kennisplatform CROW

Windesheim

Het voorrangsplein: een nieuw kruispunttype?!

Onderzoek naar de verkeersveiligheid en de capaciteit op voorrangspleinen

J. Bout & M.J.H. Olijve

Het voorrangsplein: een nieuw kruispunttype?!

Onderzoek naar de verkeersveiligheid en de capaciteit op voorrangspleinen

Datum en plaats van uitgave:	12 juni 2015, Zwolle
Auteurs:	Jaap Bout Mark Jan Olijve
Begeleider CROW:	John Boender
Eerste begeleider Windesheim:	Erwin Bezembinder
Tweede begeleider Windesheim:	Hugo Kampen

Voorwoord

Begin februari zijn wij, Jaap Bout en Mark Jan Olijve, begonnen aan het onderzoek over voorrangspleinen. Wij hebben hiervoor gekozen omdat wegontwerp ons beiden zeer interesseert. Daarnaast waren wij geïntrigeerd door de eenvoud en de effectiviteit van het voorrangsplein, voor zover wij toen wisten. Wij zijn in de voorbereidingsperiode op zoek gegaan naar een geschikte organisatie waar wij dit onderzoek konden doen. Zo kwamen wij bij CROW terecht. De keuze is op CROW gevallen omdat deze organisatie kennis verzamelt voor het vakgebied en deze kennis publiceert voor wegbeheerder en andere specialisten. Hier past ons onderzoek goed bij, omdat wij kennis wilden vergaren over het voorrangsplein.

Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in het kader van het afstuderen voor de opleiding Mobiliteit aan Hogeschool Windesheim te Zwolle. Vanuit de opleiding was Erwin Bezembinder betrokken als begeleidend docent. Wij willen hem hierbij bedanken voor de benodigde opmerkingen om dit onderzoek op poten te zetten en tot een goed einde te kunnen brengen.

Tevens willen wij John Boender – onze begeleider vanuit CROW – bedanken. Hij heeft ons geholpen met het leggen van contacten en het onderzoek richting gegeven. Ook zijn opmerkingen voor het tekstuele en contextuele aard zijn van grote waarde geweest.

Wij zullen dit onderzoek niet snel vergeten. Zeker de snelheidsmeting in Arnhem zal ons lang bijblijven. Het staan met een lasergun achter een abri (bushokje) roept veel reacties op: voorbijgangers die hun ongezouten (soms vrij grove) mening lieten horen en zien tot zeer geïnteresseerde bewoners. Dit leidde soms tot een heuse samenkomst van bewoners rond de halte. Niet te vergeten de 'boze' buschauffeur, die later zijn excuses kwam aanbieden. Laten we het zo zeggen, Arnhem was tijdens het onderzoek een stuk 'levendiger' dan Hilversum. Ook de interviews waarvoor we het halve land zijn doorkruist heeft ons veel geleerd en geïnspireerd. Wij willen ook iedereen bedanken die hieraan een bijdrage heeft geleverd.

Er rest ons niet meer te zeggen dan: "veel leesplezier met deze rapportage!"

Zwolle, 12 juni 2015

Jaap Bout
Mark Jan Olijve

Samenvatting

Het voorrangsplein is een relatief nieuw kruispunttype. In 2007 is de eerste aangelegd in Hilversum en in de loop der jaren zijn daar tientallen bij gekomen. Echter, er bestaat nog te veel onzekerheid over de werking van het voorrangsplein, zowel wat betreft de verkeersveiligheid als de capaciteit. Daarnaast zijn de inmiddels aangelegde voorrangspleinen veelal verschillend van vormgeving.

Een voorrangsplein is een kruispunttype dat bedacht is vanuit de werking van zowel een rotonde als een voorrangskruispunt. Een belangrijk criterium op het voorrangsplein is dat een van de wegen duidelijk hogere intensiteiten heeft – ook wel hoofdrichting genoemd. Deze hoofdrichting ligt in de voorrang, in tegenstelling tot een rotonde. Een uitbuiging op de hoofdrichting zorgt voor een verlaging van de snelheid ter hoogte van het kruispunt. Daarnaast is een middeneiland in de ruimte tussen rijbanen aangebracht. Door het plaatsen van een middeneiland rijdt het verkeer om elkaar heen. Hierdoor is de snelheid lager en neemt het aantal conflictpunten af, in vergelijking met een voorrangskruispunt.

Uit bestaande onderzoeken en evaluaties is gebleken dat het voorrangsplein de verkeersveiligheid en de capaciteit verbeterd, in vergelijking met de voorgaande verkeerssituaties. In de oude verkeerssituaties waren de kruispunten ingericht als een voorrangskruispunt – mét of zonder verkeersregelinstallatie. Echter, de voorrangspleinen die zijn onderzocht verschillen onderling van inrichtingselement. De effecten van deze inrichtingselementen waren nog niet onderzocht.

Dit onderzoek bestaat uit twee thema's: verkeersveiligheid en capaciteit. Deze thema's zijn onderzocht door middel van drie deelonderzoeken, namelijk: een locatieonderzoek, een simulatieonderzoek en interviews.

Voor het locatieonderzoek zijn drie voorrangspleinen onderzocht: Johan de Wittlaan – Groen van Prinstererstraat – Heemskerckstraat (Arnhem), Kamerlingh Onnesweg – Minckelersstraat (Hilversum) en Diependaalselaan – Melis Stokelaan – Van Ghentlaan (Hilversum). De onderzoeklocaties zijn geselecteerd op inrichtingselementen; op de drie voorrangspleinen zijn verschillende inrichtingselementen anders uitgevoerd. Op de locaties is de snelheid gemeten door middel van een lasergun. Daarnaast is gekeken naar het verkeersgedrag op het voorrangsplein door middel van een cameraobservatie. De intensiteiten op de onderzochte voorrangspleinen waren per locatie verschillend. De locatieonderzoeken hebben geresulteerd in acht uur beeldmateriaal per locatie. In deze acht uur zijn van circa 800 automobilisten de snelheden gemeten.

Voor het simulatieonderzoek is gebruikgemaakt van de Langzaam-sneller-simulatieprogramma. Hierin zijn verschillende variabelen gebruikt. Zo is onderzocht of de maatvoering (lengte/breedte) invloed heeft op de verkeersveiligheid en de capaciteit. Verder zijn de sterkte van de uitbuiging, de hiaatvergroter en het wel of niet toepassen van een voorsorteervak onderzocht. Om betrouwbare uitkomsten te verkrijgen zijn circa 300 simulaties uitgevoerd.

De lijst van geïnterviewde personen bestaat uit een gemêleerd gezelschap van vijf experts en diverse verkeerskundigen van drie gemeenten. Met de interviews is getracht praktijkervaringen boven tafel te halen. De interviews met de experts zijn gebruikt om hun ervaringen en expertises mee te nemen in de aanbevelingen over de inrichtingsvorm van het voorrangsplein. De interviews hebben circa anderhalf uur geduurd, waarbij verschillende vragen zijn gesteld over de werking van het voorrangsplein met betrekking op verkeersveiligheid en capaciteit.

De conclusie van de inrichtingskenmerken van dit onderzoek is weergegeven in tabel 1. Naast deze vooropgesteld inrichtingskenmerken zijn uit dit onderzoek ook twee aanvullende inrichtingskenmerken naar voren gekomen, welke zijn weergegeven in tabel 2.

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect op het voorrangsplein
Locatie uitbuiging	voor en na	⊂ begrijpelijker voorrangsplein; ⊂ vorm wijkt af van een rotonde; ⊂ snelheid van gemotoriseerd verkeer is het laagst ter hoogte van de fietsoversteek; ⊂ fietsers hebben meer opstelruimte tussen de rijbanen.
	begin tot eind	⊂ vorm lijkt teveel op een rotonde; ⊂ weinig opstelruimte voor de automobilist.
	geen	⊂ principe van het voorrangsplein wordt begrepen.
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen	⊂ snelheid van gemotoriseerd verkeer is het laagst ter hoogte van de fietsoversteek; ⊂ op een locatie waar de automobilist de fietser verwacht.
	over middeneiland	⊂ kortste fietsroute; ⊂ creëert onduidelijke verkeerssituatie; ⊂ afsnijden via trottoir.
Rammelstroken	geen rammelstroken	⊂ beschadigingen van de trottoirbanden; ⊂ blokkade door langzaam rijdend (middel)zwaar verkeer.
	wel rammelstroken	⊂ in uitbuiging: voorkomt bochtverbreding met asfalt.

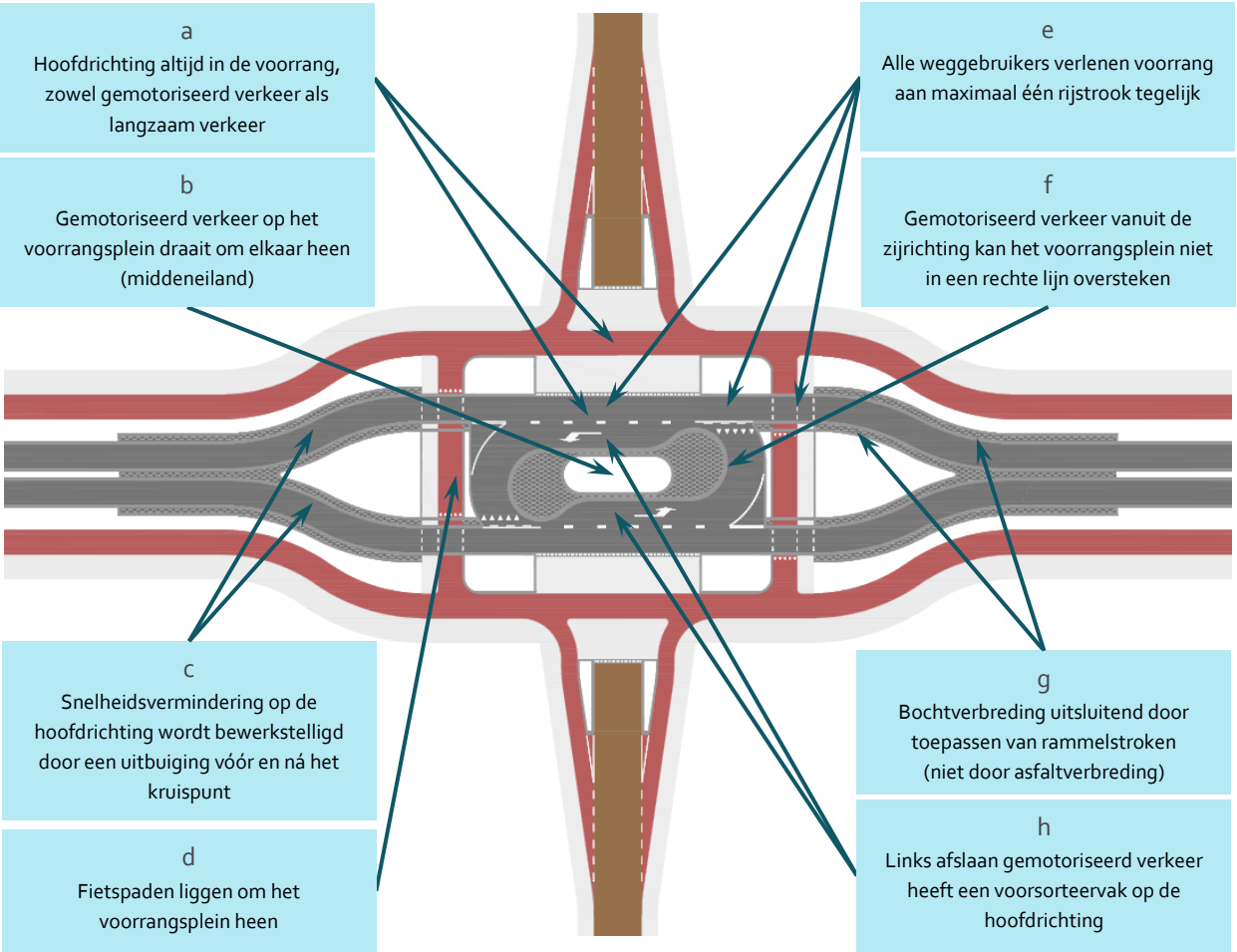
Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect op het voorrangsplein
Sterkte uitbuiging	sterk (30 km/h)	⊂ lage snelheid verhoogt de verkeersveiligheid; ⊂ kans op conflicten neemt toe; ⊂ hogere vertragingstijden door kleinere hiaten.
	zwak (40 km/h)	⊂ hoge snelheid verlaagt de verkeersveiligheid; ⊂ kans op conflicten neemt af; ⊂ lagere vertragingstijden dan bij een sterke uitbuiging.
Lengte	⊂ kort; ⊂ middellang; ⊂ lang.	⊂ lengte heeft nauwelijks invloed op de verkeersveiligheid; ⊂ langere voorrangspleinen verlagen de vertragingstijden.
Breedte	⊂ smal; ⊂ middelbreed; ⊂ breed.	⊂ breedte heeft nauwelijks invloed op de verkeersveiligheid; ⊂ bredere voorrangspleinen verlagen de vertragingstijden
Combinatie lengte en breedte	negen verschillende combinaties	⊂ wijzigen van de lengte én de breedte heeft per definitie geen invloed op de verkeersveiligheid en capaciteit.
Voorsorteervak	wel voorsorteervak	⊂ verhoogt de herkenbaarheid; ⊂ onderscheidend van andere kruispunttypes.
	geen voorsorteervak.	⊂ verhoogt de kans op conflicten; ⊂ verhoogt de vertragingstijden.
Hiaatvergroter	⊂ wel hiaatvergroter; ⊂ geen hiaatvergroter.	⊂ bij lage intensiteitsverhoudingen verbetert licht de verkeersveiligheid en de capaciteit. ⊂ bij hoge intensiteitsverhoudingen weinig verschil tussen een voorrangsplein met hiaatvergroter.

tabel 1: conclusie inrichtingskenmerken

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect op het voorrangsplein
Verhoogd middeneiland	⊂ wel verhoogd; ⊂ niet verhoogd.	⊂ onderbreekt de zichtlijnen; ⊂ langzaam verkeer kan niet over het middeneiland heen kijken en worden minder goed gezien.
Locatie zijrichting	⊂ linkse bajonet; ⊂ midden; ⊂ rechtse bajonet.	⊂ bajonetaansluiting verhoogt de kans op spookrijden in vergelijking met een rechte aansluiting; ⊂ linkse bajonet zorgt voor afdekconflicten.

tabel 2: conclusie aanvullende inrichtingskenmerken

Uit het onderzoek blijkt dat diverse inrichtingsvormen invloed hebben op de verkeersveiligheid en de capaciteit. Daarnaast is het gebleken dat het voorrangsplein uniformiteit mist in de inrichtingsvormen. Daarom wordt aanbevolen om meer uniformiteit aan te brengen in de inrichtingsvormen. In afbeelding 1 zijn herkenbaarheidskenmerken weergegeven, die de herkenbaarheid/begrijpelijkheid van het voorrangsplein verbeteren. Wanneer één van deze herkenbaarheidskenmerken niet wordt toegepast, levert men in op de verkeersveiligheid en/of de capaciteit.



afbeelding 1: acht herkenbaarheidskenmerken

Summary

The priority square – in Dutch *'voorrangsplein'* – is a relatively new type of junction. In the year 2007 the first priority square is placed in Hilversum. From then on there are dozens of others realized in different places all over The Netherlands. However, there is much uncertainty about the operation of the priority square, regarding to traffic safety and capacity. Besides that the design of the realized priority squares are different from place to place.

A priority square is a junction that is conceived by combining the functionality of the roundabout with the functionality of a priority junction. An important criterion for a priority square is that one of the roads has got obviously higher intensities – also called the main direction. This main direction has priority over the other directions, in difference to a roundabout. At the main direction of the priority square are outward deflections in the roadway, to make the traffic go less fast across the junction. In the space between the roadways in the middle of the priority square – created by the outward deflections on both sides – an enhanced middle island is placed. This helps the traffic drive in circles, like at a roundabout. This decreases the speeds at the priority square and the conflict points between motorized vehicles at the priority square, in comparison to a priority junction.

Existing researches and evaluations of priority squares show that the traffic safety and capacity at a priority square increases, in comparison to the previous traffic situation. In the previous traffic situations the junctions were designed as a priority junction, some with and some without a traffic regulation installation. However, the priority squares used in the researches and evaluations there different in terms of design. The effects of these different designs were not yet been researched.

This research exists of two themes: traffic safety and capacity. These themes are researched in three subprojects: a research on location, a simulation research and interviews.

For the researches on location three priority squares are researched: *Johan de Wittlaan – Groen van Prinstererstraat – Heemskerckstraat (Arnhem), Kamerlingh Onnesweg – Minckelersstraat (Hilversum)* and *Diependaalselaan – Melis Stokelaan – Van Ghentlaan (Hilversum).* These locations are selected on terms of design; various design elements are differently engineered at the selected locations. At the locations driving speeds have been measures with a lasergun and driving behavior is researched by camera observation. The traffic intensities on the observed priority squares were different by location. The location researches have resulted in eight hours of exemplary material by location. Within these eight hours approximately 800 cars are measured the speed.

For the simulation research the *'Langzaam-sneller'* simulation computer program is used. Within this program different variables are used to examine different design characteristic. The design characteristic that are varied are: dimensions (length/width), strength of the outward deflections, appliance of a gap increaser and appliance of a sorting lane. In order to obtain reliable results there have been carried out approximately 300 simulations.

The list of interviewed persons exists of a mixed group of experts and municipalities. The interviews helped to gain practical experience (municipalities). The interviews with the experts were used to bring their experiences and expertise in the recommendations on the design form of the priority square. The interviews lasted approximately one and a half hours, during which several questions were asked on the functioning of the priority square relating to road safety and capacity.

The conclusions are displayed in table 3. Besides these design characteristics, the research shows that there are two additional design characteristics, which are shown in table 4.

Design characteristic	Design element	Effect on the priority square
Location outward deflection	before and after	increases the recognition of the priority square; shape differs from a roundabout; speed of motorized traffic is decreased at the crossings for slow traffic.
	beginning to the end	shape is too comparable with a roundabout; less line up capacity for cars;
	none	the idea of a priority square is understandable.
Location cycle path	around priority square	traffic speed are at its lowest at the crossings; the crossings are on the locations where the car driver expects the cyclist.
	over middle island	shortest cycle route; creates unclear traffic situations; shortcuts via the pavements.
Rumble strips	without rumble strips	damaging the curb stones; blockage of slowly driving heavy traffic.
	with rumble strips	outward deflection: curve widening accomplished by rumble strips (not by asphalt widening), for decreasing driving speeds.
Strength outward deflections	strong outward deflection (30 kmh)	low speed increases the traffic safety; chance of conflicts increases; higher delay times by shorter gaps.
	light outward deflection (40 kmh)	high speed decreases the traffic safety; chance of conflicts decreases; low delay times.

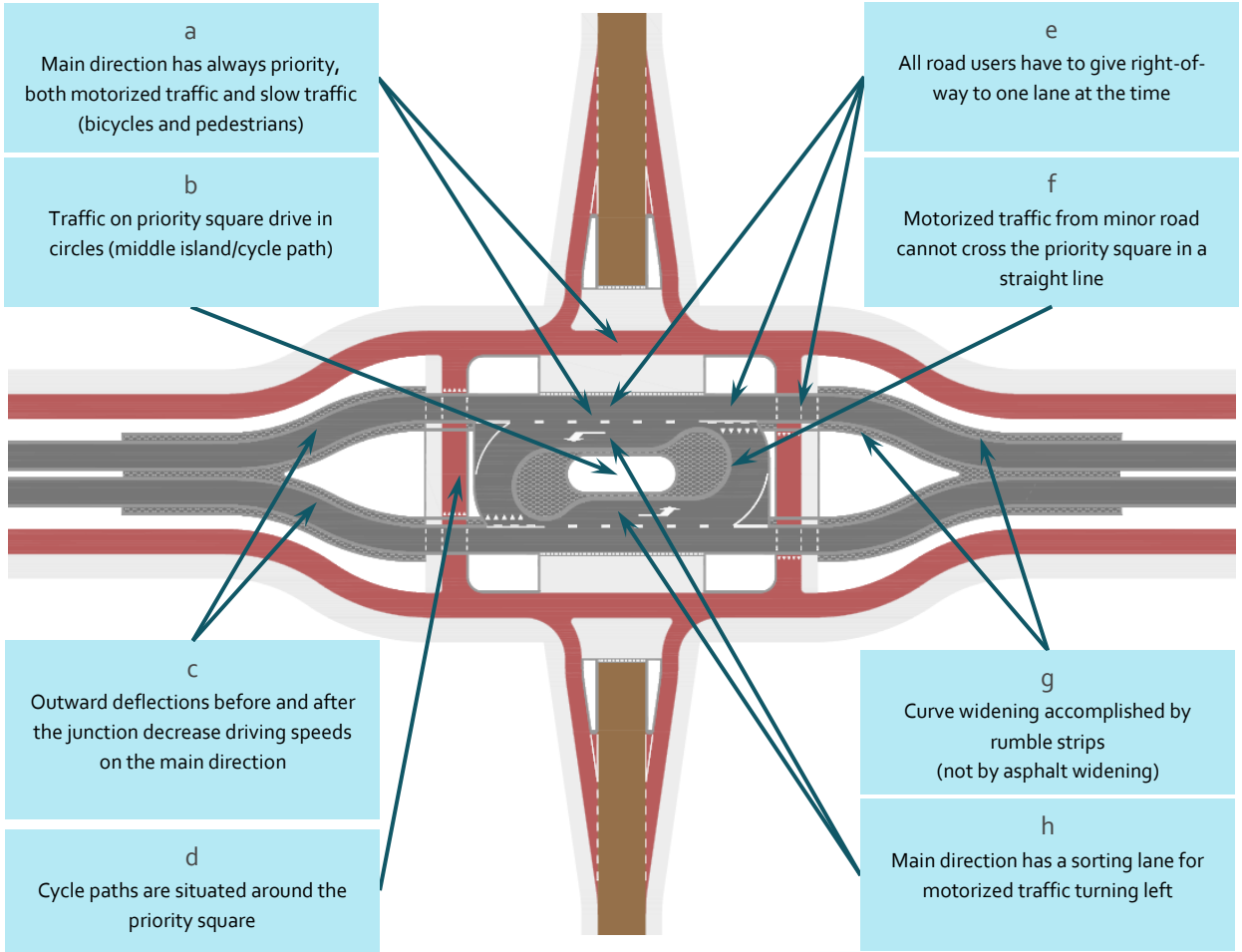
Design characteristic	Design element	Effect on the priority square
Length	⊂ short; ⊂ medium long; ⊂ long.	⊂ length has barely influents on the traffic safety; ⊂ a longer priority square decreases the delay times.
Width	⊂ narrow; ⊂ medium wide; ⊂ wide.	⊂ width has barely influents on the traffic safety; ⊂ a wider priority square decreases the delay times.
Combination of length and width	nine different combinations	⊂ changing the length and the width of the priority square has barely influents on the traffic safety and capacity.
Sorting lane	with sorting lane	⊂ increases the recognition of the priority square; ⊂ different of other junction types.
	without sorting lane	⊂ increases the chance of conflicts; ⊂ increases the delay times.
Gap increaser	⊂ with gap increaser; ⊂ without gap increaser.	⊂ at low intensities it increases a little bit the traffic safety and the capacity. ⊂ at high intensities little bit different with a gap increaser.

table 3: conclusion design characteristics

Design characteristic	Design element	Effect on the priority square
Raised middle island	⊂ Raised middle island; ⊂ Flat middle island.	⊂ interrupts the sightline ⊂ slow traffic cannot look over the middle island and they are harder to see for the cars.
Location minor road	⊂ left offset junction; ⊂ middle; ⊂ right offset junction.	⊂ offset junction increases the chance of ghost-driving in comparison with a strait connection; ⊂ left offset junction creates a cover conflict.

table 4: additional design characteristics

Out of the research appears that different design characteristic of priority squares have influence on traffic safety and capacity. For road users uniformity is very important to understand a traffic situation. The research shows that uniformity in the design of priority squares is missing. Therefore is recommended to bring more uniformity in the design of a priority square. In picture 2 recognition characteristics are shown, that help roads users to recognize and understand the priority square better. There will be compromised on traffic safety of capacity, when one of the recognition characteristics is not applied.



picture 2: eight recognition characteristics

Inhoudsopgave

1 Inleiding 17

1.1 Aanleiding 19

1.2 Wat is een voorrangsplein? 21

1.3 Probleembeschrijving 23

1.4 Doel van het onderzoek 30

1.5 Onderzoeksvragen 31

1.6 Leeswijzer 31

2 Onderzoeksopzet 33

2.1 Werkwijze 36

2.2 Inrichtingskenmerken 43

2.3 Locatieonderzoek 44

2.4 Simulaties 54

2.5 Interviews 62

2.6 Verwerken van de resultaten 66

3 Resultaten 69

3.1 Locatieonderzoek 71

3.2 Simulaties 89

3.3 Interviews 108

4 Conclusie en aanbevelingen 113

4.1 Conclusie hoofdvraag 116

4.2 Conclusie verkeersveiligheid 118

4.3 Conclusie Capaciteit 122

4.4 Aanbevelingen 124

5 Discussie 129

5.1 Snelheidsmetingen 131

5.2 Cameraobservaties 131

5.3 Simulaties 132

5.4 Interviews 132

Bibliografie 133

1 Inleiding

Wat is een voorrangsplein?

1.1 Aanleiding 19

1.2 Wat is een voorrangsplein? 21

1.3 Probleembeschrijving 23

1.3.1 Bestaande onderzoeken 24

1.3.2 Ontbrekende kennis 28

1.4 Doel van het onderzoek 30

1.5 Onderzoeksvragen 31

1.5.1 Hoofdvraag 31

1.5.2 Deelvragen 31

1.6 Leeswijzer 31

Om deze rapportage in te leiden wordt gestart met de aanleiding van dit onderzoek. Vervolgens wordt toegelicht wat een voorrangsplein is. Aansluitend brengt paragraaf 1.3 een probleembeschrijving waarin bestaande literatuur is geanalyseerd. Paragraaf 1.4 stelt het doel van het onderzoek vast, waarna paragraaf 1.5 volgt met de onderzoeksvragen. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een leeswijzer.

1.1 Aanleiding

Door de jaren heen zijn verschillende kruispuntvormen ontwikkeld. Van gelijkwaardige kruispunten tot complexe voorrangskruispunten met verkeersregelinstallaties (VRI's). In 2000 is de eerste turborotonde verschenen en deze is inmiddels in allerlei vormen uitgebreid toegepast. Ook in 2007 verscheen een nieuw kruispunttype in Nederland: het voorrangsplein (DHV, 2008). Het voorrangsplein komt voort uit een samensmelting van een rotonde en een voorrangskruispunt. In afbeelding 3 is een voorrangsplein weergegeven.

Het voorrangsplein is bedacht vanuit het Langzaam-sneller-principe. Dit is een verkorting voor 'langzaam rijden gaat sneller'. Langzaam-sneller gaat ervan uit dat het voor het gemotoriseerde verkeer beter is om met een lage snelheid door te rijden, dan hard te rijden op de wegvakken en stil te staan op kruispunten. Hierdoor kan de weginrichting worden aangepast met kleinschaligere (voorrangs)kruispunten en brede middenbermen om het oversteken in etappes mogelijk te maken. Daarbij zijn op kruispunten VRI's onnodig en soms zelf ongewenst – mede door de benodigde opstelcapaciteit en extra verliestijd. Daarom worden deze kruispunten vervangen door voorrangspleinen en rotondes, om zo het oponthoud op kruispunten te verminderen en het verkeer gelijkmatiger te verwerken. Waar het verkeer nu staat te wachten voor een verkeerslicht en 'hard' rijdt op wegvakken, gaat het bij Langzaam-sneller meer geleidelijk: de snelheid is lager op wegvakken en op het kruispunt kan het verkeer sneller door. (CROW, 2004; CROW, 2008)

afbeelding 3:
een voorrangsplein in Hilversum

Binnen Langzaam-sneller wordt vaak gebruik gemaakt van de kruispunttypes rotondes en voorrangspleinen. Deze kruispuntvormen zijn weergegeven in afbeelding 4. Het toepassingsgebied van Langzaam-sneller is voornamelijk gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom (bibeko).

afbeelding 4: links een rotonde (bibeko), rechts een voorrangsplein (bibeko)

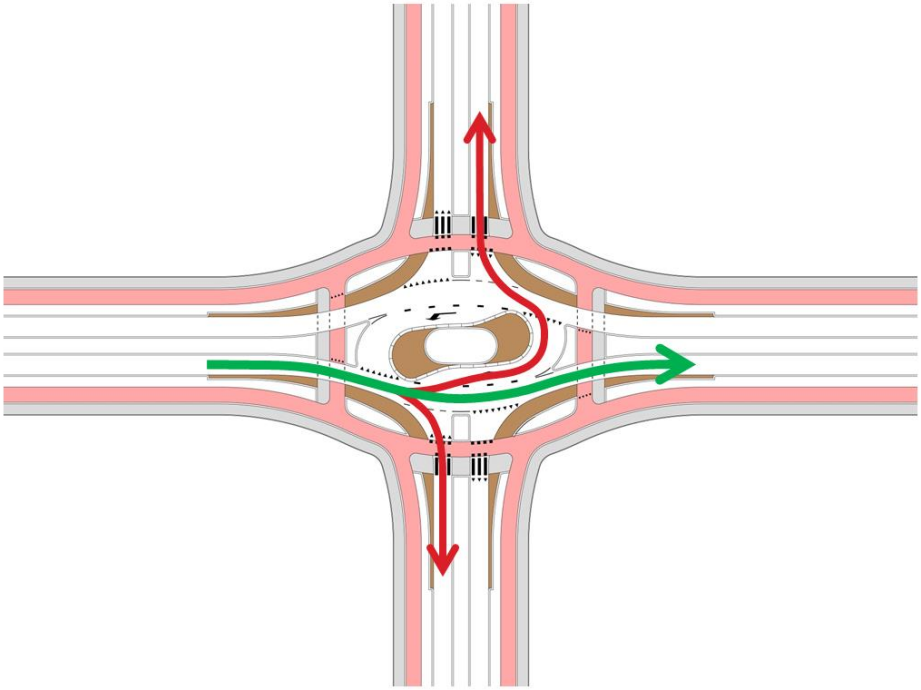
Op kruispunten waar twee gebiedsontsluitingswegen bij elkaar komen wordt normaliter een rotonde toegepast. Dit in verband met de gelijkwaardigheid van de wegen. Tevens heeft een rotonde de voorkeur door de hoge verkeersveiligheid en de voorrang voor het fietsverkeer. Bij een voorrangsplein heeft het fietsverkeer alleen in de hoofdrichting voorrang.

Op locaties waar een erftoegangsweg en een gebiedsontsluitingsweg bij elkaar komen worden binnen Langzaam-sneller vaak voorrangspleinen toegepast. In deze situatie is meestal sprake van duidelijk hogere intensiteiten op de hoofdrichting ten opzichte van de zijrichting; een rotonde onderbreekt de doorstroming van het verkeer op de hoofdrichting te veel, wat niet in overeenstemming is met de functie van de weg. Voorrangspleinen worden ook wel toegepast op locaties waar een rotonde niet past binnen de beschikbare ruimte: een voorrangsplein is beter inpasbaar door een kleinere breedte en de mogelijkheid de vorm iets aan te passen. (Tromp, 2014; Hendriks, 2015)

Inmiddels zijn tientallen voorrangspleinen aangelegd in Nederland. Steeds meer gemeenten lijken plannen te hebben voor het aanleggen van voorrangspleinen. Echter, er is nog te veel onzekerheid over de werking van het voorrangsplein, zowel wat betreft de capaciteit als de verkeersveiligheid. Daarnaast zijn de inmiddels aangelegde voorrangspleinen veelal verschillend van vormgeving. Het effect van deze verschillende vormen op de verkeersafwikkeling is nog onduidelijk.

1.2 Wat is een voorrangsplein?

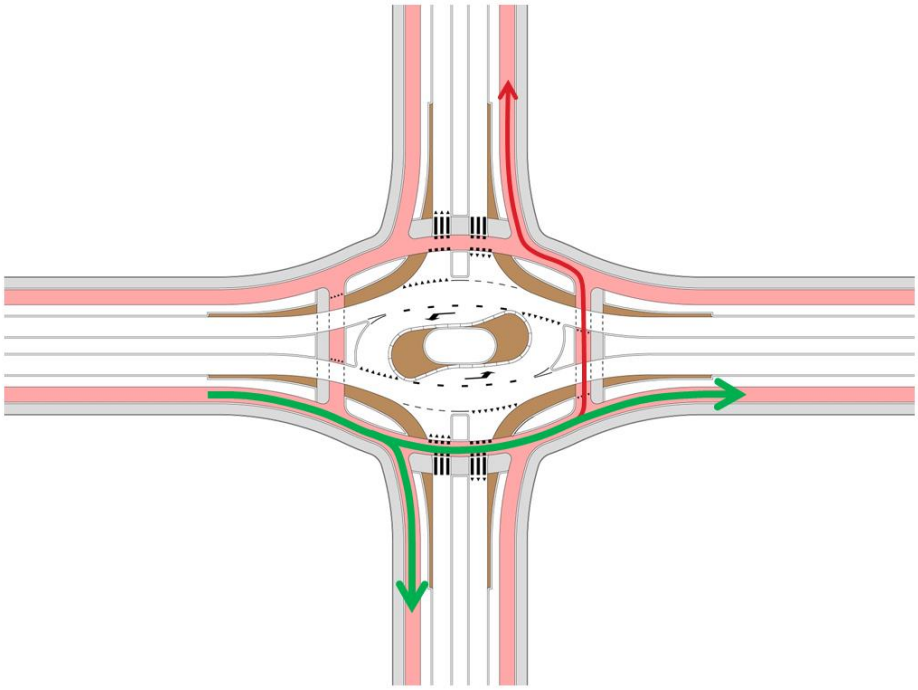
Het voorrangsplein is een kruispunttype dat lijkt op zowel een voorrangskruispunt als een rotonde. Van beide kruispunttypes zijn elementen aanwezig, waardoor de werking van het kruispunt anders is dan bij andere kruispunten. Zo heeft het voorrangsplein net als een rotonde een middeneiland, waar het gemotoriseerde verkeer omheen rijdt. Hierdoor wordt het aantal conflictpunten verminderd en worden snelheden ter hoogte van het kruispunt – in de meeste vormen van het voorrangsplein – ten opzichte van een voorrangskruispunt verlaagd. In afbeelding 5 staan de keuzemogelijkheden met bijbehorende manoeuvres weergegeven: recht doorgaand en rechts afslaand verkeer heeft een duidelijk uitbuiging, het verkeer dat links afslaat rijdt eerst de zijweg voorbij om vervolgens af te slaan en de zijweg in te rijden.



afbeelding 5: schematische weergave van het voorrangsplein en de routes vanuit de hoofdrichting voor het gemotoriseerde verkeer (groen heeft voorrang, rood moet voorrang verlenen)

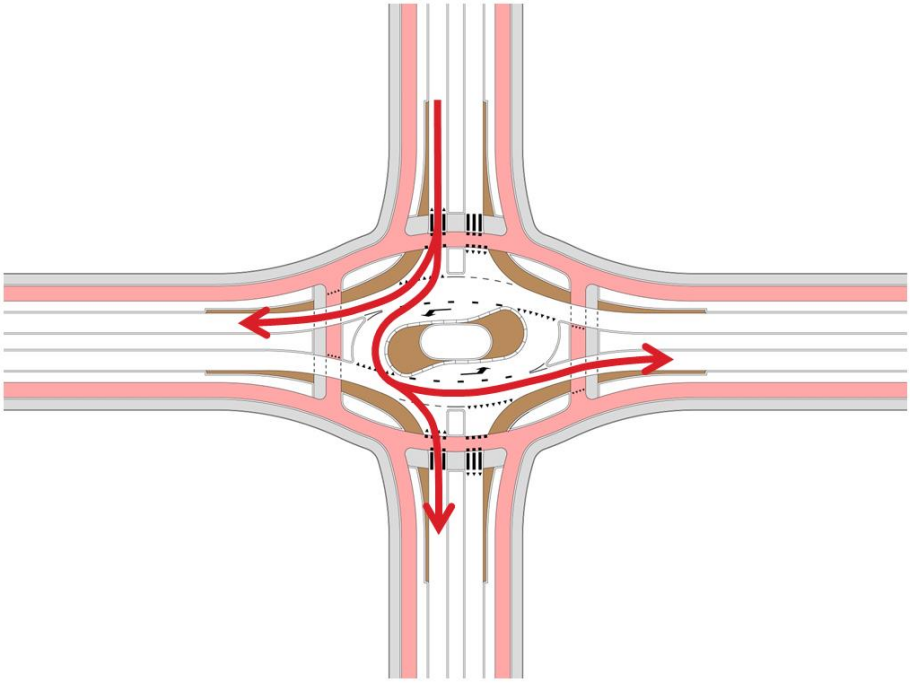
Ook voor de fietsers is dezelfde beweging te zien voor links afslaan. Dit is weergegeven in afbeelding 6; eerst wordt de zijweg voorbij gereden om vervolgens links af te slaan. Voor fietsers zijn de routes vergelijkbaar met een voorrangskruispunt. Hier rijden de fietsers ook om het kruispunt heen.

afbeelding 6: schematische weergave van het voorrangsplein en de routes op de hoofdrichting voor het fietsverkeer (groen heeft voorrang, rood moet voorrang verlenen)

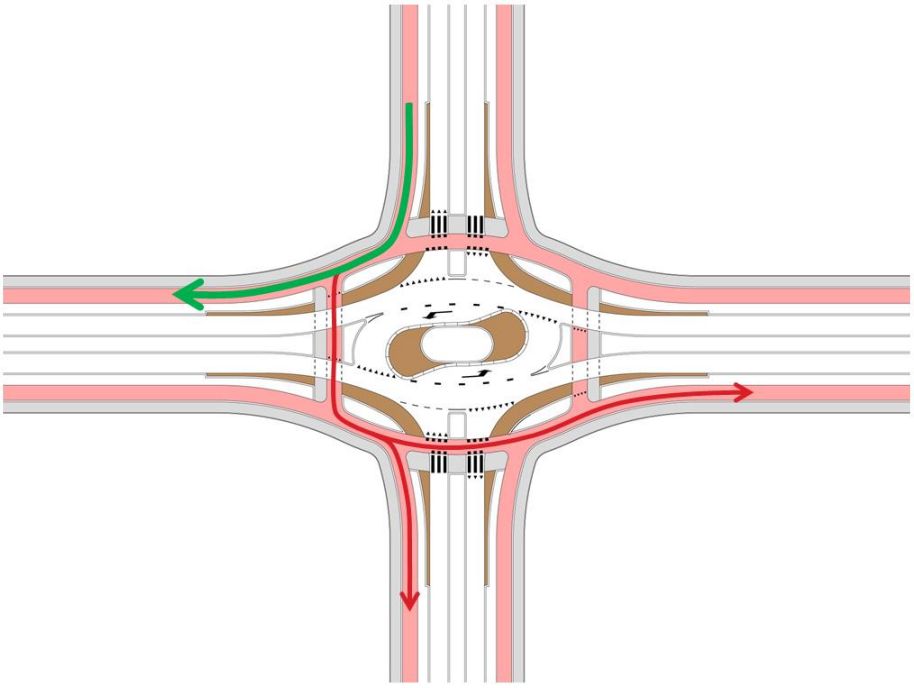


Zoals te zien in afbeelding 7 is de uitbuiging voor het verkeer uit de zijrichting sterker dan voor het verkeer op de hoofdrichting. Dit komt door de vorm van het middeneiland. Zo wordt het voor het verkeer uit de zijrichting onmogelijk gemaakt om snel het voorrangsplein over te steken. Ook het links afslaande verkeer moet eerst naar rechts om vervolgens links af te slaan.

afbeelding 7: schematische weergave van het voorrangsplein en de routes vanuit de zijrichting voor het gemotoriseerde verkeer (groen heeft voorrang, rood moet voorrang verlenen)



Voor fietsverkeer uit de zijrichting zijn de routes vergelijkbaar met die van de hoofdrichting. Dit is weergegeven in afbeelding 8. Ook hier moeten de fietsers om het voorrangsplein heen rijden.



afbeelding 8: schematische weergave van het voorrangsplein en de routes op de zijrichting voor het fietsverkeer (groen heeft voorrang, rood moet voorrang verlenen)

Op verschillende locaties in Nederland is het voorrangsplein al gebruikt als kruispunttype. Een lijst met alle locaties en vormgevingen van de bestaande voorrangspleinen is opgenomen in Bijlage 1: Locaties voorrangspleinen in Nederland. Hierin is tijdens vooronderzoek een variëteit aan inrichtingen van het voorrangsplein ontdekt. Deze variaties kunnen verschillende effecten hebben op het gedrag van de weggebruikers. Inmiddels zijn een aantal evaluaties en onderzoeken gedaan naar voorrangspleinen, waarin inzicht is verkregen in het effect op verkeersveiligheid, capaciteit, oversteekbaarheid en begrijpelijkheid. Hierover meer in de volgende paragraaf.

