen

uitvoering:	VIA	
spitsuren:	ochtend 7.30 - 9.30 uur avond 15.30 - 17.30 uur	
voorstudie: 1988	spitsuurwaarnemingen conflictobservaties n.v.t. snelheidsmetingen	16 en 17 november 15, 16 en 17 november
nastudie:	(nog) niet uitgevoerd	

Oss

uitvoering:	VIA	
spitsuren:	ochtend 7.00 - 9.00 uur avond 15.30 - 17.30 uur	
voorstudie: 1988	spitsuurwaarnemingen conflictobservaties snelheidsmetingen voorrangobservaties	3 en 4 november 8, 9 en 10 november 3, 4, 8 en 9 november 8, 9 en 10 november
nastudie: 1989	spitsuurwaarnemingen conflictobservaties snelheidsmetingen voorrangobservaties gebruik richtingaanwijzer	3 en 5 oktober 31 oktober, 1 en 2 november 3, 4 en 5 oktober 3 oktober 4 en 5 oktober

¹ BREV = Beschikking Rijksbijdrage Experimenten in Verblijfsgebieden.

Sittard

uitvoering:	SWOV (waarnemingen) BVA (video-opnamen)	
spitsuren:	ochtend 8.00 - 9.00 uur (begintijd varieerde) avond 16.00 - 18.00 uur	
voorstudie:	spitsuurwaarnemingen	14 en 15 september
1987	snelheidsmetingen	14 en 15 september
nastudie:	spitsuurwaarnemingen	19 en 20 september
1988	snelheidsmetingen	19 en 20 september

Op 14 september 1987 zijn geen ochtendspitswaarnemingen uitgevoerd.

Wassenaar

uitvoering:	Van Roon	
spitsuren:	ochtend 7.00 - 9.00 uur avond 16.00 - 18.00 uur	
voorstudie:	niet uitgevoerd; bij start van het project was de rotonde al aangelegd; wel kon gebruik worden gemaakt van intensiteitsgegevens die buiten het kader van dit onderzoek in verband met de aanleg van de rotonde werden verkregen.	
nastudie:	spitsuurwaarnemingen	1 en 3 november
1988	conflictobservaties	25, 26 en 27 oktober
	snelheidsmetingen n.v.t.	
	voorrangobservaties	8 november
	gebruik richtingaanwijzer	8 november (?)
1989	spitsuurwaarn. (beperkt)	31 mei (7.30 - 9.00 uur)

Woerden

uitvoering:	Van Roon	
spitsuren:	ochtend 7.00 - 9.00 uur avond 16.00 - 18.00 uur	
voorstudie:	spitsuurwaarnemingen	24 en 29 november
1988	conflictobservaties	24, 29 en 30 november
	snelheidsmetingen	24 en 29 november + 3 december
	voorrangobservaties	24 en 19 november + 3 december (?)
nastudie:	spitsuurwaarnemingen	3 en 5 oktober
1989	conflictobservaties	3, 4 en 5 oktober
	snelheidsmetingen	27 en 28 september + 17 oktober
	voorrangobservaties	4 en 5 oktober
	gebruik richtingaanwijzer	4 en 5 oktober (?)

Spitsuurwaarnemingen in Woerden betroffen uitsluitend de intensiteiten; passagetijden en aantallen wachtenden zijn niet geregistreerd.

<i>Zoetermeer</i>		
uitvoering:	Van Roon (werkdagen)	
spitsuren:	ochtend 7.00 - 9.00 uur	
	avond 16.00 - 18.00 uur	
	zaterdag 13.00 - 15.05 uur	
voorstudie:	spitsuurwaarnemingen	1 en 3 november
1988	conflictobservaties	1, 2 en 3 november
	snellheidsmetingen	1, 2 en 3 november
	voorrangsobservaties	1, 2 en 3 november (?)
nastudie:	spitsuurwaarnemingen	10 en 12 oktober
1989	conflictobservaties	10, 11 en 12 oktober
	snellheidsmetingen	17 en 18 oktober
	voorrangsobservaties	11 oktober
	gebruik richtingaanwijzer	11 oktober (?)

5.3. Enkele problemen bij de uitvoering

Sittard

Bij waarnemingen te Sittard is gebruik gemaakt van het feit dat door het adviesbureau BVA op deze locatie waarnemingen werden verricht in het kader van een BREV-project, in opdracht van de Dienst Verkeerskunde. BVA verzorgde video-opnamen die aan de SWOV beschikbaar gesteld werden voor het uitlezen van de verkeersintensiteiten.

Deze combinatie van metingen betekende een besparing op de inzet van waarnemers, maar het gevolg was wel dat het meetprogramma voor dit onderzoek enigszins moest worden aangepast. Bovendien is de samenwerking in de eerste ochtendspits mislukt als gevolg van een misverstand. Ten slotte bleek dat de timer van de videocamera niet volledig synchroon liep met de klok van de SWOV-waarnemers, zodat de tijden gecorrigeerd dienden te worden.

Nieuw Milligen

De lengte van de wachtrijen voor de verkeerslichten op dit kruispunt was vaak zo groot dat de SWOV-methode voor waarneming van passagetijden hier niet kon worden toegepast. Bij deze methode is het noodzakelijk dat een waarnemer zowel de passeerlijn bij het toerijden als alle passeerlijnen bij het afrijden tegelijk kan overzien. Dat bleek op deze locatie niet mogelijk. Door bureau VIA is daarom een alternatieve methode ontwikkeld en toegepast. Deze methode, in het kort toegelicht in bijlage III, is wat arbeidsintensiever, maar bleek goed te functioneren.

Oss

Ook hier werd een video-camera ingezet voor intensiteitstellingen. De timer daarvan liep niet synchroon zodat aan het einde van een 2-uur periode verschillen van circa vijf minuten konden optreden. Door een deel van de opnamen opnieuw uit te lezen konden deze afwijkingen achteraf gecorrigeerd worden.

Wassenaar

Als gevolg van een niet geheel juist begrepen instructie is een klein deel van de spitsuurwaarnemingen in Wassenaar niet correct uitgevoerd. Dit bleek toen combineren van wachttijden en passagetijden van één tak tot onwaarschijnlijke en zelfs negatieve uitkomsten van verliestijden

leidde. Om toch voldoende bruikbare waarnemingen te verkrijgen, is in het voorjaar van 1989 een deel van deze waarnemingen opnieuw uitgevoerd.

5.3.1. *Passagetijden*

Voor de observatie van passagetijden is op de meeste locaties een door de SWOV ontwikkelde methode toegepast waarbij waarnemers, gebruik makend van stopwatches, de passagetijden van een deel van het verkeer meten. Het waargenomen deel van de passerende auto's vormt een steekproef uit de betreffende verkeersstroom. Die steekproef zou aselekt moeten zijn om de uitkomsten op te kunnen hogen naar de populatie. Tijdens de uitvoering van deze waarnemingen door bureau Van Roon is bij de betreffende projectleider het vermoeden gerezen dat de wijze waarop de steekproef werd getrokken niet zou garanderen dat er inderdaad sprake is van een aselechte steekproef.

Een nadere test via verkeerssimulatie op een computer bevestigde dat vermoeden. De daarna opgestelde correctieformule voor deze waarnemingen is eveneens via het simulatieprogramma getoetst. Deze correctie wordt besproken in *Bijlage 2*.

6. Resultaten

6.1. Intensiteiten

De samenvattende informatie van de intensiteitsmetingen is in *Tabel 1* weergegeven. Gedetailleerde informatie is opgenomen in de deelrapporten.

	Oss		Woerden		Zoetermeer	
	voor 1988	na 1989	voor 1988	na 1989	voor 1988	na 1989
1988						
ochtendspits						
auto-intens.	1.432	1.076	1.996	2.111	2.043	2.310
belastingquot.	1.04		1.00	1.00	0.97	0.96
% afslaand	38		52	51	31	34
(brom)fietsen	1.252	1.184	815	917	902	872
avondspits						
auto-intens.	2.632	1.720	2.528	2.758	3.180	3.418
belastingquot.	0,98		1.03	1.02	1.00	1.00
% afslaand	45		56	56	46	43
(brom)fietsen	898	974	750	976	679	658
drukste uur						
datum	3-11	3-10	29-11	3-10	1-11	10-10
van	16.30	16.30	16.30	16.30	16.30	16.40
tot	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.40
aantal auto's	1.471	1.024	1.462	1.517	1.748	1.854

	Wassen.		Sittard		Nw.Milligen	
	na 1988	voor 1987	na 1988	voor 1988		
ochtendspits						
auto-intens.	3.302	1.363	1.116			
belastingquot.	0,99	0,99	0,97			
% afslaand	57	38	45			
(brom)fietsen	960					
avondspits						
auto-intens.	4.024	3.262	2.760			
belastingquot.	0,94	0,99	1,00			
% afslaand	60	39	44			
(brom)fietsen	1.003					
drukste uur						
datum	1-11	14-09	19-09	16-11		
van	16.20	16.15	16.15	16.25		
tot	17.20	17.15	17.15	17.25		
aantal auto's	2.138	1.874	1.606	1.535		

Tabel 1. *Intensiteitsgegevens*

Toelichting:

De gegevens van ochtend- en avondspits hebben meestal betrekking op een volledige periode van twee uur.

In Sittard is tijdens de *ochtendspits* gemeten van 8.00 tot 9.00 uur.

De intensiteiten hebben in dat geval dus betrekking op één uur.

De aantallen (brom)fietsers zijn op deze locatie niet geteld.

Van de waarnemingen in Nieuw Milligen zijn de intensiteiten van de volledige waarnemingsperioden niet in het betreffende rapport vermeld; wel zijn gegevens over het drukste uur opgenomen.

De hoogste intensiteiten werden aangetroffen in *Wassenaar*; in het drukste uur passeerden daar meer dan 2.100 auto's. Ook Zoetermeer en Sittard in de voorperiode waren betrekkelijk druk. Op alle locaties waren de intensiteiten voldoende hoog om een goed beeld van het functioneren van nieuwe rotondes te verkrijgen, zowel wat de verkeersveiligheid als wat de verkeersafwikkeling betreft.

Ook het (brom)fietsverkeer, voorzover geteld, blijkt aanzienlijk. De hoogste intensiteiten zijn hierbij vaak tijdens de ochtendspits waargenomen. Dat is verklaarbaar: de avondspits is voor dit verkeer vaak wat minder geconcentreerd en treedt ook wat vroeger op dan bij het autoverkeer.

De intensiteitsverschillen tussen voor- en naperiode zijn soms opmerkelijk. Zo is in *Oss* het autoverkeer sterk afgenomen, maar het fietsverkeer niet. De oorzaak voor de daling van de auto-intensiteiten is niet vastgesteld; het vermoeden bestaat dat het een gevolg is van de afsluiting van een nabijgelegen weg in de naperiode.

Woerden vertoont een toename van de intensiteiten, zowel voor het auto- als voor het fietsverkeer. Het meest opvallend is de toename van het aantal fietsers met circa 30% in de avondspits.

De groei van het autoverkeer in *Zoetermeer* vloeit voort uit de groei van de bevolking en de verdere ontwikkeling van het nabijgelegen stadshart. Het fietsverkeer daarentegen is enigszins afgenomen, hetgeen zeker niet door slechtere weersomstandigheden werd veroorzaakt.