1.3 Probleembeschrijving

In deze paragraaf zijn twee onderdelen uit de literatuurstudie beschreven: ervaringen en ontbrekende kennis. De ervaringen zijn gebaseerd op evaluatiestudies en eerdere onderzoeken die zijn gedaan met betrekking tot voorrangspleinen. In de ontbrekende kennis staat opgesomd welke kennis bij aanvang van dit onderzoek nog ontbrak. Hierbij wordt ingegaan op welke ontbrekende kennis het meest relevant lijkt te zijn voor dit onderzoek.

1.3.1 Bestaande onderzoeken

Hieronder worden een drietal evaluaties van en twee onderzoeken naar voorrangspleinen behandeld:

- evaluaties van de voorrangspleinen in Hilversum (DHV, 2008; DHV, 2010; Goudappel Coffeng, 2012);
- een onderzoek naar de vergelijking tussen voorrangspleinen, rotondes en voorrangskruispunten (Van der Leeden, 2012);
- een onderzoek naar de toepasbaarheid van voorrangspleinen buiten de bebouwde kom (Van der Harst, et al., 2012).

Daarnaast hebben gesprekken plaatsgevonden met een aantal experts. Wie de geïnterviewde personen zijn wordt verder toegelicht in §2.5.3. De informatie uit deze gesprekken is ook verwerkt in deze paragraaf.

De evaluaties van de verschillende voorrangspleinen zijn uitgevoerd door twee verschillende adviesbureaus, namelijk DHV en Goudappel Coffeng. Beide adviesbureaus hanteren vrijwel dezelfde onderzoeksmethode, namelijk:

- meting van de verkeersintensiteiten, rijsnelheden en verliestijden;
- observaties van de uitvoering van het ontwerp en verkeer door experts;
- analyse van ongevalsgegevens;
- analyse van klachten van gebruikers;
- beknopte telefonisch enquête of een ronde tafel gesprek met bewoners en belanghebbenden.

De methodes die gebruikt zijn geven goed inzicht in de verschillende aspecten van een voorrangsplein. Een nadeel is dat sommige methodes minder representatief of betrouwbaar zijn. Het gebruik van ongevalsgegevens is een voorbeeld van een methode die minder betrouwbaar is, omdat de registratie van de ongevallen de laatste jaren terugloopt. Daarnaast is gekeken naar de ongevallen die plaatsvonden binnen een jaar na de aanleg van de voorrangspleinen. Voor een goed beeld is een meerjarige analyse nodig van het aantal ongevallen. In de evaluaties zijn de voorrangspleinen geobserveerd door experts. Er wordt hierbij niet gesproken over wie de expert is geweest of wat zijn expertise is; de experts kunnen betrokken zijn geweest bij het ontwerp, waardoor deze een gekleurde mening kunnen geven. Desalniettemin geven de resultaten een goed beeld over het functioneren van de voorrangspleinen.

Van der Harst en De Jong, en Van der Leeden hebben uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorrangsplein. Van der Harst en De Jong hebben voorrangspleinen buiten de bebouwde kom onderzocht. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende indicatoren:

- conflictsnelheid;
- conflictpunten;
- ongevalscijfers;
- capaciteit;
- comfort;
- oversteekbaarheid langzaam verkeer;
- kosten;
- ruimtebeslag.

In het onderzoek is goed gelet op de betrouwbaarheid van de gebruikte methodes en het vergroten daarvan. Een nadeel van dit onderzoek is dat het voorrangsplein buiten de bebouwde kom in werkelijkheid een soort ovale rotonde is, waardoor deze uitkomsten niet representatief zijn. Daarnaast hebben Van der Harst en De Jong ook gekeken naar een voorrangsplein binnen de bebouwde kom. Echter, zij hebben maar naar één voorrangsplein gekeken en niet naar meerdere vormen van voorrangspleinen. Hierdoor hebben zij niet alle effecten mee kunnen nemen en is de representativiteit en betrouwbaarheid minder groot.

Bij Van der Leeden gaat het voornamelijk over de vergelijking tussen voorrangspleinen, rotondes en voorrangskruispunten. Van der Leeden heeft gebruikgemaakt van een conflictobservatie, een snelheidsmeting en een verkeerssimulatie. Dit heeft hij op een nauwkeurige wijze beschreven en uitgevoerd. De resultaten lijken betrouwbaar te zijn door de methodes die hij heeft toegepast. Ook heeft hij de intensiteiten per meetlocaties geteld waardoor gemiddelde waarden verkregen zijn. Hierdoor was een vergelijking tussen de verschillende kruispunttypes mogelijk. Een nadeel van dit onderzoek is dat een van de gebruikte voorrangspleinen sterk afwijkt in de vormgeving van voorrangspleinen elders.

In de onderzoeken is gekeken naar de verschillende effecten van voorrangspleinen. Deze effecten zijn samen te vatten in twee thema's, namelijk verkeersveiligheid en capaciteit.

Verkeersveiligheid

Ten opzichte van de oude verkeerssituaties is de verkeersveiligheid op de meeste locaties verbeterd. Er gebeuren mínder en minder ernstige ongevallen, de snelheid ligt lager en de weggebruikers zijn positiever over deze kruispuntvorm. De hoogte van de waarden van deze aspecten lijkt af te hangen van de vormgeving van het voorrangsplein.

In het vergelijkingsonderzoek komt naar voren dat de kans op een ongeval het laagst is bij een voorrangsplein. Echter, als een ongeval plaatsvindt, is de kans op een fatale afloop groter bij een voorrangsplein dan bij een rotonde – door de hogere snelheid op het kruispunt. Uit het onderzoek van Van der Leeden wordt als oorzaak voor de ongevalskans aangedragen dat automobilisten bij alle richtingen van de rotonde de fietsers voorrang moeten verlenen, en bij het voorrangsplein en het voorrangskruispunt alleen op de hoofdrichting. Doordat automobilisten voorrang moeten verlenen is het risico op conflicten groter dan wanneer automobilisten voorrang hebben. Dit komt doordat fietsers bij het hebben van voorrang geneigd zijn deze te nemen (claimen) en niet kijken wat andere weggebruikers doen. Daarnaast laat het onderzoek zien dat de kans op een fatale afloop en de kans op een ongeval op voorrangskruispunten het grootst is. Hier speelt voornamelijk de snelheid op de verschillende kruispunttypes een rol.

In het rapport over de toepasbaarheid buiten de bebouwde kom wordt gesteld dat de verkeersveiligheid op het voorrangsplein tussen de rotonde en het voorrangskruispunt in ligt. Hierbij is de rotonde het veiligst. Dit heeft te maken met de hogere snelheid die geldt op wegen buiten de bebouwde kom. De verhouding van de verkeersveiligheid tussen de verschillende kruispuntvormen wordt echter niet over gesproken.

Uit de verschillende onderzoeken blijkt dat de weggebruiker de verschillende vormen van voorrangspleinen meestal begrijpt: in de meeste gevallen wordt het gewenste gedrag vertoond. Eén van de uitzonderingen is het gedrag van fietsers, die snijden nog wel eens af via de rijbaan. Een goede sturing van het fietsverkeer lijkt daarom belangrijk. Daarnaast rijden bij sommige ontwerpen voertuigen tegen de richting in, veelal door verwarring met de verkeerssituatie voor de reconstructie in combinatie met de ligging van de zijwegen (bajonet links-rechts). In het onderzoek naar toepasbaarheid van voorrangspleinen buiten de bebouwde kom komt naar voren dat het voorrangsplein binnen en buiten de bebouwde kom geen uniform ontwerp heeft. Het risico is dat wegbeheerders varianten gaan aanleggen waardoor verschillende kruispuntvormen ontstaan. Dit resulteert erin dat de herkenbaarheid van het voorrangsplein in het geding komt. Dit kan ertoe leiden dat de weggebruiker oneigenlijk gedrag gaat vertonen, wat de verkeersveiligheid niet ten goede komt (Van der Harst, et al., 2012).

Tijdens de evaluaties en het onderzoek van Van der Leeden zijn snelheidsmetingen verricht. Deze wijzen uit dat de V_{85} per locatie erg verschillend zijn. Zo is op de ene locatie de V_{85} 35,50 km/h en op een andere locatie 45 km/h. Als gekeken wordt naar de snelheden op de verschillende locaties, dan wordt geconcludeerd dat de spreiding groot is.

Capaciteit

Het voorrangsplein is op veel locaties neergelegd om de doorstroming te verbeteren ten opzichten van voorrangskruispunten (met of zonder VRI). Hierbij wordt de doorstroming vooral op de hoofdrichting verbeterd. Uit de evaluaties blijkt dit effect te zijn bewerkstelligd. De verliestijden zijn substantieel verminderd. Uit de onderzoeken komt ook naar voren dat de weggebruiker over het algemeen tevreden is over het voorrangsplein. De daadwerkelijke capaciteit van het voorrangsplein is nog niet eerder onderzoek naar gedaan.

Doorstroming

Uit de vergelijking van rotondes, voorrangskruispunten en voorrangspleinen komt naar voren dat de doorstroming voor het gemotoriseerde verkeer op een voorrangskruispunt het best is, en bij rotondes het slechtst. Deze uitspraak is gedaan na het vergelijken van de gemiddelde vertragingstijden van het gemotoriseerde verkeer en het fietsverkeer. Voor het langzaam verkeer is dit precies andersom. Het voorrangsplein blijkt een goed compromis tussen de doorstroming voor gemotoriseerd verkeer en de doorstroming van het langzaam verkeer: in beide gevallen ligt de capaciteit van het voorrangsplein tussen het voorrangskruispunt en de rotonde in. Wel werd in het onderzoek duidelijk gemaakt dat deze verschillen soms zeer klein zijn. Voor de fietsers is logisch dat een rotonde op het gebied van doorstroming de beste oplossing is, omdat zij voorrang hebben op de rotonde. Tussen het voorrangsplein en het voorrangskruispunt is het verschil klein voor fietsers die de hoofdrichting oversteken. In beide gevallen hadden fietsers een middengeleider of middenberm om in etappes over te steken. Voor automobilisten geldt dat de rotonde de laagste doorstroming heeft en dat het verschil tussen voorrangspleinen en voorrangskruispunten klein is. Dit is te verklaren doordat bij een rotonde ook de hoofdrichting verliestijden heeft, terwijl dit bij een voorrangsplein en een voorrangskruispunt niet het geval is. Dit geeft aan dat het van belang is om specifiek te kijken naar de intensiteitsverhoudingen ván en vertragingstijden óp de hoofd- en zijrichting.

Uit de gegevens van de verschillende onderzoeken en evaluaties komt naar voren dat de verliestijden voor het gemotoriseerde verkeer op de voorrangspleinen erg van elkaar verschillen. Zo zijn de verliestijden op de ene locatie 3,6 s en op de andere locaties 18 s. Uit de onderzoeken blijkt dat er een grote spreiding is in de hoogte van de verliestijden per locatie.

Oversteekbaarheid

De oversteekbaarheid voor het langzaam verkeer is in de meeste gevallen goed. In het onderzoek van Van der Leeden komt ook naar voren dat de oversteekbaarheid voor langzaam verkeer het beste is bij rotondes. Dit komt omdat het langzaam verkeer voorrang heeft. Bij het voorrangsplein en het voorrangskruispunt blijft de wachttijd acceptabel.

Uit de onderzoeken komt naar voren dat de oversteekbaarheid op de verschillende voorrangspleinen goed is. Hierbij is een spreiding tussen 2,25 s en 11,7 s te zien. De vertragingstijden op de voorrangspleinen zijn afgenomen ten opzichte van de voorrangskruispunten met een VRI, die zij hebben vervangen. Hierdoor zijn ook de wachttijd voor langzaam verkeer afgenomen. Tevens geeft een voorrangsplein de mogelijkheid voor langzaam verkeer om in etappes de hoofdrichting over te steken. Ook dit vergroot de oversteekbaarheid voor het langzaam verkeer.

1.3.2 Ontbrekende kennis

Uit het literatuuronderzoek komt naar voren dat er veel spreiding bestaat tussen de waarden van de verkeersveiligheids- en capaciteitsindicatoren van de verschillende voorrangspleinen. Na het onderzoeken van de vormgevingen van de onderzochte voorrangspleinen blijkt dat de voorrangspleinen van elkaar verschillen qua vormgeving. Dat deze zo verschillend zijn komt door het ontbreken van richtlijnen voor het voorrangsplein. In afbeelding 9 zijn een aantal voorbeelden van voorrangspleinen weergegeven. Hierin valt op dat de vormgeving dikwijls anders is, terwijl uit onderzoek is gebleken dat gelijkheid in vormgeving per kruispunttype (uniformiteit) zorgt voor meer herkenbaarheid (CROW, 2015). Meer herkenbaarheid leidt eerder tot gewenst gedrag. Het is hierom belangrijk om het effect van inrichting op de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein te achterhalen.

afbeelding 9: voorbeelden van diverse vormen van voorrangspleinen in Nederland

De belangrijkste conclusie die uit de evaluaties en de onderzoeken naar voren komt is dat er veel spreiding bestaat in de waarden van de indicatoren voor verkeersveiligheid en capaciteit. De inrichting heeft hier vermoedelijk invloed op. Zo kan de inrichting van het voorrangsplein invloed hebben op het gedrag en de snelheid van het verkeer. Het is dus interessant om de relatie tussen de inrichting van het voorrangsplein en de verkeersveiligheid/capaciteit in beeld te brengen, zodat de meest ideale inrichting van het voorrangsplein in een bepaalde verkeerssituatie wordt achterhaald.

1.4 Doel van het onderzoek

Uit de probleembeschrijving is gebleken dat op verschillende locaties diverse vormen van voorrangspleinen liggen. Een aantal van deze voorrangspleinen zijn geëvalueerd en/of gebruikt voor onderzoeken. De resultaten hieruit – zoals beschreven in de probleembeschrijving – zijn veelbelovend; in de praktijk functioneert het kruispunttype zoals van te voren werd gedacht. Echter, conclusies wat betreft de invloed van de inrichting op de verkeersveiligheid/capaciteit zijn uit deze rapporten niet te trekken.

Het doel van dit onderzoek is de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein te verbeteren. Dit is gedaan door inzicht te krijgen in welke inrichtingselementen invloed hebben op de verkeersveiligheid en de capaciteit. Hierbij is gekeken naar wanneer bepaalde inrichtingselementen moeten worden toegepast en welk inrichtingselement (altijd) het beste is. Door het effect van de inrichtingselementen in beeld te brengen kan meer eenheid in de vormgeving van de voorrangspleinen worden gebracht, waardoor de herkenbaarheid van het voorrangsplein wordt vergroot. De weggebruiker weet hierdoor eerder wat van hem wordt verwacht. De inrichtingselementen die centraal staan zijn de uitbuiging van de hoofdrichting, de maatvoering en de locatie van verschillende vervoersmiddelen op het voorrangsplein.

Inrichtingskenmerken en inrichtingselementen

In dit onderzoek komen de termen inrichtingskenmerken en inrichtingselementen regelmatig naar voren. Inrichtingskenmerken zijn kenmerken die per voorrangsplein van elkaar kunnen verschillen. Hierdoor krijgt elk voorrangsplein zijn eigen inrichting. Elk inrichtingskenmerk bestaat uit diverse inrichtingselementen. De inrichtingselementen zijn hierbij de elementen die op straat te zien zijn.

Een voorbeeld van een inrichtingskenmerk is de locatie van de uitbuiging. In afbeelding 9 – op bladzijde 29 – zijn verschillende vormen van uitbuiging weergegeven. De inrichtingselementen die daarbij horen zijn:

- uitbuiging voor en na het kruispunt;
- uitbuiging van het begin tot het einde van het voorrangsplein;
- geen uitbuiging.

Alle inrichtingselementen samen vormen de inrichtingsvorm van het desbetreffende voorrangsplein.

In hoofdstuk 2 wordt verder ingegaan op de diverse inrichtingskenmerken die zijn onderzocht.

1.5 Onderzoeksvragen

Vanuit het doel zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld, zodat dit doel ook daadwerkelijk wordt behaald. De onderzoeksvragen bestaan uit één hoofdvraag en vier deelvragen, zoals hieronder beschreven. De deelvragen zijn opgesteld om de haalbaarheid van de hoofdvraag tijdens het onderzoek te ondersteunen.

1.5.1 Hoofdvraag

"Hoe beïnvloeden de verschillende inrichtingskenmerken van het voorrangsplein de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein?"

1.5.2 Deelvragen

1. *"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de verkeersveiligheid op het voorrangsplein?"*
2. *"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de capaciteit van het voorrangsplein?"*

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de gehanteerde onderzoeksopzet. Dat doet het hoofdstuk door te beginnen met het behandelen van het onderzoek in hoofdlijnen. Vervolgens gaat hoofdstuk 2 verder met het behandelen van de deelonderzoeken en de gehanteerde werkwijze. Hoofdstuk 3 brengt de resultaten in beeld. Per deelonderzoek worden door middel van grafieken en afbeeldingen de resultaten inzichtelijk gemaakt. Hoofdstuk 4 concludeert het geheel door de deelvragen te beantwoorden. Hierop volgt een algemene conclusie door de beantwoording van de hoofdvraag. Hoofdstuk 4 gaat daarna in op een aantal aanbevelingen. Deze aanbevelingen bestaan uit twee gedeelten. In het eerste deel wordt ingegaan op de aanbevelingen voor de inrichtingsvorm van het voorrangsplein. Deze aanbeveling komt voort uit dit onderzoek. Het tweede deel doet een aanbeveling voor vervolgonderzoeken. Hoofdstuk 5 discussieert dit onderzoek door middel van een analyse van de betrouwbaarheid en validiteit. Verder wordt deze rapportage aangevuld met een bijlage, waarin resultaten, voorbeelden van voorrangspleinen en basiskenmerken van het voorrangsplein zijn vermeld.

2 Onderzoeksopzet

Twee thema's, drie deelonderzoeken

2.1 Werkwijze 36
2.1.1 Vooronderzoek 36
2.1.2 Twee thema's 37
2.1.3 Deelonderzoeken 40
2.2 Inrichtingskenmerken 43
2.3 Locatieonderzoek 44
2.3.1 Meetinstrumenten 45
2.3.2 Aspecten 45
2.3.3 Onderzoekslocaties 49
2.3.4 Werkwijze locatieonderzoek 51
2.4 Simulaties 54
2.4.1 Opzet 54
2.4.2 Conflicten 55
2.4.3 Vertragingstijden 55
2.4.4 Oversteekbaarheid 56
2.4.5 Keuze simulatieprogramma 56
2.4.6 Inrichtingskenmerken in de simulatie 58
2.5 Interviews 62
2.5.1 Praktijkervaringen 62
2.5.2 Herkenbaarheid en uniformiteit 63
2.5.3 De geïnterviewde personen 63
2.5.4 Het interview 64
2.6 Verwerken van de resultaten 66
2.6.1 Locatieonderzoek 66
2.6.2 Simulaties 67
2.6.3 Interviews 68

Dit hoofdstuk behandelt de onderzoeksopzet. Ten eerste wordt de werkwijze behandeld. In deze paragraaf staat het vooronderzoek beschreven, met daarin de inventarisatie naar de verschillende onderzoeksmethodes. Vervolgens worden de diverse inrichtingskenmerken behandeld. Daarna wordt ingegaan op de twee thema's en de drie deelonderzoeken, die zijn uitgevoerd. Hierop volgen een drietal paragrafen, waarin per paragraaf een deelonderzoek wordt behandeld. Als laatste sluit paragraaf 2.6 af met de gehanteerde werkwijze bij het verwerken van de resultaten.

2.1 Werkwijze

Het onderzoek bestaat uit drie fasen: vooronderzoek, uitvoering onderzoek en verwerken van resultaten. Het vooronderzoek had betrekking op het verzamelen van informatie over het onderwerp. Voor de uitvoering van het onderzoek is het onderzoek verdeeld in twee thema's en drie deelonderzoeken. Voor deze verdeling is gekozen om onderscheid te maken tussen de verschillende thema's en de gehanteerde onderzoeksmethodes. In deze paragraaf wordt eerst het vooronderzoek beschreven, waarna de twee thema's en de drie deelonderzoeken worden behandeld. Hierbij komen ook het analyseren en het verwerken van de resultaten aan de orde.

2.1.1 Vooronderzoek

Tijdens het vooronderzoek is informatie verzameld over voorrangspleinen en verwante onderwerpen. Hiermee is boven tafel gekomen welke kennis nog ontbreekt met betrekking tot het voorrangsplein.

Literatuuronderzoek is in het vooronderzoek een belangrijk onderdeel geweest. Ondanks dat voorrangspleinen nog niet veel zijn aangelegd, zijn al wel een aantal onderzoeken/evaluaties uitgevoerd over voorrangspleinen. De methoden en resultaten uit de onderzoeken en evaluaties zijn in het vooronderzoek geanalyseerd – zoals behandeld in hoofdstuk 1. Deze analyse is gebruikt als input voor dit onderzoek. Naast deze documenten is ook uitgebreid gekeken naar informatie over verkeersveiligheid, capaciteit, meetmethoden, oversteekbaarheid en 'Langzaam rijden gaat sneller', omdat deze aspecten belangrijk zijn voor dit onderzoek.

Om een goed beeld te krijgen van voorrangspleinen – en dan in het bijzonder de werking ervan in de praktijk – heeft een locatiebezoek plaatsgevonden. Hierbij zijn verschillende locaties in Nederland bekeken: Arnhem (vier stuks), Heerhugowaard (drie stuks), Hoofddorp (twee stuks) en Hilversum (tien stuks). De resultaten van deze locatiebezoeken hebben voor een groot deel de keuze van de onderzoekslocaties bepaald, omdat hierbij gelet is op de verschillende inrichtingskenmerken. De uitkomsten hiervan zijn verwerkt in §2.3.3.

Om het onderzoek richting te geven hebben een aantal gesprekken plaatsgevonden met betrekking tot welke vragen er spelen rondom voorrangspleinen. Henk Tromp heeft aangegeven welke onderdelen interessant zouden kunnen zijn om te onderzoeken; als bedenker van het voorrangsplein heeft hij hierbij uitgelegd hoe het kruispunttype tot stand is gekomen en heeft hij verteld wat zijn ervaringen met het kruispunttype tot nu toe zijn. In het vooronderzoek heeft ook een overleg plaatsgevonden met 'programma team wegontwerp' van CROW. De experts in deze groep weten wat in het vakgebied speelt en aan welke kennis behoefte is. Hieruit is naar voren gekomen dat naast het bepalen van de capaciteit, er ook vragen zijn met betrekking tot de verkeersveiligheid op het voorrangsplein. Ter

aanvulling hierop heeft een interview met Atze Dijkstra van SWOV plaatsgevonden. Hierin is naar voren gekomen welke methodes het meest geschikt zijn voor het bepalen van verkeersveiligheid op kruispunten.

2.1.2 Twee thema's

Het onderzoek bestaat uit twee thema's: verkeersveiligheid en capaciteit. Beide thema's kennen vele methodes waarmee kan worden onderzocht. In deze paragraaf worden de verschillende methodes in beeld gebracht, en de voor- en nadelen van elke methode behandeld.

Verkeersveiligheid

De verkeersveiligheid is een zeer lastig te onderzoeken aspect. Dit komt doordat verkeersveiligheid bestaat uit subjectieve verkeersveiligheid en objectieve verkeersveiligheid. Subjectieve verkeersveiligheid wordt voornamelijk bepaald door de persoonlijke mening van een individu. Deze kan zich op een specifieke locatie onveilig voelen, terwijl een ander individu zich daar juist veilig voelt. Subjectieve verkeersveiligheid kan gemeten worden door middel van een enquête. In deze enquête kunnen de weggebruikers hun mening geven over de verkeersveiligheid op een locatie.

Er zijn verschillende manieren om objectieve cijfers over verkeersveiligheid te verzamelen, maar meestal wordt gebruikgemaakt van de algemene ongevallenregistratie. Als hieruit blijkt dat veel ongevallen plaatsvinden op een kruispunt, dan wordt deze als onveilig bestempeld. Bij het gebruik van ongevalsgegevens moet een kanttekening worden geplaatst; in de loop van de jaren worden ongevallen steeds slechter geregistreerd, in het bijzonder ongevallen met uitsluitend materiële schade. Doordat de ongevallen steeds slechter worden geregistreerd, kan steeds moeilijker een goed beeld worden verkregen van de verkeersveiligheid op een kruispunt. Dit is een risico als men een uitspraak wil doen over de verkeersveiligheid tussen verschillende kruispunten en kruispunttypes. Ongevallen worden slechter geregistreerd omdat de politie nog maar weinig betrokken is bij minder ernstige ongevallen. Die ontwikkeling maakt de registratiegraad in de laatste jaren laag, waardoor een onbetrouwbaar beeld wordt gevormd van de objectieve verkeersveiligheid (Aarts, 2011; Reurings, et al., 2012).

Om toch iets te kunnen zeggen over verkeersveiligheid zijn methodes ontwikkeld, die de verkeersveiligheid kunnen bepalen zonder ongevalsgegevens (Aarts, 2011). Bij deze methodes wordt vaak gebruik gemaakt van conflictobservaties. Zo bestaat voor de Nederlandse verkeersituaties de conflictobservatiemethode DOCTOR (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research). Het voordeel van de conflictobservatiemethode is dat snel en eenvoudig de conflicten kunnen worden bepaald. Een ongetrainde observator kan echter een negatieve invloed hebben op de resultaten; de observator moet worden getraind in het onderscheiden van conflicten en ontmoetingen. Daarnaast is er een discussie

gaande over het toepassen van de conflictmethode. De discussie richt zich voornamelijk over het verband tussen conflicten en ongevallen. Zo wordt beweerd dat er geen kwantitatieve relatie is tussen het aantal conflicten en het aantal ongevallen (Aarts, 2011; Oppe, 1975). Andere onderzoeken melden dat het aantal conflicten op een dag (Hayward, 1972) of in een jaar (Harris, et al., 1968), in verhouding staat tot het aantal ongevallen in één jaar. Hieruit blijkt dat het nog onzeker is hoe groot dit verband is. Met conflicten kan een uitspraak worden gedaan over de subjectieve verkeersveiligheid (Oving, 1975). Dit komt doordat men zich bij meer conflicten onveiliger gaat voelen op een kruispunt. Hierdoor kunnen conflicten wel gebruikt worden als een indicatie van verkeersveiligheid, maar niet als een maat voor verkeersveiligheid. (Kraay, et al., 1986)

Wel is het verband tussen rijsnelheid en de verkeersveiligheid van een wegvak of kruispunt aangetoond. Zo kan snelheid iets vertellen over de ernst van het ongeval tussen een auto en een voetganger. Ook is aangetoond dat er een verband is tussen snelheid en de kans op een ongeval (SWOV, 2012). Hierdoor is het betrouwbaarder om de snelheid te gebruiken als indicator voor de verkeersveiligheid, in vergelijking met een conflictobservatie. Hier wordt in §2.3.2 verder op ingegaan.

Via een simulatie kan gebruik worden gemaakt van de Time-to-collision (TTC) om de verkeersveiligheid op een kruispunt te bepalen. De TTC scoort de bijna-ongevallen door het vaststellen van de tijd welke zou verlopen totdat twee voertuigen zouden botsen als zij hun snelheid en koers hadden behouden (Kraay, et al., 1986). Uit een studie is gebleken dat er sprake is van een bijna-ongeval als de TTC gelijk of kleiner is dan 1 seconde (Hayward, 1972). De TTC is een betrouwbare methode om de verkeersveiligheid vast te stellen, zeker wanneer de TTC wordt toegepast in een simulatie.

Capaciteit

Als de capaciteit van een kruispunt nog onduidelijk is dan kan deze door middel van verschillende methodes worden bepaald. Hiervoor kunnen verschillende grootheden worden gebruikt, zoals: wachtrijlengte, wachttijd en snelheid.

De wachtrijlengte is op verschillende manieren te bepalen: meten van lengtes in meters of meten van aantal voertuigen. Het mechanisch meten van wachtrijen met lussen en lasers is niet mogelijk. Wel kan door middel van een onderzoek op locatie worden bepaald hoe groot de wachtrij maximaal wordt. Daarnaast kan worden bepaald hoelang de wachtrij gemiddeld is, door verschillende wachtrijlengtes te meten en de uitkomsten te delen door het aantal metingen. Hierdoor is een vergelijking tussen de verschillende locaties/kruispunttypes mogelijk. Door het gebruik van herkenningspunten kan eenvoudig de wachtrijlengte worden bepaald. Het voordeel hierbij is dat de gegevens gemakkelijk en snel te verkrijgen zijn. Het nadeel is dat de

validiteit van de gegevens zeer afhankelijk is van de observator. De observator moet begrijpen wanneer iets een wachtrij is en kunnen schatten hoelang deze is. De validiteit kan worden vergroot door gebruik te maken van camerabeelden. De camerabeelden kunnen door meerdere personen worden bekeken waardoor twijfelgevallen worden weggenomen en de betrouwbaarheid wordt vergroot. Het nadeel van een camerameting is dat deze een vertekend beeld kan geven bij het gebruik van een verkeerde lens of instellingen. Daarnaast heeft een camera een maximaal bereik. Hierdoor is de keuze van de locatie van opstellen van belang.

Ook de wachttijd kan worden bepaald tijdens een locatiebezoek – ook hier geldt dat het mechanisch meten niet mogelijk is. Op locatie kan met een stopwatch worden bepaald hoelang de wachttijden zijn. De validiteit en betrouwbaarheid hierbij zijn ook afhankelijk van de kwaliteit van de observatoren. Tevens kan de wachttijd worden bepaald met camerabeelden. Deze beelden kunnen door verschillende observatoren worden beoordeeld, waardoor de validiteit wordt vergroot.

Naast het meten op straat kan ook via simulaties en rekenregels de capaciteit worden bepaald. De rekenregels zijn zeer betrouwbaar, omdat zij gebaseerd zijn op uitgebreide onderzoeken. Hierdoor zijn ze algemeen geaccepteerd als goede berekeningsmethode. De rekenregels zijn per kruispunt verschillend. Voor voorrangskruispunten wordt gebruikgemaakt van de methode Harders en voor rotondes de methode van Bovy (bij fietsers in de voorrang op rotondes wordt Brilon gebruikt) (CROW, 1994). Voor voorrangskruispunten met een verkeersregelinstallatie (VRI) bestaan diverse capaciteitsberekeningen, zo kan bijvoorbeeld met het intensiteitscriterium van Slop worden bepaald of een VRI bij een voorrangskruispunt noodzakelijk is (CROW, 2012). Bij deze methodes kan met een eenvoudige invoer van intensiteiten de capaciteit worden bepaald. Voor voorrangspleinen bestaat een dergelijke rekenregel nog niet. Om die rekenregel te bepalen kan een microscopisch simulatieprogramma worden gebruikt om de capaciteitsgrenzen te bepalen.

Simulatieprogramma's kunnen bij benadering de werkelijke verkeerssituatie berekenen. Deze berekening is niet 100% betrouwbaar, maar geeft wel een goede indicatie; de verhoudingen van verkeer en het gedrag van de plaatselijke weggebruiker zijn prima te ondervangen met een simulatiemodel. Dit komt doordat een simulatiemodel gebruikmaakt van stochastische verdelingen. Stochastiek houdt in dat het exacte vertrektijdstip en alle voertuigkenmerken op basis van een lotingsproces worden bepaald. Door dit lotingsproces per run iets te veranderen en een aantal verschillende runs door te rekenen wordt het resultaat betrouwbaar geacht. Door het simulatieprogramma te kalibreren kan de betrouwbaarheid nog verder worden vergroot. Echter, dit is niet eenvoudig te doen, omdat hiervoor een uitgebreid onderzoek in de praktijk moet worden gedaan. Een

simulatieprogramma geeft door de bovengenoemde punten een goede indicatie van de capaciteit van een kruispunt. Een groot voordeel van een simulatieprogramma is dat het snel verschillende verkeerssituaties kan doorrekenen, zoals: het effect verschillende verhoudingen tussen de intensiteiten op de hoofd- en zijrichting, het effect van de verschillende inrichtingskenmerken van het kruispunt en het effect verschillende voorrangsregelingen. Als de resultaten uit een simulatieprogramma met dezelfde instellingen worden gehaald, kunnen deze resultaten met hoge betrouwbaarheid met elkaar worden vergeleken – de berekeningen zijn immers door dezelfde formules berekend.

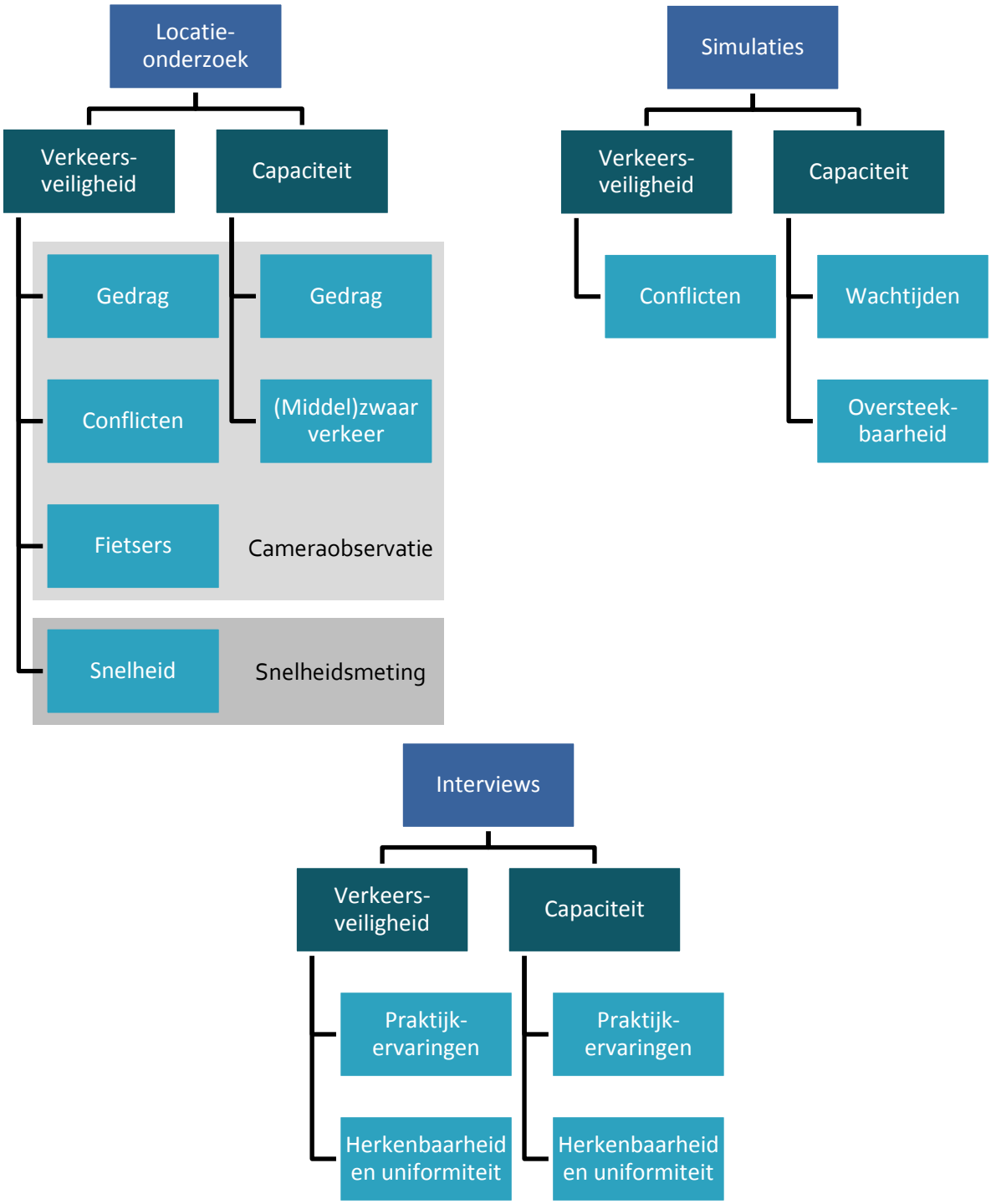
Al deze verschillende methodes kunnen worden gebruikt om een uitspraak te doen over de verkeersveiligheid en de capaciteit van een kruispunt. Het is gebleken dat hiervoor verschillende methodes te gebruiken zijn. Voor dit onderzoek is gekozen om drie deelonderzoeken uit te voeren. Per deelonderzoek wordt nader toegelicht welke onderzoeksmethode gehanteerd is.

2.1.3 Deelonderzoeken

In de vorige paragraaf staat beschreven dat het onderzoek bestaat uit twee thema´s. Deze thema's worden onderzocht in drie deelonderzoeken:

- locatieonderzoek;
- simulatieonderzoek;
- interviews.

Per deelonderzoek zijn diverse aspecten onderzocht. Deze aspecten kunnen iets zeggen over de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. In figuur 1 is een overzicht weergegeven van de diverse deelonderzoeken met de daarbij behorende aspecten, onderverdeeld naar thema. In de volgende paragrafen wordt nader toegelicht welke onderzoekmethodes zijn toegepast en hoe het onderzoek is uitgevoerd.



figuur 1: overzicht van deelonderzoeken, onderverdeeld naar thema en diverse aspecten

Locatieonderzoek

Voor een locatieonderzoek is gekozen omdat deze een goed beeld geeft van de werking van het voorrangsplein in de praktijk. Daarnaast kunnen uit het locatieonderzoek resultaten worden gehaald met betrekking tot de sterke en zwakke punten van het voorrangsplein.

Simulaties

De simulaties vullen de praktijk aan met diverse berekeningen. Sommige onderzoeksaspecten zijn niet in de praktijk te onderzoeken, omdat deze aspecten bijvoorbeeld (nog) niet zijn aangelegd. Daarnaast geeft een simulatie snel resultaten over een te onderzoeken aspect.

Interviews

De interviews vullen gaten op die een locatieonderzoek en simulaties niet kunnen onderzoeken. Hierbij kan gedacht worden aan ervaringen van wegbeheerders of experts met betrekking tot het voorrangplein. Tevens kunnen de geïnterviewde personen aangeven welke onderdelen belangrijk zijn voor de inrichtingsvorm van voorrangspleinen. Herkenbaarheid en uniformiteit van het voorrangsplein maken ook deel uit de interviews, omdat dit belangrijk is dat het kruispunttype in de praktijk het gewenste gedrag afdwingt.

Triangulatie

In de meeste gevallen kunnen de deelonderzoeken gezamenlijk een antwoord geven op een vraag. Als de antwoorden met elkaar in overeenstemming zijn, kan geconcludeerd worden dat de uitkomsten kloppen. Het gebruik maken van meerdere bronnen – in dit geval deelonderzoeken – om een antwoord te krijgen op een vraag, wordt triangulatie genoemd. Triangulatie zorgt voor een hogere betrouwbaarheid. Tijdens dit onderzoek wordt gebruikgemaakt van triangulatie, wanneer dit mogelijk is.

2.2 Inrichtingskenmerken

In de inleiding is gesproken over inrichtingsvormen, inrichtingskenmerken en inrichtingselementen. Uit het vooronderzoek is naar voren gekomen dat er veel spreiding is in de resultaten van de verkeersveiligheid en de capaciteit. Er werd hierbij vanuit gegaan dat de inrichtingskenmerken van het voorrangsplein hier invloed op hadden. Om deze inrichtingskenmerken te kunnen onderzoeken, zijn deze vooraf opgesteld. In tabel 5 staan de onderzochte inrichtingskenmerken en inrichtingselementen beschreven. In de hierop volgende paragrafen wordt per deelonderzoek toegelicht welke inrichtingskenmerken worden onderzocht, en welke werkwijze is gehanteerd.

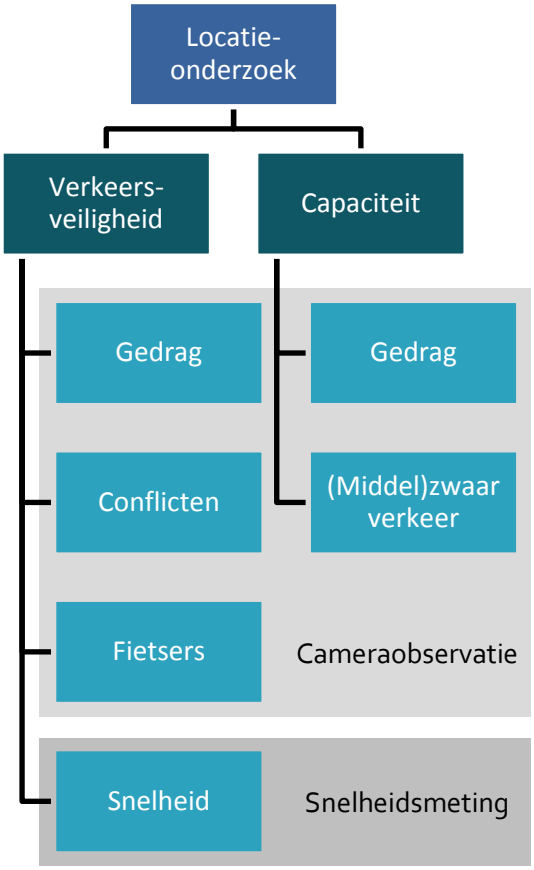
Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement
Locatie uitbuiging	voor en na
	begin tot eind
	geen
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen
	over middeneiland
Rammelstroken	wel rammelstroken
	geen rammelstroken
Sterkte uitbuiging (doorrijdsnelheid)	zwak
	middelsterk
	sterk
Lengte	kort
	middellang
	lang
Breedte	smal
	middelbreed
	breed
Voorsorteervak	wel voorsorteervak
	geen voorsorteervak
Hiaatvergroter	wel hiaatvergroter
	geen hiaatvergroter

tabel 5: overzicht van de inrichtingskenmerken en inrichtingselementen, welke tijdens dit onderzoek aan bod zijn gekomen

2.3 Locatieonderzoek

Er is voor een locatieonderzoek gekozen, omdat dit een goed beeld geeft van de werking van een voorrangsplein in de praktijk. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat er diverse vormen van voorrangspleinen bestaan. Daarom worden verschillende voorrangspleinen onderzocht, welke zijn geselecteerd op de inrichtingsvorm. De nadere toelichting staat beschreven in §2.3.3. Tijdens het locatieonderzoek worden diverse aspecten onderzocht, zoals weergegeven in figuur 2. Het locatieonderzoek bestaat uit een snelheidsmeting en een cameraobservatie.

figuur 2: overzicht deelonderzoek



De intensiteiten zijn in het onderzoek niet meegenomen, omdat dit voor het kwantitatieve gedeelte (snelheden) niet veel toevoegt; de snelheidsmetingen zijn zowel in dal- als in spitsuren uitgevoerd, waardoor de snelheidsmetingen een representatief beeld geven van de werkelijkheid. Voor het kwalitatieve gedeelte (cameraobservaties) zijn intensiteiten niet van belang, omdat wordt gekeken naar het gedrag van de weggebruikers op de verschillende voorrangspleinen. Hierbij is een subjectieve beoordeling van de verkeersdrukte voldoende. Wel zijn alle uitgevoerde metingen even lang (1 uur). Daarnaast is gemeten op verschillende tijdstippen en dagen. Hierdoor wordt verwacht dat de metingen een representatief beeld geven van de effecten van het voorrangsplein op de gemeten locatie.

In de volgende paragraaf worden de meetinstrumenten behandeld. In de paragraaf daarna staat beschreven welke aspecten met deze meetinstrumenten gemeten worden.

2.3.1 Meetinstrumenten

Om de aspecten te onderzoeken is gekozen voor een tweetal meetinstrumenten: cameraobservaties en een snelheidsonderzoek door middel van een lasergun.

Cameraobservaties

Het grote voordeel van een cameraobservatie is dat de verkeerssituatie in alle rust kan worden teruggekeken. De camera registreert wat er gebeurt op het kruispunt en hoe door de weggebruikers wordt gehandeld. Zo geeft de camera inzicht in de mogelijke conflicten, de manier van voorrang verlenen en de locatie van de weggebruikers op de weg. Al deze punten geven inzicht in het gedrag van de weggebruiker op het voorrangsplein. Als ongewenst gedrag wordt getoond kan middels de camerabeelden worden gekeken naar de invloed hiervan op de doorstroming en de verkeersveiligheid van het voorrangsplein.

Snelheidsmeting

Voor de snelheidsmeting is gekozen voor het gebruik van een lasergun. Hiervoor is gekozen omdat de lasergun eenvoudig in gebruik is. Daarnaast geeft de lasergun direct de snelheid weer waardoor snel inzicht gegeven wordt in de gereden snelheden. Tevens meet een lasergun de snelheid nauwkeuring waardoor de resultaten valide zijn. Het nadeel van een lasergun is dat de weggebruiker de observator kan aanzien voor een politieagent en zijn snelheid daarop aanpast. Dit kan worden tegengegaan door zoveel mogelijk uit het zicht van de weggebruikers te gaan staan.

2.3.2 Aspecten

In deze paragraaf zijn de verschillende aspecten beschreven. Hierbij wordt per aspect aangegeven wat de inhoud en op welke punten worden gelet tijdens de metingen.

Gedrag (gemotoriseerd verkeer)

Het gedrag van de weggebruiker op het voorrangsplein kan iets zeggen over de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. Tijdens het onderzoek wordt gekeken naar afwijkend gedrag; wanneer een weggebruiker het voorrangsplein niet begrijpt, handelt deze weggebruiker in de meeste gevallen anders dan de wegbeheerder heeft bedoeld. Hierbij kan worden gedacht aan ongewenst voorrang verlenen, tegen de richting in rijden of zoekgedrag. Dit gaat vaak gepaard met een verlaging van de rijsnelheid, die zijn invloed heeft op de capaciteit van het voorrangsplein. Ook kunnen andere weggebruikers hierop verkeerd anticiperen. Dit kan leiden tot onveilige

verkeerssituaties op het voorrangsplein. Al dit soort gevallen worden genoteerd.

Tijdens de cameraobservatie is gelet op de volgende punten, waarbij de gedragspunten zijn verdeeld naar de twee thema's:

- naast elkaar opstellen op het voorrangsplein: het gemotoriseerde verkeer maakt 'efficiënt' gebruik van de ruimte op het voorrangsplein waardoor het verkeer naast elkaar staat in plaats van achter elkaar (verkeersveiligheid);
- spookrijden: hierbij wordt gekeken of het gemotoriseerde verkeer tegen de gewenste richting in rijdt (verkeersveiligheid);
- geen voorrang verlenen: automobilisten verlenen geen voorrang aan het kruisende verkeer, waardoor een conflict kan ontstaan (verkeersveiligheid);
- ongewenst voorrang verlenen: automobilisten verlenen voorrang aan het kruisende verkeer, terwijl deze geen voorrang heeft (verkeersveiligheid en capaciteit);
- blokkade door (middel)zware voertuigen: het opstellen van (middel)zware voertuigen zorgt ervoor dat de hoofdrichting niet meer kan doorstromen (capaciteit);
- opstelvak is vol: een van de opstelvakken voor links afslaand verkeer staat vol met voertuigen waardoor de doorstroming op de hoofrichting in gevaar komt (capaciteit);
- terugslag van andere kruispunten: doordat andere kruispunten of geregelde oversteekplaatsen het verkeer niet kan verwerken slaat het terug op het voorrangsplein waardoor deze ook vast loopt (capaciteit).

De bovengenoemde punten zijn per observatie geturfd, waarbij de belangrijkste gedragspunten nader worden bekeken.

Conflicten

Als een conflict heeft plaatsgevonden, wordt deze geregistreerd. Voor de term conflict worden verschillende definities gebruikt. In dit deelonderzoek is gekozen voor de volgende definitie:

'Een kritische verkeerssituatie waarbij twee (of meer) weggebruikers elkaar zodanig naderen dat een botsing dreigt en er een reële kans op lichamelijk letsel of materiële schade aanwezig is als hun koers en snelheid onveranderd blijven.' (Kraay, et al., 1986)

Een conflict uit zich wanneer één of beide voertuigen hun koers wijzigen door een snelle stuurbeweging of door krachtig te remmen. Daarnaast is claxonneren een indicatie van een mogelijk conflict. Conflicten zijn geregistreerd door het tijdstip van het conflict te noteren, de oorzaak van het

conflict te beschrijven, de betrokken weggebruikers en de locatie op het voorrangsplein te noteren.

Fietsverkeer

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat het onduidelijk is hoe het fietsverkeer zich gedraagt op het voorrangsplein. Daarnaast is gebleken dat de locatie van de fietsoversteek per voorrangsplein kan verschillen (over het middeneiland, om het voorrangsplein heen of gemengd met het overige verkeer). Tevens was het onduidelijk of het fietsverkeer netjes gebruikmaakt van de voorzieningen. Daarom wordt tijdens het locatieonderzoek nadrukkelijk gelet op het fietsverkeer. Tijdens het locatieonderzoek wordt gelet op de volgende punten:

- spookrijden: hierbij wordt gekeken of het fietsverkeer tegen de gewenste richting in rijdt;
- geen voorrang verlenen: fietsers verlenen geen voorrang aan het kruisende verkeer, waardoor een conflict kan ontstaan;
- geen gebruik maken van de fietsvoorzieningen: fietsers maken geen gebruik van de fietsvoorzieningen en steken het voorrangsplein over op (voor fietsers) onbedoelde plekken.

Al deze punten hebben betrekking op het thema verkeersveiligheid.

(Middel)zwaar verkeer

Naast fietsers en automobilisten maakt (middel)zwaar verkeer ook gebruik van voorrangspleinen. Onder (middel)zwaar verkeer vallen de volgende weggebruikers (CROW, 2008):

- trekkers, mét en zonder oplegger;
- vrachtwagens en vrachtwagencombinaties;
- touringcars en lijnbussen;
- bijzondere transportmiddelen.

Voor deze weggebruikers kan het voorrangsplein enige moeite kosten om deze veilig te passeren. Tijdens de observatie is daarom gelet of het (middel)zwaar verkeer de draaicirkels kan maken en of ze veilig op het voorrangsplein kunnen opstellen. Hierbij is gelet op het gebruik van voorzieningen zoals rammelstroken, die het (middel)zwaar verkeer helpen om korte draaicirkels te kunnen maken. Doordat het voor (middel)zwaar verkeer meer tijd kost om het voorrangsplein te passeren heeft deze invloed op de capaciteit. Daarnaast kan (middel)zwaar verkeer het voorrangsplein blokkeren door te weinig opstelruimte.

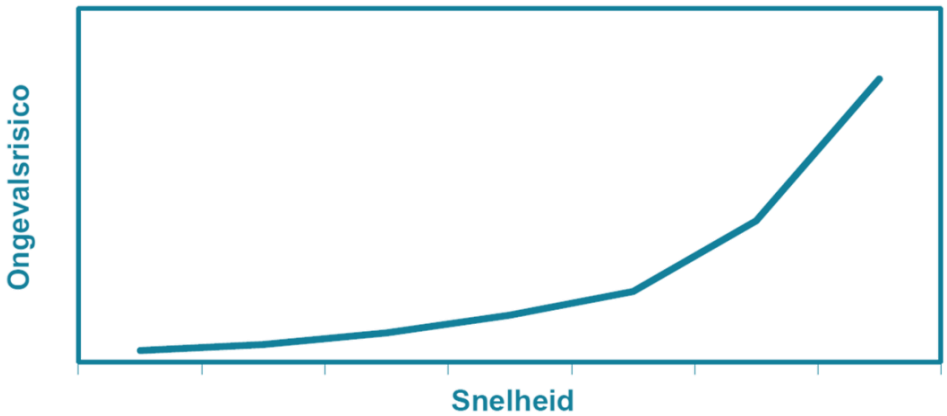
Snelheid

Het laatste aspect dat is onderzocht is de snelheid. De snelheid is een indicator van verkeersveiligheid. Er is door verschillende onderzoeken een verband aangetoond tussen snelheid en verkeersveiligheid op een wegvak of kruispunt. Zo kan snelheid iets vertellen over de ernst van het ongeval tussen een auto en een voetganger. Ook is aangetoond dat er een verband is tussen snelheid en de kans op een ongeval (SWOV, 2012).

Snelheid en ongevalsrisico

Volgens SWOV neemt de kans op een ongeval toe naarmate harder wordt gereden. Dit komt doordat de remweg van bestuurders toeneemt en de mens beperkt is in het verwerken van informatie. Het verband tussen kans en snelheid is vele male complexer dan het verband tussen snelheid en ernst van een ongeval. Het verband tussen snelheid en ongevalsrisico kan het beste worden gedefinieerd als een machtsfunctie. Dit is weergegeven in grafiek 1. Om het ongevalsrisico te berekenen is het aantal ongevallen in de oude situatie nodig. De laatste jaren is gebleken dat de registratie van ongevallen onbetrouwbaar is (Aarts, 2011). Deze methode kan wel gebruikt worden wanneer in acht wordt genomen dat de gebruikte cijfers onbetrouwbaar kunnen zijn.

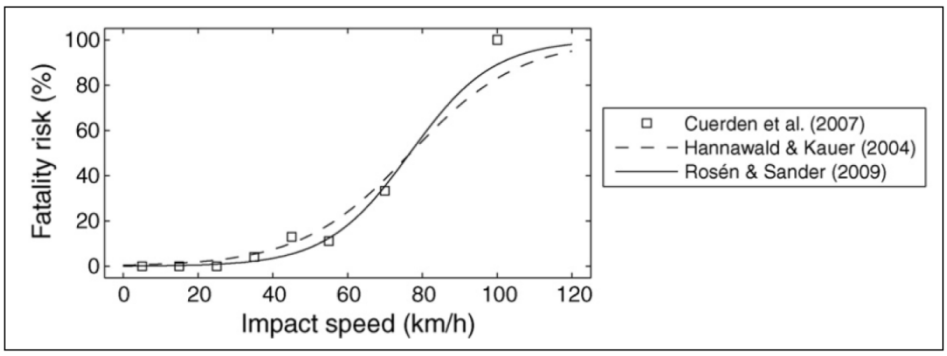
grafiek 1: schematische weergave van het verband tussen snelheid en ongevalsrisico (SWOV, 2012)



Voor dit onderzoek is enkel van belang dat het ongevalsrisico groter wordt naarmate de snelheid toeneemt.

Snelheid en overlijdenskans

Uit verschillende studies in verschillende landen is gebleken dat er een duidelijk verband is tussen snelheid en overlijdenskans. Dit is ook logisch, want hoe harder een auto tegen een obstakel of medeweggebruiker rijdt, hoe groter de impact. Deze natuurkundige regel is van groter belang bij kwetsbare verkeersdeelnemers; als een automobilist tegen een fiets aanrijdt met 50 km/h is de letselernst groter dan wanneer een automobilist met dezelfde snelheid tegen een andere auto aanrijdt. In grafiek 2 is weergeven hoe groot de overlevingskans is van een voetganger bij een bepaalde botssnelheid.



grafiek 2: weergave van het verband tussen snelheid van het autoverkeer en de overlijdenskans van een voetganger (SWOV, 2012)

Voor dit onderzoek wordt de snelheid (V_{85}) gebruikt om de overlijdenskans van een mogelijk ongeval te bepalen. Dit wordt gedaan door de V_{85} in de grafiek te plaatsen en af te lezen hoe groot de overlijdenskans van een voetganger is bij de gemeten snelheden op de onderzoekslocaties.

2.3.3 Onderzoekslocaties

Voor het locatieonderzoek zijn een drietal voorrangspleinen geselecteerd. De voorrangspleinen zijn geselecteerd naar de inrichtingsvorm van de voorrangspleinen. De onderzochte kruispunten zijn:

- voorrangsplein 1: Arnhem, Johan de Wittlaan – Groen van Prinstererstraat – Heemskerckstraat;
- voorrangsplein 2: Hilversum, Kamerlingh Onnesweg – Minckelersstraat;
- voorrangsplein 3: Hilversum, Diependaalselaan – Melis Stokelaan – Van Ghentlaan.

Verschillen tussen de voorrangspleinen

De drie voorrangspleinen zijn om hun verschil in inrichtingskenmerken geselecteerd De inrichtingskenmerken van de onderzochte voorrangspleinen staan weergegeven in tabel 6. Uitgebreide informatie per meetlocatie zijn opgenomen in Bijlage 2.

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Johan de Wittlaan	Kamerlingh Onnesweg	Diepen-daalselaan
Locatie uitbuiging	voor en na	☒	☐	☐
	begin tot eind	☐	☒	☐
	geen	☐	☐	☒
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen	☐	☒	☒
	over middeneiland	☒	☐	☐
Rammelstroken	wel rammelstroken	☐	☒	☒
	geen rammelstroken	☒	☐	☐

tabel 6: overzicht van de inrichtings-kenmerken en inrichtings-elementen per voorrangsplein

Ten eerste de locatie van de uitbuiging. Bij de Johan de Wittlaan ligt de uitbuiging voor de conflictvlakken. Daardoor behoudt het voorrangsplein op de Johan de Wittlaan zijn rechthoekige vorm. In de Kamerlingh Onnesweg ligt de uitbuiging in het midden het kruispunt, hierdoor is het voorrangsplein meer een ovaal. Doordat deze vormen verschillen werd voorafgaand aan het onderzoek al verondersteld dat dit effect heeft op het rijgedrag. Zo werd verwacht dat het gemotoriseerde verkeer op de Kamerlingh Onnesweg het voorrangsplein meer ziet als een rotonde, door de ovale en ronde vormen. Om de begrijpelijkheid van het voorrangsplein te toetsen is voor de Diependaalselaan gekozen, omdat deze geen uitbuiging heeft om het gedrag te beïnvloeden. Zo kan op de Diependaalselaan worden onderzocht of de weggebruiker begrijpt dat hij om het middeneiland heen moet rijden, om linksaf te slaan. Zo dient de Diependaalselaan als referentie. Daarnaast kan de locatie van de uitbuiging ook effect hebben op de doorrijsnelheid. Dit kan op de verschillende locatie worden gemeten.

Ten tweede de locatie van de fietsoversteekplaatsen. Het voorrangsplein op de Johan de Wittlaan heeft als unicum dat het fietsverkeer over het middeneiland worden geleid. Op andere locaties worden het fietsverkeer om het voorrangsplein heen geleid, zoals de Kameringh Onnesweg en de Diependaalselaan. Verwacht werd dat de fietsvoorziening over het middeneiland meer conflicten te weeg brengt, mede omdat de automobilist de fietser op het middeneiland niet verwacht.

Ten derde de ruimte voor (middel)zwaar verkeer. Op de Kamerlingh Onnesweg en de Diependaalselaan zijn maatregelen getroffen in de vorm van rammelstroken. Met deze rammelstroken kan het (middel)zwaar verkeer de bochten eenvoudiger maken, zonder daarbij over de trottoirbanden te moeten rijden. Op de Kamerlingh Onnesweg zijn zelfs rammelstroken in de

aansluitbogen van het voorrangsplein aangebracht, om de boogstralen zo klein mogelijk te maken. Voor de Johan de Wittlaan is dat niet het geval, hier zijn geen rammelstroken toegepast. In de hoofdrichting is asfaltverbreding toegepast om toch mogelijk te maken dat het (middel)zwaar verkeer rechtdoor over het voorrangsplein kan rijden. Verwacht werd dat de snelheid van het autoverkeer hoger komt te liggen. Daarnaast werd verwacht dat het (middel)zwaar verkeer bij het links afslaan mogelijk het middeneiland en de bijbehorende trottoirbanden zou beschadigen, door het ontbreken van rammelstroken. Als laatste werd verwacht dat de snelheid op de voorrangspleinen verschillend zijn. Zo werd op de Diependaalselaan de hogere doorrijdsnelheid verwacht, omdat hier snelheidsremmers ontbreken (uitbuiging). De laagste doorrijdsnelheid werd verwacht op de Kamerlingh Onnesweg, omdat hier de uitbuiging het grootst lijkt.

2.3.4 Werkwijze locatieonderzoek

Per kruispunt wordt toegelicht welke werkwijze is gehanteerd voor het meten van de snelheid en het maken van de camerabeelden. Vervolgens wordt ingegaan op de meetdagen en de tijdstippen. In de afbeeldingen geven de rode pijlen aan op welke positie en in welke richting met de lasergun is gemeten. De gele strepen geven aan waartussen de snelheid is gemeten. Het camerasymbool geeft de positie en richting van de camera weer. In Bijlage 2 zijn beelden vanuit de diverse standpunten op de verschillende voorrangspleinen weergegeven.

Voorrangsplein 1: Johan de Wittlaan

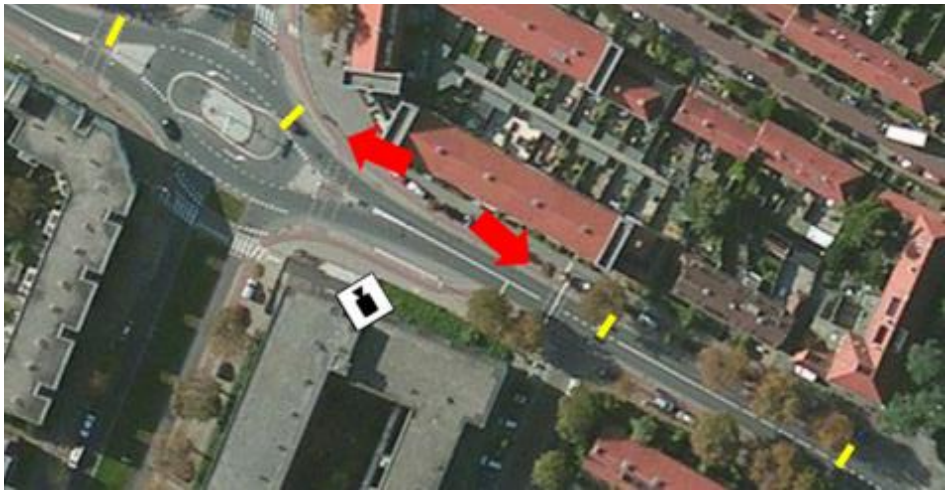
De snelheidsmeting werd uitgevoerd op de noordelijke rijbaan van de Johan de Wittlaan. De precieze meetlocatie is weergegeven in afbeelding 10. Hierbij werd gebruikgemaakt van de abri van de halte 'Groen van Prinstererstraat'. Hierdoor is de lasergun zo veel mogelijk uit het zicht gehouden, om het verkeer zo min mogelijk te beïnvloeden. Vanachter de abri werd de snelheid op het wegvak voor het kruispunt en de snelheid op het kruispunt gemeten. De camera stond vlak voor het voorrangsplein. Die positie geeft een goed overzicht van het gehele kruispunt en het verkeer dat erop rijdt.

afbeelding 10: standpunt camera en laserguns bij de Johan de Wittlaan

Voorrangsplein 2: Kamerlingh Onnesweg

De snelheidsmeting werd uitgevoerd op de westelijke rijbaan van de Kamerlingh Onnesweg. De meetlocatie is weergegeven in afbeelding 11. Voor de snelheidsmeting op het wegvak van de Kamerlingh Onnesweg is gebruik gemaakt van een hoge auto waarachter de lasergun werd gepositioneerd. De snelheidsmeting op het kruispunt is gemeten vanaf de positie naast een woning bij het voorrangsplein (Kamerlingh Onnesweg 69). De camera stond op een verhoging bij de toegang van een appartementencomplex (Kamerling Onnesweg 72). Vanaf deze positie had de camera een goed overzicht over het voorrangsplein.

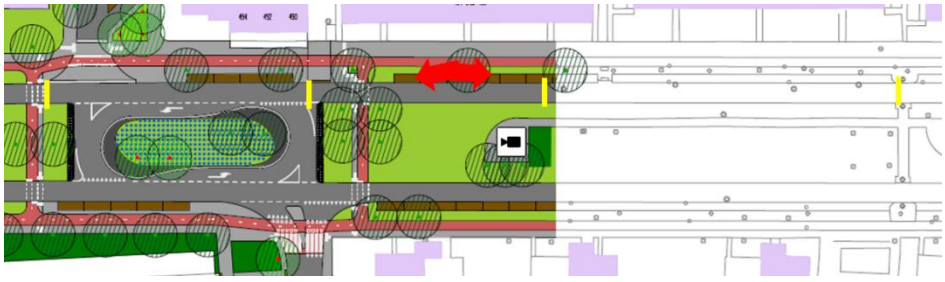
afbeelding 11: standpunt camera en laserguns bij de Kamerlingh Onnesweg



Voorrangsplein 3: Diependaalselaan

De snelheidsmeting is uitgevoerd op de noordelijke rijbaan (richting de N201) van de Diependaalselaan, zoals weergegeven in afbeelding 12. De snelheidsmeting op het wegvak is gedaan vanaf achter de afvalcontainer, die geplaatst is voor Diependaalselaan 466. De snelheidsmeting op het kruispunt is gemeten vanachter een geparkeerde auto, die net voor de eerste oversteekplaats voor langzaam verkeer – gezien vanuit het oosten – stond geparkeerd. De camera is geplaatst in de middenberm van de Diependaalselaan, ter hoogte van een aantal bankjes.

afbeelding 12: standpunt camera en lasergun bij de Diependaalselaan



Duur en tijdstip van de meting

De metingen zijn op alle kruispunten op hetzelfde tijdstip uitgevoerd. De gekozen tijdstippen zijn gebaseerd op de maatgevende onderzoekstijden uit het Handboek verkeersonderzoek (CROW, 2008):

- ochtendspits: 8:00 uur – 9:00 uur;
- dal 1: 10:00 uur – 11:00 uur;
- dal 2: 14:00 uur – 15:00 uur;
- avondspits: 16:30 uur – 17:30 uur.

Per snelheidsmeting zijn de snelheden van 100 auto's op het wegvak voor het voorrangsplein en de snelheden van 100 auto's op het voorrangsplein gemeten. De planning staat weergegeven in tabel 7.

Kruispunt	Datum
Johan de Wittlaan	woensdag 1 april 2015
	donderdag 2 april 2015
Kamerlingh Onnesweg	woensdag 8 april 2015
	donderdag 9 april 2015
Diependaalselaan	woensdag 15 april 2015
	donderdag 16 april 2015
Reservedag	woensdag 22 april 2015
	donderdag 23 april 2015

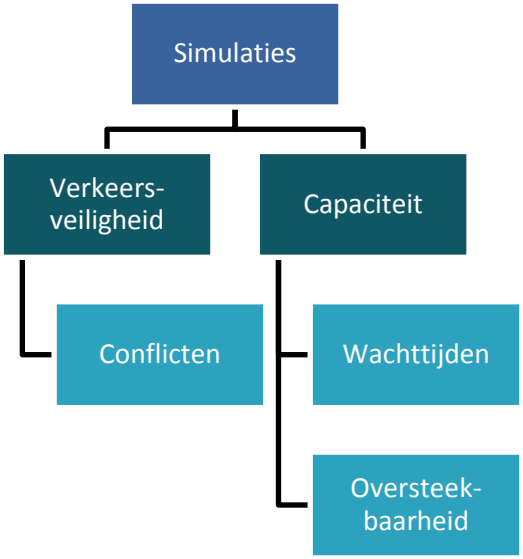
tabel 7: planning dagen praktijkonderzoek

De metingen hebben plaatsgevonden op een woensdag en op een donderdag. De donderdag is een representatieve gemiddelde meetdag, en de woensdag niet. De keuze voor deze twee dagen is dat zij de snelheden over de week goed in beeld kunnen brengen en het gedrag dat hierbij hoort. Daarnaast viel de keuze op deze dagen omdat werd verwacht dat er voldoende fietsverkeer en kruisend verkeer aanwezig zou zijn.

2.4 Simulaties

In deze paragraaf staat beschreven hoe de simulaties zijn uitgevoerd. Eerst wordt beschreven wat tijdens de simulaties is onderzocht en hoe dit is gedaan. Vervolgens komt aan bod welke aspecten met betrekking tot verkeersveiligheid en capaciteit uit een simulatieprogramma zijn gehaald. Deze staan alvast in figuur 3 weergegeven. Daarna wordt ingegaan op welk simulatieprogramma gebruikt is voor het achterhalen van de gegevens met betrekking tot deze aspecten. Tot slot komt aan bod hoe met het simulatieprogramma is gewerkt en welke parameters veranderd zijn om de waarden van deze aspecten te achterhalen.

figuur 3: overzicht deelonderzoek 'Simulaties'



2.4.1 Opzet

Met behulp van een simulatieprogramma zijn gegevens verkregen, die betrekking hebben op de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. Om deze gegevens te verkrijgen zijn in het simulatieprogramma verschillende intensiteiten voor de hoofdrichting en zijrichting ingevoerd (intensiteitsverhouding). Hierbij is gebruikgemaakt van de intensiteiten die zijn weergegeven in tabel 8 (motorvoertuigen per uur per rijrichting).

tabel 8: overzicht van de ingevoerde intensiteiten, onderverdeeld naar hoofdrichting en zijrichting

Intensiteiten hoofdrichting								
200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800

Intensiteiten zijrichting							
50	100	150	200	250	300	350	400
450	500	550	600	650	700	750	800
850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200

Bij deze intensiteiten is een verhouding van 95% autoverkeer en 5% vrachtverkeer aangehouden. Deze verhouding is gekozen om het effect van vrachtverkeer duidelijk inzichtelijk te krijgen. Uit de praktijk zijn geen gemiddelde percentages bekend, omdat deze sterk per locatie verschillen.

Voor voorrangspleinen is de aanwezigheid van fietsverkeer belangrijk voor de afwikkeling van het gemotoriseerde verkeer, omdat het fietsverkeer op de hoofdrichting voorrang heeft. Daarnaast is de oversteekbaarheid van fietsverkeer belangrijk voor de doorstroming van het fietsverkeer. Om deze aspecten mee te kunnen nemen zijn tijdens de simulaties telkens de intensiteiten voor het fietsverkeer in alle richtingen op 200 fietsers per uur ingesteld. Door de fietsintensiteiten bij verschillende inrichtingskenmerken hetzelfde te houden, kunnen de effecten van de inrichtingskenmerken beter worden vergeleken. Hiermee wordt duidelijk welk effect verschillende intensiteiten gemotoriseerd verkeer op de hoofdrichting hebben op de oversteekbaarheid van het langzaam verkeer.

De combinaties van verschillende intensiteiten leveren steeds een andere belasting van het voorrangsplein op. Hierbij horen verschillende waarden voor de aspecten, die een indicatie gegeven van de verkeersveiligheid en capaciteit van het voorrangsplein. Deze aspecten zijn hieronder beschreven.

Om de betrouwbaarheid van de capaciteitsgrenzen te vergroten zijn vijf simulatieruns uitgevoerd bij de desbetreffende intensiteitsverhoudingen. Hierbij zijn de intensiteiten op de zijrichtingen met één auto verhoogd of verlaagd, waardoor de toedeling van het verkeer iets veranderd. Op deze manier wordt gecontroleerd of de capaciteitsgrenzen bij verschillende toedelingen (ongeveer) hetzelfde zijn.

2.4.2 Conflicten

Om iets te kunnen zeggen over de verkeersveiligheid op voorrangspleinen is tijdens dit deelonderzoek na elke doorrekening in het simulatieprogramma gekeken naar het aantal conflicten. Hierbij houdt een conflict in dat een auto een te klein hiaat accepteert. Dit wordt ook wel een geforceerde invoegbeweging genoemd. Hoe meer geforceerde invoegbewegingen worden gemaakt, hoe groter kans op een ongeval.

2.4.3 Vertragingstijden

De vertragingstijd is het eerste aspect dat tijdens dit deelonderzoek gebruikt is ter indicatie van de capaciteit van het voorrangsplein. Vertragingstijden geven aan hoeveel tijd een voertuig verliest als het over een voorrangsplein rijdt. Alleen de voertuigen die voorrang moeten verlenen aan andere voertuigen zijn hierbij van belang. Over het algemeen wordt een gemiddelde vertragingstijd tot 20 seconde door weggebruikers geaccepteerd. Hierna gaan zij meer risico's nemen bij het invoegen. Hierom is aangehouden dat 20 seconde wachttijd een praktische capaciteitsgrens is. (CROW, 2012)

De theoretische capaciteitsgrens is gebaseerd op langere wachttijden dan 60 seconde of wanneer een gridlock ontstaat. Een gridlock houdt in dat al het verkeer op het voorrangsplein vaststaat, omdat meer verkeer linksaf wil slaan dan op de opstelruimte kan staan. Hierdoor slaat het verkeer terug op de hoofdrijbaan en loopt het verkeer op het netwerk vast. Het gevolg is dat er geen resultaten worden berekend. Wanneer een gridlock ontstond is de simulatie nog een keer doorgerekend met één voertuig verschil vanuit (een van de) zijrichtingen. Het simulatieprogramma krijgt met één auto verschil namelijk een andere toedeling, waardoor de simulatie anders verloopt (stochastiek). Pas als deze allemaal vastlopen is geconcludeerd dat de capaciteit van een voorrangsplein bij deze intensiteitsverhoudingen niet toereikend is.

2.4.4 Oversteekbaarheid

De oversteekbaarheid voor langzaam verkeer is het tweede aspect onder capaciteit dat is doorgerekend tijdens de simulaties. De belangrijkste graadmeter hierin zijn de hiaten die in de verkeerstromen ontstaan. Hierbij gaat het om de twee oversteekplaatsen over de hoofdrichting. Hier heeft het langzaam verkeer geen voorrang en is dus afhankelijk van de hiaten in de verkeersstroom. Het simulatieprogramma levert informatie over hoe vaak per minuut een voldoende groot hiaat ontstaat, waar de voetganger gebruik van kan maken.

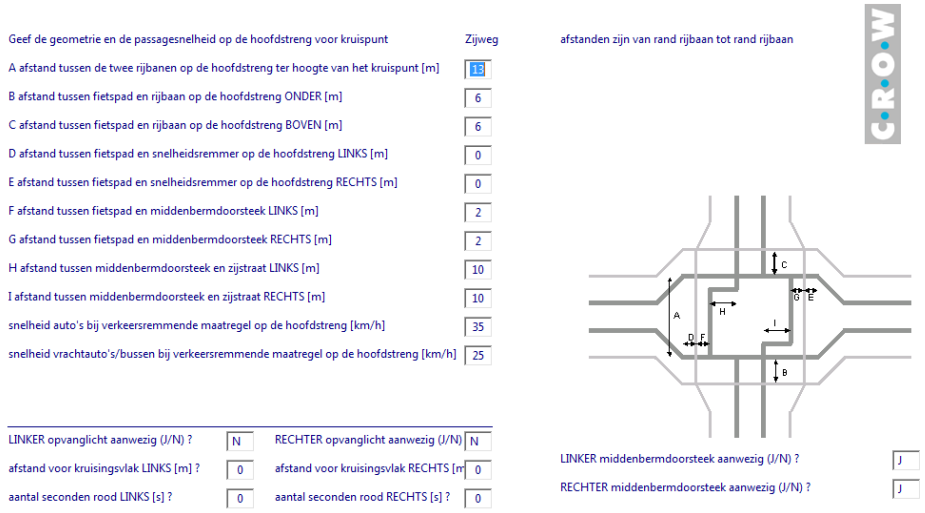
2.4.5 Keuze simulatieprogramma

Onder simulatieprogramma's zijn drie verschillende groepen te onderscheiden: macroscopische, mesoscopische en microscopische simulatieprogramma's (modellen). Bij macroscopische modellen wordt gebruikgemaakt van theoretische berekeningen. Deze berekeningen zijn gebaseerd op de vloeistofdynamica; vloeistof gaat via de route met de minste weerstand (de breedste en kortste weg). In mesoscopische modellen worden berekeningen gemaakt aan de hand van groepen voertuigen. De meest gedetailleerde modellen zijn microscopische modellen. Deze verkrijgen gegevens door het doorrekenen van afzonderlijke voertuigen over het netwerk. Bij het doorrekenen van verkeersstromen op kruispuntniveau – één of een aantal kruispunten – zijn microscopische modellen hierom het meest geschikt. Voor dit onderzoek is daarom een microscopisch simulatieprogramma gebruikt.

Binnen de microscopische modellen zijn een aantal verschillende programma's te vinden, zoals VISSIM, AIMSUM en Paramics. Belangrijk voor deze programma's is dat zij gekalibreerd dienen te worden, voordat zij een realistische uitkomst kunnen geven. Met kalibreren wordt bedoeld dat het gedrag van de voertuigen in het model in overeenstemming is met het gedrag in de praktijk. Voor Langzaam-sneller is in het verleden een simulatieprogramma ontwikkeld, die is afgestemd op praktijk situaties in Nederland. De input hiervoor is verkregen vanuit verschillende

praktijkonderzoeken. Voor het onderzoek naar de verkeersveiligheid en capaciteit van voorrangspleinen is dit Langzaam-sneller-simulatieprogramma het meest geschikt, omdat deze al is gekalibreerd voor de Nederlandse verkeerssituaties, waarin het voorrangsplein wordt toegepast.