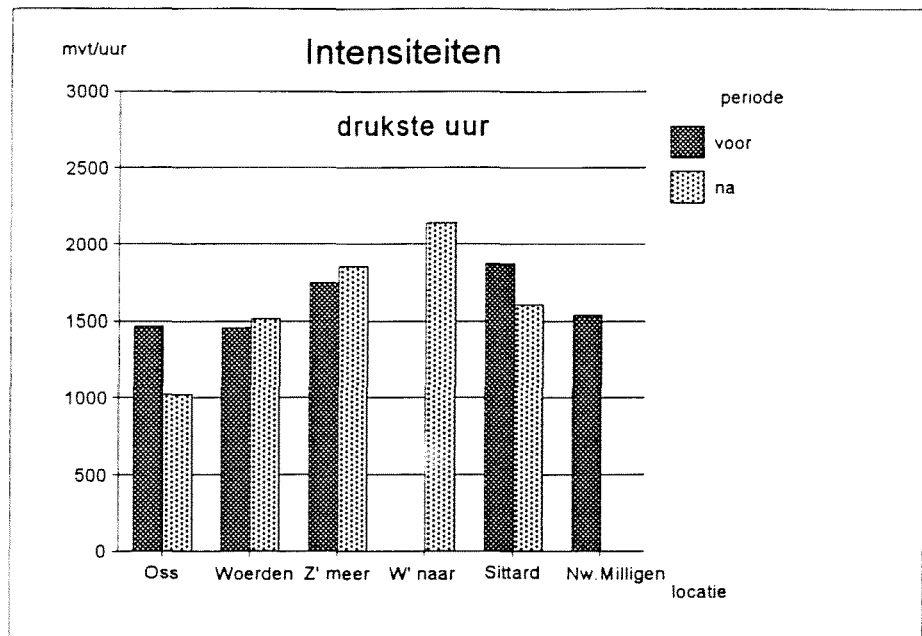
In *Sittard* is een vrij sterke afname van het autoverkeer vastgesteld.

Navraag bij de gemeente leverde geen relevante informatie op. Later werd bekend dat in de voorperiode een nabijgelegen weggedeelte voor het verkeer was afgesloten, waardoor er tijdens de voorwaarnemingen in 1987 relatief veel verkeer het onderzoekskruispunt passeerde.

De aandelen afslaand verkeer op de onderzoekslocaties zijn betrekkelijk groot en variëren tussen 30% en bijna 60%. De hoogste waarde is vastgesteld in *Wassenaar*, waar de belangrijkste verkeersstroom een afslaande beweging maakt. De waarden van de het belastingquotiënt wijken overigens niet veel van 1 af, waaruit mag worden afgeleid dat de hoeveelheid afslaand verkeer niet tot bijzondere problemen leidt.

Ook uit deze waarnemingen kan worden afgeleid dat het drukste uur zeker niet (meer) tussen 17.00 en 18.00 uur ligt, maar een half uur tot drie kwartier eerder optreedt.

In *Afbeelding 1* zijn van alle locaties de intensiteiten van het drukste uur weergegeven.



Afbeelding 1. Intensiteiten in het drukste uur

6.2. Aantallen wachtenden en wachttijden

Met uitzondering van Woerden zijn op alle locaties de aantallen stilstaande voertuigen geteld. De gemiddelde aantallen wachtende auto's per periode zijn in *Tabel 2* samengevat.

Plaats	fase	periode	gemiddeld aantal wachtenden					'op'	totaal
			tak A	tak B	tak C	tak D			
Nw.Milligen	voor	7.00- 9.00	2.94	4.95	1.64	5.44	-	15.0	
		15.30-17.30	2.48	12.49	1.56	4.36	-	20.9	
Oss	voor	7.00- 9.00	0.00	0.10	0.04	0.11	0.30	0.55	
		15.30-17.30	0.01	0.92	0.23	0.59	0.75	2.53	
	na	7.00- 9.00	0.05	0.05	0.06	0.14	0.04	0.34	
		15.30-17.30	0.22	0.20	0.05	0.09	0.01	0.58	
Sittard	voor	7.45- 9.05	0.02	0.23	0.02	1.11	0.14	1.50	
		16.10-18.00	0.18	0.39	0.01	4.32	0.29	5.19	
	na	8.00- 9.05	0.10	0.08	0.10	0.14	-	0.42	
		16.00-18.05	0.21	0.15	0.22	0.28	-	0.86	
Wassenaar	na	7.00- 9.00	4.61	1.09	0.63	1.46	0.25	8.04	
		16.00-18.00	1.96	0.59	3.44	3.31	0.35	9.66	
Zoetermeer	voor	7.00- 9.00	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.8	
		16.00-18.00	0.0	1.3	0.7	0.1	0.3	2.4	
	na	7.00- 9.00	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	
		16.00-18.00	0.2	0.4	0.4	0.0	0.1	1.1	

Tabel 2. Aantallen wachtenden

De kolom 'op' heeft betrekking op aantallen stilstaande voertuigen op het kruisingsvlak in de kruispuntsituatie, respectievelijk op het plein in de rotonde-situatie.

Op het kruispunt in *Nieuw Milligen* werden de grootste aantallen wachtende voertuigen geregistreerd, niet door de hoge intensiteiten maar als gevolg van de daar aanwezige verkeerslichten. Er zijn ook belangrijke verschillen tussen de vier naderingsrichtingen. Tak C heeft de minste wachtenden, tak B gemiddeld de meeste, vooral in de avondspits.

In *Oss* is het aantal wachtende auto's betrekkelijk gering en alleen in de avondspits van de voorperiode nog van enige betekenis. In de rotonde-situatie werden ook in de avondspits weinig wachtenden geregistreerd, waarbij de daling van de intensiteiten nog extra heeft bijgedragen. Het verschil tussen ochtend- en avondspits is merkbaar afgenomen.

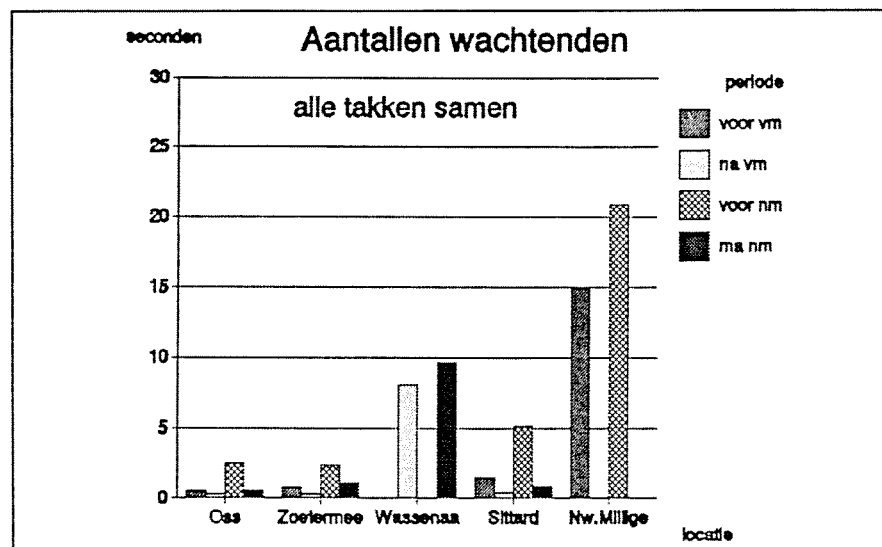
Ook in *Sittard* is een belangrijke afname geconstateerd, eveneens ten dele veroorzaakt door de lagere intensiteiten. Het verschil tussen ochtend- en avondspits is weer gedaald, zij het wat minder dan in *Oss*.

In *Wassenaar* is uitsluitend de rotonde-situatie gemeten. Als gevolg van de hoge intensiteiten en de grote verschillen tussen het verkeersaanbod per tak, zijn hier wel noemenswaardige filelengtes. Ook het voorrang verlenen aan fietsers op de fietsstrook kan de filelengte nog wat vergroot hebben. Desondanks zijn de files hier aanzienlijk korter dan in *Nieuw Milligen* (verkeersregelinstallatie), hoewel de intensiteiten daar veel lager zijn.

In *Zoetermeer* ten slotte, was er betrekkelijk weinig filevorming en die is in de rotonde-situatie meer dan gehalveerd ondanks de toegenomen intensiteiten. In tegenstelling tot *Oss* en *Sittard* is hier het verschil tussen ochtend- en avondspits niet afgenomen.

Op alle locaties waarop zowel in voor- als in nasituatie waarnemingen werden verricht is duidelijk waarneembaar dat de verschillen in aantallen wachtende auto's tussen de vier takken onderling sterk verminderd zijn. Dit verschijnsel, ook bij de passagetijden waargenomen (zie hierna), is een logisch gevolg van de gelijkwaardigheid van de vier takken in de voor-rangsregeling.

De totale aantallen wachtenden op alle takken en op het kruisingsvlak zijn in *Afbeelding 2* weergegeven.



Afbeelding 2. Aantallen wachtenden per locatie in voor- en nasituatie, per spitsperiode

6.3. Passagetijden

Passagetijden zijn gemeten op alle locaties, met uitzondering van Woerden. Gedetailleerde gegevens en een bespreking van de uitkomsten zijn te vinden in de deelrapporten. In de *Tabellen 3a t/m 3e* zijn enkele resultaten samengevat, zodat een globaal beeld van de passagetijden gegeven kan worden. De uitkomsten van de verschillende locaties worden met elkaar vergeleken.

In de tabellen zijn de gemiddelde waarden over alle meetperioden weergegeven (s), meestal gemiddelden van twee ochtendspitsperioden en van twee avondspitsperioden.

De uitkomsten zijn vermeld per aankomstrichting en verdeeld naar rechtsafslaand, rechtdoorgaand en linksafslaand verkeer. De bijbehorende afstanden tussen de betreffende passeerlijnen zijn eveneens in de tabellen opgenomen (m).

Voorsituatie (met verkeersregelinstallatie)						
uit richting	rechtsaf		rechtdoor		linksaf	
	m	s	m	s	m	s
Apeldoorn (A)	360	46,6	295	50,2	370	66,4
Amersfoort (C)	335	38,9	295	56,2	325	71,9
Harderwijk (B)	325	70,5	400	74,9	360	76,6
Kootwijk (D)	370	72,0	400	65,6	335	57,4
gemiddeld:		57,0		61,7		68,1

Tabel 3a. Passagetijden Nieuw Milligen

Zoals te verwachten was, zijn de passagetijden in Nieuw Milligen relatief lang. Dat is het gevolg van zowel de grote afstanden tussen de passeerlijnen (noodzakelijk als gevolg van de lange rijen wachtenden en andere waarnemingsmethode) als van de aanwezigheid van een verkeersregelinstallatie (VRI).

Meestal zijn de tijden voor rechtsafslaan het kortst en voor linksafslaan het langst; dit geldt overigens niet voor het verkeer uit de richting D, vermoedelijk als gevolg van de afstelling van de verkeerslichten. Verder is het opvallend dat de tijden uit de richtingen A en C, de oude rijksweg Amersfoort - Apeldoorn, bijna altijd korter zijn dan die van het verkeer uit de dwarsrichting. Dit verschil treedt blijkbaar niet alleen op bij voorrangskruisingen.

Omdat op deze locatie (nog) geen nametingen zijn uitgevoerd, kan het effect van de ombouw tot rotonde niet kwantitatief worden weergegeven. Wel is vastgesteld dat de filevorming aanzienlijk is afgenomen. Daarnaast geven ondersteunende opmerkingen van weggebruikers kort na openstelling van de rotonde maakten (zoals: "Waarom hebben jullie dit niet veel eerder gedaan?") een indicatie van een positief effect.

Voorsituatie 1988 (kruising)

uit richting	rechtsaf		rechtdoor		linksaf	
	m	s	m	s	m	s
Van Eschstraat (A)	122	10,7	124	7,5	110	20,4
Euterpelaan (C)	85	12,0	100	7,0	97	17,7
Kortfoortstr. W (B)	120	18,4	106	25,5	121	26,4
Kortfoortstr. O (D)	136	17,7	133	23,8	135	30,5
gemiddeld:		14,7		16,0		23,8

Nasituatie 1989 (rotonde)

Van Eschstraat (A)	122	11,9	124	14,9	110	18,4
Euterpelaan (C)	85	12,3	100	13,5	97	17,6
Kortfoortstr. W (B)	120	14,1	106	17,8	121	22,2
Kortfoortstr. O (D)	136	17,3	133	20,7	135	21,8
gemiddeld:		13,9		16,7		20,0

Tabel 3b. *Passagetijden Oss*

In de voorsituatie is duidelijk het verschil tussen de voorrangsweg (A-C) en de dwarsweg terug te vinden in de uitkomsten, het duidelijkst in de rechtdoorgaande bewegingen.