Binnen het Langzaam-sneller-simulatieprogramma kunnen verschillende parameters worden ingesteld. Standaard staan deze parameters op een waarde die overeenkomt met de praktijkonderzoeken. Om het effect van de inrichtingsvorm van het voorrangsplein op de verkeersveiligheid en de capaciteit te onderzoeken met een simulatieprogramma is het van belang om vast te stellen welke parameters worden veranderd om een goed beeld hiervan te kunnen krijgen; de andere parameters worden blijven onveranderd, om zo de gegevens goed met elkaar te kunnen vergelijken. De maatvoering is het enige dat vooraf moet worden ingevoerd. De maatvoering van het voorrangsplein die bij aanvang van de simulaties wordt gebruikt staat weergegeven in afbeelding 13 (vanaf hier standaard inrichtingsvorm). Deze standaardmaatvoering is gebaseerd op een voorrangsplein waar het verkeer de draaicirkels goed kan maken en toch voldoende opstelruimte heeft. Vooraf is deze maatvoering verkeerstechnisch getest.



afbeelding 13: invoerscherm inrichtingsvorm standaard voorrangsplein in simulatietool

De standaardmaatvoering wordt doorgerekend om de capaciteitsgrenzen te bepalen. Alle mogelijke intensiteitsverhoudingen worden hierbij doorgerekend. Daarna worden verschillende parameters veranderd, om zo het effect van de inrichtingskenmerken te onderzoeken. Hiervoor worden de volgende intensiteitsverhoudingen gebruikt (hoofdrichting-zijrichting):

- 600-450;
- 800-300;
- 1000-250;
- 1200-150;
- 1400-50.

2.4.6 Inrichtingskenmerken in de simulatie

Per inrichtingskenmerk worden deze intensiteitsverhoudingen doorgerekend. Deze verhoudingen zijn gekozen omdat hierbij genoeg verkeer aanwezig is. Daarnaast is uit vooronderzoek naar voren gekomen dat bij deze intensiteiten het voorrangsplein een overschot heeft voor de verwerking van het verkeer, bij het doorrekenen van de standaard inrichtingsvorm. Voor het doorrekenen van het effect van een voorsorteervak en een hiaatvergroter zijn andere intensiteitsverhoudingen gebruikt, omdat hierbij de capaciteitsgrenzen zijn bekeken. De capaciteitsgrenzen zijn anders bij een voorrangsplein zonder voorsorteervak en een voorrangsplein met hiaatvergroter. De gebruikte inrichtingskenmerken staan vermeld in tabel 9. Deze worden in de volgende subparagrafen verder toegelicht. Tijdens het doorrekenen is steeds één inrichtingskenmerk veranderd, met uitzondering van de lengte en de breedte. De verschillende lengtes en breedtes zijn met elkaar gecombineerd om het effect van de maatvoering beter inzichtelijk te maken. In totaal zijn 13 varianten doorgerekend.

tabel 9: overzicht van de inrichtingskenmerken en de simulatie-invoer

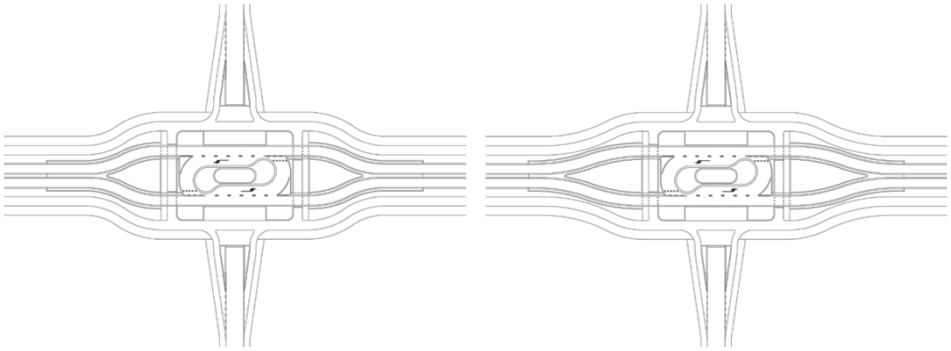
Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Simulatie-invoer
Sterkte uitbuiging	sterk	30 km/h
	middelsterk	35 km/h (standaard)
	zwak	40 km/h
Lengte en breedte	kort-smal	6 bij 13 meter
	kort-middelbreed	6 bij 18 meter
	kort-breed	6 bij 23 meter
	middellang-smal	10 bij 13 meter (standaard)
	middellang-middelbreed	10 bij 18 meter
	middellang-breed	10 bij 23 meter
	lang-smal	14 bij 13 meter
	lang-middelbreed	14 bij 18 meter
	lang-breed	14 bij 23 meter
Voorsorteervak	wel voorsorteervak	standaard maatvoering
	zonder voorsorteervak	ander kruispunttype
Hiaatvergroter	wel hiaatvergroter	roodfase: 5 seconde
	zonder hiaatvergroter	standaard maatvoering

Sterkte van de uitbuiging

Het voorrangsplein kenmerkt zich door een uitbuiging op of voor en na het kruispunt. In het simulatieprogramma kan de sterkte van de uitbuiging niet worden ingesteld door middel van boogstralen of andere maatvoeringen. Wel is het mogelijk om de gemiddelde snelheid op het voorrangsplein aan te passen, want de sterkte van de uitbuiging heeft invloed op de snelheid die uiteindelijk gereden wordt op het voorrangsplein. Onduidelijk is of deze snelheid invloed heeft op de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. Wel is de snelheid een belangrijke factor voor de doorstroming van het verkeer; hoe hoger de snelheid van een individu, hoe sneller deze op zijn eindbestemming aankomt. Echter, in samenloop met

andere individuen gaat dit niet altijd op. Daarnaast wordt tot nu toe gesteld dat de kans op een conflict bij een hogere snelheid groter is. Om erachter te komen of snelheid zorgt voor een andere capaciteit, zijn een aantal intensiteitsverhoudingen met verschillende gemiddelde doorrijdsnelheden op het voorrangsplein doorgerekend. Verwacht werd dat een hogere snelheid leidt tot verlaging van de verkeersveiligheid en de capaciteit.

Tijdens de simulaties zijn de volgende doorrijsnelheden voor het autoverkeer aangehouden: 30 km/h, 35 km/h (standaard) en 40 km/h. Voor het vrachtverkeer ligt de snelheid telkens 10 km/h lager: 20 km/h, 25 km/h en 30 km/h. Een voorbeeld van hoe het verschil tussen deze uitbuigingen eruit kan zien is weergegeven in afbeelding 14.

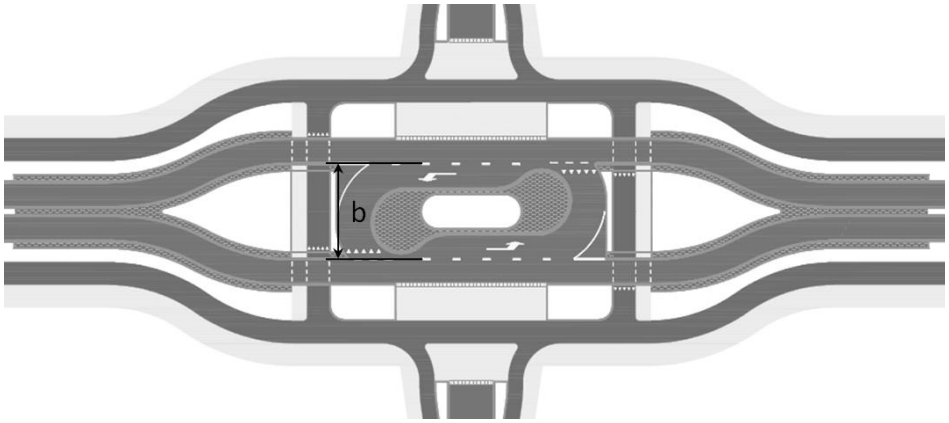


afbeelding 14: verschil tussen sterke uitbuiging (links) en zwakke uitbuiging (rechts)

Lengte en breedte

Op verschillende plekken in Nederland liggen verschillende vormen van voorrangspleinen. Deze hebben vaak andere afmetingen, zowel in de lengte als de breedte. Een belangrijke reden hiervan lijkt de opstelcapaciteit op het middengedeelte van het voorrangsplein. Door in de simulaties verschillende lengtes en breedtes door te rekenen is inzichtelijk gemaakt welke effect de maatvoering heeft op de capaciteit en de verkeersveiligheid. Verwacht werd dat bij een grotere breedte of lengte de verkeersveiligheid en de capaciteit verbeterd.

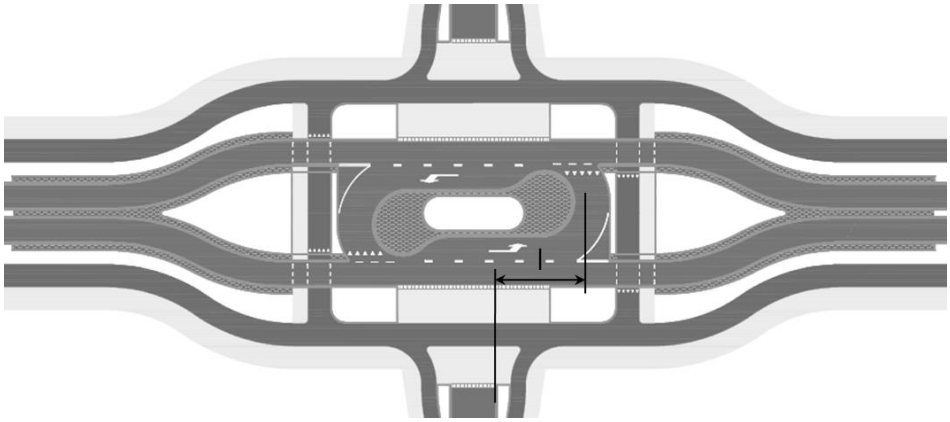
De breedte van het voorrangsplein verschilt in afstand tussen de rijbanen: 13 meter (standaard), 18 meter en 23 meter. Dit is weergegeven in afbeelding 15.



afbeelding 15: de inrichtingsvorm breedte weergegeven in het voorrangsplein

De lengte van het voorrangsplein verschilt in de afstand tussen het draaipunt en de zijrichting: 6 meter, 10 meter (standaard) en 14 meter. Dit is weergegeven in afbeelding 16. Het effect van de lengte van het voorsorteervak is hierin ook meegenomen.

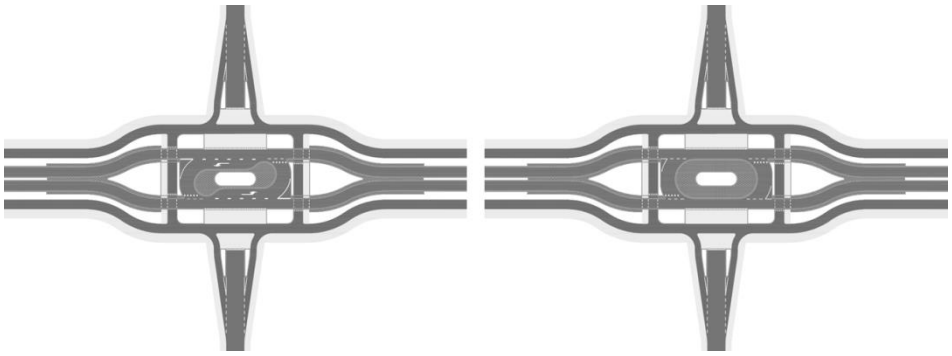
afbeelding 16: de inrichtingsvorm lengte weergegeven in het voorrangsplein



Voorsorteervak

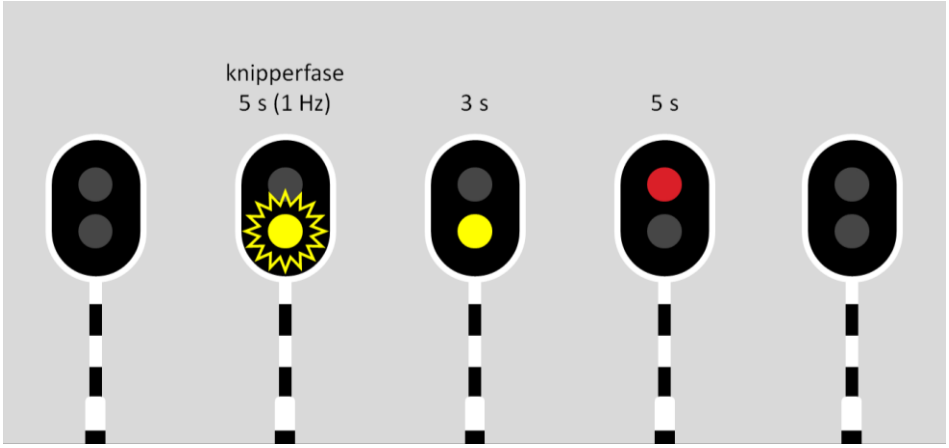
Wanneer weinig verkeer gebruikmaakt van het middengedeelte van het voorrangsplein is het wellicht niet nodig om een voorsorteervak aan te brengen. Het effect hiervan op de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein is onbekend. Tijdens de simulaties is daarom een variant doorgerekend waarbij het voorsorteervak afwezig was. Dit is in het simulatiemodel alleen mogelijk door een ander kruispunttype door te rekenen: kruispunt met brede middenberm. Alle overige instellingen zijn hierbij ongewijzigd gebleven – in vergelijking met de standaard inrichtingsvorm. Verwacht werd dat het voorsorteervak zorgt voor een hogere verkeersveiligheid en capaciteit op het voorrangsplein dan zonder voorsorteervak. Het verschil tussen een voorrangsplein met en zonder voorsorteervak staat afgebeeld in afbeelding 17.

afbeelding 17: voorbeeld van een voorrangsplein met een voorsorteervak (links) en zonder een opstelvak (rechts)



Hiaatvergroter

Als laatste is gekeken welk effect een hiaatvergroter kan hebben op de capaciteit van en de verkeersveiligheid op het voorrangsplein. Een hiaatvergroter is een doseerlicht dat – zoals het woord als zegt – de hiaten in het verkeer vergroot. Dat doet de hiaatvergroter door op zoek te gaan naar hiaten in het verkeer en deze op te rekken. Dit wordt bewerkstelligd door het licht een korte tijd op rood te zetten. Een hiaatvergroter is vanuit beginsel alleen noodzakelijk wanneer in het maatgevend uur de hiaten op de hoofdrichting zo klein zijn, dat het verkeer uit de zijrichting – of op het middengedeelte – langer dan 20 seconde moet wachten om in te voegen of over te steken. Door de hiaatvergroter krijgt het verkeer vanuit de zijrichting meer geschikte hiaten. De werking van een hiaatvergroter staat afgebeeld in afbeelding 18.



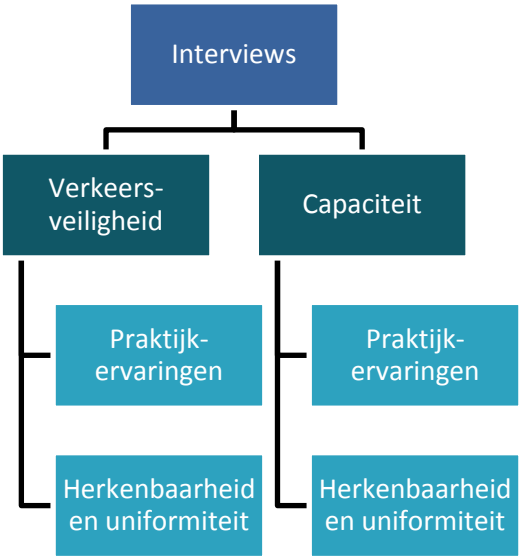
afbeelding 18: voorbeeld van de cyclus van de hiaatvergroter

Tijdens de simulaties zijn de grenswaarden doorgerekend met een hiaatvergroter die is ingesteld op 5 seconde. Deze waarde is aangeraden door de heer Tromp: "Je zult zien dat een langere roodtijd niet tot een betere doorstroming leidt." Na controle is dit ook daadwerkelijk vastgesteld. Verwacht werd dat met een hiaatvergroter zowel de verkeersveiligheid als de capaciteit van het voorrangsplein wordt verbeterd.

2.5 Interviews

Naast het locatieonderzoek en de simulaties zijn ook interviews afgenomen met experts en ambtenaren. Voor deze aanpak is gekozen omdat uit interviews kan worden gevraagd naar praktijkervaringen. Daarnaast kunnen experts en gemeenten punten aangeven waaraan een voorrangsplein moet voldoen of juist niet. Dit deelonderzoek is gericht op een tweetal aspecten, deze zijn weergegeven in figuur 4. Deze aspecten worden in de volgende paragrafen toegelicht.

figuur 4: overzicht deelonderzoek 'Interviews'



2.5.1 Praktijkervaringen

Om praktijkervaringen te achterhalen is tijdens de interviews gevraagd naar de ervaringen van experts en gemeenten met het voorrangsplein. Gemeenten weten goed of het voorrangsplein in hun wegennet werkt, of niet. Daarnaast hebben gemeenten contact met de weggebruikers. Zo wisten de geïnterviewde gemeenten waar weggebruikers het mee oneens zijn en waar zij tegen aan lopen. Experts hadden vaak minder ervaring met het voorrangsplein. Zij hebben echter tijdens de interviews wel hun expertise uit het vakgebied gekoppeld aan het voorrangsplein, waardoor zij toch een bruikbare bijdrage hebben geleverd. Met de resultaten uit de interviews kan een uitspraak worden gedaan over de twee thema's: verkeersveiligheid en capaciteit.

2.5.2 Herkenbaarheid en uniformiteit

Uit het vooronderzoek is gebleken dat er diverse inrichtingskenmerken van voorrangspleinen bestaan. Deze verschillende inrichtingskenmerken kunnen invloed hebben op de verkeersveiligheid en de capaciteit. De experts en gemeenten hebben met hun kennis en ervaring een bijdrage geleverd voor de toekomstige voorrangspleinen. Zij konden vanuit hun expertise/ervaringen zeggen welk aspect van een voorrangsplein kan bijdragen aan de herkenbaarheid van het kruispunt voor de weggebruiker. Tevens kunnen deze aspecten zorgen voor meer uniformiteit, als deze aspecten steeds weer worden toegepast. De uitkomsten van de interviews zijn meegenomen bij het opstellen van een meer uniforme inrichtingsvorm van het voorrangsplein.

2.5.3 De geïnterviewde personen

De geïnterviewde personen zijn geselecteerd op basis van expertise en ervaringen met het voorrangsplein. Voor de experts zijn de volgende personen geselecteerd:

- Atze Dijkstra is verkeersveiligheidsonderzoeker bij de SWOV. Hij heeft veel ervaring met het onderzoeken van verkeersveiligheid op kruispunten;
- Jeroen Hendriks is werkzaam bij BonoTraffics als verkeersontwerper. Hij heeft diverse voorrangspleinen ontworpen, in het bijzonder voor de gemeente Hilversum;
- Jaap Kamminga en Jan van der Horst zijn beiden werkzaam bij de Fietsersbond. Kamminga is programmacoördinator verkeersveiligheid en Van der Horst is verkeerskundig adviseur bij de Fietsersbond. Zij hebben beiden kennis over welke plaats van fietsers op het voorrangsplein zou moeten hebben;
- Henk Tromp is werkzaam als adviseur bij Move Mobility. Hij heeft meegewerkt aan het ontstaan van Langzaam-sneller en wordt gezien als één van de bedenkers van het voorrangsplein;
- Maartje de Goede is gedragsonderzoeker bij TNO. Zij heeft meegewerkt aan diverse onderzoeken naar het gedrag van de weggebruiker met betrekking tot de omgeving.

Naast de expert zijn ook een drietal gemeenten geïnterviewd. Hierbij ging het om de volgende gemeenten:

- gemeente Haarlemmermeer, in Hoofddorp liggen een aantal voorrangspleinen met drie aansluitende wegen (twee in de hoofdrichting en één in de zijrichting). Deze zijn mede tot stand gekomen door middel van publieksparticipatie. Gesproken is met Joost Koldewee en Ramon Boerlijst, verkeerskundige bij de gemeente Haarlemmermeer;
- gemeente Heerhugowaard, heeft een aantal voorrangspleinen in bestaande wegen aangelegd en ook in nieuwe wegen aangelegd. Gesproken is met Jan-Albert de Leur en Martien Ippel, beide heren zijn beleidsadviseur bij de gemeente Heerhugowaard;
- gemeente Arnhem, in Arnhem liggen voorrangspleinen die een andere inrichtingskenmerken hebben en waar de fietser over het middeneiland wordt geleid. Gesproken is met Guido Coumans, beleidsadviseur bij de gemeente Arnhem.

Tevens is naast dit drietal gemeenten ook getracht een interview te houden met gemeente Hilversum. Na diverse pogingen is het – door omstandigheden bij gemeente Hilversum – niet gelukt om een interview af te nemen met gemeente Hilversum.

2.5.4 Het interview

Voor de interviews is vooraf een vragenlijst opgesteld, die het doel had om het juiste resultaat uit het interview te halen en het interview te sturen. Tijdens de interviews is naast de vragenlijst ruimte gelaten om andere vragen te kunnen stellen. Een aantal interviewvragen is alleen opgesteld voor de gemeenten, omdat deze betrekking hadden op de motivatie om een voorrangsplein aan te leggen en de eventuele opmerkingen vanuit de weggebruikers. Gemiddeld duurde een interview tussen de 60 en 90 minuten. De interviews vonden grotendeels plaats tijdens het vooronderzoek. Hierdoor was het niet mogelijk om specifieke vragen over de diverse inrichtingskenmerken te stellen. Desalniettemin zijn tijdens de interviews antwoorden gegeven, die weldegelijk iets zeggen over de inrichtingskenmerken.

Interviewvragen experts

De volgende vragen zijn gesteld tijdens de interviews met de experts:

1. Welke ervaringen heeft u met voorrangspleinen?
2. Wat is uw algemene indruk van het kruispunttype?
3. Wat zijn volgens u de voordelen en nadelen van voorrangspleinen?
4. Is een uniforme uitvoering wenselijk?
5. Zou volgens u de standaardvorm van het voorrangsplein eruit moeten zien zoals op de visualisatie is weergegeven?
6. Wat vindt u van de drietaks varianten?
7. Welke basiskenmerken moet het voorrangsplein volgens u hebben?
8. Is bij een voorrangsplein tussen een GOW en een ETW een middengedeelte in een ander kleur/verhardingstype wenselijk?
9. Wat is de beste manier om verkeersveiligheid/begrijpelijkheid vast te stellen op een kruispunt?

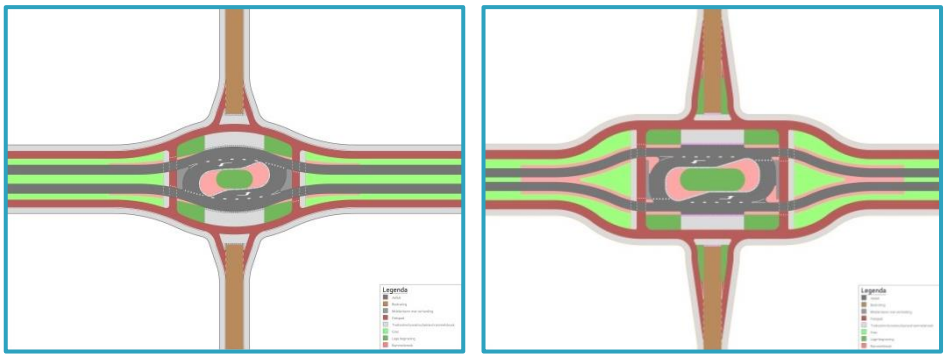
Interviewvragen gemeenten

De volgende vragen zijn gesteld tijdens de interviews met de gemeenten:

1. Welke ervaringen heeft u met voorrangspleinen?
2. Wat was voor de gemeente de reden/aanleiding om te kiezen voor het voorrangsplein?
3. Zijn er klachten/opmerkingen bij de gemeente geweest over de aangelegde voorrangspleinen?
4. Hebt u het idee dat het kruispunttype goed begrepen/gebruikt wordt?
5. Hoe is het gesteld met de verkeersveiligheid op de voorrangspleinen?
6. Is de doorstroming verbeterd ten opzichte van de eerdere situatie?
7. Zou u voorrangspleinen aanbevelen aan andere wegbeheerders, en zo ja: in welke gevallen?
8. Hebt u een idee wat de aanlegkosten waren en hoeveel de onderhoudskosten bedragen?
9. Is een uniforme uitvoering wenselijk?
10. Zou volgens u de standaardvorm van het voorrangsplein eruit moeten zien zoals op de visualisatie is weergegeven?
11. Wat vindt u van de drietaks varianten?
12. Welke basiskenmerken moet het voorrangsplein volgens u hebben?
13. Is bij een voorrangsplein tussen een GOW en een ETW een middengedeelte in een ander kleur/verhardingstype wenselijk?

In de interviewvragen wordt gesproken van een visualisatie. Hiervoor zijn twee visualisaties gebruikt. Deze zijn weergegeven in afbeelding 19.

afbeelding 19: visualisaties van het voorrangsplein die tijdens de interviews zijn gebruikt



2.6 Verwerken van de resultaten

Uit de verschillende deelonderzoeken zijn gegevens gekomen, die iets zeggen over de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. Deze gegevens zijn verwerkt en geanalyseerd, om zo tot de hoofd- en deelvragen te kunnen beantwoorden. Hieronder staat beschreven welke gegevens per deelonderzoek zijn verkregen en hoe deze zijn verwerkt.

2.6.1 Locatieonderzoek

Tijdens het locatieonderzoek zijn cameraobservaties en snelheidsmetingen uitgevoerd. Hieronder staat beschreven hoe deze uitkomsten zijn verwerkt.

Cameraobservaties

Tijdens het bekijken van de camerabeelden is afwijkende verkeersgedrag genoteerd voor zowel het gemotoriseerde verkeer als het fietsverkeer – zoals beschreven in §2.3.2. De gedragspunten zijn vervolgens geanalyseerd, door te kijken naar het inrichtingskenmerk in combinatie met het gedrag. Door middel van deze analyse wordt duidelijk welke voor- en nadelen een inrichtingskenmerk heeft op het gedrag van de weggebruikers.

Snelheidsmetingen

Alle genoteerde snelheden worden verwerkt in het computerprogramma SPSS. Hierbij worden de snelheden naar locatie, onderzoekmoment en richting (wegvak/kruispunt) ingedeeld. Uit de gegevens worden de gemiddelde snelheden en de V_{85} verkregen. De V_{85} houdt in dat 85% van de voertuigen niet harder rijdt dan die snelheid. Door de snelheid op het kruispunt af te trekken van de snelheid op het wegvak is de snelheidsreductie per inrichtingselement inzichtelijk geworden. Hierna is de verhouding van de snelheidsreducties tussen de verschillende inrichtingselementen uit de resultaten gehaald. Om de betrouwbaarheid van de gegevens te controleren is gekeken naar de spreiding van de snelheden. Daarnaast wordt gecontroleerd of de gegevens significant verschillen, om met een betrouwbaarheid van 95% vast te stellen dat de gegevens die verkregen zijn per locatie ook daadwerkelijk van elkaar verschillen, of dat er toeval in het spel is.

2.6.2 Simulaties

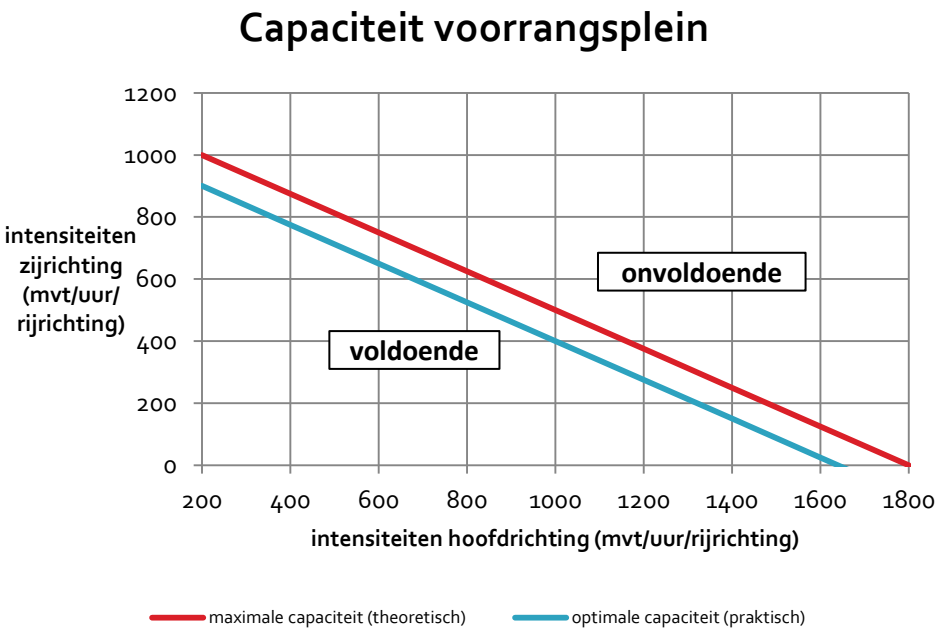
De simulaties zijn gebruik om verschillende aspecten met betrekking tot verkeersveiligheid en capaciteit te berekenen. De resultaten hieruit zijn verwerkt in tabellen en grafieken, waarbij verschillende parameters getest zijn. Hieronder staat per thema toegelicht hoe deze zijn verwerkt.

Verkeersveiligheid

Uit het simulatieprogramma zijn gegevens verkregen die een indicatie geven van de verkeersveiligheid: de geforceerde invoegbewegingen. Deze bewegingen treden eerder op naar mate het voertuig uit de zijweg langer moet wachten – door te kleine hiaten in de verkeersstroom op de hoofdrichting. Bij alle opgestelde varianten zijn de geforceerde invoegbewegingen genoteerd om zo iets te kunnen zeggen over de verkeersveiligheid; hoe meer geforceerde invoegbewegingen, hoe meer kans op een conflict. De gegevens per variant zijn naast elkaar gezet om een goed beeld te geven over verschillen in verkeersveiligheid. Hierdoor wordt getracht iets te kunnen zeggen over welke varianten beter zijn, en waarom.

Capaciteit

Om de capaciteit met het simulatieprogramma te kunnen analyseren is gekeken naar de vertragingstijden en oversteekbaarheid voor langzaam verkeer. De vertragingstijden van de standaard inrichtingsvorm zijn in een tabel verwerkt, zodat inzichtelijk is welke capaciteit het voorrangsplein heeft bij verschillende intensiteiten op de hoofdrichting in combinatie met intensiteiten op de zijrichting. Hierbij is gekeken naar de praktische en theoretische grens, zoals uitgelegd in §2.4.3. Een voorbeeld van een grafiek waarin deze grenzen zijn weergegeven, staat in grafiek 3. De verschillende varianten zijn ook doorgerekend en vervolgens vergeleken met de vertragingstijden van de standaard inrichtingsvorm.



grafiek 3: voorbeeld grafiek praktische en theoretische grenzen

Wat betreft de oversteekbaarheid is gekeken naar hoe vaak een acceptabel hiaat voor het oversteken van langzaam verkeer voorkomt per minuut. Hierbij zijn twee gradaties aangehouden: hiaat groter dan 4 seconde en hiaat groter dan 9 seconde (output van het simulatieprogramma). De resultaten zijn tevens verwerkt in een grafiek, om zo een goede vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende intensiteiten en varianten.

Met het computerprogramma Excel is gekeken of een verband bestaat tussen vertragingstijden en intensiteiten uit de zijrichting (per intensiteit op de hoofdrichting). Voor zowel de capaciteit als de oversteekbaarheid is met Excel gekeken of er een verband is tussen de gegevens.

2.6.3 Interviews

Tijdens de interviews zijn twee aspecten ter tafel gekomen: praktijkervaringen en herkenbaarheid/uniformiteit. De antwoorden van de geïnterviewde personen zijn gebruikt om iets te zeggen over de verkeersveiligheid en capaciteit van het voorrangsplein. Alle interviews zijn uitgewerkt in een kort verslag, waarin de belangrijkste onderwerpen uit dat desbetreffende interview naar voren komen. Deze verslagen zijn opgenomen in Bijlage 6: Interviews. Alle antwoorden die betrekking hebben op dezelfde onderwerpen zijn vervolgens aan elkaar gekoppeld.

3 Resultaten

4650 snelheidsmetingen, 24 uur beeldmateriaal,
±300 doorrekeningen van de simulatie en 8 interviews

3.1 Locatieonderzoek 71
3.1.1 Snelheidsmeting 71
3.1.2 Cameraobservatie 79
3.2 Simulaties 89
3.2.1 Standaard vormgeving 90
3.2.2 Sterkte uitbuiging 95
3.2.3 Lengte en breedte 97
3.2.4 Voorsorteervak 101
3.2.5 Hiaatvergroter 103
3.2.6 Inrichtingskenmerken en simulaties 106
3.3 Interviews 108
3.3.1 Praktijkervaringen 108
3.3.2 Capaciteit 109
3.3.3 Fietsverkeer 109
3.3.4 Herkenbaarheid 109
3.3.5 Uniformiteit 110
3.3.6 Rammelstroken 111
3.3.7 Inrichtingskenmerken en interviews 111

In dit hoofdstuk komen de belangrijkste resultaten van dit onderzoek aan bod. Per deelonderzoek worden de resultaten behandeld en geanalyseerd. Een uitgebreid overzicht van alle resultaten van dit onderzoek zijn te vinden in de Bijlage 3: Snelheidsmeting.

3.1 Locatieonderzoek

Tijdens de locatieonderzoeken zijn twee soorten metingen uitgevoerd: snelheidsmetingen en cameraobservaties. In dit hoofdstuk worden als eerste de resultaten van de snelheidsmeting per kruispunt behandeld, vervolgens komen de resultaten van de cameraobservatie per kruispunt aan bod.

3.1.1 Snelheidsmeting

De resultaten van de snelheidsmeting zijn onderverdeeld per kruispunt; als eerste de Johan de Wittlaan, vervolgens de Kamerlingh Onnesweg en als laatste de Diependaalselaan. In de metingen is nauwelijks een snelheidsverschil gemeten tussen de diverse tijdstippen.

Johan de Wittlaan

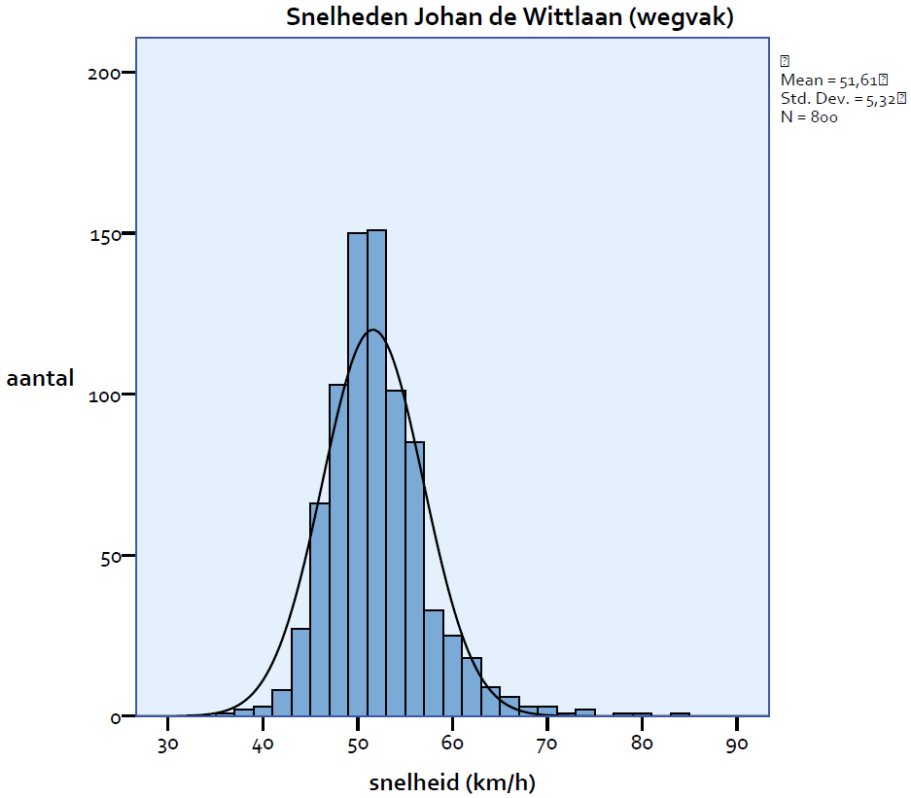
Op de Johan de Wittlaan zijn 1600 snelheden gemeten: 800 op het wegvak en 800 op het kruispunt. De snelheden zijn gemeten op de meetdagen 1 en 2 april 2015. Daarnaast is ook gebruik gemaakt van de reserve meetdag 22 april 2015. Dit was nodig omdat het weer voor de middagmetingen op 1 april 2015 verslechterde. Hierdoor konden geen representatieve metingen van de snelheid worden gedaan. Op 1 april was het weer wisselvallig met korte buien en zon. Het weer had geen zichtbare invloed op de snelheidsmeting; het rijgedrag week tijdens de metingen met neerslag niet af van de overige metingen. Op de andere meetmomenten was het licht bewolkt en kreeg de zon voldoende kans.

De V_{85} op het wegvak is 56 km/h, op het kruispunt is de V_{85} 47 km/h. De snelheid wordt door de uitbuiging op het voorrangsplein met 9 km/h gereduceerd (snelheidsvermindering van 16%). Ook de gemiddelde snelheid geeft hetzelfde beeld: 52 km/h op het wegvak en 42 km/h op het voorrangsplein. De minimum- en maximumsnelheid liggen op het wegvak respectievelijk op 36 km/h en 84 km/h. Op het voorrangsplein liggen de minimum- en maximumsnelheid op 29 km/h en 69 km/h. Hoewel de uiterste snelheden ver uitelkaar liggen zijn de metingen normaal verdeeld. Dit is opgenomen in grafiek 4 en grafiek 5. De standaardfout is voor het wegvak 0,188 km/h en voor het voorrangsplein 0,177 km/h. De metingen zijn betrouwbaar, omdat de standaardfout klein is.

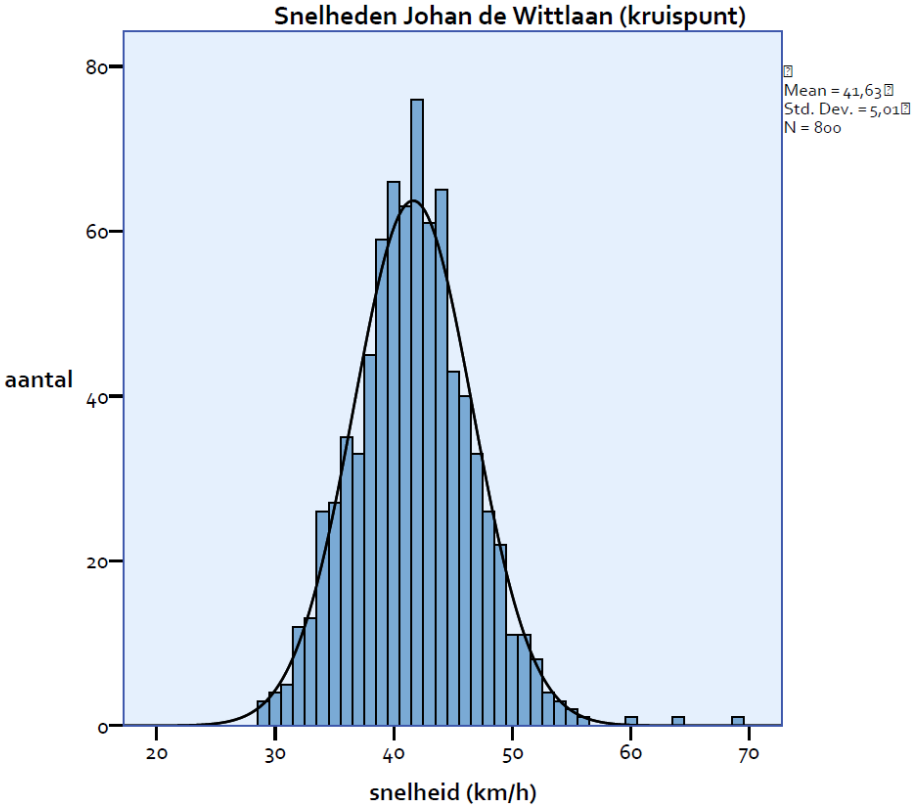
Uit de t-toets kan worden geconcludeerd dat:

'Gemiddeld genomen ligt de snelheden op het wegvak (gemiddelde snelheid 56 km/h, spreiding 5,320 km/h) hoger dan de snelheid op het kruispunt (gemiddelde snelheid 47 km/h, spreiding 5,010 km/h). Dit verschil is significant; $t = 3{,}616$; $df = 1598{,}00$; $p < 0{,}001$ bij een tweezijdige toetsing.'