In de rotonde-situatie zijn de passagetijden gemiddeld weinig veranderd ondanks een afname van de intensiteiten, maar de verschillen tussen de vier naderingsrichtingen zijn aanzienlijk kleiner geworden. De gemiddelde waarden per bewegingsrichting variëren tussen 12 en 22 seconden, waaruit blijkt dat de rotonde weinig oponthoud geeft.

Voorsituatie 1988 (kruising)

uit richting	rechtsaf		rechtdoor		linksaf	
	m	s	m	s	m	s
Van Leeuwenhoekl. O (A)	112	12	98	7	74	14,5
Van Leeuwenhoekl. W (C)	64	10	98	7	131	21,5
Van Rijweg (B)	110	16,5	100	25,5	124	27,5
Parkeerterrein (D)	57	11,5	100	34,5	78	29,5
gemiddeld:		12,5		18,5		23,2

Nasituatie 1989 (rotonde)

Van Leeuwenhoekl. O (A)	100	13	104	14,5	106	17
Van Leeuwenhoekl. W (C)	60	11	100	14	152	20,5
Van Rijweg (B)	105	16	105	17,5	148	21,5
Parkeerterrein (D)	54	12,5	102	17,5	104	21
gemiddeld:		13,1		15,9		20,0

Tabel 3c. *Passagetijden Zoetermeer*

De aard van de uitkomsten in Zoetermeer verschilt niet van die in Oss. Ook nu was er een belangrijk verschil tussen de richting die voorrang had (Van Leeuwenhoeklaan) en de dwarsrichting. Die verschillen zijn in de naperiode nagenoeg verdwenen en de uitkomsten variëren tussen 11 en 22 seconden, nagenoeg identiek aan die in Oss.

Ondanks de wat hogere intensiteiten in de naperiode blijken de gemiddelde passagetijden met circa 10% te zijn afgenomen.

Nasituatie 1988 (rotonde)

uit richting	rechtsaf		rechtdoor		linksaf	
	m	s	m	s	m	s
Van Oldebarneveldtweg (A)	215	31,5	235	31,5	265	48
Prinsenvweg (C)	110	19	140	23,2	140	26
Lange Kerkdam NW (B)	70	15,5	90	22	135	26,5
Lange kerkdam ZO (D)	165	21,5	155	24,5	185	30
gemiddeld:		21,9		25,3		32,6

Tabel 3d. *Passagetijden Wassenaar*

De passagetijden zijn hier 8 tot 12 seconden langer dan in Oss en Zoetermeer, hetgeen voor een belangrijk deel toe te schrijven is aan de grotere afstanden tussen de passeerlijnen; voor het overige deel zijn de langere passagetijden het gevolg van de hogere intensiteiten op deze

locatie. Vooral de naderingsrichting A heeft grote afstanden en lange tijden, maar is tevens ook de drukste tak. Ondanks de relatief hoge intensiteiten is ook op deze locatie in het algemeen nog geen sprake van lang oponthoud. Vergelijking met de voorsituatie, een kruispunt zonder voorrangregeling, is niet mogelijk. De indruk bestaat dat er toen langere wacht- en passagetijden optraden, maar dit kan niet met cijfers worden onderbouwd.

Voorsituatie 1987 (kruising)

uit richting	rechtsaf		rechtdoor		linksaf	
	m	s	m	s	m	s
Dr. Nolenslaan, Noord (A)	66	6,3	72	4,4	64	12,2
Dr. Nolenslaan, Zuid (C)	87	9,0	90	5,7	89	20,9
Kastelenweg (B)	72	11,8	64	32,6	67	--
Sportcentrumlaan(D)	87	22,4	86	26,2	92	68,0
gemiddeld:		12,4		17,2		42,3

Nasituatie 1988 (rotonde)

Dr. Nolenslaan, Noord (A)	66	9,0	72	11,4	64	15,2
Dr. Nolenslaan, Zuid (C)	87	8,8	90	13,0	89	18,6
Kastelenweg (B)	72	10,0	64	13,2	67	21,3
Sportcentrumlaan(D)	87	14,0	86	15,6	92	19,4
gemiddeld:		10,5		13,3		18,6

Tabel 3e. *Passagetijden Sittard*

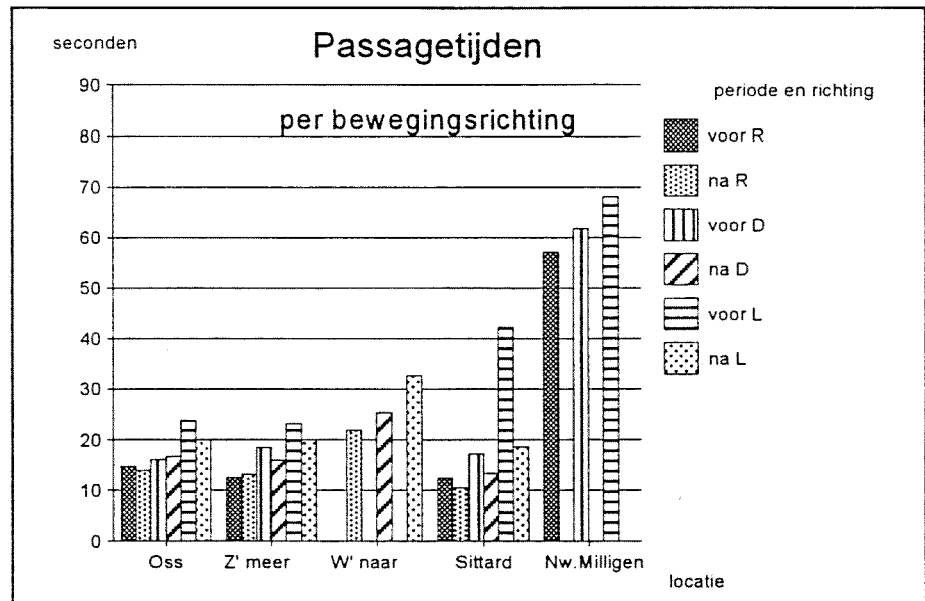
Waar in de tabel -- staat zijn er onvoldoende waarnemingen. Om die reden is bij linksaf in de voorsituatie het gemiddelde bepaald door eerst de gemiddelden van beide richtingen te nemen en daarna die uitkomsten weer te middelen.

In Sittard waren er grote verschillen tussen de tijden van het verkeer op de voorrangsweg en de dwarsweg, waarbij vooral het linksafslaan veel tijd vergde. Vanuit de Kastelenweg was slechts één waarneming van een passagetijd beschikbaar, te weinig om in de tabel op te nemen. Maar de uitkomst van deze waarneming, 114 s, bevestigt dat het om relatief lange tijden gaat.

In de rotonde-situatie zijn de tijden aanzienlijk korter, vooral voor de linksafbewegingen, en zijn de verschillen tussen de diverse naderingsrichtingen weer aanzienlijk kleiner.

De korte tijden in zijn voor een deel te verklaren door de wat kortere afstanden tussen de passeerlijnen, maar ook omdat de verkeersintensiteiten in de naperiode belangrijk lager waren.

In *Afbeelding 3* zijn enkele belangrijke uitkomsten van de passagetijden opgenomen.



Afbeelding 3. Passagetijden in voor- en naperiode, per bewegingsrichting

6.4. Snelheden

De snelheden zijn gemeten op alle locaties, uitgezonderd Wassenaar. Voor deze metingen werd de weg gekozen met de hoogste snelheden in de voorsituatie en dat betrof meestal het verkeer dat op het kruispunt voorrang had. In sommige gevallen was dat een dubbelbaans weg, zoals in Zoetermeer en in Woerden.

De snelheden werden gemeten op circa 100 en circa 30 m voor en na het kruispunt. Een uitzondering is gemaakt voor de kruising in Nieuw Milligen; als gevolg van de aanwezigheid van verkeerslichten werden de meetpunten bij nadering verder weg gekozen om te vermijden dat het verkeer vaak stil zou staan ter plaatse van de metingen. De posities van de meetpunten bij elke locatie zijn vermeld in *Tabel 4*.

In deze tabel zijn uitsluitend de gemiddelde snelheden opgenomen; meer gedetailleerde informatie over de snelheden is te vinden in de deelrapporten.

Locatie	bij nadering rotonde				bij afrijden rotonde			
Oss								
afstand(m)	100	100	30	30	30	30	100	100
richting	1	2	1	2	1	2	1	2
voor	52	55	48	48	51	48,5	54	53
na	53,5	53,5	39	43,5	40	38	50	50
verschil	+1,5	-1,5	-9	-4,5	-11	-10,5	-4	-3
Sittard								
afstand (m)	100	100	30	30	40	40	110	110
richting	1	2	1	2	1	2	1	2
voor	57,6	59,6	50,9	50,7	50,4	53,3	55,4	59,2
na	58,2	59,5	41,5	42,9	45,7	44,7	54,9	54,7
verschil	+0,6	-0,1	-9,4	-7,8	-4,7	-8,6	-0,5	-4,5
Woerden								
afstand (m)	125	125	25	25	25	25	125	125
richting	1	2	1	2	1	2	1	2
voor	59,3	56,0	44,3	45,9	49,2	43,0	52,6	56,8
na	51,4	54,1	29,4	31,1	33,6	36,3	45,0	50,9
verschil	-7,9	-1,9	-14,9	-14,8	-15,6	-6,7	-7,6	-5,9
Zoetermeer								
afstand (m)	125	100	25	25	25	25	100	125
richting	1	2	1	2	1	2	1	2
voor	52,8	52,5	44,0	49,1	47,4	50,6	53,2	53,1
na	46,7	47,0	27,4	33,9	34,8	30,6	49,9	46,7
verschil	-6,1	-5,5	-16,6	-15,2	-12,6	-20,0	-3,3	-6,4
Nw. Milligen								
afstand (m)	200	200	100	100	30	30	100	100
richting	1	2	1	2	1	2	1	2
voor	72	73	56,5	58,5	44	45	58,5	56

Tabel 4. Resultaten snelheidsmetingen in km/uur

Bij de beoordeling van de snelheden dienen we te beseffen dat in de voor-situatie een deel van het naderende verkeer op het kruispunt links- of rechtsaf sloeg en daarom vaart minderde. Hetzelfde is van toepassing op het afrijdend verkeer, dat voor een deel uit de zijstraat kwam. Deze lagere snelheidswaarden beïnvloeden zowel het gemiddelde als de spreiding. In de nasituatie is er in principe geen onderscheid meer tussen recht-doorgaand en afslaand verkeer. Metingen in Woerden en Alphen a/d Rijn, uitgevoerd door Van Roon, laten de verschillen in doorgaand en afslaand verkeer goed zien (zie deelrapport *Evaluatie rotondes nieuwe stijl*).

Op de korte afstand zijn de grootste snelheidsreducties gemeten in Woerden en Zoetermeer. Een klein deel van dit verschil is wellicht het gevolg van de circa 5 m kortere afstand van de meetpunten tot de kruising. Een ander belangrijk verschil betreft de aanwezigheid van fietsstroken in Oss en Sittard. Deze stroken betekenen een verbreding van de rijbaan en kunnen aanleiding geven tot hogere snelheden. Toch is daarmee nog niet alles verklaard, want ook op de eerder genoemde rotonde in Alphen blijken de snelheden relatief hoog, zonder dat daar een fietsstrook aanwezig is. Vermoedelijk is het een combinatie van geometrische kenmerken, inclusief afrondingsstralen, die de feitelijke snelheid op en rond een plein bepaalt.

Op de grotere afstand is meestal nog wel wat daling van de snelheid geconstateerd, maar aanzienlijk minder dan op de korte afstand. Ook nu blijkt de reductie van de snelheden op de locaties Zoetermeer en Woerden groter dan op de beide andere binnen de bebouwde kom.