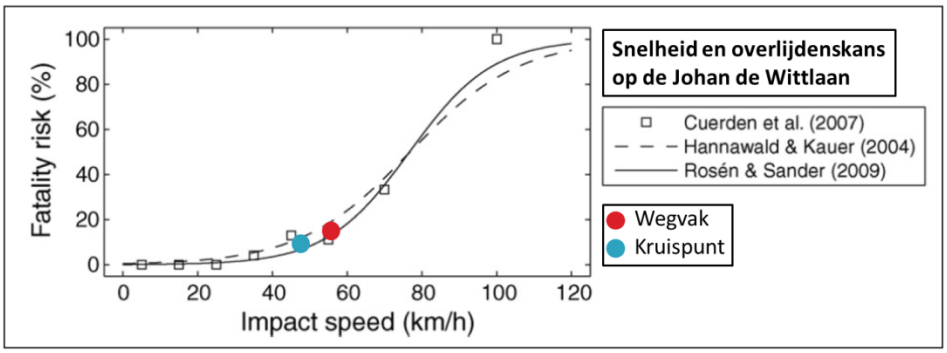
grafiek 4: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Johan de Wittlaan (wegvak)



grafiek 5: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Johan de Wittlaan (kruispunt)



Om achter de overlijdenskans voor voetgangers te komen, is de V_{85} weergegeven in een grafiek die het verband tussen overlijdenskans van voetgangers en de snelheid van de automobilisten weergeeft. De uitkomst hiervan is weergegeven in grafiek 6. De snelheid op het wegvak van de Johan de Wittlaan is 56 km/h (V_{85}). Bij deze snelheid is het overlijdenskans 15%. Op het voorrangsplein is de snelheid 47 km/h (V_{85}). Bij deze snelheid is het overlijdenskans 10%, een afname van 5%.



grafiek 6: snelheid en overlijdenskans op de Johan de Wittlaan

Kamerlingh Onnesweg

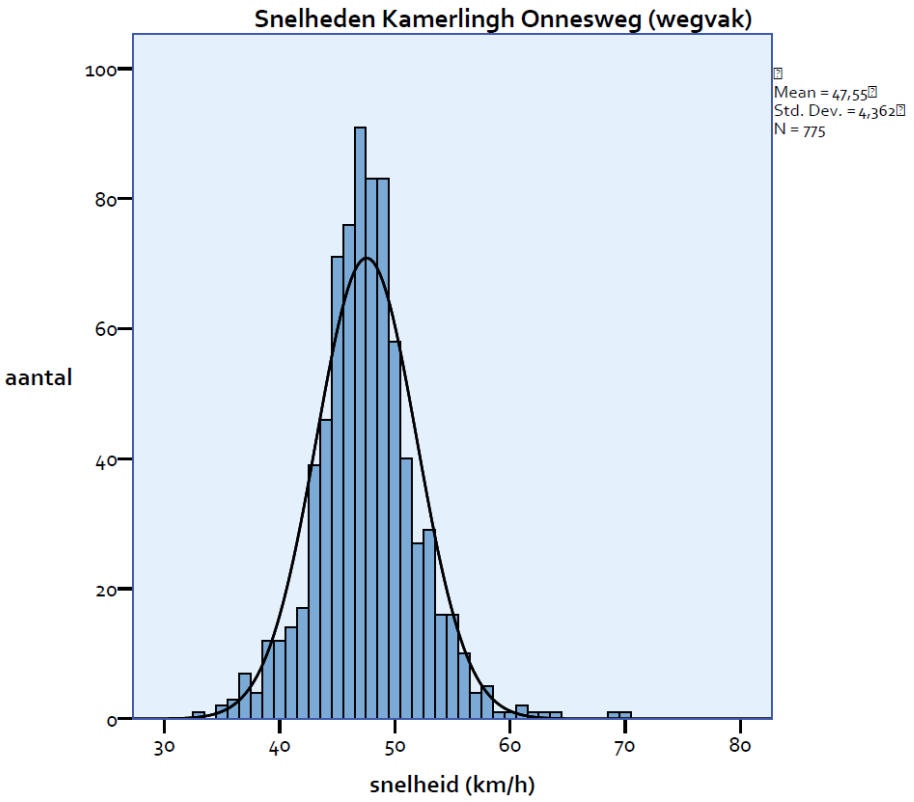
Op de Kamerlingh Onnesweg zijn 1550 snelheden gemeten: 775 op het wegvak en 775 op het kruispunt. De snelheden zijn gemeten op de meetdagen 8 en 9 april 2015. Door de hoge verkeersdrukte tijdens de ochtendmeting op woensdag 8 april 2015 kon de quota van 100 voertuigen niet worden gehaald. Hierdoor is tijdens deze ochtendmeting de snelheid van 75 auto's per richting gemeten. Tijdens de ochtendmetingen was het bewolkt. De overige metingen was het zonnig met nauwelijks bewolking.

De V_{85} op het wegvak is 51 km/h, op het kruispunt is de V_{85} 41 km/h. De snelheid wordt door de uitbuiging van het voorrangsplein met 10 km/h gereduceerd (snelheidsvermindering van 20%). Ook de gemiddelde snelheid geeft hetzelfde beeld: 48 km/h op het wegvak en 36 km/h op het voorrangsplein. De minimum- en maximumsnelheid liggen op het wegvak respectievelijk op 33 km/h en 70 km/h. Op het voorrangsplein ligt de minimum- en maximumsnelheid op 25 km/h en 56 km/h. Hoewel de uiterste snelheden ver uitelkaar liggen zijn de metingen normaal verdeeld. Dit is opgenomen in grafiek 7 en grafiek 8. De standaardfout is voor het wegvak 0,157 km/h en voor het voorrangsplein 0,177 km/h. De metingen zijn betrouwbaar, omdat de standaardfout klein is.

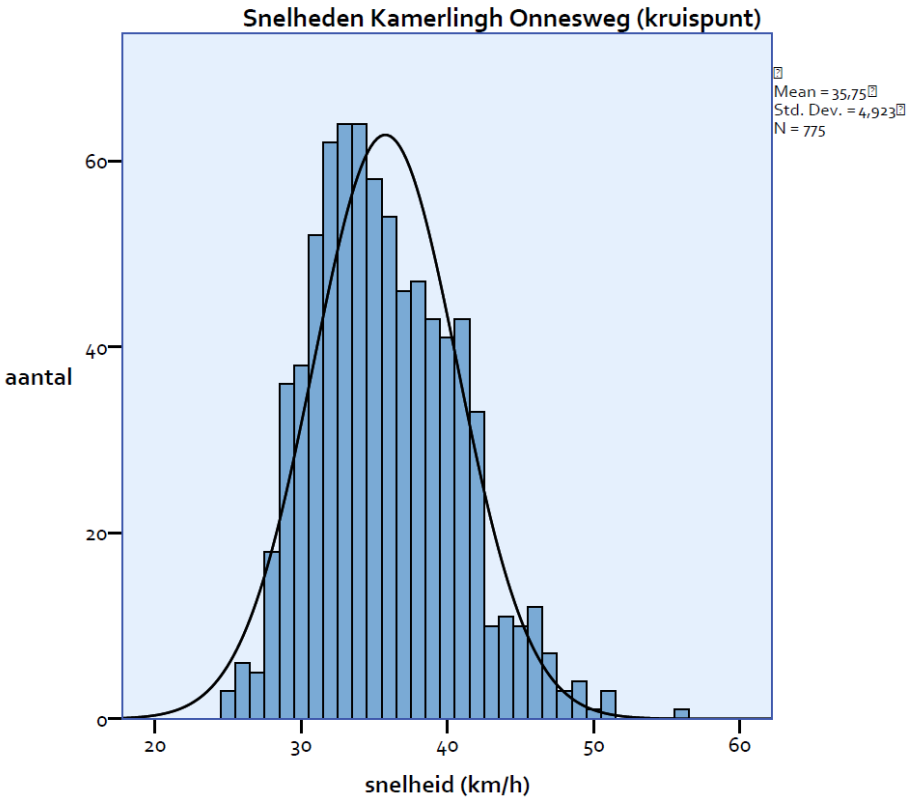
Uit de t-toets kan worden geconcludeerd dat:

'Gemiddeld genomen ligt de snelheden op het wegvak (gemiddelde snelheid 48 km/h, spreiding 4,362 km/h) hoger dan de snelheid op het kruispunt (gemiddelde snelheid 36 km/h, spreiding 4,923 km/h). Dit verschil is significant; $t = 49{,}916$; $df = 1525{,}90$; $p < 0{,}001$ bij een tweezijdige toetsing.'

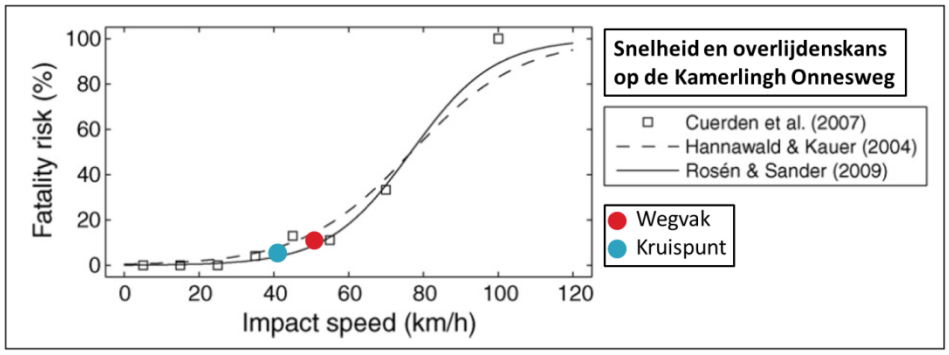
grafiek 7: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Kamerlingh Onnesweg (wegvak)



grafiek 8: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Kamerlingh Onnesweg (kruispunt)



In grafiek 9 is voor de Kamerlingh Onnesweg de V_{85} weergegeven in een grafiek, die het verband weergeeft tussen snelheid en overlijdenskans van voetgangers. Uit deze grafiek blijkt dat de overlijdenskans op het wegvak 12 % is (V_{85} = 51 km/h). Op het voorrangsplein ligt deze overlijdenskans op 5 % (V_{85} = 41 km/h). Dit betekent een afnamen van 7 %.



grafiek 9: snelheid en overlijdenskans op de Kamerlingh Onnesweg

Diependaalselaan

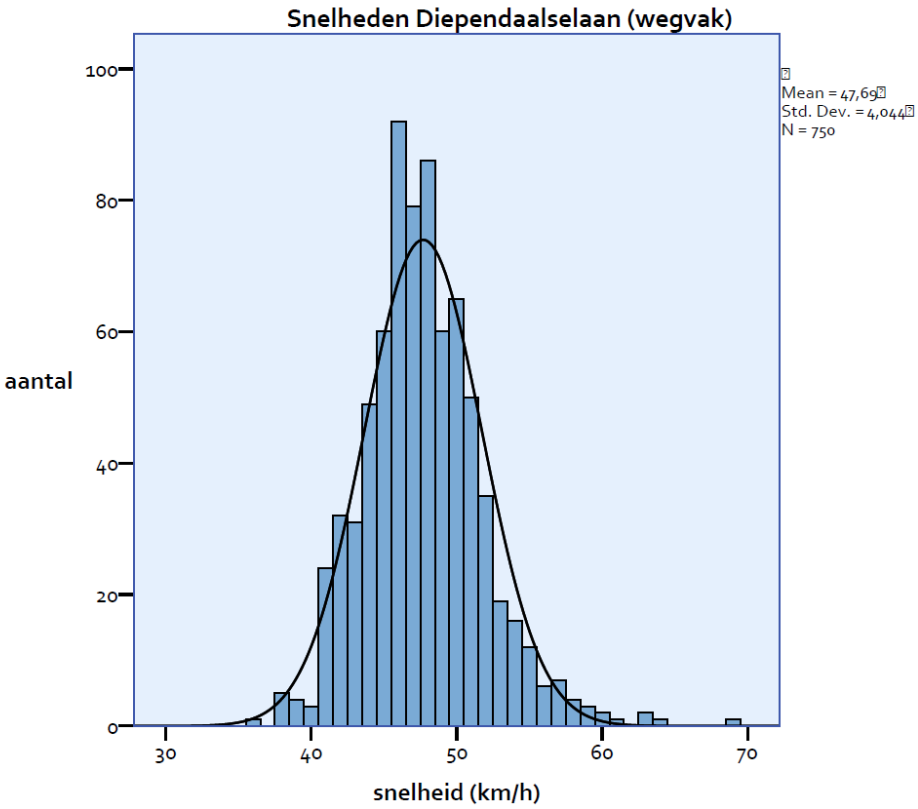
Op de Diependaalselaan zijn 1400 snelheden gemeten: 700 op het wegvak en 700 op het kruispunt. De snelheden zijn gemeten op de meetdagen 15 en 16 april 2015. Daarnaast is door externe omstandigheden ook gebruik gemaakt van de reservedag 23 april 2015, voor een meting in de ochtendspits. Door de hoge verkeersdrukte tijdens de ochtendmetingen kon de quota van 100 voertuigen niet worden gehaald. Hierdoor zijn tijdens deze ochtendmeting van woensdag 15 april 2015 de snelheid van 75 auto's per richting gemeten. Tijdens alle metingen het zonnig met nauwelijks bewolking.

De V_{85} op het wegvak is 51 km/h, op het kruispunt is de V_{85} 49 km/h. De snelheid wordt gereduceerd met 2 km/h (snelheidsvermindering van 4 %). Het verschil in snelheid tussen het wegvak en het kruispunt is verwaarloosbaar. De gemiddelde snelheid geeft het volgende beeld: 48 km/h op het wegvak en 45 km/h op het voorrangsplein. De minimum- en maximumsnelheid liggen op het wegvak respectievelijk op 36 km/h en 69 km/h. Op het voorrangsplein ligt de minimum- en maximumsnelheid op 31 km/h en 62 km/h. Hoewel de uiterste snelheden ver uitelkaar liggen zijn de metingen normaal verdeeld. Dit is te zien in grafiek 10 en grafiek 11. De standaardfout is voor het wegvak 0,148 km/h en voor het voorrangsplein 0,163 km/h. De metingen zijn betrouwbaar, omdat de standaardfout klein is.

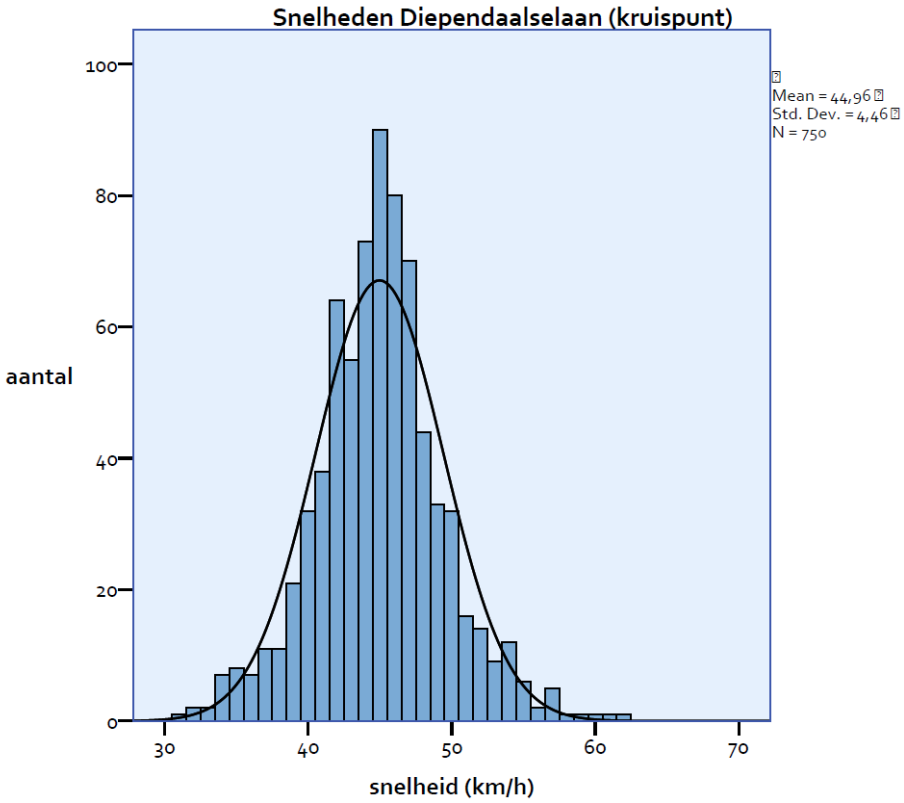
Uit de t-toets kan worden geconcludeerd dat:

'Gemiddeld genomen ligt de snelheden op het wegvak (gemiddelde snelheid 49 km/h, spreiding 4,044 km/h) hoger dan de snelheid op het kruispunt (gemiddelde snelheid 45 km/h, spreiding 4,460 km/h). Dit verschil is significant; t = 12,397; df = 1498,00; p < 0,001 bij een tweezijdige toetsing.'

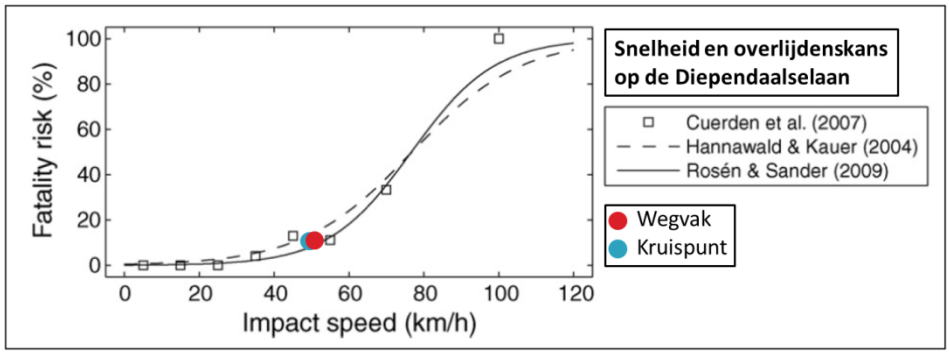
grafiek 10: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Diependaalselaan (wegvak)



grafiek 11: histogram met de normaalverdeling voor de snelheidsmeting op de Diependaalselaan (kruispunt)



Net als voor de andere meetlocaties is bij de Diependaalselaan de V_{85} uitgezet op de grafiek met de overlijdenskans. Deze is weergegeven in grafiek 12. Uit deze grafiek komt dat de overlijdenskans op het wegvak 12 % is (V_{85} = 51 km/h). Het verschil met de overlijdenskans is 1 % (11 %; V_{85} = 49 km/h).



grafiek 12: snelheid en overlijdenskans op de Diependaalselaan

Verschil in snelheid op de wegvakken

Uit het onderzoek is gebleken dat op het wegvak bij de kruispunten een verschillende snelheid wordt gereden. De verklaring voor de hogere snelheid op de Johan de Wittlaan is de inrichting van de aansluitende wegvakken en de omgeving; de Johan de Wittlaan kent lange rechtstanden met een brede middenberm (3 meter breed) en heeft bebouwing op een ruime afstand van de weg. Hierdoor heeft de automobilist een ruime blik op het wegvak hetgeen de hogere snelheid kan verklaren. De Kamerlingh Onnesweg en de Diependaalselaan kenmerken zich door grote bomen, die dicht op de wegkant staan. Daarnaast vormen de bomen een bladerdek over de weg, waardoor deze een visuele tunnel vormen. Op de Kamerlingh Onnesweg zijn de fietspaden en de rijbaan alleen gescheiden door een trottoirband en er is geen verhoogde rijbaanscheiding aanwezig, waardoor het tegemoetkomend verkeer dichter langs elkaar rijdt. De bebouwing staat dicht langs de weg. Op de Diependaalselaan zijn langs de rijbaan parkeervakken aangebracht. Hier stonden ook veelal voertuigen geparkeerd. Daarnaast is hier een brede middenberm aanwezig (15 meter). Langs de Diependaalselaan staat hoge bebouwing op relatief korte afstand. Vooral de bomen en bebouwing zorgen voor een wegbeeld dat smaller oogt, zowel op de Kamerlingh Onnesweg als Diependaalselaan. De omgeving kan hierdoor invloed hebben op de snelheid.

Inrichtingskenmerken en snelheid

Als alleen de snelheid wordt gebruikt als indicator van de verkeersveiligheid, dan is de Kamerlingh Onnesweg het meest veilig. Deze lage snelheid op het voorrangsplein wordt veroorzaakt door een lagere snelheid op het wegvak in combinatie met de uitbuiging. Dit komt de verkeersveiligheid ten goede. De Johan de Wittlaan en de Diependaalselaan liggen qua snelheid op het voorrangsplein dicht bij elkaar (V_{85} is respectievelijk 47 en 49 km/h). Hier liggen ook het overlijdensrisico dicht bij elkaar (respectievelijk 10 en 11%). Toch kan gezegd worden dat de Johan de Wittlaan beduidend veiliger is dan de Diependaalselaan. Dit is geconcludeerd uit de snelheidsreducties. De

snelheidsreductie was op de Johan de Wittlaan 9 km/h en op de Diependaalselaan 2 km/h. Dit geeft weer dat de uitbuiging op de Johan de Wittlaan een hoge doorrijdsnelheid – snelheden van boven 60 km/h – vrijwel onmogelijk maakt. De Diependaalselaan heeft geen uitbuiging waardoor hier hogere snelheden mogelijk zijn, wat kan leiden tot verslechtering van de verkeersveiligheid. Daarnaast geeft de snelheidsreductie aan dat de uitbuiging op de Johan de Wittlaan voor meer accentuering zorgt. Hierdoor zijn automobilisten meer alert ter hoogte van het kruispunt.

Wanneer het inrichtingskenmerk 'locatie van de uitbuiging' de snelheidsreductie wordt bekeken, reduceert het voorrangsplein in de Kamerlingh Onnesweg de snelheid het beste, dit is weergegeven in tabel 10. Het gaat hier om een uitbuiging van het begin tot het eind van het voorrangsplein (met de maximale uitbuiging in het midden). Tijdens de metingen op locatie is de sterkte en de plaats van de uitbuiging op de Kamerlingh Onnesweg als meest veilig naar voren gekomen – als het gaat om de doorrijdsnelheid (de overlijdenskans ligt het laagst).

De vraag is of de snelheid alleen afhankelijk is van de locatie van de uitbuiging. Er kan echter worden aangenomen dat ook andere factoren invloed hebben op deze doorrijdsnelheid dan alleen de uitbuiging. Zo kunnen andere inrichtingskenmerken ook invloed hebben op de snelheidsreductie.

tabel 10: locatie van de uitbuiging in vergelijking met de snelheidsreductie en de overlijdenskans

Locatie uitbuiging	Snelheidsreductie	Overlijdenskans
voor en na	16%	10%
begin tot eind	20%	5%
geen	4%	11%

3.1.2 Cameraobservatie

In deze paragraaf staan de resultaten van de cameraobservatie per kruispunt beschreven. De uitgebreide resultaten per observatiemoment zijn opgenomen in Bijlage 4: Cameraobservatie. Per meting heeft de camera 1 uur aan beeldmateriaal geregistreerd. In totaal is per kruispunt 8 uur aan beeldmateriaal verzameld.

Tijdens de cameraobservatie is gelet op het weggedrag van automobilisten en fietsers. Zoals in §2.3.2 al is vermeld, is bij het gemotoriseerde verkeer specifiek gelet op de volgende punten:

- naast elkaar opstellen op het voorrangsplein: het gemotoriseerde verkeer maakt 'efficiënt' gebruik van de ruimte op het voorrangsplein waardoor het verkeer naast elkaar staat in plaats van achter elkaar (verkeersveiligheid);
- spookrijden: hierbij wordt gekeken of het gemotoriseerde verkeer tegen de gewenste richting in rijdt (verkeersveiligheid);
- geen voorrang verlenen: automobilisten verlenen geen voorrang aan het kruisende verkeer, waardoor een conflict kan ontstaan (verkeersveiligheid);
- ongewenst voorrang verlenen: automobilisten verlenen voorrang aan het kruisende verkeer, terwijl deze geen voorrang heeft (verkeersveiligheid en capaciteit);
- blokkade door (middel)zware voertuigen: het opstellen van (middel)zware voertuigen zorgt ervoor dat de hoofdrichting niet meer kan doorstromen (capaciteit);
- opstelvak is vol: een van de opstelvakken voor links afslaand verkeer staat vol met voertuigen waardoor de doorstroming op de hoofrichting in gevaar komt (capaciteit);
- terugslag van andere kruispunten: doordat andere kruispunten of geregelde oversteekplaatsen het verkeer niet kan verwerken slaat het terug op het voorrangsplein waardoor deze ook vast loopt (capaciteit).

Bij het fietsverkeer is gelet op de volgende punten:

- spookrijden: hierbij wordt gekeken of het fietsverkeer tegen de gewenste richting in rijdt;
- geen voorrang verlenen: fietsers verlenen geen voorrang aan het kruisende verkeer, waardoor een conflict kan ontstaan;
- geen gebruik maken van de fietsvoorzieningen: fietsers maken geen gebruik van de fietsvoorzieningen en steken het voorrangsplein over op (voor fietsers) onbedoelde plekken.

Johan de Wittlaan

Uit de resultaten blijkt dat regelmatig ongewenst voorrang is verleend op de Johan de Wittlaan. De oorzaak hiervan is eenvoudig te verklaren. Voor het voorrangsplein op de Johan de Wittlaan ligt aan beide kanten op de hoofdrichting een bushalte. Rond de ochtendspits komen grote groepen voetgangers tegelijk uit de bus en lopen naar de oversteekplaats. Doordat deze groep zo groot is, geven automobilisten sneller voorrang of nemen de voetgangers voorrang. Waardoor de andere richting ook voorrang gaat verlenen. Het voorrang nemen van deze grote groep voetgangers heeft zes keer geleid tot een conflict tussen een auto en een voetganger. Daarnaast valt het cijfer van geen voorrang verlenen op. Het gaat hier om een aantal gevallen dat de automobilist oversteekt, waardoor de auto op de hoofdrichting zijn snelheid moest aanpassen. In tabel 11 en tabel 12 zijn de resultaten opgenomen van de cameraobservatie bij de Johan de Wittlaan.

tabel 11: aantal gedragspunten bij automobilisten op de Johan de Wittlaan

Gemotoriseerd verkeer	Aantal keer
Naast elkaar opstellen	1 brommer en 1 scootmobiel
Spookrijden	4
Geen voorrang verlenen	9
Ongewenst voorrang verlenen	19
Blokkade door grote voertuigen	2
Opstelvak is vol	2
Terugslag van andere kruispunten	5

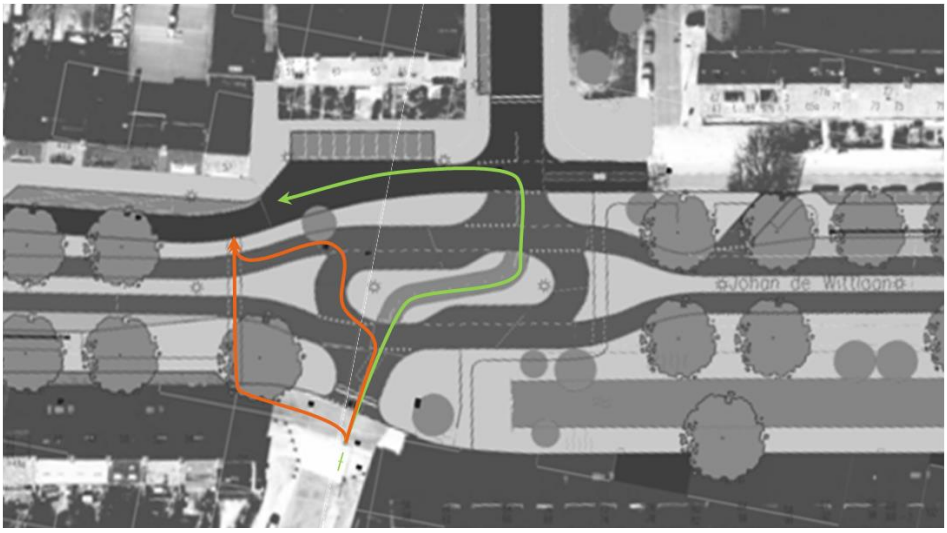
tabel 12: aantal gedragspunten bij fietsers op de Johan de Wittlaan

Fietsverkeer	Aantal keer
Spookrijden	5
Geen voorrang verlenen	2
Geen gebruik maken van fietspaden	55

Uit de observatie blijkt dat over het algemeen het verkeer op het voorrangsplein het gewenste gedrag vertoond. De weggebruikers lijken het voorrangsplein te begrijpen. Een klein aantal automobilisten vertoonde duidelijk twijfelend gedrag. Zij reden langzaam over het voorrangsplein en waren duidelijk op zoek naar de plaats waar links afgeslagen dient te worden (<1%). Dit aantal staat echter in schril contrast met het aantal automobilisten dat wel het gewenste gedrag vertoon.

Ook zijn een aantal gevallen van spookrijden waargenomen. Van de vier gevallen van spookrijden leken hiervan drie bewust te zijn uitgevoerd: deze automobilisten wilden niet helemaal om het middeneiland heen rijden en sneden zo een klein stukje af. Verondersteld wordt dat één automobilist het voorrangsplein niet leek te begrijpen en dacht dat hij de correcte route had gekozen.

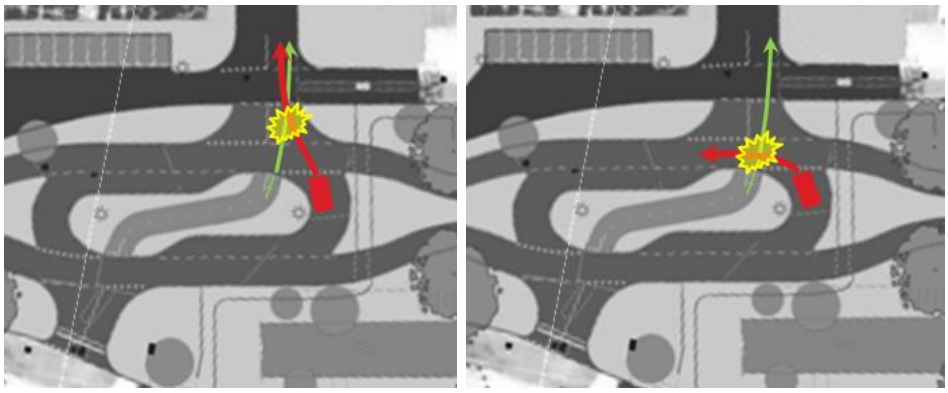
Tevens sneed een aantal fietsers via dezelfde route de weg af. Daarnaast werd veelvuldig gebruikgemaakt van het trottoir aan de buitenkant van het voorrangsplein. Deze routes zijn weergegeven in afbeelding 20 (vanaf hier: groen = gewenste route, oranje = ongewenste route). Deze routes zijn niet gewenst omdat deze over het trottoir en over de weg gaan. Dit kan leiden tot conflicten tussen de verschillende verkeersdeelnemers.



afbeelding 20: weggedrag van fietsers op de Johan de Wittlaan

(groen = gewenste route, oranje = ongewenste route)

De fietsers hebben bij het gebruik van de alternatieve routes geen last van een extra conflict, dat wordt veroorzaakt doordat het fietspad over het middeneiland loopt. Dit conflict is weergegeven in afbeelding 21. Deze ontmoeting tussen een automobilist en een fietser heeft tijdens de observaties 49 keer plaatsgevonden. Wanneer dit gebeurde was het voor de fietser en de automobilist onduidelijk wie voorrang had. Het gebeurde regelmatig dat de fietser langer moest wachten, omdat de auto's voorrang namen of voorrang kregen. Dit is mogelijk ook een oorzaak dat de fietsers gebruik maken van het trottoir, omdat zij zich onveilig voelen bij het oversteken via het middeneiland.



afbeelding 21: conflict die ontstaat bij het leggen van het fietspad over het middeneiland

Kamerlingh Onnesweg

Uit de resultaten van de cameraobservatie wordt duidelijk dat het op de Kamerlingh Onnesweg hogere intensiteiten zijn dan op de Johan de Wittlaan. In tabel 13 en tabel 14 zijn de resultaten van de cameraobservatie bij de Kamerlingh Onnesweg weergegeven.

tabel 13: aantal gedragspunten bij automobilisten op de Kamerlingh Onnesweg

Gemotoriseerd verkeer	Aantal keer
Naast elkaar opstellen	213
Spookrijden	0
Geen voorrang verlenen	54
Ongewenst voorrang verlenen	54
Blokkade door grote voertuigen	26 en 10 door twee auto's
Opstelvak is vol	13
Terugslag van andere kruispunten	60

tabel 14: aantal gedragspunten bij fietsers op de Kamerlingh Onnesweg

Fietsverkeer	Aantal keer
Spookrijden	92
Geen voorrang verlenen	14
Geen gebruik maken van fietspaden	29

Wat ten eerste opvalt aan de uitkomsten van de Kamerlingh Onnesweg is dat deze vele malen hoger zijn dan bij de Johan de Wittlaan. Een deel kan verklaard worden doordat op de Kamerlingh Onnesweg de intensiteiten hoger liggen dan op de Johan de Wittlaan. Daarnaast zijn de intensiteitsverhoudingen tussen de zij- en hoofdrichting op de Kamerlingh Onnesweg anders; op de zijrichting zijn de intensiteiten groter dan op de zijrichting van de Johan de Wittlaan. Een ander deel kan verklaard worden door de vormgeving van het voorrangsplein, en dan voornamelijk de locatie van de uitbuiging.

Tijdens de observaties werd 213 keer naast elkaar opgesteld. Het gevolg is dat beide voertuigen vervolgens tegelijk willen optrekken. Hierdoor ontstaat er een conflict tussen beide voertuigen. Sporadisch ontstond hierdoor een conflict, omdat een van de voertuigen voordrong. Een voorbeeld van dit soort conflict wordt in afbeelding 22 weergegeven.

afbeelding 22: afrijdconflict die ontstaat door het naast elkaar opstellen

Het naast elkaar opstellen gebeurde in veel gevallen door onvoldoende ruimte op het middengedeelte – vooral de ruimte tussen de rijbanen. Daarnaast is het opstelvak op het middengedeelte breed genoeg om twee auto's naast elkaar op te stellen. Daarnaast kwam het voor dat voertuigen niet naast elkaar opstelden, maar achter elkaar. Hierdoor blokkeerde de auto's de hoofdrichting. Ook grote voertuigen blokkeerde soms de hoofdrichting omdat de ruimte in het middengedeelte te klein is.

Op het voorrangsplein werden geregeld de voorrangsregels onjuist toegepast. Voertuigen verleenden geen voorrang, omdat de wachttijd soms hoog opliep. Hierdoor namen automobilisten meer risico bij het oversteken van de Kamerlingh Onnesweg. Daarnaast was ook sprake van ongewenst voorrang verlenen. Een deel hiervan werd bewust gedaan; in een aantal gevallen werd uit oogpunt van sociaal gedrag een aantal auto's voorgelaten. Een groot deel van de automobilisten leek het ongewenst voorrang verlenen onbewust te doen. Het ging hier om automobilisten die dachten dat het verkeer op het middengedeelte voorrang had en deze voor liet gaan. De desbetreffende automobilisten leken hierbij de werking van het voorrangsplein niet goed te begrijpen. Dit was terug te zien in het rijgedrag van de automobilisten; zij vertonen twijfelachtig en zoekend rijgedrag. Het gevolg is dat zij dan ongewenst voorrang verleenden.

Tijdens de observatie viel op dat regelmatig werd spookgereden door het fietsverkeer. Fietsers reden tegen de richting in omdat het korter is dan om het voorrangsplein heen rijden. Echter, het gemotoriseerde verkeer reageerde niet anders op een fietser vanuit de verkeerde richting. De fietser kreeg bij het oversteken van de hoofdrichting – zoals het hoort – geen voorrang en bij het oversteken van de zijrichting juist wel. Toch bestaat de kans dat de fietser over het hoofd wordt gezien, omdat de automobilist de fietser uit die richting niet verwacht. Dit is tijdens de observatie echter niet waargenomen. Ook sneden 29 fietsers de route af over de rammelstroken. In een aantal gevallen stond de fietser op een ongewenst locatie stil; hij stond hierbij een rechts afslaande automobilist in de weg.

Diependaalselaan

In tabel 15 en tabel 16 zijn de resultaten van de cameraobservatie op de Diependaalselaan weergegeven.

tabel 15: aantal gedragspunten bij automobilisten op de Diependaalselaan

Gemotoriseerd verkeer	Aantal keer
Naast elkaar opstellen	48 en 1 brommer
Spookrijden	7
Geen voorrang verlenen	65
Ongewenst voorrang verlenen	56
Blokkade door grote voertuigen	2
Opstelvak is vol	0
Terugslag van andere kruispunten	78

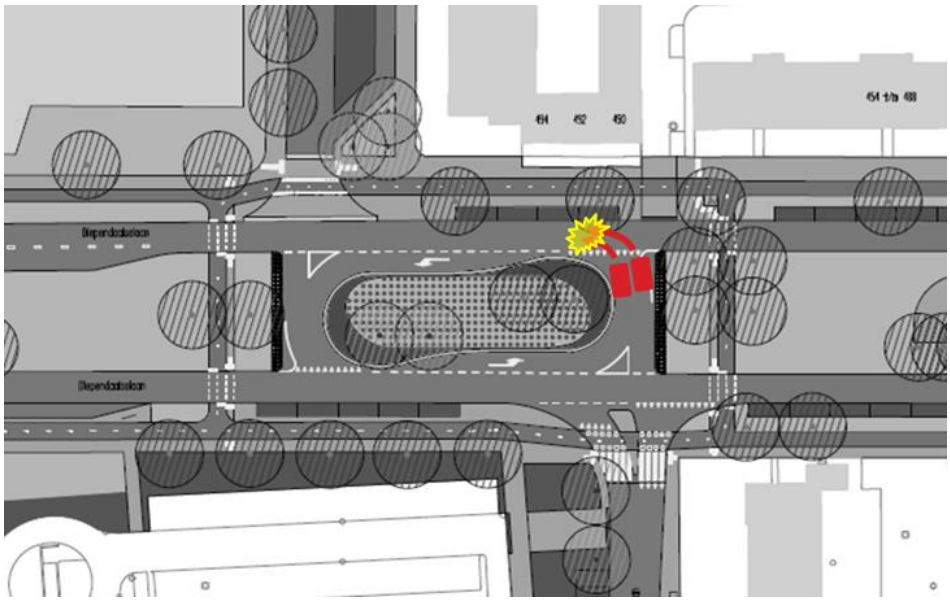
tabel 16: aantal gedragspunten bij fietsers op de Diependaalselaan

Fietsverkeer	Aantal keer
Spookrijden	0
Geen voorrang verlenen	17
Geen gebruik maken van fietspaden	64

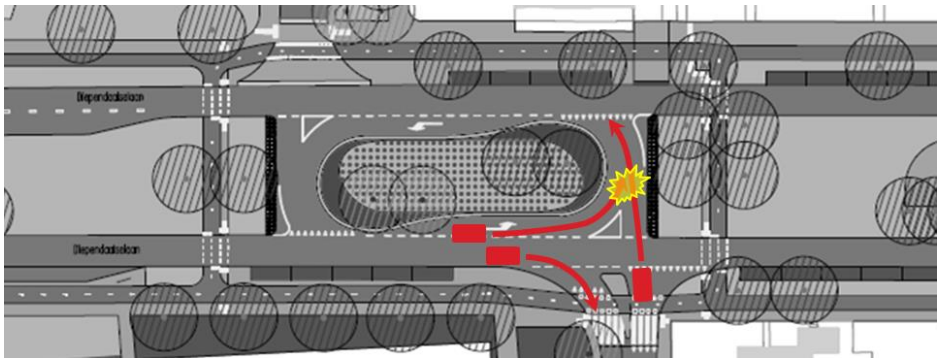
Op de Diependaalselaan zijn de uitkomsten hoger dan op de Johan de Wittlaan. De verklaring hiervoor is dat op de Diependaalselaan de intensiteiten op de hoofdrichting hoger liggen. Daarnaast zijn de uitkomsten van de observatie op de Diependaalselaan lager dan op de Kamerlingh Onnesweg. Dit heeft te maken met de iets hogere intensiteiten op de hoofdrichting van de Diependaalselaan ten opzichte van de Kamerlingh Onnesweg in combinatie met lagere intensiteiten op de zijrichting.