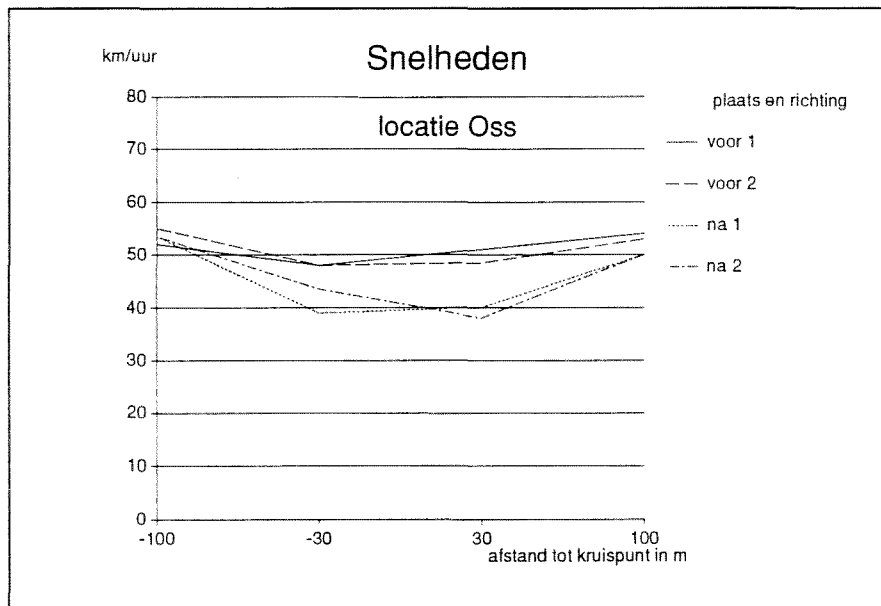
Verschillen tussen naderingssnelheid en afrijksnelheid zijn in de meeste gevallen niet groot, zeker in de rotonde-situatie.

De spreiding van de snelheden is op korte afstand van het kruispunt meestal sterk afgenomen, soms zelfs gehalveerd. Kort *na* de rotonde is er altijd een sterke reductie vastgesteld; kort *voor* de rotonde niet in alle gevallen. Een afdoende verklaring voor dit verschil is nog niet gevonden. Op grotere afstand zijn de verschillen gering en is de spreiding soms wat afgenomen en soms toegenomen.

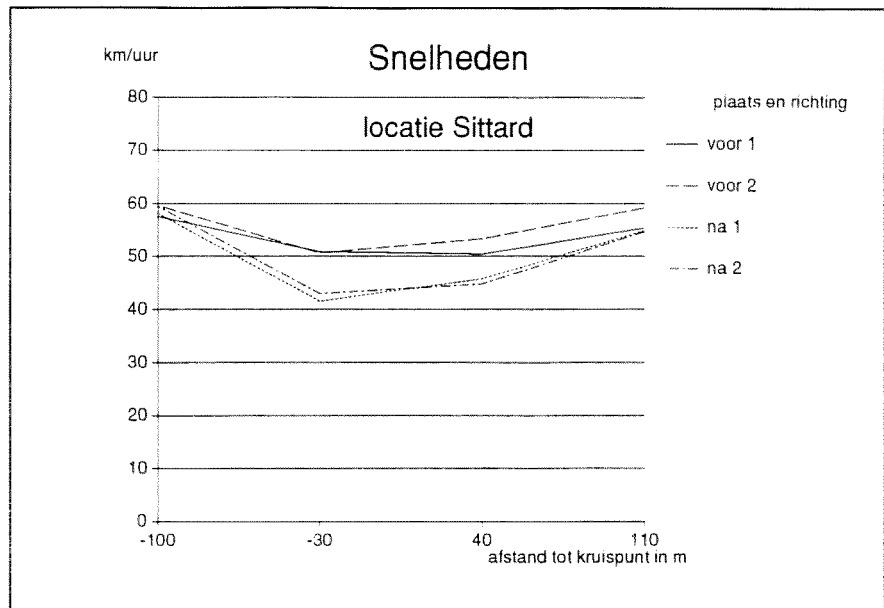
De gemeten snelheden bij Nieuw Milligen, een kruispunt buiten de bebouwde kom, blijken snelheden op te leveren die niet veel verschillen van die binnen de bebouwde kom, althans tot afstanden van 100 m van het kruispunt. De verklaring hiervoor kan worden gevonden in de aanwezigheid van verkeerslichten.

Op 200 m voor de kruising zijn de snelheden belangrijk hoger en vermoedelijk ook hoger dan op gelijke afstanden van de locaties binnen de bebouwde kom.

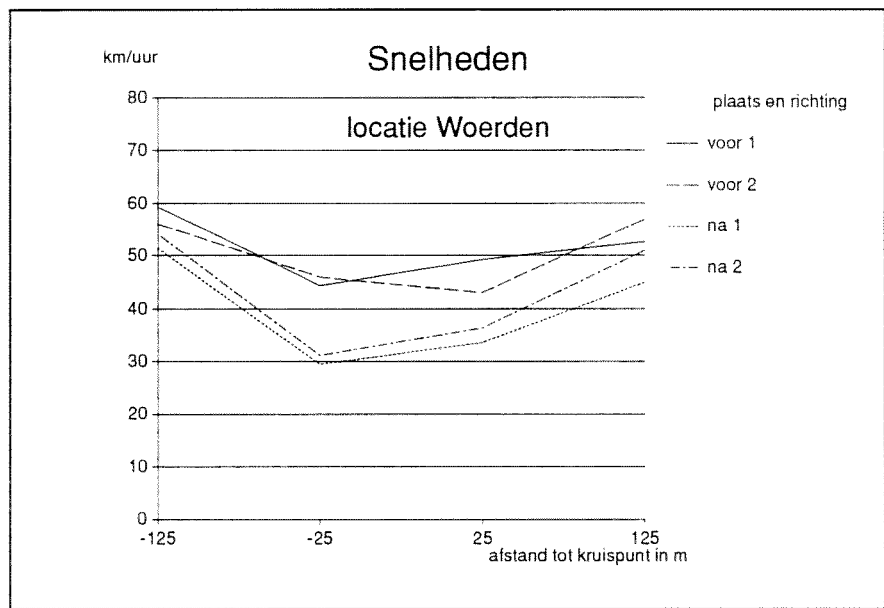
In de *Afbeeldingen 4 t/m 7* zijn de resultaten van de snelheidsmetingen grafisch weergegeven.



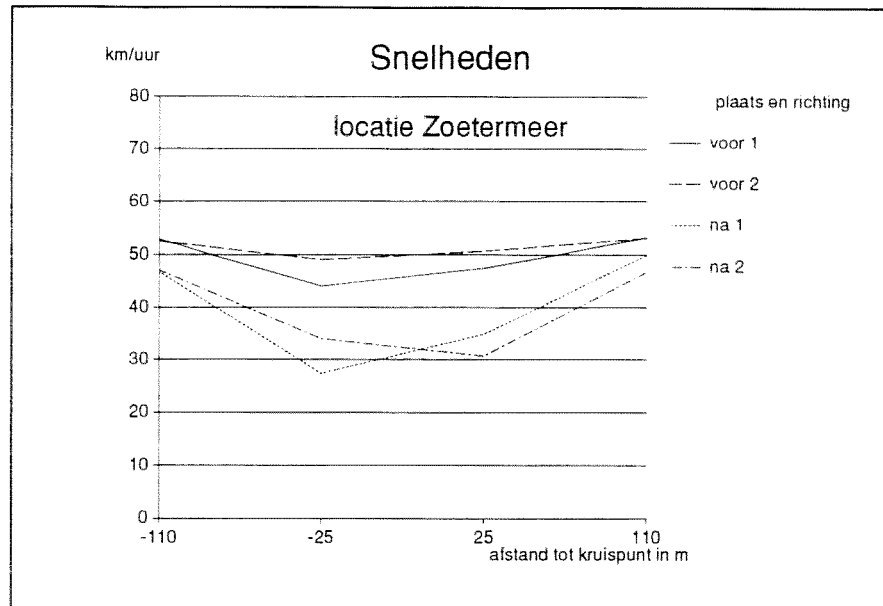
Afbeelding 4. Resultaten snelheidsmetingen in Oss



Afbeelding 5. Resultaten snelheidsmetingen in Sittard



Afbeelding 6. Resultaten snelheidsmetingen in Woerden



Afbeelding 7. Resultaten snelheidsmetingen in Zoetermeer

6.5. Conflictobservaties

Op een viertal locaties zijn conflictobservaties uitgevoerd, gedurende achttien uur, verdeeld over drie dagen. Op drie van de vier locaties zijn de observaties zowel in voor- als in nasituatie verricht; in Wassenaar uitsluitend in de rotonde-situatie.

Conflictobservaties zijn bedoeld om snel duidelijk te maken welke veiligheidsproblemen zich voordoen, met name als het gaat om de plaats op het kruispunt, de betrokken verkeersdeelnemers en de aard van het conflict. Aantal en ernst van de conflicten geven daarnaast ook een indicatie van de te verwachten omvang van de onveiligheid.

Om de uitkomsten zo goed mogelijk vergelijkbaar te maken is in alle gevallen dezelfde observatiemethode toegepast (methode DOCTOR) en zijn de observaties op eenzelfde locatie in voor- en nasituatie zoveel mogelijk door dezelfde waarnemer uitgevoerd.

Ernstgraad		1	2	3	4	5	tot.	% >3	lv
Oss	voor	16	7	9	1	3	36	11%	23
	na	11	37	14	3	1	66	6%	44
Wassenaar	na	13	43	39	14	1	110	14%	59
Woerden	voor	7	24	16	5	4	56	16%	28
	na	7	24	19	8	0	58	14%	28
Zoetermeer	voor	9	12	24	12	2	59	24%	26
	na	6	23	20	5	0	54	9%	28

Tabel 5. Samenvatting conflictobservaties

Toelichting:

- De ernstgraden 1 t/m 5 zijn een beoordeling volgens deze methode waarbij onder meer rekening wordt gehouden met de mogelijke gevolgen als een dergelijk conflict tot een aanrijding had geleid. De score 5 is de meest ernstige; gebruikelijk is dat scores 1 t/m 3 tot de lichte en scores 4 en 5 tot de ernstige conflicten worden gerekend.
- In de kolom 'tot.' staan de totale aantallen geregistreerde conflicten vermeld.
- De kolom % >3 geeft aan hoeveel procent van de conflicten tot de ernstige gerekend kunnen worden.
- De kolom 'lv' geeft aan bij hoeveel conflicten langzaam verkeer was betrokken.

Het is opvallend dat het aantal conflicten in het algemeen niet is afgenomen en in Oss zelfs aanzienlijk is toegenomen. Die toename geldt zowel voor de conflicten tussen autoverkeer onderling als tussen autoverkeer en langzaam verkeer. Wel lijkt er een verschuiving op te treden naar de minder ernstige conflicten; in Woerden gaat het om een geringe en in Zoetermeer om een forse verschuiving. Ook in Oss lijkt die verschuiving duidelijk aanwezig, maar daar is dat in de eerste plaats het gevolg van de toename van de minder ernstige conflicten.

Vergelijken we de vier pleinen onderling, dan blijkt Wassenaar in ongunstige zin af te wijken; de relatief hoge verkeersintensiteiten op dit plein zullen hieraan debet zijn.

Wassenaar en Oss hebben beide fietsstroken, Woerden en Zoetermeer vrijliggende fietspaden. Uit dit overzicht blijkt geen belangrijk verschil tussen beide typen. Wel kan worden vastgesteld dat in Woerden en Zoetermeer geen conflicten in ernstklasse 5 meer zijn waargenomen, maar de overeenkomstige aantallen op beide andere pleinen, elk één conflict, zijn te gering om van een significant verschil te kunnen spreken.

Voor een nadere analyse is het interessant om na te gaan welke conflicttypen en tussen welke weggebruikers in de pleinsituatie optreden. De relevante aantallen zijn samengevat in het volgende overzicht.

	bij oprijden		bij afrijden		kop/st	met voet-	overig
	mvt/mvt	mvt/lv	mvt/lv	mvt/lv	mvt/mvt	ganger	
Oss	18	25	13	3	1	6	
Wassenaar	43	26	33	6	2	0	
Woerden	29	2	25	0	1	1	
Zoetermeer	20	9	18	2	4	1	

Tabel 6. *Type conflicten*

Ter toelichting:

- mvt/mvt heeft betrekking op conflicten tussen motorvoertuigen onderling;
- mvt/lv betreft conflicten tussen motorvoertuigen en langzaam verkeer;
- het oprijden en afrijden heeft betrekking op de motorvoertuigen;
- kop/st zijn kop-staart aanrijdingen, zowel op als voor het plein.

De aantallen conflicten tussen motorvoertuigen onderling betreffen hoofdzakelijk de voorrangssituatie bij het oprijden van het plein en zijn voor een belangrijk deel te verklaren door de intensiteiten. Veel belangrijker lijken de verschillen bij de conflicten tussen motorvoertuigen en (brom)fietsers bij het oprijden van het plein. De beide rotondes met vrijliggende paden komen veel gunstiger uit de bus, waarbij Woerden (fietsers dienen voorrang te geven aan snelverkeer) weer gunstiger scoort dan Zoetermeer (snelverkeer dient voorrang te geven aan het fietsverkeer). Een ander verschil is verder nog dat in Zoetermeer veel bromfietsers niet op het pad maar op de hoofdrijbaan rijden.

De vergelijking is te beperkt en de aantallen zijn te gering voor definitieve conclusies, maar de relatie tussen de voorrangsregeling en de aantallen geregistreerde conflicten verdient wel aandacht. Er lijkt geen duidelijke relatie te bestaan tussen de uitvoering van de fietsvoorziening en de aantallen conflicten met afrijdend autoverkeer.

6.6. Voorrangsgedrag

Op dezelfde locaties waar de conflictobservaties zijn verricht, is ook het voorrangsgedrag waargenomen.

De waarnemingen op de locatie in Oss zijn anders uitgevoerd dan op de drie andere locaties en bovendien maar ten dele zoals was bedoeld. Zo is het voorrangsgedrag van naderende automobilisten ten opzichte van de op het plein rijdende (brom)fietsers niet geobserveerd; wel is het omgekeerde geobserveerd: de naderende fietser ten opzichte van de op het plein rijdende auto. Maar in dat geval is er nauwelijks sprake van een echte voorrangssituatie, omdat de fietser bijna altijd zonder problemen de fietsstrook op kan rijden.

Het voorrangsgedrag van auto's die het plein verlaten ten opzichte van doorgaande fietsers (de doorgang vrijhouden) is wel geregistreerd, zodat die waarnemingen wel in de vergelijkingen betrokken kunnen worden.

Voor dit onderzoek is in de eerste plaats het voorrangsgedrag in de pleinsituatie van belang. Daarnaast is het interessant om de uitkomsten te vergelijken met enigszins gelijkwaardige situaties in de kruispuntsituatie. Onderscheiden werden:

- Type 1* de naderende automobilist dient voorrang te geven aan auto op het plein;
- Type 2* de naderende automobilist dient voorrang te geven aan fiets op het plein;
- Type 2a* de overstekende fietser dient voorrang te geven aan de naderende automobilist;
- Type 2b* de naderende automobilist dient voorrang te geven aan de overstekende fietser;
- Type 3* de afrijdend automobilist dient de fietser die zijn route op het plein vervolgt de vrije doorgang te verlenen;
- Type 3a* de overstekende fietser dient voorrang te geven aan de afgeslagen automobilist.

De types 2a en 3a hebben betrekking op pleinen met vrijliggende fietspaden waarbij de fietser bij elke oversteek voorrang moet verlenen. Type 2b betreft ook een plein met vrijliggend fietspad, maar bij die oversteek heeft de fietser voorrang.

In onderstaand overzicht, *Tabel 7*, staan de percentages 'goed', dat wil zeggen dat degene die voorrang diende te geven, dat ook inderdaad deed. De percentages zijn zowel per tak als voor het gehele plein weergegeven. De uitkomsten per tak hebben niet altijd voldoende betekenis omdat ze soms op kleine aantallen observaties betrekking hebben.

locatie	tak	type 1	type 2	type 3
Oss	I			95,5
	II			95,2
	III			90,0
	IV			100,0
	totaal			94,0
Wassenaar	A	81,0	85,2	64,7
	B	97,4	100,0	100,0
	C	91,8	88,9	75,0
	D	94,7	91,8	76,7
	totaal	90,5	89,8	73,6
		type 1	type 2a	type 3a
Woerden	A	-	65,0	92,9
	B	91,1	67,5	91,1
	C	92,7	100,0	100,0
	D	-	90,4	94,3
	totaal	91,8	78,3	92,5
		type 1	type 2b	type 3a
Zoetermeer	A	96,0	70,0	94,0
	B	96,8	95,0	56,5
	C	94,0	56,0	88,0
	D	100,0	-	-
	totaal	96,2	68,8	87,3

Tabel 7. *Vorrangsgedrag*

In het algemeen is er bij type 1 sprake van een vrij goed voorrangsgedrag. Zoetermeer steekt wat gunstig af bij de beide andere locaties, en dat geldt niet alleen tak D die wordt gevormd door een verbinding met een parkeerterreintje.

Het laagste percentage laat Wassenaar zien op tak A: ruim 80%. Dit is zo goed als zeker het gevolg van de verhoudingen tussen de beide verkeersintensiteiten; op deze tak moet het verkeer in een sterk dominerende verkeersstroom voorrang verlenen aan relatief weinig verkeer op het plein. Ook het verlenen van voorrang door naderende automobilisten aan fietsers op het plein (type 2) geeft in het algemeen weinig problemen en gaat voor circa 90% goed.

Dat lijkt enigszins in tegenspraak met de uitkomsten van de conflictobservaties, waar deze ontmoeting wel vaak tot conflicten aanleiding bleek te geven.

Veel minder gunstig blijkt de score bij het voorrang verlenen van toerijdende auto's aan fietsers die oversteken, komend van een vrijliggend fietspad (type 2b); hier is de goed-score slechts 69%.

Moet de fietser in deze situatie voorrang verlenen (type 2a) dan is het resultaat weer iets beter (78%). Bij de beoordeling van deze uitkomsten moeten we er wel rekening mee houden dat het niet-voorrang-verlenen door fietsers nogal eens betekent dat de automobilist de fietser voorrang verleent, bijvoorbeeld omdat hij toch moet afremmen of wachten voor ander verkeer.

Het voorrangsgedrag van fietsers die komend van een vrijliggend fietspad voorrang moeten verlenen aan afrijdend autoverkeer (type 3a) is vrij goed en schommelt rond de 90%. Wanneer daarentegen de automobilist bij het afslaan de doorgang vrij moet laten voor de fietser op het plein (type 3), dan is de score nog iets gunstiger (in Oss) of aanzienlijk slechter (Wassenaar). De laatste uitkomst maakt duidelijk waarom in Wassenaar de fietser vaak zijn linker hand uitstak om duidelijk te maken dat hij het plein wilde blijven volgen.

Het is overigens niet duidelijk waardoor dit grote verschil tussen de waarnemingen in Oss en Wassenaar kan worden verklaard. Het lijkt onwaarschijnlijk dat dit (uitsluitend) door de hogere auto-intensiteiten in Wassenaar veroorzaakt zou kunnen worden.

6.7. Gebruik richtingaanwijzer

Uit eerdere waarnemingen, zoals op een rotonde in Alphen a/d Rijn, was al bekend dat de automobilisten bij het gebruik van de richtingaanwijzer geen uniform gedrag vertonen. Dat geldt zowel bij het oprijden van het plein als bij het verlaten daarvan.

In *Tabel 8* zijn de resultaten gesommeerd per plein weergegeven.

De verschillen per tak van een plein, die soms aanzienlijk waren, blijven hier verder buiten beschouwing.

	Voorgenomen rijrichting	bij oprijden			bij afrijden		
		links	rechts	geen	links	rechts	geen
Oss	rechtsaf	0	88	12	0	95	5
	rechtdoor	2	3	95	0	52	48
	linksaf	31	1	68	0	61	39
Wassenaar	rechtsaf	0	83	17	0	85	15
	rechtdoor	3	5	92	1	31	68
	linksaf	50	1	49	4	36	59
Woerden	rechtsaf	0	80	20	0	80	20
	rechtdoor	0	0	100	0	10	90
	linksaf	73	0	27	3	42	54
Zoetermeer	rechtsaf	0	84	16	0	84	16
	rechtdoor	3	3	95	0	23	77
	linksaf	45	2	53	0	32	68

Tabel 8. *Gebruik richtingaanwijzer in percentage*

Uit dit overzicht blijkt duidelijk dat er hier en daar wel enige overeenstemming is te vinden, maar dat er bepaald geen sprake is van uniform gedrag. En zeker niet van juist of gewenst gedrag.

Bij het oprijden van het plein mag men uitsluitend de verplichte rijrichting volgen en is het gebruik van de richtingaanwijzer overbodig. Er zou dus steeds 100% in de kolom 'geen' kunnen staan. Maar voor de rechtsaf slaande automobilist volgt de afslag zo snel na het oprijden dat in dat geval het gebruik van de rechter knipperlicht niet onjuist genoemd mag worden.

Voor het verlaten van een plein zou *altijd* de rechter richtingaanwijzer gebruikt moeten worden. Bij juist gebruik zou hier dus steeds 100% in de kolom 'rechts' moeten staan. In feite varieerde dit tussen 10% en 95%.

7. Discussie

Het is opvallend met welk gemak deze kleine enkelstrooks pleinen grote hoeveelheden verkeer verwerken, schijnbaar onafhankelijk van uitvoering. In het onderzoek waren pleinen met fietsstrook (Wassenaar, Oss en Sittard) en met fietspad (Woerden en Zoetermeer) betrokken. Vergelijking van aantallen wachtende auto's en passagetijden wijst uit dat de invloed van de fietsoplossing op de doorstroming niet groot is en slechts bij zeer hoge intensiteiten, zoals in Wassenaar, echt merkbaar gaat worden. Een groot aantal fietsers beperkt in dat geval in lichte mate de capaciteit van het *autoverkeer*, maar de totale capaciteit voor alle typen weggebruikers zal zeker niet minder worden.

Bij vier van de vijf pleinen was er in de voorsituatie een voorrangskruising. Rechtdoorgaand verkeer op de voorrangsroute kon daardoor in principe ongehinderd en met onverminderde snelheid doorrijden. Bij een plein is dat onmogelijk en de passagetijden voor deze rijrichtingen zijn dan ook met circa 7 seconden toegenomen; een gering tijdverlies en nauwelijks van belang als men dit nadeel afweegt tegen de veiligheids-winst die onder meer door de lagere snelheden kan worden bereikt. Bovendien kan voor het verkeer uit de dwarsrichting een belangrijke tijd-winst worden geboekt waardoor de over alle takken gemiddelde passage-tijden meestal zijn afgenomen. Naast de tijdwinst wordt verkeer uit de dwarsrichting een betere toegang tot de kruising geboden; het soms zenuwslopende wachten tot er eindelijk een 'gap' van voldoende grootte in beide richtingen voorkomt, is niet meer nodig. Ter illustratie: in Sittard stond in de voorsituatie een wat oudere auto-mobilist bijna vijf minuten te wachten voordat hij zijn kans schoon zag om over te steken.

Er zijn geen waarnemingen van de rotonde-situatie in Nieuw Milligen, maar de uitkomsten van passagetijden op andere pleinen liggen zo dicht bij elkaar dat ook voor dit plein een schatting gemaakt kan worden. En dan is er sprake van een enorme verbetering ten opzichte van de kruising met verkeerslichten, voor *alle* naderingsrichtingen. Daarbij moeten we dan wel bedenken dat het hier vermoedelijk om een verouderde verkeerslichten-installatie (VRI) ging.