Op de Diependaalselaan werd net als op de Kamerlingh Onnesweg naast elkaar opgesteld. De oorzaak hier is een te breed opstelvak op het middengedeelte. Net als bij de Kamerlingh Onnesweg leidde bij het naast elkaar opstellen het afrijden van het voorrangsplein tot een aantal conflicten. Een voorbeeld hiervan staat in afbeelding 23.

afbeelding 23: afrijdconflict die ontstaat door het naast elkaar opstellen



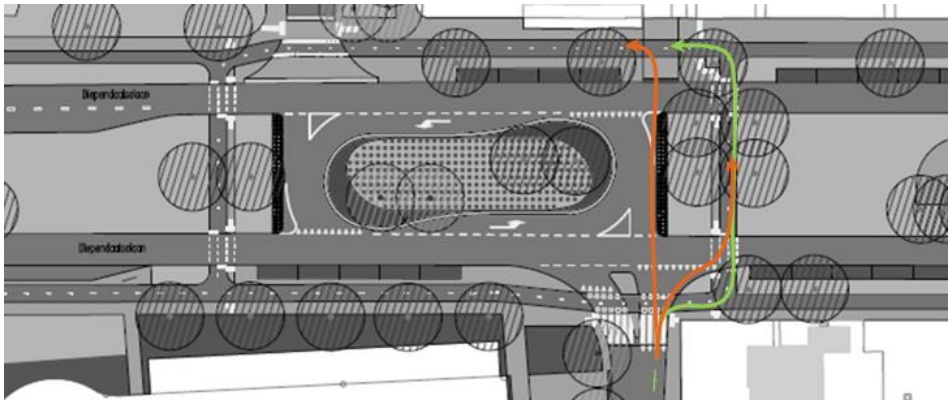
Op de Diependaalselaan werd het naast elkaar opstellen vaak vooraf gegaan door het conflict dat is weergegeven in afbeelding 24. Hierbij wilde een automobilist vanuit de Van Ghentlaan rechtdoor het voorrangsplein oprijden. Uit de Diependaalselaan komen twee auto's. De voorste gaat rechtsaf en de achterste linksaf. Hierdoor ontstaat een afdekconflict, omdat de voorste auto het zicht op de auto die links af gaat wegneemt. Gevolg is dat de auto uit de Van Ghentlaan de weg overstak en in conflict kwam met de auto die linksaf ging. Dit leidde zes keer tot een conflict. Dit type conflict is specifiek voor een voorrangsplein waarbij de zijrichtingen als een bajonet links-rechts zijn aangesloten.



afbeelding 24: afdekconflict die alleen voorkomt op de Diependaalselaan

Op de Diependaalselaan zijn zeven gevallen van spookrijdend gemotoriseerd verkeer geobserveerd. Het ging hier om verkeer dat ogenschijnlijk bewust aan het spookrijden was. Dit werd vaak gedaan om een de route af te snijden of de wachtrij op de Diependaalselaan te ontwijken. In één geval was duidelijk sprake van onbekendheid met de verkeerssituatie. Hier reed de automobilist zeer twijfelend tegen het verkeer in.

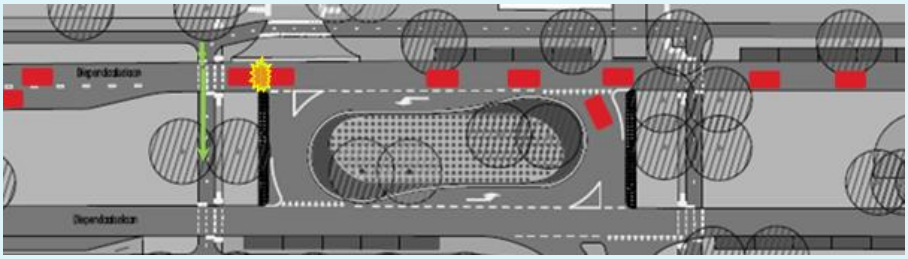
Ter hoogte van de Van Ghentlaan werd 64 keer geen gebruik gemaakt van het fietspad. Een voorbeeld hiervan staat in afbeelding 25. Fietsers hebben hierdoor een kortere route en hoeven hierbij minder stuurbewegingen te maken. Hierdoor kan de fietser met een hogere snelheid het voorrangsplein naderen en hoeft hij minder af te remmen voor een aantal bochten. Het kwam dikwijls voor dat een fietser een rechts afslaande automobilist in de weg reed. Een oorzaak voor de rechtdoor gaande manoeuvre kan ook zijn dat in de oude verkeerssituaties werd geacht dat het fietsverkeer deze beweging maakte.



afbeelding 25: afsnijdroutes van de fietsers op de Diependaalselaan

De Diependaalselaan kent de hoogste intensiteiten van de drie onderzochte voorrangspleinen. De intensiteiten liggen hier hoog door de lokale en regionale ontsluitingsfunctie die de Diependaalselaan heeft. Hierdoor liggen de cijfers van het geen voorrang verlenen en ongewenst voorrang verlenen hoog. Automobilisten ritsten zich tussen de voertuigen, waarbij zij soms voorrang kregen en soms voorrang namen. Het ongewenst voorrang verlenen gaat in deze situatie om bewust sociaal gedrag. Daarnaast was sprake van veel congestie op de Diependaalselaan. Hierdoor liep het verkeer regelmatig vast tot over het voorrangsplein.

Buiten de periode van observeren vond een kopstaartbotsing plaats op de Diependaalselaan. De voorste auto gaf een fietser ongewenst voorrang. Dit deed de bestuurder – bij navragen – omdat het druk was op de Diependaalselaan en de fietser weinig kans kreeg om over te steken. De automobilist daarachter had niet verwacht dat de auto voor hem voorrang ging verlenen. Hierdoor reed hij achterop de voorste auto. Het bleef bij uitsluitend materiële schade. Deze situatie staat in afbeelding 26 weergegeven.



afbeelding 26: ongeval op de Diependaalselaan

Inrichtingskenmerken en gedrag

In tabel 17 zijn de resultaten van de cameraobservaties gekoppeld aan de inrichtingskenmerken.

tabel 17: inrichtingskenmerken met de resultaten van de cameraobservatie

Inrichtings-kenmerken	Inrichtings-elementen	Effect
Locatie uitbuiging	voor en na	19 keer ongewenst voorrang verlenen; 4 keer spookrijden; 2 keer blokkade door (grote) voertuigen; 2 keer naast elkaar opstellen.
	begin tot eind	54 keer ongewenst voorrang verlenen; 0 keer spookrijden; 36 keer blokkade door (grote) voertuigen; 213 keer naast elkaar opstellen.
	geen	56 keer ongewenst voorrang verlenen; 7 keer spookrijden; 2 keer blokkade door (grote) voertuigen; 49 keer naast elkaar opstellen.
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen	92 keer spookrijden (K. Onnesweg); 29 keer geen gebruik maken van fietspad (K.Onnesweg); 64 keer geen gebruik maken van fietspad (Diependaalselaan)
	over middeneiland	5 keer spookrijden; 55 keer geen gebruik maken van fietspad.
Rammelstroken	geen rammelstroken	Vrachtwagens reden trottoirbanden kapot
	wel rammelstroken	(Middel)zwaar verkeer reed moeiteloos over het voorrangsplein

De locatie van de uitbuiging heeft veel invloed op het verkeersgedrag op het voorrangsplein. Bij de Kamerlingh Onnesweg ligt de uitbuiging van het begin tot het eind van het voorrangsplein. Hierdoor krijgt het voorrangsplein een ovale vorm. Het gevolg is dat automobilisten dit inrichtingselement sneller aanzien als een rotonde. Daardoor worden voorrangsregels verkeerd geïnterpreteerd, wat invloed heeft op de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein. Tevens zorgt de ovale vorm voor een verminderde opstelcapaciteit in het middengedeelte. Daarnaast blijkt uit de cameraobservatie dat automobilisten naast elkaar opstellen (soms gevolgd door een conflict) of de hoofdrijbaan blokkeren. Dit levert onveilige

verkeerssituaties op. Wanneer de locatie van de uitbuiging voor en na het voorrangsplein ligt, wordt het voorrangsplein beter begrepen. Zo ziet men deze rechthoekige vorm minder als een rotonde, waardoor er nauwelijks twijfel bestaat over de voorrangsregels. Dit wordt bevestig door het voorrangsplein op de Diependaalselaan. Dit voorrangsplein heeft geen uitbuiging, en het verkeer ziet dit voorrangsplein niet als een rotonde.

Voor de locatie van het fietspad is het verkeersveiliger om deze om het voorrangsplein aan te leggen. Wanneer het fietspad over het middeneiland ligt, ontstaan onduidelijke verkeerssituaties. Zo weet de fietser noch de automobilist wie voorrang heeft, met een aantal conflicten tot gevolg. Daarnaast gaat de voorkeur uit om de fietspaden aan te leggen als eenrichtingsfietspaden. Daarentegen is het niet storend wanneer fietsers tegen de richting in fietsen, omdat de automobilist hierop correct anticipeert.

Het gebruik van rammelstroken op het middeneiland is belangrijk. Als dit niet wordt toegepast heeft het (middel)zwaar verkeer moeite om de bochten te nemen en worden trottoirbanden beschadigd. Uit de cameraobservatie is gebleken dat het toepassen van rammelstroken op het middeneiland ervoor zorgt dat het (middel)zwaar verkeer soepel over het voorrangsplein rijdt.

Zijrichting

Uit de cameraobservaties blijkt dat de locatie van de zijrichting invloed heeft op het uiteindelijke gedrag op het voorrangsplein. De zijwegen sluiten bij alle drie de kruispunten op een andere manier aan (CROW, 2013):

- rechtse bajonet: het overstekende verkeer maakt eerst een rechtsafbeweging en vervolgens een linksafbeweging op de doorgaande weg (Johan de Wittlaan);
- midden: de wegen sluiten (ongeveer) op het midden van het kruispunt aan (Kamerlingh Onnesweg);
- linkse bajonet: het overstekende verkeer maakt eerst een linksafbeweging en vervolgens een rechtsafbeweging op de doorgaande weg (Diependaalselaan).

Er is geconstateerd dat de locatie van de zijrichting invloed heeft het aantal spookrijdende automobilisten, wat weergegeven is in tabel 18. Door een bajonet worden bepaalde routes korter, waardoor de kans op spookrijden toeneemt. Op de Kamerlingh Onnesweg is het spookrijden niet geconstateerd. Dit is te verklaren doordat de aanrijdende rijbaan op zijrichting op het midden van het voorrangsplein aansluit. Tevens heeft de Minckelersstraat een middenberm, waardoor de stuurbeweging moeilijker te maken is en het onlogisch lijkt om deze beweging te maken. Daarnaast is geconstateerd dat een linkse bajonet leidt tot afdekconflicten, die op de andere aansluitingen niet zijn waargenomen.

Inrichtingskenmerken	Inrichtingselementen	Effect
Locatie zijrichting	rechtse bajonet	4 spookrijdende voertuigen
	midden	0 spookrijdende voertuigen
	linkse bajonet	7 spookrijdende voertuigen afdekconflicten

tabel 18: resultaten verschillende locaties zijwegen

3.2 Simulaties

In deze paragraaf staan de resultaten van de simulaties weergegeven. De resultaten worden per onderzoekonderdeel behandeld, waarbij de twee thema's afzonderlijk zijn beschreven. Hierbij zijn de onderdelen voorzien van een toelichting en worden de gegevens geanalyseerd.

In de simulaties zijn de inrichtingskenmerken (parameters) doorgerekend, die zijn weergegeven in tabel 19. Deze inrichtingskenmerken zijn uitgebreid toegelicht in §2.4.6.

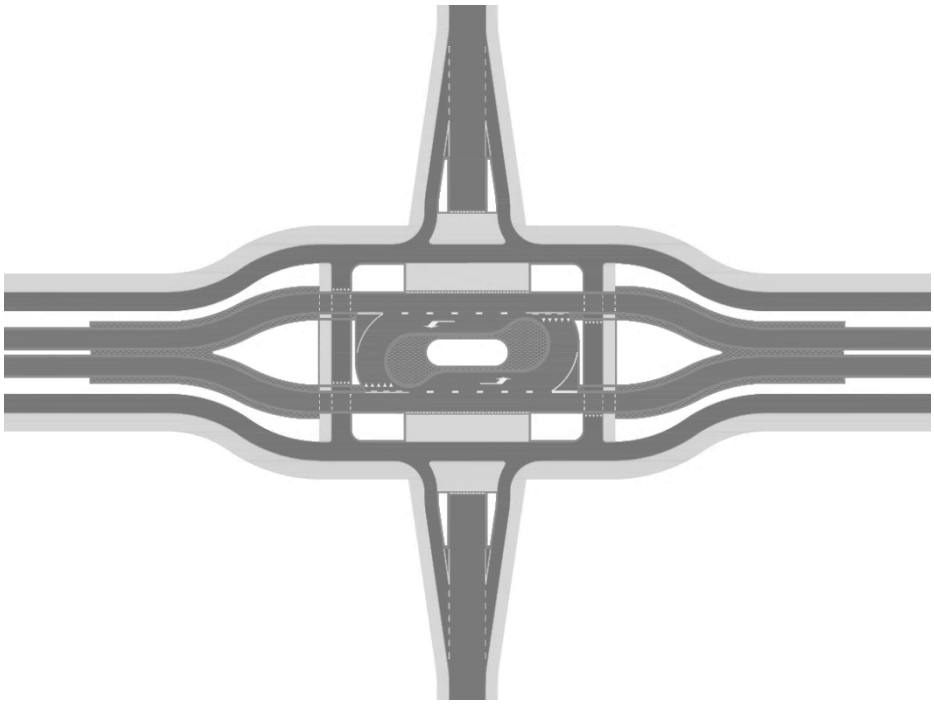
Inrichtingskenmerken	Simulatie-invoer
Sterkte uitbuiging	30 km/h
	35 km/h (standaard)
	40 km/h
Lengte	6 meter
	10 meter (standaard)
	14 meter
Breedte	13 meter (standaard)
	18 meter
	23 meter
Voorsorteervak	met voorsorteervak (standaard)
	zonder voorsorteervak
Hiaatvergroter	zonder hiaatvergroter (standaard)
	met hiaatvergroter

tabel 19: inrichtingskenmerken en simulatie-invoer

3.2.1 Standaard vormgeving

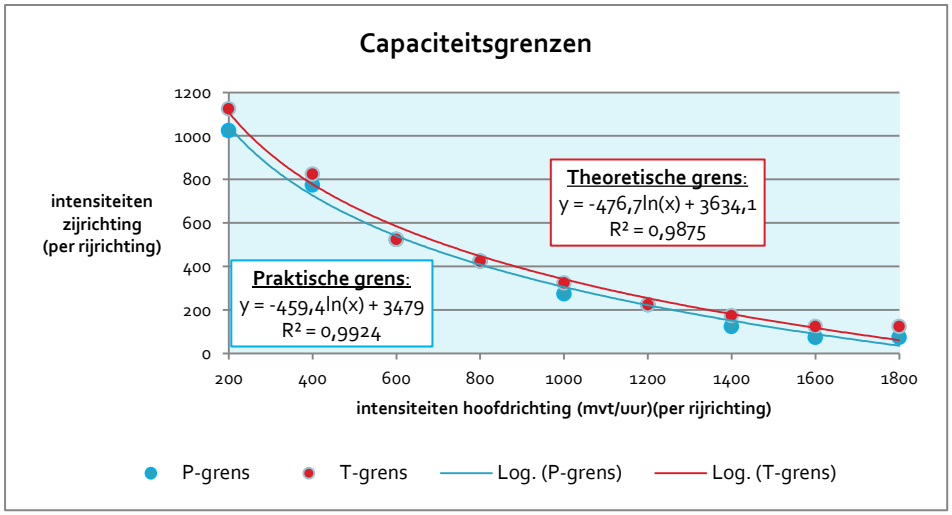
De capaciteit en de verkeersveiligheid zijn met behulp van het Langzaam-sneller-simulatieprogramma doorgerekend. Om structuur te geven aan deze methode is eerst de standaard inrichtingsvorm volledig doorgerekend. Deze standaard inrichtingsvorm is gedefinieerd als een smal-middellang inrichtingskenmerk, zoals weergegeven in afbeelding 27. De invoergegevens van deze standaard inrichtingsvorm staan weergegeven in §2.4.6. Tijdens de simulaties zijn de intensiteiten op de hoofdrichting steeds in stappen van 200 motorvoertuigen per rijrichting opgehoogd. De intensiteiten op de zijrichting zijn met kleinere stappen opgehoogd: 50 motorvoertuigen per rijrichting. Een combinatie van een intensiteit van de hoofdrichting met een intensiteit van de zijrichting wordt een intensiteitsverhouding genoemd.

afbeelding 27: voorbeeld van het standaard voorrangsplein in de simulaties



Capaciteit

Na het doorrekenen van alle intensiteitsverhoudingen zijn vertragingstijden verkregen. Deze vertragingstijden staan in Bijlage 5: Simulaties per intensiteitsverhouding weergegeven. Om de capaciteit van de standaard inrichtingsvorm van het voorrangsplein vast te stellen is gekeken naar twee capaciteitsgrenzen: de praktische capaciteitsgrens en de theoretische capaciteitsgrens. De praktische capaciteitsgrens wordt bereikt bij een wachttijd van 20 seconde. Vanuit onderzoek is gebleken dat weggebruikers bij een wachttijd van langer dan 20 seconde ongeduldig raken (CROW, 2012). De theoretische capaciteitsgrens wordt bereikt bij een wachttijd langer dan 60 seconde of een gridlock in de simulatie. Deze grenzen zijn in een grafiek geplaatst waardoor een trendlijn ontstaat. De formule van deze trendlijn kan worden toegepast om de capaciteit te bepalen bij de diverse intensiteiten. De grenzen die uit de simulaties naar voren zijn gekomen staan weergegeven in grafiek 13.



grafiek 13: capaciteitsgrenzen (met capaciteitsformules) van het voorrangsplein

In de grafiek zijn punten weergegeven. Deze punten geven de praktische (blauw) en theoretische (rood) grens weer, naar intensiteiten op de hoofdrichting en intensiteiten op de zijrichting. Voor het berekenen van de grenzen zijn de punten gecombineerd in een lijn. Bij deze lijn staat een formule, waarmee de intensiteiten op de zijrichting bij een bepaalde intensiteit op de hoofdrichting kunnen worden berekend. De 'y' staat in de formule voor de intensiteiten op de zijrichting en op de plaats van de 'x' worden de intensiteiten op de hoofdrichting ingevuld. De 'R^2' geeft de betrouwbaarheid van de formule weer: hoe dichter bij 1, hoe betrouwbaarder. Deze betrouwbaarheid wordt berekend met behulp van de afwijking van de punten ten opzichte van de lijn.

Uit de grafiek wordt duidelijk dat beide capaciteitsgrenzen een logaritmisch verband hebben. Wanneer 200 mvt/uur/rijrichting op de hoofdrichting rijden, kan over de zijrichting 1000 mvt/uur/rijrichting. Wanneer de intensiteiten worden omgedraaid – op de hoofdrichting 1000 mvt/uur/richting – kan de

zijrichting 250 mvt/uur/rijrichting verwerken. Dit betekent dat het voorrangsplein 100 mvt/uur meer kan verwerken bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting. Een ander voorbeeld: bij 400 mvt/uur/rijrichting op de hoofdrichting kan het voorrangsplein 750 mvt/uur/richting op de zijrichting verwerken. Als de intensiteiten op de zijrichting 400 mvt/uur/rijrichting zijn, kan het voorrangsplein op de hoofdrichting 800 mvt/uur/richting. Ook hier kan het voorrangsplein 100 mvt/uur meer verwerken als de intensiteiten op de hoofdrichting toenemen. Het logaritmische verband van de capaciteit is hierin terug te vinden. In tabel 20 is dit verband weergegeven.

tabel 20: praktische grenswaarden per intensiteitsverhouding

intensiteiten per hoofdrichting	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Intensiteiten per zijrichting	1000	750	500	400	250	200	100	50	50
Totaal	**2400**	**2300**	**2200**	**2400**	**2500**	**2800**	**3000**	**3300**	**3700**

De theoretische capaciteitsgrens wijkt bij een aantal waarden af van de praktische capaciteitsgrens. Deze zijn opgenomen in Bijlage 5.

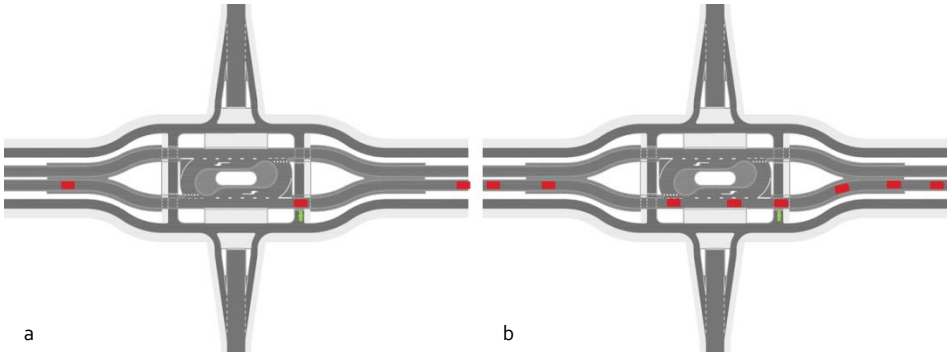
Uit de uitkomsten blijkt dat de intensiteiten op de hoofdrichting grote invloed hebben de hoeveelheid motorvoertuigen die uit de zijrichting kunnen worden verwerkt; bij hoge intensiteiten op de hoofdrichting kan er minder verkeer op de zijrichting worden verwerkt.

Het logaritmisch verband kan verklaard worden door de vorm van het voorrangsplein. Het voorrangsplein is ontworpen voor kruispunten waarop een duidelijke hoofdrichting bestaan. Dit houdt in dat het voorrangsplein meer verkeer op de hoofdrichting kan verwerken dan op de zijrichting. Een rotonde heeft een lineair verband, omdat alle aansluitende wegen op een rotonde als even belangrijk worden geacht. Hierin is een belangrijk verschil tussen de capaciteit van een rotonde en een voorrangsplein waar te nemen.

Tijdens de simulaties is gelet op hoe de afwikkeling van het voorrangsplein verliep. Hierin werd duidelijk dat bij de hogere intensiteiten van en naar de zijrichting het netwerk minder soepel verliep door het vrachtverkeer. Het aantal links afslaande vrachtvoertuigen is telkens op 5% ingesteld, waardoor het absolute aantal oploopt naar mate de intensiteiten op de zijrichting oplopen: 10 vrachtvoertuigen bij 200 motorvoertuigen op de zijrichting en 30 vrachtvoertuigen bij 600 motorvoertuigen op de zijrichting. Het is dus gebleken dat bij hogere intensiteiten (links) afslaand vrachtverkeer de capaciteit negatief wordt beïnvloed. Bij een minder groot aandeel (links) afslaand vrachtverkeer is de capaciteit van het voorrangsplein dus groter. Dit effect is gezien bij het doorrekenen van alle inrichtingsvarianten.

Oversteekbaarheid

De oversteekbaarheid voor langzaam verkeer is afhankelijk van de intensiteiten op de hoofdrichting. Dit is weergegeven in afbeelding 28. In de afbeelding staat een fietser bij de rechter oversteekplaats te wachten op het verkeer op de hoofdrichting. De fietser moet in afbeelding 'b' langer wachten op een geschikt hiaat dan in afbeelding 'a', omdat in 'b' meer voertuigen passeren.



afbeelding 28:
verschil tussen hiaten bij lage intensiteiten (a) en hoge intensiteiten (b)

Het simulatieprogramma geeft de oversteekbaarheid van de hoofdrichting weer door middel van hiaten. Het simulatieprogramma berekent hoe vaak per minuut een hiaat van meer dan 4 seconde én van meer dan 9 seconde voorkomt. De gemiddelde uitkomsten zijn weergegeven in tabel 21.

Intensiteiten hoofdrichting (per rijrichting)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
hiaat >4 s	14,5	13,5	12,0	9,2	8,3	6,4	4,9	3,8	3,9
hiaat >9 s	6,0	4,7	3,2	2,3	1,5	1,1	0,6	0,4	0,5

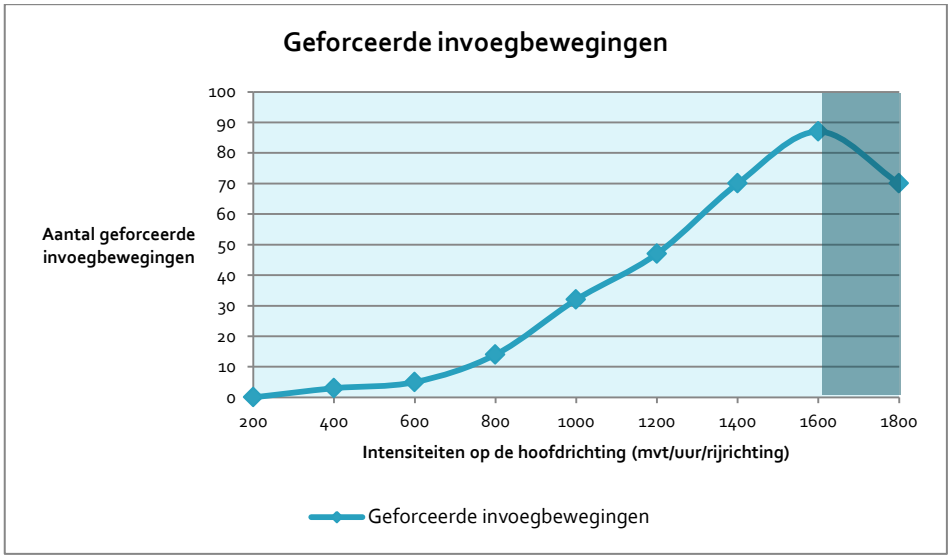
tabel 21:
aantal hiaten per minuut in de hoofdrichting

Bij het doorrekenen van de andere inrichtingskenmerken is vastgesteld dat het verschil in het aantal hiaten in vergelijking met de standaard inrichtingsvorm nihil is. De oorzaak is dat de inrichtingselementen geen invloed hebben op de lengte en de locatie van de oversteekplaatsen voor het langzaam verkeer. Alleen de intensiteiten van het wegverkeer hebben invloed op de oversteekbaarheid voor langzaam verkeer.

Verkeersveiligheid

Om inzicht in de verkeerveiligheid op het voorrangsplein te krijgen zijn de geforceerde invoegbewegingen per intensiteitsverhouding genoteerd. De uitkomsten staan in grafiek 14 weergegeven. De geforceerde invoegbewegingen per intensiteitsverhouding zijn opgenomen in Bijlage 5. Uit de simulaties is gebleken dat de uitkomsten van het Langzaam-sneller-simulatieprogramma met betrekking tot dit onderzoek niet meer betrouwbaar zijn vanaf 1800 mvt/uur/rijrichting. Dit komt doordat het programma bij 1800 mvt/uur op één rijstrook niet meer goed kunnen worden toegedeeld; de capaciteit van de rijstrook is (bijna) bereikt. Het donkere deel in de grafiek geeft dit aan.

grafiek 14: aantal geforceerde invoegbewegingen



Uit de resultaten is gebleken dat de geforceerde invoegbewegingen sterk afhankelijk zijn van de intensiteiten op de hoofdrichting. Naar mate de intensiteiten op de hoofdrichting oplopen nemen de geforceerde invoegbewegingen toe. Daarnaast nemen per hoofdintensiteiten de geforceerde invoegbewegingen ook toe bij hoger wordende intensiteiten op de zijrichting. Dit betekent dat bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting én hogere intensiteiten op de zijrichting de kans op een conflict sterk toeneemt. Dit is een logisch gevolg: hoe meer voertuigen bij elkaar komen, hoe meer kans op een conflict.

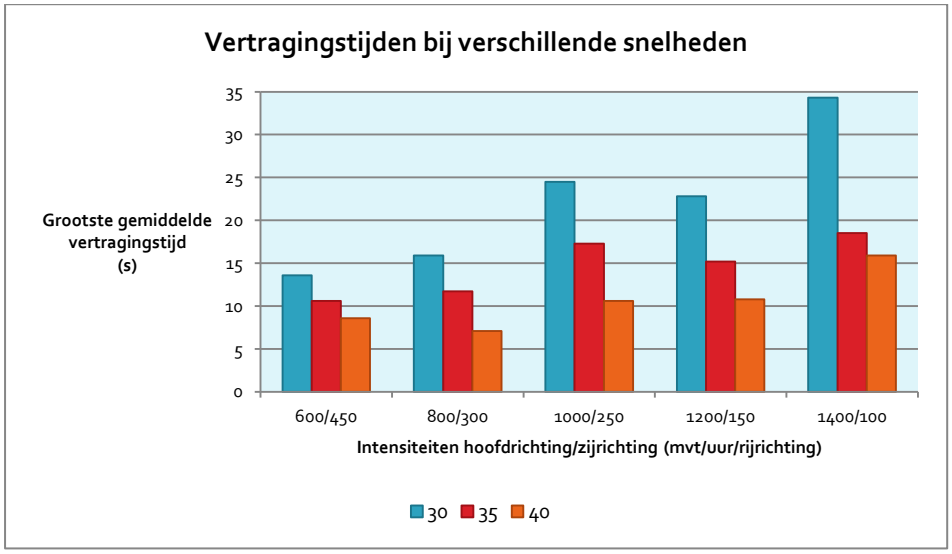
Om erachter te komen of de capaciteit en de verkeersveiligheid bij andere inrichtingskenmerken veranderd, zijn de andere inrichtingskenmerken ook doorgerekend. Deze worden in de volgende paragrafen behandeld.

3.2.2 Sterkte uitbuiging

De sterkte van de uitbuiging refereert aan de doorrijdsnelheid op het voorrangsplein; als de uitbuiging krappe boogstralen heeft is de snelheid lager dan bij flauwe boogstralen. Voor dit onderzoek zijn drie doorrijdsnelheden doorgerekend in het Langzaam-sneller-simulatieprogramma: 30 km/h, 35 km/h en 40 km/h. Hierbij is 35 km/h de snelheid die is gehanteerd bij de standaard inrichtingsvorm.

Capaciteit

Uit de resultaten komt naar voren dat de snelheid een grote invloed heeft op de vertragingstijden voor het verkeer op het voorrangsplein. Bij alle doorgerekende intensiteitsverhoudingen zijn de vertragingstijden bij een lagere snelheid hoger, en bij een hogere snelheid lager. Dit is weergegeven in grafiek 15. Dit komt door minder terugslag op de hoofdrichting bij een hogere doorrijdsnelheid; als een voertuig zijn snelheid meer moet verlagen (30 km/h) bij het oprijden van een voorrangsplein, dan wordt de hiaat tussen hem en zijn achterligger kleiner dan bij een hogere snelheid (40 km/h). Hierdoor worden de vertragingstijden groter voor de zijrichting, omdat er minder acceptabele hiaten op de hoofdrichting ontstaan.

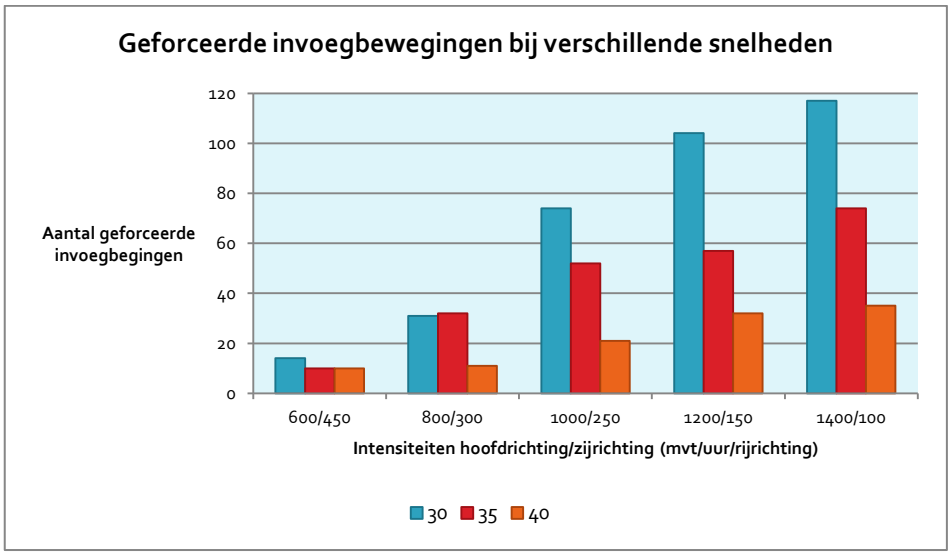


grafiek 15: vertragingstijden bij verschillende snelheden (sterkte van de uitbuiging)

Verkeersveiligheid

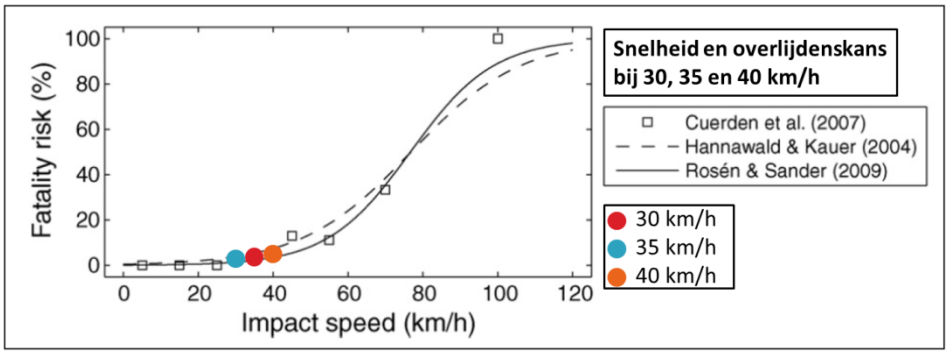
Net als bij de vertragingstijden nemen de geforceerde invoegbewegingen bij lagere snelheden toe en bij hoger snelheden af. Bij de lagere intensiteitsverhoudingen is dit onderscheid niet eenduidig, zoals weergegeven in grafiek 16. De oorzaak voor de toename van de geforceerde invoegbewegingen bij lagere snelheden ligt bij de kleinere hiaten in het verkeer, zoals uitgelegd bij capaciteit. Door de hogere wachttijden worden de weggebruikers ongeduldiger, waardoor zij kleinere hiaten gaan accepteren. Hierdoor nemen de geforceerde invoegbewegingen toe.

grafiek 16: aantal geforceerde invoegbewegingen bij verschillende snelheden (sterkte van de uitbuiging)



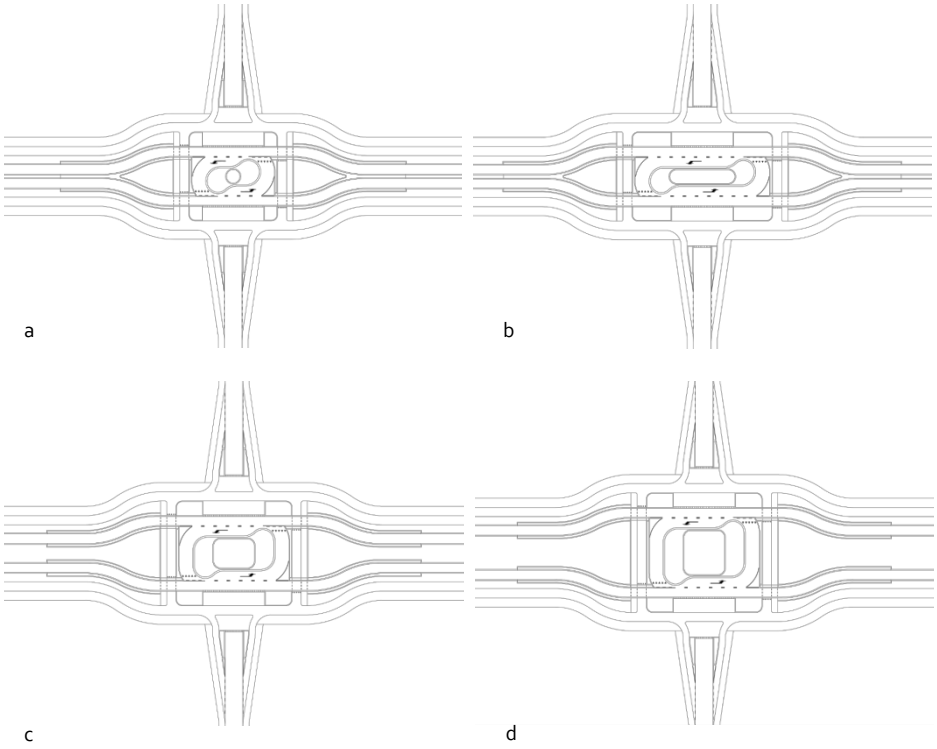
Naast de kans op een ongeval (conflict) is ook de ernst van een ongeval van belang voor de verkeersveiligheid. Voor de ontwerpsnelheid is van belang dat de kans op een dodelijke afloop zo laag mogelijk is. Bij de ontwerpsnelheden 30 km/h, 35 km/h en 40 km/h is de kans op dodelijke afloop respectievelijk 3%, 4% en 5%. Dit is weergegeven in grafiek 17.

grafiek 17: snelheid en overlijdenskans bij 30, 35, 40 km/h



3.2.3 Lengte en breedte

De opstelruimte op het middengedeelte wordt bepaald door de lengte en breedte van het voorrangsplein. In het simulatieprogramma zijn de effecten van de maatvoering op de capaciteit en de verkeersveiligheid onderzocht. In afbeelding 29 staan de verschillende inrichtingskenmerken schematisch weergegeven.



afbeelding 29: verschillende inrichtingselementen van het voorrangsplein:

a = kort en smal
b = lang en smal
c = middellang en middelbreed
d = middellang en breed

Capaciteit

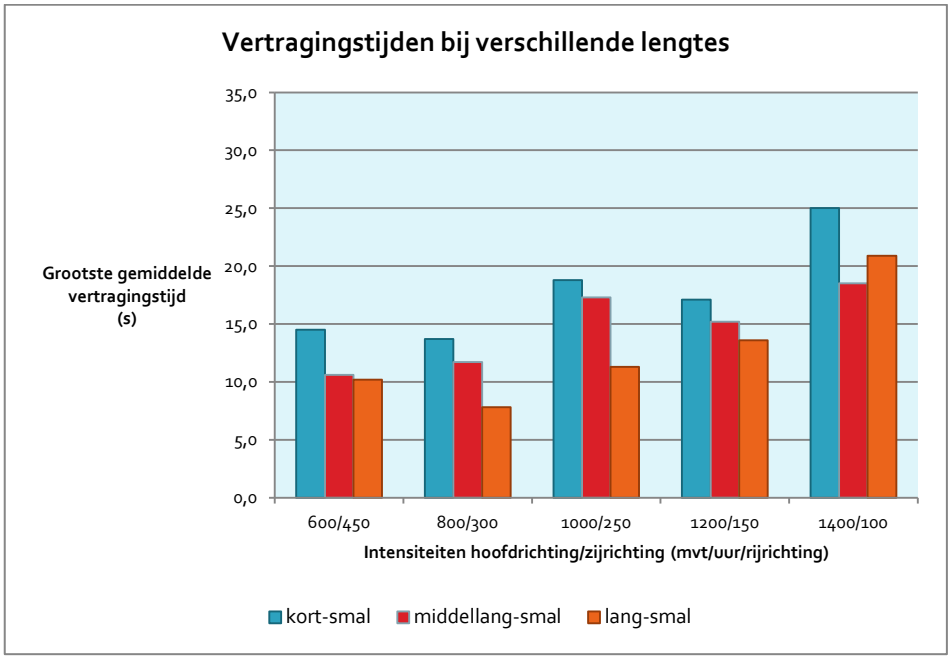
Uit het onderzoek is gebleken dat de vertragingstijden op het korter inrichtingskenmerk bij alle intensiteitsverhoudingen het hoogst liggen. Bij 1400 mvt/uur overschrijden de vertragingstijden de praktische capaciteitsgrens.