Hoewel niet direct in het programma van waarnemingen betrokken, is gebleken dat hoge intensiteiten zoals in Wassenaar wel de oversteekbaarheid voor voetgangers nadelig beïnvloeden. Ook voor dit probleem is het van belang dat afslaand autoverkeer consequent de richtingwijzer gebruikt bij het verlaten van het plein.

Van essentieel belang voor de veiligheid zijn de snelheden van het auto-verkeer. De waarnemingen op korte afstand voor en na het plein laten toch nog duidelijke verschillen zien. Blijkbaar is er meer aandacht nodig voor afmetingen en juiste situering van het middenplein om er voor te zorgen dat de snelheid voldoende laag wordt. Afgaande op de conflictobservaties zou de indruk kunnen ontstaan dat het met de veiligheid op rotondes niet zo best is gesteld. De toepassing op zo'n uitgebreide schaal heeft duidelijk de sterkere en zwakkere kanten van

deze observatiemethode laten zien. Positief blijkt dat snel en doelmatig naar voren komt waar en tussen welke verkeersdeelnemers problemen optreden. Maar het blijkt niet mogelijk de aantallen conflicten op betrouwbare wijze rechtstreeks te vertalen in aantallen te verwachten ongevallen. Wel is er een aanwijzing dat *ernstige* conflicten enigszins samenhangen met de kans op ongevallen, maar de aantallen daarvan zijn meestal te klein om op grond daarvan betrouwbare verwachtingen uit te spreken. Wanneer naar het type conflict wordt gekeken, dan komen er toch wel interessante aanwijzingen tevoorschijn. Zo blijkt bij nadering van het plein de conflicten tussen auto's onderling in hoofdzaak bepaald door de verkeersintensiteiten. Maar bij de conflicten tussen auto's en fietsers ligt dat anders; dan blijkt het type fietsoplossing veel meer bepalend. Het vrijliggende fietspad lijkt gunstiger dan de fietsstrook en de fietser uit de voorrang (Woerden) weer gunstiger dan in de voorrang (Zoetermeer). Daar staat tegenover dat uit de aantallen conflicten tussen fietsers en afslaand autoverkeer geen duidelijk verband met de fietsoplossing af te leiden valt, terwijl enkele ernstige ongevallen op pleinen met fietsstrook dat wel zouden doen vermoeden. Misschien laat de methode ons hier in de steek omdat het bij die ongevallen steeds een conflict tussen fietser en vrachtauto betrof, een type dat bij conflictobservaties wellicht niet zo vaak zal voorkomen, maar dan wel zeer ernstig van aard kan zijn. Opvallend is overigens de overeenkomst tussen aantallen conflicten en het voorrangsgedrag bij afslaande auto's en doorgaande fietsers, wanneer we Oss en Wassenaar vergelijken. Het aantal waargenomen conflicten was in Wassenaar 2,5 x zo hoog en het niet juist voorrang verlenen circa 4 x zo hoog als in Oss. Maar ook de voorrangsobservaties, die zeker wel interessante verschillen in uitkomsten laten zien, blijken niet afdoende om een keuze te kunnen maken voor de meest geschikte fietsoplossing.

8. Conclusies

8.1. Conclusies met betrekking tot de doorstroming en de capaciteit

Een enkelstrooks rotonde kan zonder problemen meer dan 2.100 auto's per uur verwerken, ook in situaties met veel afslaand verkeer en gecombineerd met relatief veel fietsverkeer (tot circa 1200 in een periode van twee uur).

De aantallen wachtende auto's zijn betrekkelijk gering en aanzienlijk kleiner dan bij een kruispunt met verkeerslichten. Pas wanneer de intensiteiten de capaciteit benaderen is er sprake van wachtrijen van enige betekenis (Wassenaar).

Passagetijden op rotondes variëren bij een normaal verkeersaanbod tussen circa 11 en 23 seconden, uitgaande van afstanden van circa 100 m tussen de beide passeerlijnen.

Bij relatief hoge intensiteiten kunnen de passagetijden oplopen, zoals in Wassenaar, waar de gemeten waarden gemiddeld 8 tot 12 seconden hoger lagen.

In tegenstelling tot een normale voorrangskruising zijn de passagetijden niet afhankelijk van de aankomstrichting maar wel van de route over het plein; de kortste tijden treden op bij rechtsafslaan en de langste bij linksafslaan.

8.2. Conclusies met betrekking tot de veiligheid

Snelheden

De gemiddelde snelheid van het autoverkeer is gedaald, vooral op kortere afstand van de rotonde; op een afstand van 25 tot 40 m daalde de gemiddelde snelheid minimaal met 7 en maximaal met 20 km/uur.

De geconstateerde verschillen zullen te maken hebben diverse variabelen zoals de afmetingen (binnendiameter, rijbaanbreedte en afrondingsstralen) en de aanwezigheid van een fietsstrook.

Ook op grotere afstand van het plein (100 tot 125 m) is er meestal nog wel een geringe daling; de grootste gemeten reductie bedroeg 8 km/uur.

Conflictobservaties

De aantallen conflicten, vastgesteld via de methode DOCTOR, nemen eerder toe dan af; maar ze zijn vaak wel wat minder ernstig.

Het aandeel conflicten met langzaam verkeer (fietsers en bromfietsers) veranderde nauwelijks.

Pleinen met vrijliggende fietspaden vertonen minder conflicten tussen fietsers en *naderend* autoverkeer dan pleinen met fietsstroken.

Wanneer de fietser bij een vrijliggend fietspad voorrang moet verlenen aan naderend autoverkeer (Woerden) lijkt het aantal conflicten geringer dan wanneer de auto in eenzelfde situatie voorrang moet verlenen (Zoetermeer), maar dit verschil is vermoedelijk niet significant.

Voorrangsgedrag

Het voorrang verlenen aan autoverkeer op het plein gaat goed, zolang de naderende verkeersstroom niet te sterk dominerend is; in dat geval daalt het percentage juist voorrang verlenen merkbaar.

Het voorrang verlenen door automobilisten aan fietsverkeer op het plein blijkt weinig problemen te geven; dit lijkt in tegenspraak met de uitkomsten van de conflictobservaties.

Veel minder goed verloopt het voorrangsgedrag van naderende automobilisten ten opzichte van overstekende fietsers die van een vrijliggend fietspad komen.

Wanneer de fietser in dezelfde situatie voorrang moet verlenen, is het voorrangsgedrag weer iets beter.

Het voorrangsgedrag van overstekende fietsers die aan afslaand autoverkeer voorrang moeten verlenen, is vrij goed. Het omgekeerde, de automobilist die bij het verlaten van het plein de doorgang voor de fietser moet vrij laten, is in het ene geval nog iets beter (Oss) en in een ander geval aanzienlijk slechter (Wassenaar).

Gebruik richtingaanwijzer

Het gebruik van de richtingaanwijzer is betrekkelijk willekeurig en zo weinig consistent dat andere weggebruikers daar weinig houvast aan hebben bij oprijden van het plein (automobilisten) of bij het oversteken (fietsers en voetgangers).

Literatuur

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

Minnen, J. van (1989). *Toepassing van rotondes; Informatie en aanbevelingen betreffende het toepassen van rotondes, in het bijzonder als alternatief voor kruispunten met verkeerslichtenregeling*. R-89-56. SWOV, Leidschendam.

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.

Bijlagen 1 t/m 3

1. *De begrippen 'conflictpunbelasting' en 'pleinbelasting'*
2. *Handleidingen voor waarnemingen en correcties*
3. *Waarnemingen passagetijden in Nieuw Milligen*

Bijlage 1. De begrippen ‘conflictpunbelasting’ en ‘pleinbelasting’

De verkeersintensiteiten op *wegvakken* geven weinig aanleiding tot misverstanden; het verkeer in één richting of in beide richtingen wordt geteld en wanneer er geen nadere aanduiding wordt gegeven, gaat men er vanuit dat het om het verkeer in beide richtingen gaat.

Anders is dit op *kruisingen en pleinen*. Hier kan wel verwarring ontstaan over het begrip intensiteit. Daarom is het zinnig onderscheid te maken tussen intensiteiten op de aansluitende takken zoals hierboven aangegeven bij de wegvakken, en intensiteiten op de kruising.

Voor intensiteiten op een kruising gebruiken we de volgende formulering: *het totaal van alle (motor)voertuigen dat per tijdseenheid het kruispunt, respectievelijk de rotonde, passeert.*

Voor het vaststellen van de kruispuntintensiteit kan men de intensiteiten van het *toerijgend* verkeer op alle takken sommeren; maar sommeren van alle afrijdend verkeer geeft vanzelfsprekend dezelfde uitkomst. Een derde mogelijkheid is het sommeren van de intensiteiten op alle aansluitende takken in *beide* richtingen, waarna de som wordt gehalveerd om de kruispuntintensiteit vast te stellen.

Van kruispunten is bekend dat de feitelijke belasting niet alleen door de totale hoeveelheid verkeer wordt bepaald, maar onder meer ook door de hoeveelheid afslaand verkeer, waarbij vooral linksafslaand verkeer de capaciteit nadelig beïnvloedt.

Ook op rotondes doet zich iets dergelijks voor, maar deze lenen zich wat gemakkelijker voor een rekenkundige benadering van de belasting, in dit geval het begrip ‘pleinbelasting’. Een auto die een rotonde berijdt belast dat plein evenredig met het aantal kwadranten dat wordt gebruikt. Voor rechtsaf is dat 1 kwadrant, rechtdoor betekent twee kwadranten en linksaf 3 kwadranten (voor de volledigheid: keren = 4 kwadranten).

Stellen we nu een rechtdoorgaande auto op de eenheid van belasting, dan vinden we de pleinbelasting uit de volgende formule:

$$PB4 = 0.5 \times RA + DO + 1.5 \times LA + 2.0 \times KE$$

waarin: PB4 = pleinbelasting voor 4-taks plein

RA = rechtsafslaande voertuigen

DO = rechtdoorgaande voertuigen

LA = linksafslaande voertuigen

KE - kerende voertuigen

Bij relatief veel linksafslaand verkeer zal de pleinbelasting dus een uitkomst geven die hoger is dan de plein-intensiteit.

Op identieke wijze kan een formule voor een drietaksplein worden afgeleid:

$$PB3 = 0.67 \times RA + 1.33 \times LA + 2.0 \times KE$$

De pleinbelasting geeft betere informatie over wat het plein in feite te verwerken krijgt dan de plein-intensiteit en het zou daarom de voorkeur verdienen de capaciteit van een rotonde in belasting-eenheden uit te drukken. Maar evenals bij een kruising is niet alleen het aandeel afslaand verkeer belangrijk voor de vraag hoeveel verkeer kan worden verwerkt. Ook de verdeling van het verkeersaanbod over de verschillende takken is van belang. Wil men daarmee rekening houden - en in kritische intensiteitsgebieden is dat gewenst - dan kan men niet meer volstaan met één enkele belastingwaarde voor een plein. In dat geval dient per toerit bekeken te worden hoeveel verkeer op die plaats het plein wil oprijden en hoeveel verkeer op diezelfde plaats op het plein van links nadert. De som van beide intensiteiten op dit zogenaamde 'conflict-punt' wordt de *conflict-puntbelasting* genoemd.

Per conflict-punt - en elk plein heeft in principe evenveel conflictpunten als er naderingsrichtingen zijn - kan worden vastgesteld of de te verwachten conflict-puntbelasting beneden de capaciteit van een conflict-punt blijft. Het punt met de hoogste belasting zal bepalend zijn voor het functioneren van de rotonde.

Voor informatie over de capaciteit van rotondes, beoordeeld per conflict-punt, kan verwezen worden naar het betreffende deel in publikatie 24 *Verkeerspleinen* van het C.R.O.W.

Bijlage 2. Handleidingen voor waarnemingen en correcties

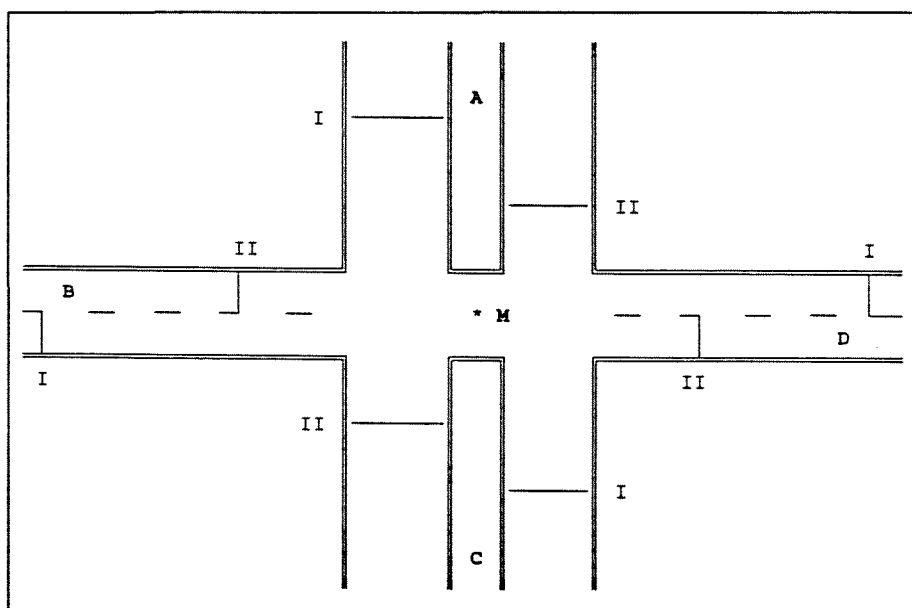
1. Handleiding toepassing passagetijd-metingen

Voorwerk

Voorafgaand aan de feitelijke waarnemingen worden de 'passeerlijnen' vastgesteld. Dit zijn de (meestal denkbeeldige) lijnen die worden gebruikt om de passeermomenten van de voertuigen vast te leggen.

Elke tak van een kruispunt of rotonde heeft in principe twee passeerlijnen, één voor het toerijnde en één voor het afrijdende verkeer. Alleen bij éénrichtingsverkeer kan met één passeerlijn worden volstaan.

Ter illustratie is in *Afbeelding 8* schematisch een kruispunt met vier takken en de positie van de acht passeerlijnen weergegeven.



Afbeelding 8. Schematische weergave van een kruispunt met passeerlijnen

Men gaat nu als volgt te werk. De armen van het kruispunt of de rotonde worden aangeduid met letters in linksdraaiende volgorde; bij een vierarmskruising de letters A t/m D.

Kies de aankomstpasseerlijnen I voor elke tak zodanig dat:

- de staart van een wachtrij in het spitsuur in het algemeen niet voorbij de lijn komt;
- de plaats van de lijn goed zichtbaar is voor de waarnemers;
- ter plaatse van de lijn een markant teken aanwezig is, zoals een boom, een paal, een bord of, in het ideale geval, een lijn op het wegdek of de overgang op een ander soort wegdek; desnoods wordt er een goed zichtbaar voorwerp langs de weg geplaatst;
- ook in een eventuele na-situatie nog steeds aan de hiervoor genoemde voorwaarden wordt voldaan (denk onder meer aan uitzichtbelemmering door bomen en struiken in andere seizoenen).

In sommige gevallen zal niet volledig aan alle voorwaarden voldaan kunnen worden en is bijvoorbeeld een compromis tussen a en b nodig.

Kies de passeerlijnen voor afrijden, II, voor elke tak zodanig dat:
a. de voertuigen alle mogelijke oponthoudpunten zoals zebra's en fiets-oversteekplaatsen zijn gepasseerd en tenminste 70% van de kruissnelheid voor het ingereeden wegvak hebben bereikt.

Verder gelden dezelfde voorwaarden als bij de lijnen I onder b t/m d zijn geformuleerd.

Om geschikte posities van de lijnen te kiezen dient de locatie zowel in het ochtend- als avondspitsuur bezocht te worden, zodat de maximale wachtrijlengtes bij benadering kunnen worden vastgesteld. Indien waarnemingen tijdens weekenddagen zijn voorzien, zal ook onder die omstandigheden een verkenning nodig zijn.

Een tekening van de situatie na reconstructie is nodig om te bekijken of de gekozen passeerlijnen ook in dat geval nog bruikbaar zullen zijn.

De juiste posities van de passeerlijnen worden vastgelegd op een tekening, met vermelding van de afstanden tot het midden M van het kruisingsvlak.

Waarnemingen

De waarnemingen van de passagetijden dienen uitgevoerd te worden in de periode dat ook de intensiteitstellingen worden verricht; dit is noodzakelijk omdat bij de analyse de beide gegevens aan elkaar gekoppeld worden.

Voor de metingen van de passagetijden is per tak een waarnemer nodig, dus voor een gewone vierarms kruising of rotonde ook vier waarnemers. Elke waarnemer krijgt één tak toegewezen en houdt zich uitsluitend bezig met het auto-verkeer dat uit die tak nadert. Alle auto's komen in aanmerking, dus ook vrachtwagens, bussen, enzovoort. Langzaam verkeer zoals tractoren en winkelwagens worden niet meegenomen.

Bij het starten van de metingen kiest de waarnemer de eerste auto die de passeerlijn I van zijn tak passeert en bedient de stopwatch op het moment dat de voorzijde van die auto ter hoogte van de lijn is. De auto wordt gevolgd tot het moment dat één van de passeerlijnen II wordt bereikt op welk moment de stopwatch weer wordt ingedrukt. De geklokte tijd wordt afgelezen en genoteerd in de *kolom die bij de betreffende vertrekrichting hoort* (zie voorbeeld waarnemingsformulier). De afgelezen waarde wordt afgerond op hele seconden, waarbij 0,5 of meer naar boven wordt afgerond. (De aanduiding 'v' voor vrachtwagen of 'b' voor bus achter de genoteerde tijd kan later nuttig zijn voor de analyse, maar is niet noodzakelijk. Wordt het wel toegepast, dan dient men dit de hele meetperiode ook consequent te blijven doen).

Na noteren van de tijd wordt de stopwatch op nul gezet en kiest de waarnemer de eerstvolgende auto die lijn I van zijn tak nadert en herhaalt de beschreven handelingen.

Het kan gebeuren dat auto's de kruising of rotonde verlaten via dezelfde tak als waar ze vandaan kwamen (keren). Ook van deze auto's wordt de passagetijd genoteerd.

Bij het noteren van de tijden op het formulier is het niet de bedoeling dat voor elke waarneming een nieuwe regel wordt gebruikt; per kolom worden de uitkomsten onder elkaar genoteerd zodat voor elke vertrekrichting 10 vakjes beschikbaar zijn. Zijn in de betreffende periode alle vakjes van een kolom gevuld dan kunnen de resterende waarnemingen in die periode worden beperkt tot de overige vertrekrichtingen waarvan de kolommen nog niet vol zijn.

De uitkomsten worden steeds per periode van vijf minuten genoteerd; bepalend is de tijd waarop lijn I werd gepasseerd. Wordt bij het passeren van een auto de stopwatch gestart in een bepaalde periode van vijf minuten, dan wordt de passagetijd in *die* periode genoteerd, ook wanneer het stoppen van de stopwatch bij het passeren van lijn II in een volgende periode valt.

Bijzondere omstandigheden

Er kunnen zich bijzondere omstandigheden voordoen waardoor de passagetijd van een auto extra lang wordt. Bijvoorbeeld een auto die stopt op of bij een kruising om iemand in of uit te laten stappen. Of een auto die betrokken raakt bij een aanrijding op de kruising. In het eerste geval wordt de tijd wel genoteerd, maar wordt erbij vermeld wat de oorzaak was. Bij abnormaal lange tijden zoals in het tweede geval, wordt van die auto geen passagetijd meer gemeten. Deze richtlijn geldt voor elk oponthoud van een auto dat zich voordoet tussen de betreffende passeerlijnen I en II.

Er kunnen zich omstandigheden voordoen waaronder de passagetijden langer zijn dan normaal, bijvoorbeeld het oversteken van grote groepen wandelaars. Ook kan het gebeuren dat een staart van een file voor een volgend kruispunt (of brug, overweg, enzovoort) tijdelijk op het kruispunt of de rotonde van de waarnemingen terecht komt zodat er geen normale doorstroming meer mogelijk is. In dergelijke situaties dient men de waarnemingen blijven verrichten maar wel met de aantekening erbij dat er oponthoud was door 'externe' oorzaak en over welke periode die vertraging optrad.

De normale regel dat steeds de eerstvolgende auto wordt geklokt, kan in een situatie met een verkeerslichteninstallatie niet altijd worden toegepast. Daarvoor dient aan de hand van het regelprogramma een aangepast steekproefstelsel ontwikkeld te worden dat ter plaatse wordt getoetst (methode nog in ontwikkeling; daarom uitsluitend uit te voeren door de SWOV).

Op kruisingen of rotondes kan het verkeersaanbod in relatie tot de capaciteit zo groot zijn dat zich geregeld lange wachtrijen vormen. Het gevolg is dat de plaats van passeerlijn I ver van het kruispunt gekozen moet worden en daardoor niet altijd goed zichtbaar is voor een waarnemer die zo opgesteld is dat hij ook alle passeerlijnen II kan zien. Bovendien is de kans dan groot dat passagetijden extreem lang worden (ver boven een minuut) zodat er te weinig waarnemingen binnen de observatieperiode worden verricht. In die situaties zal, in overleg met de SWOV, voor een alternatieve methode gekozen moeten worden waarbij de waarnemers de passeermomenten van passerende voertuigen noteren, in combinatie met het kenteken. De passagetijden worden dan achteraf berekend.

2. Handleiding tellen aantallen wachtende auto's

Deze tellingen kunnen worden uitgevoerd door één waarnemer. De waarnemer kiest een positie vanwaar hij de wachtrijen uit alle naderingsrichtingen kan overzien, tenminste tot aan de passeerlijnen I zoals die voor de passagetijden zijn vastgesteld.

Ook deze waarnemingen worden *gelijktijdig* met die van de passagetijden en de intensiteiten uitgevoerd. In principe wordt het aantal stilstaande auto's geteld uit elke naderingsrichting, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen stilstaan vóór en stilstaan óp het kruisingsvlak, respectievelijk de rotonde. Bij stilstaande auto's op de rotonde is niet altijd de naderingsrichting vast te stellen, zodat dat onderscheid dan vervalt. Het komt er dus op neer dat bij een vierarmskruising acht wachtposities worden onderscheiden (uit vier richtingen, alle zowel vóór als op de kruising) en bij een vierarms rotonde vijf wachtposities (uit vier richtingen vóór en eenmaal op de rotonde).

Stilstaan op een kruisingsvlak kan zich voordoen bij verkeer dat de kruising al is opgereden maar daarna nog voorrang moet verlenen aan verkeer van rechts, aan tegemoetkomend verkeer bij het linksafslaan of aan rechtdoorgaande (brom)fietsers bij het rechtsafslaan. Ook het stoppen voor overstekende voetgangers, al dan niet op een zebra, kan aanleiding zijn voor stoppen op het kruisingsvlak.

Voor de vraag of een voertuig zich al of niet op het kruisingsvlak bevindt - en bij grote of gelede voertuigen is dat niet altijd vanzelfsprekend - wordt de positie van de autobestuurder bekeken.

Iedere minuut wordt een momentopname gemaakt van de aantallen stilstaande auto's per wachtpositie. Praktisch kan dit worden uitgevoerd door bijvoorbeeld elke vijftien seconden de gegevens van één naderingsrichting te noteren (kruising met vier armen) of elke twaalf seconden bij een rotonde met vier armen (zie voorbeeldformulier).