Een langer inrichtingskenmerk heeft over het algemeen kortere vertragingstijden. Alleen bij intensiteiten van 1400 mvt/uur zijn de vertragingstijden hoger dan bij de standaard inrichtingsvorm. Hier wordt de praktische capaciteitsgrens ook licht overschreden.

Het algemene beeld uit de simulaties is dat de vertragingstijden op het voorrangsplein worden verlaagd door de lengte van het plein aan te veranderen. De uitkomsten zijn weergegeven in grafiek 18. Hierin is te zien dat de uitkomsten bij de verschillende intensiteitsverhoudingen fluctueren. Enerzijds heeft dit te maken met de intensiteiten op de zijrichting; bij relatief hogere intensiteiten op de zijrichting ten opzichte van de hoofdrichting zijn de vertragingstijden hoger. Dit effect is het duidelijkst bij 1000/250 ten opzichte van 1200/150. Daarnaast is bij intensiteitsverhouding 1400/100 een afwijkende

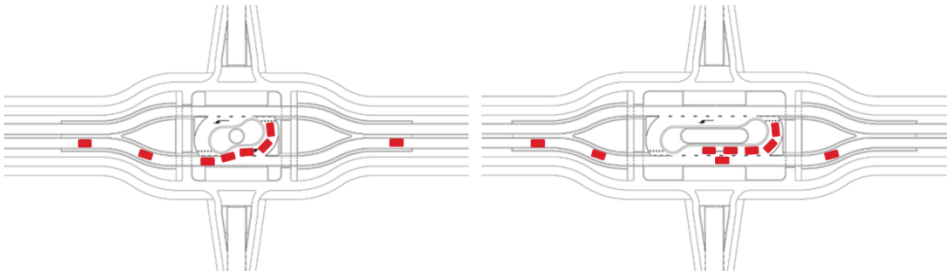
volgorde te zien: middellang-smal heeft korte vertragingstijden dan lang-smal. Dit heeft waarschijnlijk maken met de combinaties van de intensiteiten op de hoofdrichting en de langere omrijdfactor; bij een lang-smal voorrangsplein is de afstand bij links afslaan langer dan bij een middellang-smal voorrangsplein.

grafiek 18: vertragingstijden bij verschillende lengtes

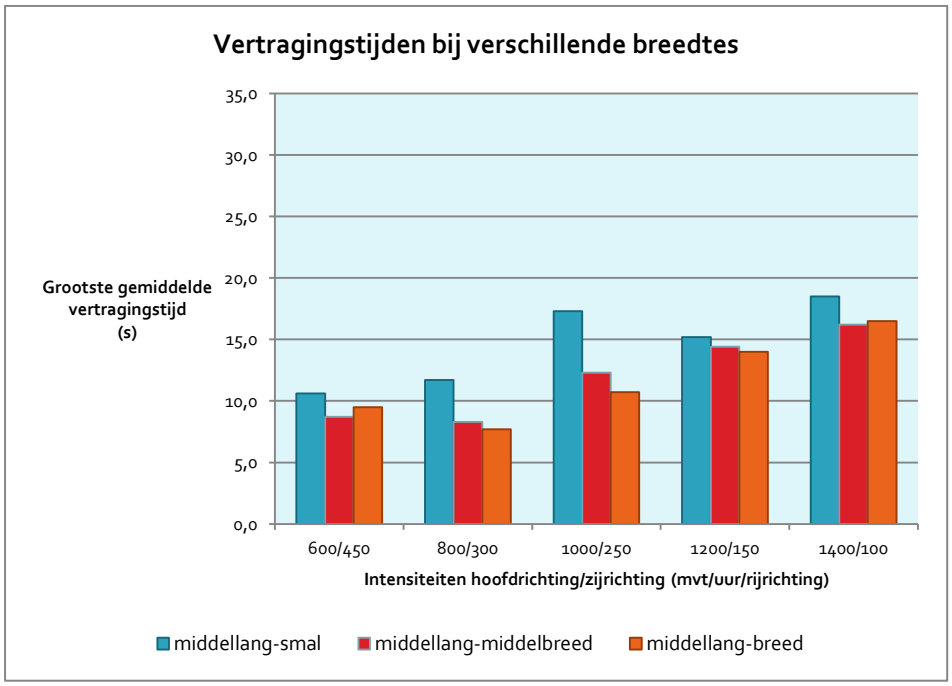


Dat de vertragingstijden bij het langere inrichtingskenmerk minder worden heeft te maken met de opstelruimte op het middengedeelte. Als de opstelruimte langer is, kunnen hier meer voertuigen staan wachten, zonder deze terugslag hebben op de hoofdrichting. Daarnaast hoeven de voertuigen minder op de rijbaan te remmen, omdat zij meer ruimte hebben om af te remmen op het voorsorteervak – mits hier weinig voertuigen staan opgesteld. Dit effect staat weergegeven in afbeelding 30.

afbeelding 30: verschil in opstelruimte tussen een kort en smal voorrangsplein en een lang en smal voorrangsplein

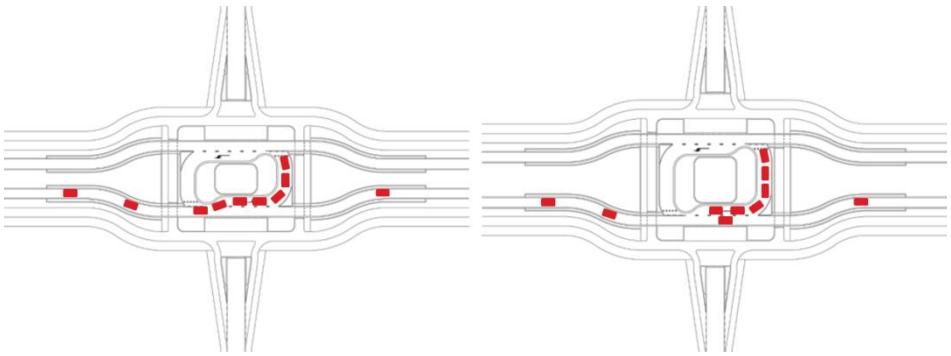


De verschillen in de vertragingstijden zijn bij de verschillende breedtes van het voorrangsplein – net als bij de lengtes – het hoogst bij het smalle inrichtingskenmerk. Het smalle inrichtingskenmerk is gebruikt voor de standaard inrichtingsvorm. Het breder maken van het voorrangsplein is gunstig voor de vertragingstijden, maar deze verschillen zijn niet groot. De vertragingstijden bij de verschillende breedtes zijn weergegeven in grafiek 19.



grafiek 19: vertragingstijden bij verschillende breedtes

Ook hier geldt dat minder opstelruimte de oorzaak is van meer vertragingstijden: hoe breder het inrichtingskenmerk, des te kleiner de vertragingstijden. Zoals weergegeven in afbeelding 31.



afbeelding 31: verschil in opstelruimte tussen een middellang en middelbreed voorrangsplein en een middellang en breed voorrangsplein

Tijdens het onderzoek zijn alle verschillende lengtes en breedtes met elkaar gecombineerd. De uitkomsten uit deze simulaties geven geen eenduidig beeld weer; in een aantal gevallen resulteert het combineren van lengte en breedte niet tot lagere gemiddelde vertragingstijden. Het alleen vergroten van de breedte of de lengte lijkt in de meeste gevallen voldoende. Als een keuze gemaakt moet worden tussen het langer of het breder maken van een voorrangsplein, zorgt het breder maken van het voorrangsplein voor de meeste winst in het verlagen van de vertragingstijden. Wel moet gezegd

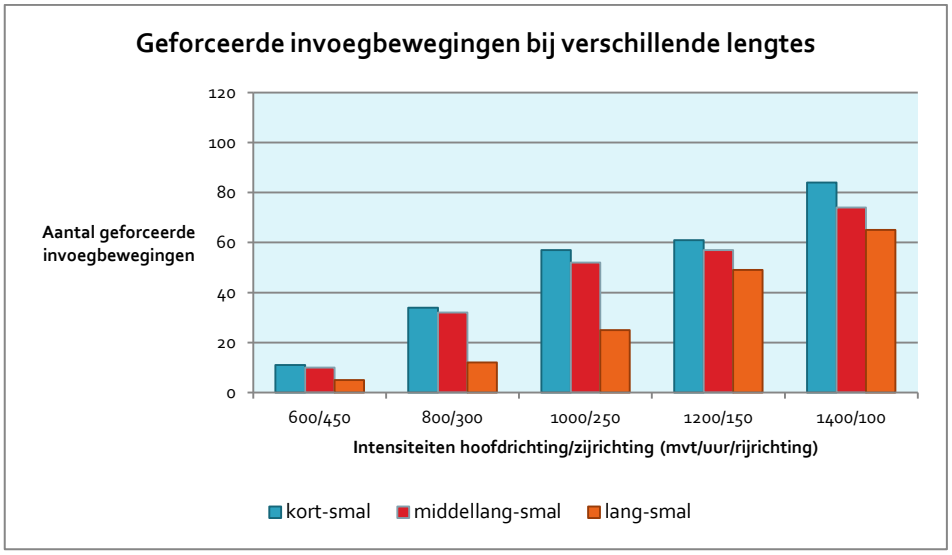
worden dat de verschillen in vertragingstijden tussen lengte en breedte niet groot zijn. Gedetailleerde resultaten zijn opgenomen in Bijlage 5.

Voor het onderzoek is het vaststellen van de capaciteit belangrijk. Aangezien de lengte en breedte beiden effect hebben op de vertragingstijden, zijn de combinaties hiervan doorgerekend om de maximale capaciteit te achterhalen. De resultaten van deze simulaties zijn opgenomen in Bijlage 5. Uit de simulaties is naar voren gekomen dat de maximale (praktische) capaciteit bij deze inrichtingskenmerken niet toeneemt ten opzichte van de standaard inrichting. De lengte en breedte hebben alleen effect op de vertragingstijden bij een bepaalde intensiteitsverhouding.

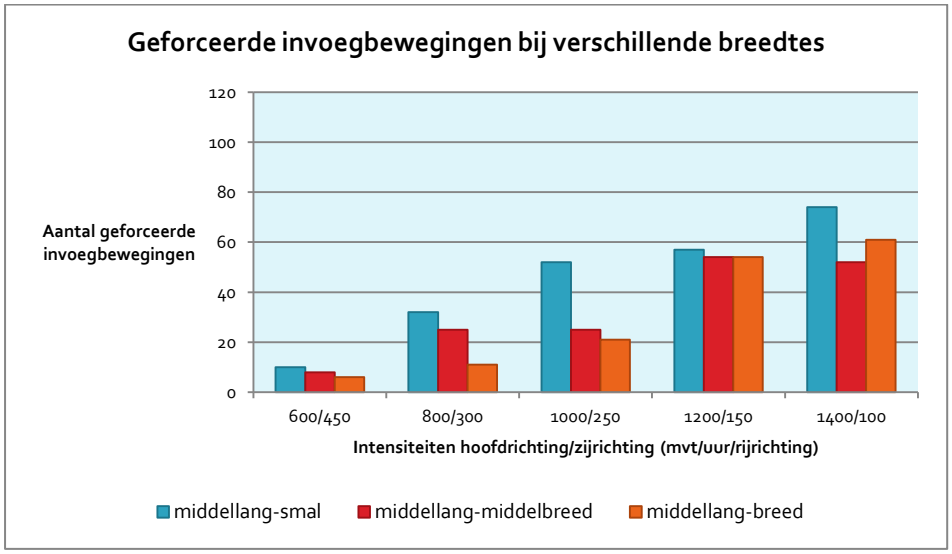
Verkeersveiligheid

De geforceerde invoegbewegingen nemen af naar mate het voorrangsplein langer wordt. De grotere lengte van het voorsorteervak wordt als oorzaak aangenomen; door de lengte van het voorsorteervak groter te maken is hierop meer ruimte om uit te voegen. Hierdoor ontstaat minder terugslag op de hoofdrijbaan, dat resulteert in grotere hiaten om in te kunnen voegen. Het aantal geforceerde invoegbewegingen bij verschillende lengtes staat weergegeven in grafiek 20.

grafiek 20: geforceerde invoegbewegingen bij verschillende lengtes



De breedte van het inrichtingskenmerk heeft ook invloed de geforceerde invoegbewegingen: hoe breder het inrichtingskenmerk, hoe minder geforceerde invoegbewegingen. Bij hogere intensiteiten gaat dit echter niet helemaal op, zoals weergegeven in grafiek 21.



grafiek 21: geforceerde invoegwegingen bij verschillende breedtes

Als reden voor afwijkende volgorde bij hoge intensiteiten op de hoofdrichting wordt de lengte van het uitvoegstuk aangenomen. Als het voorrangsplein alleen breder wordt gemaakt, dan blijft de lengte ongewijzigd. Hierdoor blijft het gedeelte naast de hoofdrijbaan even lang. Er blijft hierdoor evenveel ruimte over om de snelheid te minder, waardoor de terugslag niet volledig wordt weggehaald; de stilstaande voertuigen hebben minder effect, omdat door een grotere breedte van het middengedeelte meer voertuigen kunnen opstellen.

3.2.4 Voorsorteervak

Om erachter te komen of een voorsorteervak effect heeft op de capaciteit en verkeersveiligheid van het voorrangsplein is dit doorgerekend in het simulatieprogramma. Hierin is het verschil gesimuleerd tussen een voorrangsplein met voorsorteervak (standaard inrichtingsvorm) en een voorrangsplein zonder voorsorteervak. Overige maatvoeringen zijn niet gewijzigd. De resultaten staan in deze paragraaf beschreven.

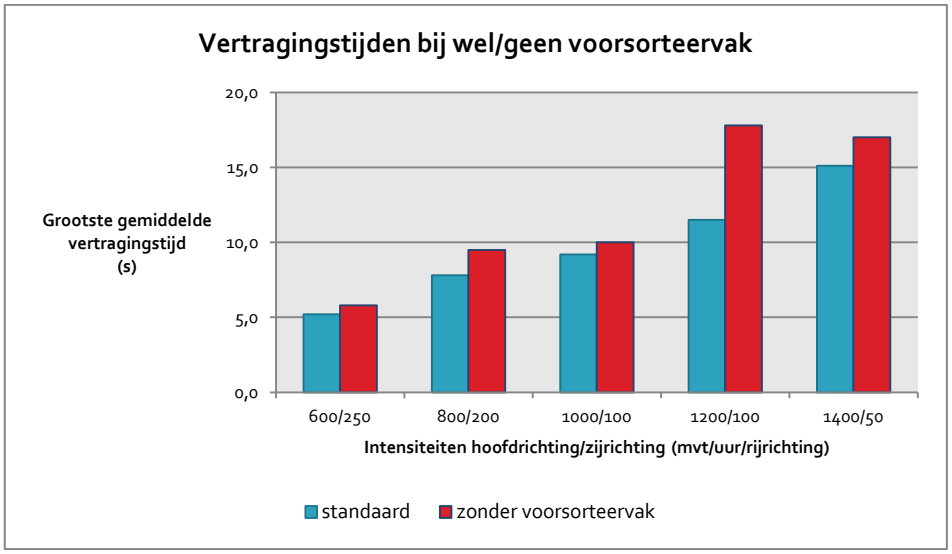
Capaciteit

De praktische grenswaarden van een voorrangsplein neemt af wanneer een voorsorteervak ontbreekt en de vertragingstijden nemen toe. De praktische capaciteit wordt weergegeven in tabel 22 en de vertragingstijden bij een aantal intensiteitsverhoudingen zijn weergegeven in grafiek 22.

tabel 22: praktische grenswaarden per intensiteitsverhouding voor een voorrangsplein zonder voorsorteervak

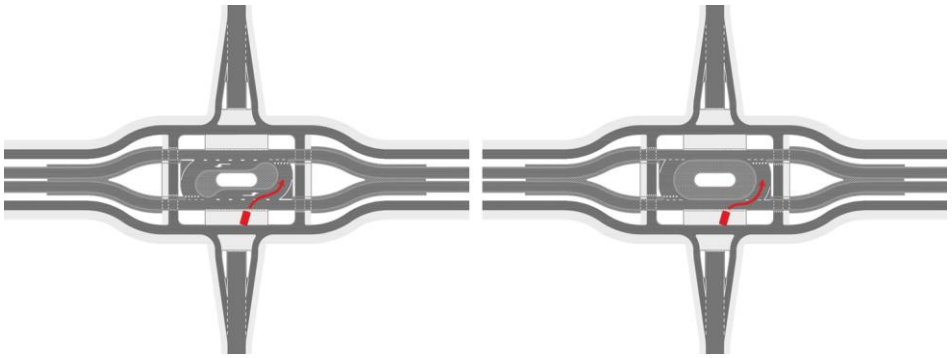
intensiteiten per hoofdrichting	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
intensiteiten per zijrichting	200	400	250	200	100	100	50	50
Totale hoeveelheid verkeer	800	1600	1700	2000	2200	2600	2900	3300

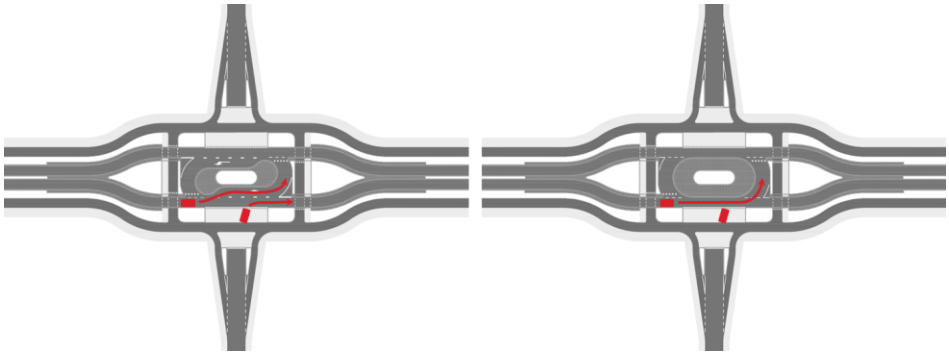
grafiek 22: vertragingstijden bij wel of geen voorsorteervak



Uit de resultaten komt dat – wat betreft de capaciteit – een voorsorteervak bij kleine intensiteiten uit de zijrichting niet noodzakelijk is. Echter, de vertragingstijden bij deze intensiteitsverhoudingen nemen dan wel toe. Dit heeft te maken met de oversteekbeweging die het verkeer moet maken, zoals weergegeven in afbeelding 32. Hierdoor is de oversteeklengte iets langer, waardoor hiaten groter moeten zijn om over te kunnen steken. Daarnaast slaat het links afslaande verkeer op de hoofdrichting later af. Hierdoor worden de vertragingstijden groter, wat een negatief effect heeft op de capaciteit. Dit is weergegeven in afbeelding 33.

afbeelding 32: verschil in oversteekbeweging tussen een voorrangsplein met voorsorteerkvak (links) en een zonder voorsorteervak (rechts)

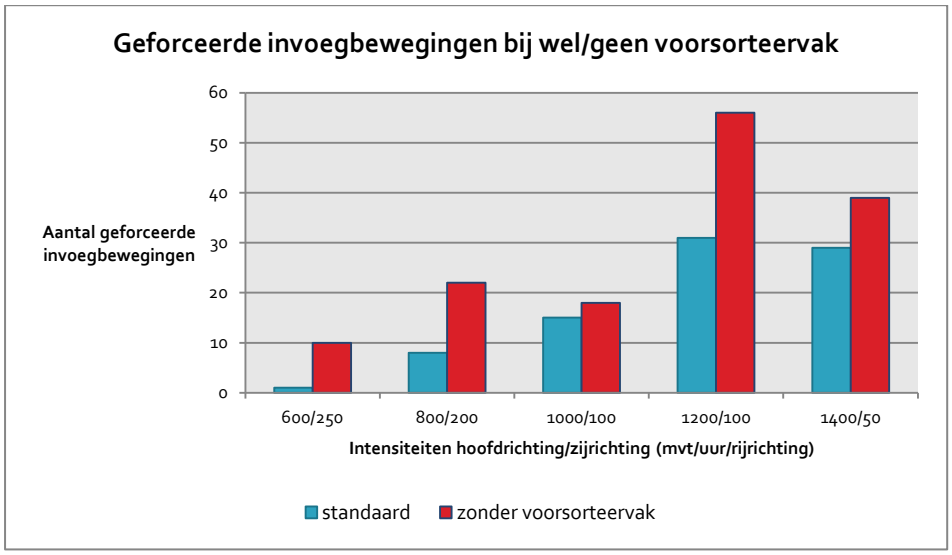




afbeelding 33: verschil in invoegbeweging tussen een voorrangsplein met voorsorteervak (links) en een zonder voorsorteervak (rechts)

Verkeersveiligheid

Het aantal geforceerde invoegbewegingen neemt op een voorrangsplein zonder voorsorteervak toe. Dit heeft een relatie met de toenemende vertragingstijden en de langere oversteeklengte. De toename van de geforceerde invoegbewegingen staat weergegeven in grafiek 23.



grafiek 23: geforceerde invoegbewegingen bij wel of geen voorsorteervak

3.2.5 Hiaatvergroter

De hiaatvergroter is bedacht om de capaciteit en verkeersveiligheid te vergroten. De capaciteit wordt vergroot door het invoegende en overstekende verkeer meer ruimte te geven om dit te kunnen bewerkstelligen. De verkeersveiligheid zou hierbij worden vergroot, omdat de weggebruikers rustiger blijven en minder geforceerder invoegbewegingen doen. In deze paragraaf worden de resultaten uit de simulatie behandeld, die zijn doorgerekend op een voorrangsplein met hiaatvergroter. Hierbij is de standaard inrichtingsvorm gebruikt.

Capaciteit

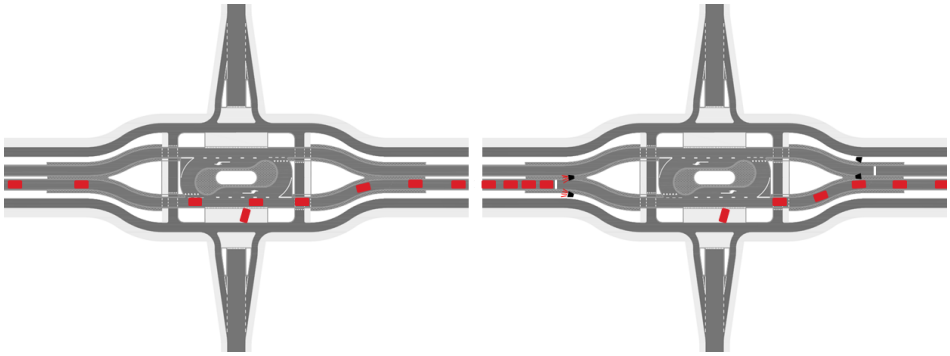
Zoals verwacht wordt de praktische grenswaarden van een voorrangsplein door een hiaatvergroter vergroot. Echter, dit doet de hiaatvergroter alleen bij een aantal hoofdintensiteiten. Deze intensiteiten zijn weergegeven in tabel 23.

tabel 23: verschil in praktische grenswaarden bij het wel of niet toepassen van een hiaatvergroter

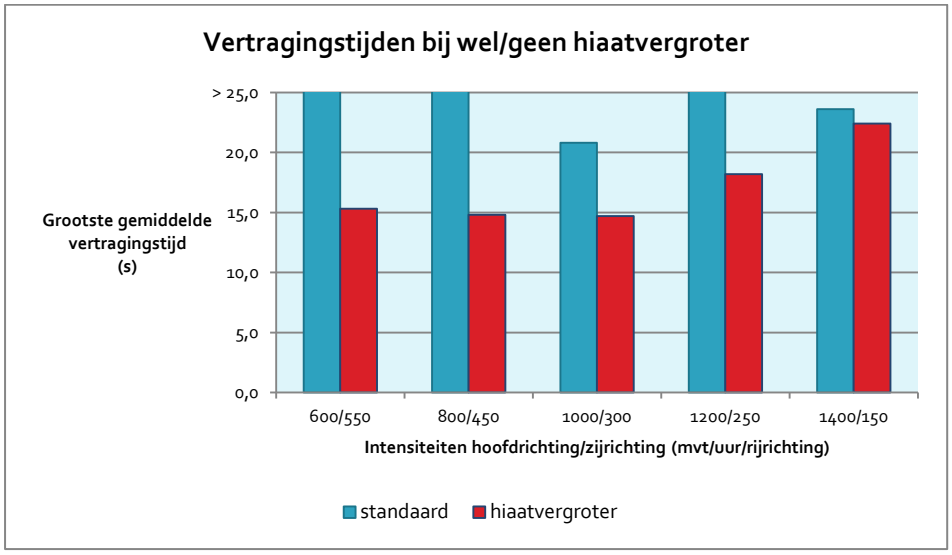
hiaatvergroter	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja
intensiteiten per hoofdrichting	600	600	800	800	1000	1000	1200	1200
intensiteiten per zijrichting	500	550	400	450	250	350	200	250
Totale hoeveelheid verkeer	2200	2300	2400	2500	2500	2800	2800	2900

Bij hogere hoofdintensiteiten worden alleen de vertragingstijden per intensiteitsverhouding verlaagd, maar de capaciteitsgrenzen niet verhoogd. Dit komt doordat bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting de gemiddelde hiaat kleiner is dan bij lage intensiteiten. Een hiaatvergroter zorgt ervoor dat bij lange wachttijden op de zijrichting een geschikt (relatief groot) hiaat op de hoofdrichting wordt vergroot. Bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting neemt hierbij echter de kans op terugslag toe, waardoor het gemiddelde hiaat nog kleiner wordt. Hierdoor kan de hiaatvergroter geen geschikt hiaat vinden om te vergroten, omdat alle hiaten te klein zijn. Hierdoor moet het verkeer op de zijrichting blijven wachten en neemt de vertragingstijd toe. De hiaatvergroter is bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting dus minder effectief. Dit effect is weergegeven in afbeelding 34.

afbeelding 34: voorbeeld van het effect van een hiaatvergroter op de hiaten in de verkeersstroom op de hoofdrichting



In grafiek 24 zijn de resultaten weergegeven. Hierin zijn alleen de doorgerekende intensiteitsverhoudingen weergegeven. Een gridlock is weergegeven met balken zonder eindpunt. Op deze manier wordt weergegeven dat zowel de praktische als theoretische capaciteitsgrenzen worden verlegd.



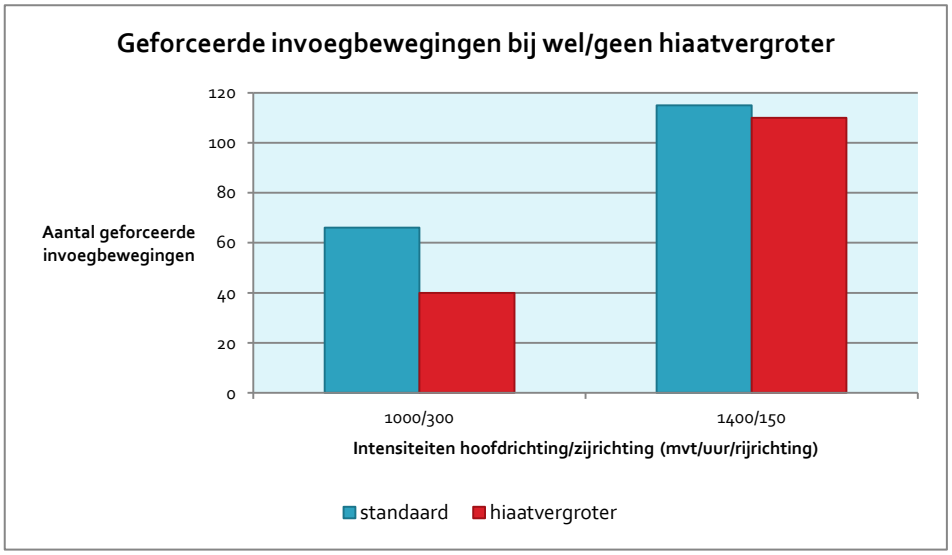
grafiek 24: vertragingstijden bij wel of geen hiaatvergroter

De capaciteit kan met een hiaatvergroter dus daadwerkelijk worden vergroot. Echter, het maximaal aantal intensiteiten op de zijrichting wordt hierbij maar met enkele stappen van 50 voertuigen vergroot. Hierdoor is de hiaatvergroter meer voor het toekomstbestendig maken van een voorrangsplein, dan als daadwerkelijke variant; bij een toename van de intensiteiten in de toekomst – hoofd-/zijrichting – kan de hiaatvergroter ervoor zorgen dat het voorrangsplein niet direct vastloopt. Dit maakt het kruispunttype meer robuust, omdat het voorrangsplein niet direct hoeft te worden gereconstrueerd.

Verkeersveiligheid

De hiaatvergroter zorgt ervoor dat er minder geforceerde invoegbewegingen gebeuren. Uit de simulaties is gebleken dat dit effect groter is bij kleinere hoofdintensiteiten, zoals bij de capaciteit is uitgelegd. De geforceerde invoegbewegingen met en zonder hiaatvergroter zijn weergegeven in grafiek 25.

grafiek 25: geforceerde invoegbewegingen bij wel of geen hiaatvergroter



Doordat de hiaten groter zijn, kan het verkeer eenvoudiger invoegen. Hierdoor neemt het aantal geforceerde invoegbewegingen af. Bij hogere intensiteiten is het verschil kleiner, omdat bij hogere intensiteiten het aantal (bruikbare) hiaten bij een voorrangsplein met hiaatvergroter afneemt. Dit principe is eerder uitgelegd in het onderdeel capaciteit.

3.2.6 Inrichtingskenmerken en simulaties

Alle uitkomsten van de simulaties zijn weergegeven in tabel 24. In de tabel wordt ook de toename of de reductie weergegeven met een percentage. Hierbij wordt vergeleken met de standaard inrichtingsvorm.

tabel 24: inrichtingskenmerk sterkte uitbuiging, lengte en breedte gekoppeld aan de resultaten van de simulaties bij lage en hoge intensiteitsverhouding

Inrichtingskenmerk	Simulatie invoer	Vertragingstijd bij 600/450	Vertragingstijd bij 1400/100
Sterkte uitbuiging	30 km/h	13,6 s (+28%)	34,3 s (+85%)
	35 km/h (standaard)	10,6 s (0%)	18,5 s (0%)
	40 km/h	8,6 s (-19%)	15,9 s (-14%)
Lengte	6 meter	14,5 s (+37%)	25,0 s (+35%)
	10 meter (standaard)	10,6 s (0%)	18,5 s (0%)
	14 meter	10,2 s (-4%)	20,9 s (+13%)
Breedte	13 meter (standaard)	10,6 s (0%)	18,5 s (0%)
	18 meter	8,7 s (-18%)	16,2 s (-12%)
	23 meter	9,5 s (-10%)	16,5 s (-11%)

Uit de simulatie blijkt dat een lagere snelheid op het voorrangsplein leidt tot hogere vertragingstijden. Dit heeft een negatieve invloed op de capaciteit. Daarnaast verslechtert ook de verkeersveiligheid, omdat een lagere snelheid leidt tot meer geforceerde invoegbewegingen. Het korter of langer maken van het voorrangsplein – in vergelijking met de standaard inrichtingsvorm – heeft bij hogere intensiteitsverhoudingen een negatieve invloed op de vertragingstijden. Daarentegen zorgt het breder maken van het voorrangsplein altijd voor een verlaging van de vertragingstijden. Echter, hierbij is een breedte van 18 meter het meest gunstig.

Het niet toepassen van een voorsorteervak zorgt voor hogere vertragingstijden. Dit heeft een negatieve invloed op de capaciteit. Het effect van het wel of niet toepassen van een voorsorteervak is weergegeven in tabel 25. Daarnaast wordt hierdoor ook de verkeersveiligheid verminderd, omdat de geforceerde invoegbewegingen toenemen.

Inrichtings-kenmerk	Simulatie invoer	Vertragingstijd bij 600/250	Vertragingstijd bij 1400/50
Voorsorteervak	wel voorsorteervak (standaard)	5,2 s (0%)	15,1 s (0%)
	geen voorsorteervak	5,8 s (+12%)	17,0 s (+13%)

tabel 25: inrichtingskenmerk voorsorteervak gekoppeld aan de vertragingstijden bij lage en hoge intensiteitsverhouding

Bij lage intensiteitsverhoudingen verbetert de hiaatvergroter de capaciteit aanzienlijk. Dit is weergegeven in tabel 26. Wanneer de intensiteiten toenemen, wordt dit verschil kleiner. Waardoor de hiaatvergroter niet bij alle intensiteitsverhoudingen een oplossing is.

Inrichtings-kenmerk	Simulatie invoer	Vertragingstijd bij 600/550	Vertragingstijd bij 1400/150
Hiaatvergroter	geen hiaatvergroter (standaard)	>60 s (0%)	23,6 s (0%)
	wel hiaatvergroter	15,3 s (>-74%)	22,4 s (-5%)

tabel 26: inrichtingskenmerk hiaatvergroter gekoppeld aan de vertragingstijden bij lage en hoge intensiteitsverhouding

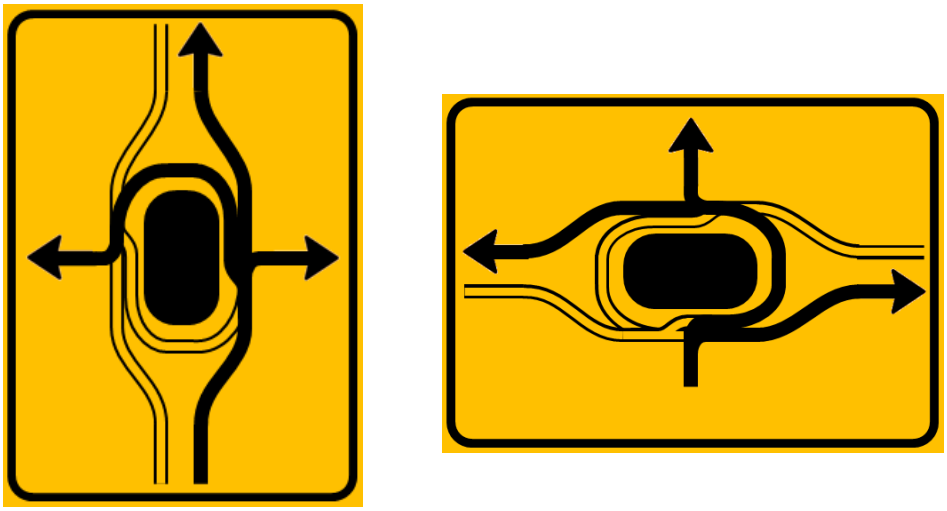
3.3 Interviews

De verslagen van de interviews zijn opgenomen in Bijlage 6: Interviews. In deze paragraaf staan de belangrijkste uitkomsten uit de verschillende interviews beschreven.

3.3.1 Praktijkervaringen

De geïnterviewde personen zijn over het algemeen positief over het voorrangsplein. Uit de praktijk blijkt dat niet wordt ingeleverd op capaciteit. Daarnaast gaat de verkeersveiligheid in vergelijking met de oude verkeerssituatie erop vooruit. In het begin moet de weggebruiker even wennen aan de nieuwe verkeerssituatie. Hierbij gaat het voornamelijk om het links afslaan. Wanneer de weggebruiker dit eenmaal door heeft, gaat de doorstroming met stappen vooruit en neemt het aantal klachten beduidend af. Op zich geeft het geen grote problemen wanneer de wegbeheerder niks onderneemt om deze gewenningsperiode te verkorten. Eén van de geïnterviewde personen gaf aan om deze gewenningsperiode te verkorten door het plaatsen van een speciaal bord of het toepassen van publieksparticipatie om de bewoners te informeren over het voorrangsplein. Een idee voor de te plaatsen borden is weergegeven in afbeelding 35.

afbeelding 35: voorbeeld van een mogelijk tijdelijk verkeersbord over het voorrangsplein



In Hoofddorp is getest of het middeneiland bebouwd moet worden (zoals bij rotondes met kunstwerken of groen), om de zichtlijnen te onderbreken. De gemeente Haarlemmermeer (waar Hoofddorp onder valt) heeft ondervonden dat dit voor fietsers niet ideaal is. De fietsers konden niet over het voorrangsplein kijken, waardoor zij niet goed zagen of er een auto aankwam. De automobilisten zagen de fietsers ook later dan gewenst, waardoor zij minder goed op de fietsers kunnen anticiperen. Daarnaast bleek het weinig effect te hebben op de snelheid van het autoverkeer. Om deze reden zijn de middeneilanden op de voorrangspleinen met fietsoversteken over de hoofdrichting verlaagd, om het doorzicht te verbeteren.

Uit de interviews kwam verder naar voren dat het verkeersbeeld op voorrangsplein rustiger is dan in de oude verkeerssituaties; voor het gevoel lijkt het alsof er minder verkeer over het voorrangsplein rijdt, dit blijkt echter niet uit de intensiteiten. Dit gevoel wordt veroorzaakt doordat het verkeer nu rustig doorstroomt. In de oude situatie moest het verkeer remmen en stilstaan voor een rood verkeerslicht, waardoor het drukker leek op het kruispunt.

Er zijn ook vragen gesteld over de keuze voor het voorrangsplein. Het voorrangsplein moet gezien worden als een mogelijke variant en niet als dé oplossing. Een voorrangsplein scoort vaak beter dan een voorrangskruispunt – zowel mét als zonder VRI – en dan voornamelijk op het gebied van verkeersveiligheid. In vergelijking met een rotonde is het voorrangsplein beter qua doorstroming voor de hoofdrichting. De verkeersveiligheid blijft het beste bij een rotonde. Eén van de geïnterviewde gaf aan dat bij een kruispuntreconstructie een voorrangsplein moet worden afgewogen met de oude verkeerssituatie. Op deze manier wordt goed inzichtelijk gemaakt wat de verschillende kruispunttypes veranderen, zowel op het gebied van verkeersveiligheid als capaciteit (doorstroming).