Een auto wordt voor dit doel ook stilstaand genoemd wanneer er sprake is van 'kruipen', dus heel langzaam rijdend om een kleine ruimte voor de auto op te vullen of vooruitlopend op het moment waarop weer geaccelereerd kan worden. Een lage snelheid die op het ogenblik van de opname bij toeval wordt aangetroffen omdat een auto afremt en bijna stilstaat of juist is begonnen met accelereren, is géén kruipen; deze auto's worden dus niet meegeteld. Ook de auto's in een file, die met lage snelheid in beweging is, worden beslist niet tot de stilstaande auto's gerekend!

Bij langere wachtrijen met soms twee of drie rijstroken naast elkaar is het niet meer mogelijk een zuivere momentopname te maken. Als men vooraan telt kunnen in diezelfde tijd achteraan weer auto's aansluiten en als men achter telt kunnen er vooraan auto's vertrekken. Om een momentopname zo goed mogelijk te benaderen wordt in dat geval de volgende methode toegepast: eerst wordt via kleur en/of merk vastgesteld wat de achterste stilstaande auto is (of auto's als er meerdere rijstroken zijn). Direct daarna begint de waarnemer vanaf de voorzijde de stilstaande auto's te tellen, totdat hij bij de eerder vastgestelde achterste auto('s) is gekomen.

Stilstaande auto's die buiten het gezichtsveld van de waarnemer staan kunnen vanzelfsprekend niet worden geteld. Wel is het mogelijk dat er incidenteel auto's stilstaan vóór passeerlijn I en toch binnen het gezichtsveld vallen. In dat geval dienen voor de betreffende wachtrij *twee* getallen ingevuld te worden met het plusteken ertussen. Het eerste geeft de wachtenden tussen passeerlijn en kruisingsvlak (of rotonde) en het tweede getal betreft het aantal stilstaande auto's vóór de passeerlijn (bijv. 19 + 3).

3. Verbeteringen Handleidingen Waarnemingen

Passagetijden

- duidelijk aangeven dat ze tegelijk met intensiteitsmetingen moeten worden uitgevoerd;
- indeling in de vijf minuten-perioden verduidelijken;
- aangeven wat er dient te gebeuren als er een staart van een file van een nabijgelegen kruispunt (of brug of overweg) op de kruising of rotonde komt;
- bij noteren passagetijd hoeft niet steeds een nieuwe regel te worden gebruikt; per kolom aansluiten;
- als er meer dan 10 waarnemingen in een kolom staan dan concentreren op de 'bewegingen' in de andere kolommen;
- aangeven wat te doen als lijn II wat verder weg ligt en de auto wordt na passeren kruispunt of rotonde, maar nog voor de passeerlijn, opgehouden;
- wanneer de files te lang worden voor de directe meting van passagetijden eventueel overgaan op noteren passeermomenten.

Wachtende auto's

- aangeven dat ook deze waarnemingen tegelijk met intensiteiten en passagetijden dienen te worden uitgevoerd;
- met enkele voorbeelden aangeven wat tot wachten *op* het kruisingsvlak behoort;

Snelheden

- nog duidelijker vermelden (ook handleiding maken) dat deze metingen uitsluitend op de belangrijkste weg plaats vinden; meestal de voorrangsweg.

4. Correctie passagetijden

Ten behoeve van het project 'Rotondes' werden en worden veel waarnemingen verricht in het kader van de voor- en nastudies op een aantal locaties.

Onderdeel van de waarnemingen op kruisingen en rotondes vormen vaak de zogenaamde 'passagetijden', de tijd die een auto nodig heeft om van een passeerlijn voor het kruispunt tot een passeerlijn voorbij het kruispunt te rijden. De passagetijden worden gemeten met behulp van een stopwatch; de waarnemingen betreffen een steekproef uit het passerende verkeer die tot stand komt door na noteren van de passagetijd van een auto de eerstvolgende auto te nemen die de passeerlijn voor de kruising bereikt.

De aanvankelijke veronderstelling dat op deze wijze een goede, aselechte steekproef zou worden verkregen, bleek bij controle niet geheel juist te zijn. Directe middeling van de waargenomen passagetijden betekent een onderschatting van het populatie-gemiddelde. Deze onderschatting is een gevolg van het feit dat relatief lange passagetijden ook meer waarnemingstijd kosten en daardoor in verhouding te weinig in de steekproef voorkomen. Onder ongunstige omstandigheden, zoals in het geval van hoge intensiteiten in combinatie met een grote variatie in passagetijden, kan de fout die daardoor ontstaat oplopen tot meer dan 20%. Dit is gebleken uit simulatieberekeningen waarmee de grootte van

de mogelijke fout is onderzocht; die berekeningen zijn ook gebruikt om te onderzoeken op welke wijze de uitkomsten kunnen worden gecorrigeerd.

Omdat de fout kan worden toegeschreven aan de variabele waarnemingsduur, ligt het voor de hand de correctie ook in deze waarnemingsduur te zoeken. Zo is uit de berekeningen gebleken dat herweging van alle uitkomsten in de steekproef met de tijdsduur van de betreffende waarneming de fout in het steekproefgemiddelde terugbrengt tot minder dan 2%. Deze correctiemethode geeft dus zeer bruikbare resultaten, maar is voor de praktijk minder geschikt omdat dan niet alleen de passagetijd maar ook de bijbehorende waarnemingstijd voor alle waarnemingen genoteerd en verwerkt zou moeten worden. Er is daarom een vereenvoudigde correctiemethode ontwikkeld, die ook op reeds eerder uitgevoerde waarnemingen kan worden toegepast. Deze vereenvoudigde methode is getest voor uiteenlopende intensiteiten en intensiteitscombinaties met behulp van een groot aantal simulatie-berekeningen. Het resultaat was dat de na correctie overblijvende restfout varieerde tussen +2 en -4 procent, een nauwkeurigheid die voor dit soort waarnemingen alleszins acceptabel is.

De vereenvoudigde correctiemethode is gebaseerd op het idee dat het totaal van de wacht- en noteertijd (de resttijd) binnen een meetperiode in stukjes van gelijke grootte wordt toegevoegd aan alle passagetijden om het 'gewicht' van elke passagetijd te berekenen. Daarbij is verondersteld dat één waarnemer permanent bezig is met meten van passagetijden uit één naderingsrichting (voor andere waarnemingsomstandigheden is een aangepaste correctiemethode benodigd). Dit idee verder uitgewerkt leidt tot de volgende formule:

$$T_p = \Sigma ((t_{p_i} + t_r).t_{p_i})/t_m$$

waarin: T_p = de gecorrigeerde gemiddelde passagetijd
 t_{p_i} = de betreffende waargenomen passagetijd
 t_r = de per waarneming toe te kennen resttijd
 t_m = de tijdsduur van de beschouwde meetperiode
 n = aantal waarnemingen binnen de meetperiode

De waarde van t_r volgt uit:

$$t_r = (t_m - \Sigma t_p)/n$$

Deze correctie kan worden toegepast op elke gewenste meetperiode en is in de hier gepresenteerde vorm bedoeld voor het gemiddelde van alle passagetijden van het verkeer uit één naderingsrichting. Wanneer de correctie voor elke combinatie van aankomst- en vertrekriching dient te worden uitgevoerd, dan is de volgende aanpassing nodig: in de formule worden uitsluitend de passagetijden van de gewenste richtingcombinatie meegenomen; voor de berekening van t_r worden alle passagetijden uit de betreffende naderingsrichting gebruikt. De waarde van t_m is nu niet gelijk aan de volledige duur van de waarnemingsperiode maar aan het deel daarvan dat aan de betreffende vertrekriching kan worden toegeschreven. Die fictieve meetduur volgt uit:

$$t_{ma} = \Sigma(t_{p_a} + t_r), \quad t_{mb} = \Sigma(t_{p_b} + t_r) \quad \text{en} \quad t_{mc} = \Sigma(t_{p_c} + t_r)$$

waarin a, b en c de verschillende vertrekrichingen voorstellen.

Om de toepassing van de methode wat te verduidelijken volgt hierna een rekenvoorbeeld.

Stel dat gedurende een meetperiode van een half uur van het verkeer uit de richting D de volgende passagetijden zijn waargenomen:

naar tak A: 23, 11, 18, 17, 44, 32, 43, 52, 14, 16

naar tak B: 32, 21, 22, 39, 68, 19, 33, 61, 57, 28, 19, 22, 47, 36, 36

naar tak C: 34, 24, 57, 93, 23, 29, 62, 38

Zonder correctie kunnen we het volgende overzicht maken:

richting:	A	B	C	totaal
aantal waarnemingen:	10	15	8	33
som van passagetijden:	270	540	360	1170
gemiddelde passagetijd:	27.0	36.0	45.0	35.5

De totale meetduur $t_m = 1800$ s

De gemiddelde resttijd $t_r = (1800 - 1170)/33 = 19.1$ s

De meetduur voor ri. A, $t_{ma} = 270 + 10 \times 19.1 = 461$ s

De meetduur voor ri. B, $t_{mb} = 540 + 15 \times 19.1 = 826$ s

De meetduur voor ri. C, $t_{mc} = 360 + 8 \times 19.1 = 513$ s

Passen we nu de formule voor T_p toe op het totaal en op de drie richtingen afzonderlijk dan krijgen we als uitkomsten:

richting A: $T_p = 31.2$ s (+ 16%)

richting B: $T_p = 40.2$ s (+ 12%)

richting C: $T_p = 53.0$ s (+ 18%)

totaal: $T_p = 41.6$ s (+ 17%)

Uit de voorbeelden blijkt dat de correcties niet onbelangrijk zijn, zeker in het geval dat er veel variatie in de passagetijden voorkomt.

Bijlage 3. Waarnemingen passagetijden in Nieuw Milligen

Voor het meten van passagetijden werd op bijna alle locaties een methode toegepast waarbij een waarnemer de voertuigen uit een bepaalde naderingsrichting volgt en de tijd registreert die nodig is om van de passeerlijn voor de kruising tot de lijn na de kruising te komen. De waarnemer dient daartoe een positie te kiezen waarop hij het volledige traject tussen alle betrokken passeerlijnen kan volgen.

In Nieuw Milligen, waar het kruispunt met een verkeerslichteninstallatie werd geregeld, waren de snelheden hoger (buiten de bebouwde kom) en de files aanzienlijk langer. De passeerlijnen dienden daarom op veel grotere afstand gekozen te worden, tot maximaal 205 meter van het kruispunt. Dan is het voor een waarnemer niet meer mogelijk het volledige traject te overzien en dient een andere waarnemingsmethode gekozen te worden.

In dit geval werd gekozen voor registratie van kentekens van passerende auto's en tegelijkertijd opnemen van de passeertijd, zowel bij het toerijden als bij het afrijden.

Kentekens en passeertijden werden ingesproken op een cassette-recorder en deze opnamen werden achteraf uitgelezen. Door combineren van de waarnemingen met eenzelfde kenteken (met behulp van een computerprogramma), kan daaruit de passagetijd worden berekend.

Omdat het bij grotere drukte niet mogelijk is van alle passerende voertuigen het kenteken en de tijd te registreren, is er ook bij deze methode sprake van een steekproef. Want het zal duidelijk zijn dat uitsluitend van de voertuigen die zowel bij toerijden als bij afrijden werden geregistreerd, de passagetijd kon worden vastgesteld.

De steekproef fractie bleek tussen de takken te variëren van 24 tot 45 procent en was gemiddeld 33 procent. Deze uitkomsten zijn nagenoeg identiek aan die van de andere waarnemingsmethode, voorzover die op de locatie in Oss was toegepast.

Deze methode is zeer geschikt gebleken, maar is wel aanzienlijk arbeidsintensiever. Zo zijn voor een kruising met vier takken al gauw acht waarnemers nodig en ook het achteraf uitwerken vraagt veel tijd. De methode zal daardoor slechts worden toegepast waar de andere methode niet kan worden gebruikt.