3.3.2 Capaciteit

De capaciteit van het voorrangsplein is afhankelijk van de intensiteiten. De inrichtingskenmerken moeten worden aangepast aan de intensiteiten. Zo moet voldoende opstelcapaciteit zijn om het afslaande gemotoriseerde verkeer af te wikkelen. Het toepassen van een opstelvak voor links afslaand verkeer is volgens een aantal van de geïnterviewde personen capaciteitsafhankelijk. Voor het fietsverkeer is voldoende opstelruimte ook van belang. Hierbij gaat het meer om de verkeersveiligheid van de fietser. Deze moet ruimte genoeg hebben om met zijn fiets volledig op het voorrangsplein te kunnen staan.

3.3.3 Fietsverkeer

Wat in veel interviews terugkwam was het fietsverkeer op het voorrangsplein. Het ging hier voornamelijk om de locatie van de fietsoversteken. Veel geïnterviewde personen konden geen goede uitspraak doen of het beter is om de fietser over het middeneiland te leiden. Er waren veel twijfels of fietsers over het middeneiland de juiste oplossing is. Wat wel duidelijk naar voren kwam is dat de snelheid van het autoverkeer ter hoogte van de fietsoversteek moet zijn teruggedrongen, om zo de veiligheid van de fietser te verbeteren, in vergelijking met de oude situatie.

3.3.4 Herkenbaarheid

Uit een aantal interviews kwam de herkenbaarheid van het voorrangsplein naar voren. Een belangrijk punt wat naar voren kwam: moet de weggebruiker het voorrangsplein zien als een apart kruispunttype? Het kan voldoende zijn wanneer de weggebruiker weet wat van hem verwacht wordt. Het is daarom

niet van belang dat de weggebruiker het voorrangsplein ziet als een ander kruispunttype. Om die herkenbaarheid te vergroten is de locatie van de uitbuiging – die de vorm bepaalt – van belang. Wanneer de uitbuiging voor en na het voorrangsplein ligt, krijgt het voorrangsplein een rechthoekige vorm. Als de uitbuiging van het begin tot het eind van het voorrangsplein ligt en de maximale uitbuiging in het midden, krijgt het voorrangsplein een ovale vorm. Aan deze ovale vorm wordt getwijfeld of deze door de weggebruiker wordt gezien als een rotonde. Voor de herkenbaarheid moet erop gelet worden dat de vorm van het voorrangsplein duidelijk afwijkt van die van een rotonde.

Daarnaast werd aangedragen om het voorsorteervak te allen tijde aan te leggen, ook als de intensiteiten daar niet om vragen. Het voorsorteervak voor linksaf zorgt voor de herkenbaarheid van het voorrangsplein. Andere kruispunttypes kennen dit voorsorteervak in het middengedeelte niet. Hierdoor kan het voorrangsplein beter herkend worden.

3.3.5 Uniformiteit

Net als bij andere kruispuntvormen is het wenselijk om het voorrangsplein te voorzien van meer uniformiteit. De verschillen tussen de huidige voorrangspleinen zijn te groot, waardoor het voor de weggebruiker lastig is om te bepalen welk gedrag van hem wordt verlangd. Wel wordt gezegd dat niet een vast stramien moet worden gemaakt voor het voorrangsplein; een voordeel van een voorrangsplein is dat het kan worden aangepast aan de stedelijke omgeving. Dit vergroot de toepasbaarheid van het voorrangsplein als mogelijke kruispuntoplossing. Het voorrangsplein wordt hierdoor een kneedbaar kruispunttype. Een rotonde is moeilijker te kneden omdat deze – bij voorkeur – rond is.

Wel wordt door alle geïnterviewde personen gepleit voor basiskenmerken om de uniformiteit te vergroten. Deze basiskenmerken moeten worden opgesteld om de herkenbaarheid van het voorrangsplein te vergroten. Het is hierbij voldoende dat de weggebruiker weet hoe hij moet rijden over een voorrangsplein en wat hierbij verwacht wordt van hem.

De volgende punten zijn aangedragen om meer uniformiteit te verkrijgen:

- bochtverbreding door middel van rammelstroken in de hoofdrichting in plaats van asfaltverbreding: afdwingen lagere snelheid en meer herkenbaarheid;
- voorsorteervak voor linksaf altijd toepassen: meer herkenbaarheid;
- uitbuiging voor en na het voorrangsplein.

3.3.6 Rammelstroken

Op rammelstroken op het middengedeelte mag niet worden bezuinigd. Uit diverse interviews komt naar voren dat deze rammelstrook essentieel is voor het (middel)zwaar verkeer. Als de rammelstroken op het middeneiland niet worden aangelegd, is de kans op beschadigingen van de berm ín en de banden ván het middeneiland groot. Wel moet deze rammelstrook robuust en oncomfortabel worden aangelegd, om te voorkomen dat autoverkeer er gebruik van gaat maken. Tevens wordt aangegeven om de rammelstroken in de hoofdrichting toe te passen. De reden is dat hierdoor minder asfaltverbredingen bij de uitbuigingen nodig zijn, waardoor het gemotoriseerde verkeer er minder snel doorheen kan rijden. Om het voor het (middel)zwaar verkeer toch mogelijk te maken dat zij soepel over het voorrangsplein rijden, zijn hiervoor de rammelstroken aangelegd.

3.3.7 Inrichtingskenmerken en interviews

De resultaten van de interviews zijn vertaald naar de inrichtingskenmerken. Het resultaat is weergegeven in tabel 27.

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect
Locatie uitbuiging	voor en na; begin tot het eind.	De uitbuiging moet voor en na het voorrangsplein komen (rechthoekige vorm). Deze wijkt het meeste van een rotonde. Daarnaast zorgt dit voor lagere snelheden ter hoogte van de oversteekplaatsen voor langzaam verkeer.
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen; over middeneiland.	Het fietspad moet om het voorrangsplein heen worden gelegd. Sluit het meeste aan bij het verwachtingspatroon van de automobilist. Fietspaden worden gelegd op locaties waar de snelheid van het autoverkeer het laagst is.
Rammelstroken	geen rammelstroken; wel rammelstroken.	Rammelstroken op het middeneiland moeten altijd worden toegepast. Op de hoofdrichting rammelstroken toepassen om bochtverbreding te voorkomen (snelheidsremming).
Voorsorteervak	wel voorsorteervak; geen voorsorteervak.	Voorsorteervakken te allen tijden toepassen voor de herkenbaarheid.

tabel 27: inrichtingskenmerken gekoppeld aan de resultaten van de interviews

Naast de vooraf vastgestelde inrichtingskenmerken kwam uit het interview van de gemeente Haarlemmermeer een aanvullend inrichtingskenmerk naar voren. Dit is weergegeven in tabel 28. Het middeneiland wordt verhoogd aangelegd om de zichtlijnen te onderbreken. Dit wordt bij rotondes ook toegepast. Zo wordt het kruispunt zichtbaarder, kan de weggebruiker minder snel invoegen om onveilige invoegbewegingen te voorkomen en is de weggebruiker minder snel geneigd om tegen de richting in te rijden.

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect
Verhoogd middeneiland	wel verhoogd; niet verhoogd.	Het verhogen van het middeneiland heeft een negatief effect als langzaam verkeer oversteekbewegingen over de hoofdrichting maakt. Langzaam verkeer kan niet over het middeneiland heen kijken en wordt later gezien door de automobilisten.

tabel 28: aanvullende inrichtingskenmerk

4 Conclusie en aanbevelingen

Het voorrangsplein: een nieuw kruispunttype!

4.1 Conclusie hoofdvraag 116

4.2 Conclusie verkeersveiligheid 118

4.2.1 Locatie uitbuiging 118

4.2.2 Locatie fietspad 119

4.2.3 Rammelstroken 120

4.2.4 Sterkte uitbuiging 120

4.2.5 Lengte en breedte 121

4.2.6 Voorsorteervak 121

4.2.7 Hiaatvergroter 121

4.2.8 Verhoogd middeneiland 121

4.2.9 Locatie zijrichting 122

4.3 Conclusie Capaciteit 122

4.3.1 Rammelstrook 122

4.3.2 Sterkte uitbuiging 122

4.3.3 Lengte en breedte 123

4.3.4 Voorsorteervak 123

4.3.5 Hiaatvergroter 123

4.4 Aanbevelingen 124

4.4.1 Uniformiteit en herkenbaarheid 124

4.4.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek 127

In dit hoofdstuk staat samengevat wat de belangrijkste uitkomsten uit het onderzoek zijn. De onderzoeksvragen worden hierin beantwoord. Ten eerste wordt de hoofdvraag beantwoord. De hoofdvraag wordt verder toegelicht aan de hand van de deelvragen.

De deelvragen komen overeen met de onderzochte thema's: verkeersveiligheid en capaciteit. Dit hoofdstuk opent met de conclusie op de hoofdvraag. Hierna wordt per thema een deelvraag beantwoord. De conclusie wordt gevolgd door een aantal aanbevelingen. Deze aanbevelingen zijn opgedeeld naar aanbevelingen die voorkomen uit dit onderzoek en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

4.1 Conclusie hoofdvraag

Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk is vermeld luidt de hoofdvraag als volgt:

"Hoe beïnvloeden de verschillende inrichtingskenmerken van het voorrangsplein de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein?"

Het antwoord op deze hoofdvraag is weergegeven in tabel 29. In de paragrafen die daarom volgen zijn onderverdeeld naar de deelvragen, namelijk:

1. *"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de verkeersveiligheid op het voorrangsplein?"*
2. *"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de capaciteit van het voorrangsplein?"*

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect op het voorrangsplein
Locatie uitbuiging	voor en na	⊂ begrijpelijker voorrangsplein; ⊂ vorm wijkt af van een rotonde; ⊂ snelheid van gemotoriseerd verkeer is het laagst ter hoogte van de fietsoversteek; ⊂ fietsers hebben meer opstelruimte tussen de rijbanen.
	begin tot eind	⊂ vorm lijkt teveel op een rotonde; ⊂ weinig opstelruimte voor de automobilist.
	geen	⊂ principe van het voorrangsplein wordt begrepen.
Locatie fietspad	om voorrangsplein heen	⊂ snelheid van gemotoriseerd verkeer is het laagst ter hoogte van de fietsoversteek; ⊂ op een locatie waar de automobilist de fietser verwacht.
	over middeneiland	⊂ kortste fietsroute; ⊂ creëert onduidelijke verkeerssituatie; ⊂ afsnijden via trottoir.
Rammelstroken	geen rammelstroken	⊂ beschadigingen van de trottoirbanden; ⊂ blokkade door langzaam rijdend (middel)zwaar verkeer.
	wel rammelstroken	⊂ in uitbuiging: voorkomt bochtverbreding met asfalt.
Sterkte uitbuiging	sterk (30 km/h)	⊂ lage snelheid verhoogt de verkeersveiligheid; ⊂ kans op conflicten neemt toe; ⊂ hogere vertragingstijden door kleinere hiaten.
	zwak (40 km/h)	⊂ hoge snelheid verlaagt de verkeersveiligheid; ⊂ kans op conflicten neemt af; ⊂ lagere vertragingstijden dan bij een sterke uitbuiging.
Lengte	⊂ kort; ⊂ middellang; ⊂ lang.	⊂ lengte heeft nauwelijks invloed op de verkeersveiligheid; ⊂ langere voorrangspleinen verlagen de vertragingstijden.
Breedte	⊂ smal; ⊂ middelbreed; ⊂ breed.	⊂ breedte heeft nauwelijks invloed op de verkeersveiligheid; ⊂ bredere voorrangspleinen verlagen de vertragingstijden
Combinatie lengte en breedte	negen verschillende combinaties	⊂ wijzigen van de lengte én de breedte heeft per definitie geen invloed op de verkeersveiligheid en capaciteit.
Voorsorteervak	⊂ wel voorsorteervak; ⊂ geen voorsorteervak.	⊂ verhoogt de herkenbaarheid; ⊂ onderscheidend van andere kruispunttypes. ⊂ verhoogt de kans op conflicten; ⊂ verhoogt de vertragingstijden.
Hiaatvergroter	⊂ wel hiaatvergroter; ⊂ geen hiaatvergroter.	⊂ bij lage intensiteitsverhoudingen verbetert licht de verkeersveiligheid en de capaciteit. ⊂ bij hoge intensiteitsverhoudingen weinig verschil tussen een voorrangsplein met hiaatvergroter.

tabel 29: eindconclusie inrichtingskenmerken

Naast de vooropgestelde inrichtingskenmerken zijn uit dit onderzoek ook twee aanvullende inrichtingskenmerken naar voren gekomen, welke zijn weergegeven in tabel 30.

Inrichtingskenmerk	Inrichtingselement	Effect op het voorrangsplein
Verhoogd middeneiland	wel verhoogd; niet verhoogd.	onderbreekt de zichtlijnen; langzaam verkeer kan niet over het middeneiland heen kijken en worden minder goed gezien.
Locatie zijrichting	linkse bajonet; midden; rechtse bajonet.	bajonetaansluiting verhoogd de kans op spookrijden in vergelijking met een rechte aansluiting; linkse bajonet zorgt voor afdekconflicten.

tabel 30: conclusie aanvullende inrichtingskenmerken

Per inrichtingskenmerk volgt een nadere toelichting. De conclusie van de inrichtingskenmerken is onderverdeeld naar thema.

4.2 Conclusie verkeersveiligheid

In deze paragraaf staan conclusie van de inrichtingskenmerken centraal die invloed hebben op het thema verkeersveiligheid. De daar bij behorende deelvraag luidt als volgt:

"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de verkeersveiligheid op het voorrangsplein?"

4.2.1 Locatie uitbuiging

De locatie van de uitbuiging van het voorrangsplein is belangrijk voor de begrijpelijkheid van het kruispunt. Vanuit de observaties is naar voren gekomen dat een rechthoekige vorm beter te begrijpen is dan een ovale vorm. Ook uit de interviews komt naar voren dat een rechthoekige vorm herkenbaarder is als een apart kruispunttype. De ovale vorm kan door de weggebruiker gezien worden als een rotonde.

Daarnaast heeft de locatie van de uitbuiging invloed op het ongewenst voorrang verlenen. Ongewenst voorrang verlenen kan leiden tot een verslechtering van de verkeersveiligheid. Wanneer het te vaak voorkomt, kan het verkeer uit de zijrichting denken dat zij voorrang hebben en dit meer gaan nemen. Het gevolg kan hierbij zijn dat een conflict ontstaat. Daarnaast is het risico op kop-staartbotsingen groter; als het voorste voertuig ongewenst voorrang verleent en het voertuig daarachter het niet verwacht, bestaat de kans dat deze te laat anticipeert.

Tevens kwam uit de cameraobservaties naar voren dat de vorm van het voorrangsplein invloed heeft op het opstellen van de voertuigen. Voertuigen kunnen bij een ovale vorm op het middengedeelte naast elkaar opstellen. Hierdoor ontstaan verkeersonveilige situaties die tot conflicten leiden. Daarnaast blokkeren voertuigen dikwijls de hoofdrichting, wat kan leiden tot

onveilige situaties. Hierbij staat het voertuig dat op het middengedeelte wil opstellen met zijn achterzijde op de doorgaande rijbaan. De weggebruikers op de hoofdrichting zien dit soms te laat, waardoor zij moeten remmen of uitwijken om een aanrijding te voorkomen. Bij een voorrangsplein met een ovale vorm is bij de cameraobservatie meer twijfelend gedrag geconstateerd. Zo vertoonden bestuurders onzeker gedrag op het voorrangsplein: onzekerheid over wie voorrang heeft en waar men links af moet slaan. De oorzaak kan liggen bij de locatie van de uitbuiging (de vorm) van het voorrangsplein. Tijdens de cameraobservatie is ook een voorrangsplein zonder uitbuiging onderzocht. Hieruit bleek dat vrijwel geen bestuurder twijfelend gedrag vertoont. Geconcludeerd wordt dat de mensen wel het principe van het voorrangsplein begrijpen.

Uit de interviews en de snelheidsmeting kwamen ook naar voren dat de locatie van de uitbuiging invloed heeft op de verkeersveiligheid op het voorrangsplein. Het is van belang dat bij de oversteekplaatsen van het langzaam verkeer de snelheid zo laag mogelijk ligt. Dit kan alleen bewerkstelligd worden wanneer de uitbuiging voor deze oversteekplaatsen ligt. Wanneer een ongeval zou plaatsvinden, wordt dan de kans op ernstig letsel hierdoor verkleind.

4.2.2 Locatie fietspad

Bij de diverse onderzochte voorrangspleinen is de locatie van de fietsoversteek op het voorrangsplein verschillend. Als fietsers over het middeneiland worden geleid ontstaan er conflicten bij het op- en afrijden van het voorrangsplein. Wanneer fietsers vanuit de zijrichting komen of daar naartoe gaan, komen zij in conflict met het autoverkeer dat dezelfde weg ingaat of de hoofdrichting op wilt rijden. Uit de cameraobservaties is gebleken dat hierbij onduidelijkheid bestaat over wie voorrang heeft. Het gevolg is dat de fietser vaak langer moet wachten om over te steken. Daarnaast is uit de cameraobservaties gebleken dat fietsers afsnijden door gebruik te maken van de trottoirs – die om het voorrangsplein heen liggen. Hierdoor kunnen zij in conflict raken met voetgangers, die daar veilig willen oversteken. Tijdens de interviews is ook naar voren gekomen dat het niet wenselijk is om de fietsers over het middeneiland te leiden, vooral omdat automobilisten de fietsers hier niet verwacht.

Wanneer het fietspad om het voorrangsplein ligt wordt een ander gedrag geconstateerd. Tijdens de cameraobservaties werd door een aantal fietsers op het fietspad tegen de richting in gereden. Het gevolg was dat de fietsers in conflict kwamen met fietsers in de tegengestelde richting, mede door de smalle eenrichting fietspaden aldaar. Dit leverde geen noemenswaardige problemen op. Ook het autoverkeer anticipeerde goed op de spookrijdende fietsers. Dit was ook goed te zien bij het voorrangsplein waar de fietsers in twee richtingen mogen fietsen.

Uit de cameraobservatie en de interviews wordt geconcludeerd dat het voor de verkeersveiligheid beter is de fietsers om het voorrangsplein heen te leiden, en niet over het middeneiland. Hierdoor wordt een onduidelijke voorrangssituatie met het autoverkeer voorkomen. De locatie van de fietsoversteek is hierbij ook op de plek waar weggebruikers hem verwachten, omdat dit overeenkomt met andere kruispunttypes.

De voorkeur gaat uit om de fietspaden in te richten als eenrichtingsfietspaden. Hierdoor komt de fietser vanaf plaatsen waar de automobilist de fietser verwacht. Dit speelt voornamelijk op de locaties waar de fietsers voorrang hebben. Op de plekken waar de fietser voorrang moet verlenen kunnen de fietspaden als tweerichtingsfietspaden worden ingericht. Dit blijkt ook uit de cameraobservatie.

4.2.3 Rammelstroken

De bochtverbreding in de uitbuiging in de hoofdrichting heeft invloed op de uiteindelijk gereden snelheden op het voorrangsplein. Een bochtverbreding wordt toegepast om te zorgen dat (middel)zwaar verkeer gebruik kan maken van het voorrangsplein. Uit de interviews was gekomen dat deze bochtverbreding kan worden toegepast door middel van rammelstroken in de hoofdrichting. Hierdoor wordt de weg niet verbreed met asfalt, waardoor de snelheid voldoende wordt verlaagd. Daarnaast moeten rammelstroken te allen tijde op het middeneiland worden toegepast. Hierdoor worden beschadigingen van de bermen en de trottoirbanden op het middeneiland voorkomen.

4.2.4 Sterkte uitbuiging

Zoals van tevoren verwacht werd, zorgt de uitbuiging op het voorrangsplein voor een snelheidsreductie. De sterkte van de uitbuiging heeft veel invloed op de snelheidsreductie op het voorrangsplein. Het verschil in snelheid tussen een voorrangsplein met de uitbuiging voor en na het kruispunt en de uitbuiging van het begin tot het einde van het voorrangsplein is groot. Desalniettemin geldt voor beide voorrangspleinen – op basis van de snelheid – een verbetering van de verkeersveiligheid op het voorrangsplein in vergelijking met het wegvak. Uit de resultaten blijkt dat de snelheid op beide voorrangspleinen voldoende wordt gereduceerd, wat een positief effect heeft op de verkeersveiligheid.

Uit de simulaties is gebleken dat bij een lage snelheid op het voorrangsplein (30 km/h, sterke uitbuiging) bij hoge intensiteiten op de hoofdrichting (>1000 mvt/uur) meer geforceerde invoegbewegingen voorkomen dan bij een doorrijdsnelheid van 35 km/h. Bij een snelheid van 40 km/h is dit aantal nog lager. De reden hiervoor lijkt te zijn dat bij 30 km/h meer kleine hiaten ontstaan door terugslag van het verkeer op de hoofdrichting, dat resulteert in langere wachttijden voor de zijrichting en het verkeer op het middengedeelte. Hierdoor gaan invoegende weggebruikers meer risico nemen en zeer kleine

hiaten accepteren. Hieruit wordt gesteld: als de snelheid bij hoge intensiteiten op de hoofdrichting wordt verlaagd, neemt de kans op een conflict – die kan leiden tot een ongeval – toe.

4.2.5 Lengte en breedte

De effecten van maatvoering op verkeersveiligheid komt voor uit de simulatie. Een indicator van de verkeersveiligheid in de simulatie is het aantal geforceerde invoegbewegingen. Bij een geforceerde invoegbeweging ontstaat op de hoofdrichting een kleine terugslag van het verkeer, omdat het verkeer moet remmen voor de auto die invoegt. Dit heeft een negatief effect op de verkeersveiligheid

Uit de simulatie is gebleken dat er geen grote verschillen zijn tussen de diverse inrichtingskenmerken; het aantal geforceerde invoegbewegingen varieert weinig bij de verschillende lengtes en breedtes van het voorrangsplein. Wel heeft de intensiteit van het verkeer invloed op de geforceerde invoegbewegingen. Deze neemt toe naarmate de intensiteit ook toeneemt.

4.2.6 Voorsorteervak

Voor de begrijpelijkheid van het voorrangsplein is het van belang om zoveel mogelijk een voorsorteervak voor linksaf toe te passen. Uit de interviews is gebleken dat een voorsorteervak voor linksaf helpt bij de begrijpelijkheid van het voorrangsplein. Zo herkent de weggebruiker eerder dat hij om het middeneiland heen moet rijden. Daarnaast zorgt het voorsorteervak voor links afslaan dat het voorrangsplein zich meer kan onderscheiden van een rotonde, waardoor ook meer uniformiteit ontstaat in de inrichtingsvorm. Het is voor de herkenbaarheid van belang om een voorsorteervak voor linksaf (met pijlmarkering ter ondersteuning) toe te passen. Uit de simulaties is gebleken dat het toepassen van een voorsorteervak zorgt voor een lagere kans op een conflict dan een voorrangsplein zonder voorsorteervak.

4.2.7 Hiaatvergroter

Uit de simulatie blijkt dat bij een aantal intensiteitsverhoudingen is geconstateerd dat de hiaatvergroter het aantal geforceerde invoegbewegingen reduceert. Het effect is bij hoge hoofdintensiteiten kleiner dan bij lage hoofdintensiteiten.

4.2.8 Verhoogd middeneiland

Uit de interviews blijkt dat het verhogen van het middeneiland – zoals dat bij rotondes wordt aanbevolen – bevordert de verkeersveiligheid op het voorrangsplein niet. Uit het interview met de gemeente Haarlemmermeer blijkt dat langzaam verkeer niet over het middeneiland kan kijken. Hierdoor kunnen zij moeilijker schatten of een auto het voorrangsplein nadert. Het gevolg is dat het langzaam verkeer meer risico neemt bij het oversteken van het voorrangsplein.

4.2.9 Locatie zijrichting

Uit de cameraobservaties blijkt dat de locatie van de zijrichting invloed heeft op het uiteindelijke gedrag op het voorrangsplein. Zo heeft de locatie van de zijrichting invloed op het spookrijden. Wanneer de zijrichting is aangesloten als een bajonet op de hoofdrichting is de kans op spookrijden groter. Hierdoor worden bepaalde routes korter, waardoor het eenvoudiger is om een af te snijden. Dit heeft een negatieve invloed op de verkeersveiligheid. Er moet dus goed gelet worden hoe de zijrichting aansluit op het voorrangsplein.

4.3 Conclusie Capaciteit

In deze paragraaf staan conclusie van de inrichtingskenmerken centraal die invloed hebben op het thema capaciteit. De daar bij behorende deelvraag luidt als volgt:

"Welk effect hebben de verschillende inrichtingskenmerken op de capaciteit op het voorrangsplein?"

4.3.1 Rammelstrook

Uit de interviews blijkt dat de rammelstrook op het middeneiland heeft invloed op de capaciteit van het voorrangsplein. Wanneer geen rammelstrook op middeneiland aanwezig is, kost het voor het (middel)zwaar verkeer meer moeite om het voorrangsplein te passeren. Hierdoor blokkeert het (middel)zwaar verkeer andere rijrichtingen. Dit heeft invloed op de capaciteit van het voorrangsplein.

4.3.2 Sterkte uitbuiging

De resultaten van de simulatie geven weer dat de snelheid op het voorrangsplein veel invloed heeft op de capaciteit van het voorrangsplein. Als de snelheid op het voorrangsplein laag ligt (30 km/h), dan neemt de vertragingstijd beduidend toe. Bij een hogere snelheid (40 km/h) neemt de vertragingstijd af. Dat de vertragingstijd minder is bij 40 km/h komt door minder terugslag op de hoofdrichting; de snelheidsreductie is hier namelijk 10 km/h – van 50 km/h naar 40 km/h – ten opzichte van 20 km/h reductie bij 30 km/h. Aangezien maar één rijstrook per rijbaan aanwezig is, wordt de snelheid van het verkeer in een cluster voertuigen bepaald door het voertuig dat vooraan rijdt. Tussen deze clusters ontstaan hiaten, waar het verkeer op de zijrichting gebruik van kan maken om in te voegen. Het voorste voertuig wordt geremd door de uitbuiging naar de gewenste snelheid (30km/h, 35 km/h of 40 km/h), waarbij de rest van de voertuigen in het cluster deze snelheid ook volgen. Het volgende cluster voertuigen erachter rijdt op het wegvak nog 50 km/h, waarbij het hiaat tussen de clusters bij een reductie van 20 km/h sneller krimpt dan bij een reductie van 10 km/h. Hierdoor ontstaan kleinere hiaten tussen de clusters. Het verkeer uit de zijrichting moet hierdoor bij 30 km/h langer wachten op een geschikt hiaat dan bij 40 km/h. Daardoor neemt de vertragingstijd bij lagere snelheden toe en de capaciteit af.

4.3.3 Lengte en breedte

De vertragingstijden op het voorrangsplein zijn afhankelijk van de lengte en de breedte van het voorrangsplein. De simulatie heeft berekend dat een voorrangsplein langer of breder dan de standaard inrichtingsvorm wordt uitgevoerd, gaan de vertragingstijden van het voorrangsplein omlaag. Dit komt door meer opstelruimte voor voertuigen op het middengedeelte. Hierdoor kan het verkeer op de hoofdrichting beter doorstromen. Bij hoge intensiteiten op de hoofdrichting – vanaf 1400 mvt/uur per rijbaan – zijn de smalle en korte inrichtingskenmerken niet meer geschikt, omdat de vertragingstijden hoger zijn dan de praktische grens van 20 seconde. Bij hogere intensiteiten op de hoofdrichting is meer opstelruimte belangrijk, omdat het langer duurt voor een geschikt hiaat op de hoofdrichting ontstaat. Hierdoor moeten voertuigen op het middengedeelte langer wachten om in te voegen en is de kans op een langere wachtrij groter. Daarnaast geldt – in mindere mate – dat als het voorrangsplein korter is, het voorsorteervak ook korter is. Hierdoor heeft het verkeer op de hoofdrichting minder ruimte om te kunnen uitvoegen. Het gevolg is dat de voertuigen op de hoofdrijbaan moeten remmen. Dit in combinatie met de hogere intensiteiten zorgt voor kleinere hiaten op de hoofdrichting. Hierdoor heeft het verkeer vanuit de zijrichting en vanaf het middengedeelte minder mogelijkheden om in te voegen of over te steken. Bij te weinig opstelruimte slaat het verkeer terug op de hoofdrijbaan waarbij het verkeer ook op het voorrangsplein vast komt te staan. In de observaties is opgemerkt dat deze congestie in de praktijk vanzelf weer oplost, ondanks dat het meer tijd kost dan gewenst is.

4.3.4 Voorsorteervak

Uit de simulatie bleek dat het voorsorteervak voor het links afslaande verkeer is cruciaal voor de capaciteit van het voorrangsplein. Wanneer deze ontbreekt, kan het voorrangsplein beduidend minder verkeer verwerken; het niet toepassen van een voorsorteervak voor links afslaan kan alleen bij lage intensiteiten voor linksaf.

4.3.5 Hiaatvergroter

De simulatie heeft berekend dat de effecten van een hiaatvergroter alleen werkten bij een aantal intensiteitsverhoudingen. Hierbij zorgt de hiaatvergroter ervoor dat het voorrangsplein niet vastloopt en in de meeste gevallen de gemiddelde vertragingstijd afneemt tot onder 20 seconde. Wanneer de intensiteiten op de zijrichting te hoog worden kan ook een hiaatvergroter niet helpen om de capaciteit van het voorrangsplein te verbeteren. Dit heeft te maken met het aantal voertuigen dat links afslaat vanaf de hoofdrichting; het middengedeelte raakt hierdoor te snel vol.

Een hiaatvergroter is meer een middel om het voorrangsplein toekomstbestendig te maken, voor als het verkeer in de toekomst toeneemt en de grenzen van de capaciteit van het voorrangsplein bereikt.

4.4 Aanbevelingen

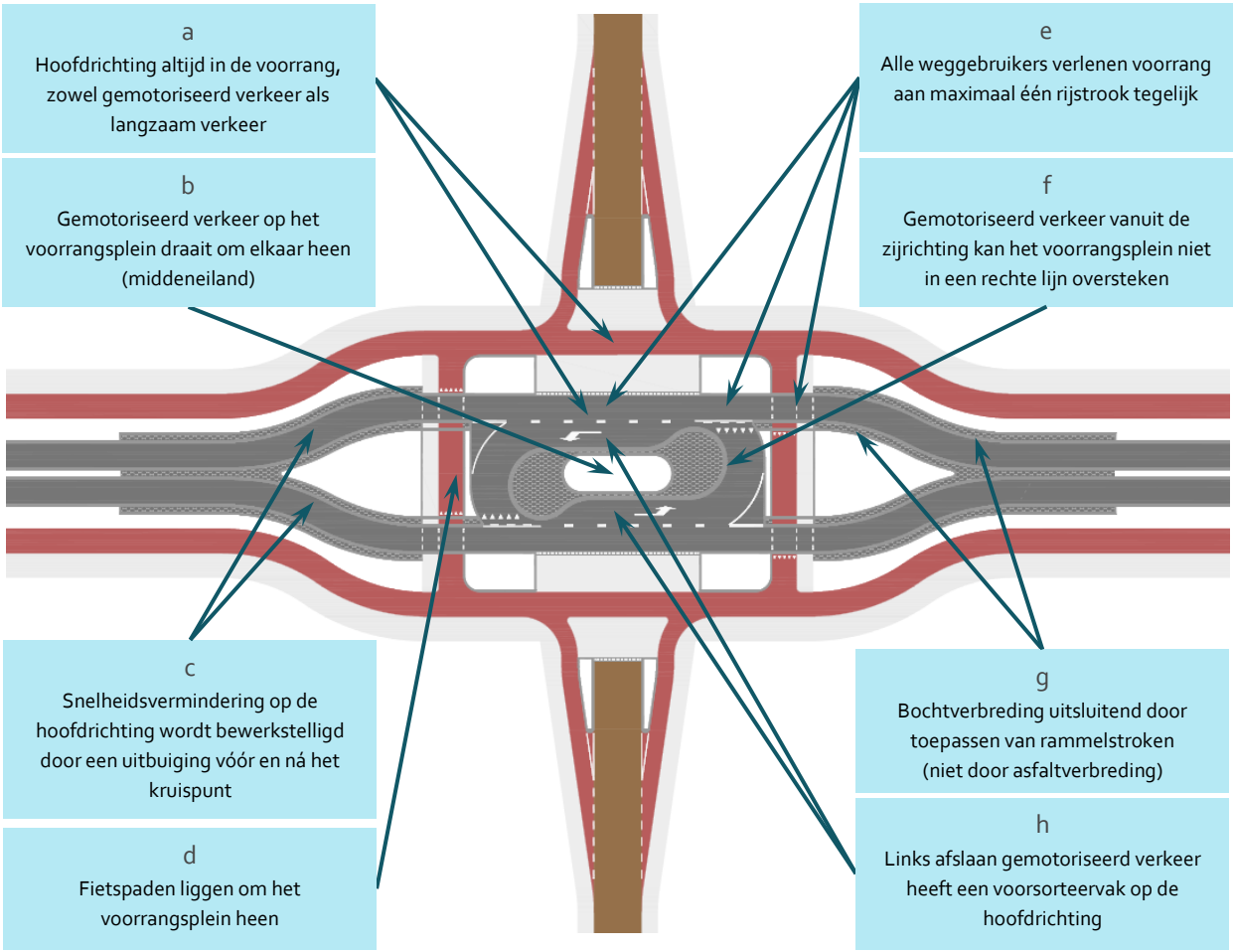
Uit de conclusie is gebleken dat de verkeersveiligheid en de capaciteit van het voorrangsplein afhankelijk is van diverse inrichtingskenmerken. In deze paragraaf zijn de conclusies samengevoegd tot een aanbeveling voor een 'nieuw' voorrangsplein. Hierbij staat de uniformiteit en de herkenbaarheid van het voorrangsplein centraal. De paragraaf sluit af met aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

4.4.1 Uniformiteit en herkenbaarheid

Uit het onderzoek is gebleken dat het voorrangsplein uniformiteit mist. Het gevolg is dat de herkenbaarheid en begrijpelijkheid van het voorrangsplein in het geding komt. De begrijpelijkheid van een kruispunt is gerelateerd aan de capaciteit en verkeersveiligheid op het kruispunt. Als een kruispunt niet begrepen wordt door de weggebruiker is de kans op ongewenst gedrag groter, waardoor onduidelijke verkeerssituaties kunnen ontstaan. Dit kan leiden tot conflicten – eventueel ongevallen – en minder goede doorstroming op het kruispunt. Om de weggebruiker zoveel mogelijk te ondersteunen in zijn rijtaak is de weginrichting in Nederland sinds de jaren negentig zoveel mogelijk Duurzaam Veilig uitgevoerd (SWOV, 2012). Hierbij zijn herkenbaarheidskenmerken per kruispunttype vastgesteld en worden deze zoveel mogelijk nagestreefd. Uit het vooronderzoek is gebleken dat het voorrangsplein nog geen vaste inrichtingsvorm heeft. Dit komt mede door het ontbreken van herkenbaarheidskenmerken. Om het voorrangsplein meer begrijpelijk te maken voor de weggebruiker is daarom onderzocht welke herkenbaarheidskenmerken het kruispunttype moet hebben. Op deze manier kan het voorrangsplein zich onderscheiden van andere kruispunttypes, zoals rotondes en voorrangskruispunten.

Herkenbaarheidskenmerken

Om het voorrangsplein te kunnen onderscheiden van andere (langzaam-sneller-)kruispunttypes, zijn vanuit de diverse deelonderzoeken acht herkenbaarheidskenmerken opgesteld. Hierdoor is het eenvoudiger te herkennen wanneer een kruispunt een voorrangsplein is, en vooral hoe het kruispunt werkt. Voor de weggebruiker wordt het voorrangsplein herkenbaarder als aan deze herkenbaarheidskenmerken wordt voldaan. Door grotere herkenbaarheid is het duidelijker voor de weggebruiker wat van hem wordt verwacht en is de kans op gewenst gedrag groter. Per herkenbaarheidskenmerk is aangegeven of deze dan wel bijdraagt aan de capaciteit, dan wel bijdraagt aan de verkeersveiligheid. De herkenbaarheidskenmerken zijn weergegeven in afbeelding 36.



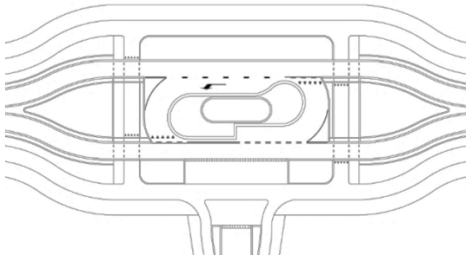
afbeelding 36: acht herkenbaarheidskenmerken

De acht herkenbaarheidskenmerken zijn:

a hoofdrichting altijd in de voorrang, zowel gemotoriseerd verkeer als langzaam verkeer (capaciteitskenmerk);
b gemotoriseerd verkeer op het voorrangsplein draait om elkaar heen, door middel van middeneiland (verkeersveiligheids- en capaciteitskenmerk);
c snelheidsvermindering op de hoofdrichting wordt bewerkstelligd door een uitbuiging voor en na het kruispunt (verkeersveiligheidskenmerk);
d fietspaden liggen om het voorrangsplein heen (verkeersveiligheidskenmerk);
e alle weggebruikers verlenen voorrang aan maximaal één rijstrook tegelijk (met uitzondering van voorsorteervak) (verkeersveiligheids- en capaciteitskenmerk);
f gemotoriseerd verkeer vanuit de zijrichting kan het voorrangsplein niet in een rechte lijn oversteken (uitbuiging middeneiland) (verkeersveiligheidskenmerk);
g bochtverbreding uitsluitend door toepassen van rammelstroken (niet door asfaltverbreding) (verkeersveiligheidskenmerk);
h links afslaand verkeer heeft een voorsorteervak op de hoofdrichting (capaciteitskenmerk).

Deze herkenbaarheidskenmerken komen voort uit dit onderzoek.

Bij een voorrangsplein met drie aansluitende wegen – twee op de hoofdrichting en een op de zijrichting – wordt tot nu toe geen voorsorteervak toegepast. Om ervoor te zorgen dat meer uniformiteit tussen de verschillende inrichtingskenmerken ontstaat, is het een optie om ook bij een voorrangsplein met drie aansluitende wegen een voorsorteervak aan beide kanten van het voorrangsplein toe te passen. Hiermee wordt getracht het oversteken te vergemakkelijken, meer opstelcapaciteit te creëren en het onderscheid tussen een rotonde en een voorrangsplein te accentueren (herkenbaarheid). De verschillende inrichtingskenmerken van een voorrangsplein met één zijrichting staan weergegeven in afbeelding 37.



afbeelding 37: voorbeeld van een drietaks voorrangsplein (links) en een mogelijke variant met twee voorsorteervakken (rechts)

4.4.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Op basis van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- het effect van het toepassen van rammelstroken in de uitbuiging op de hoofdrichting onderzoeken. In het aanbevolen voorrangsplein zijn rammelstroken in de hoofdrichting toegepast om asfaltverbreding te voorkomen. Onderzocht kan worden of deze rammelstroken het gewenste effect hebben (herkenbaarheid kruispunt en verkeersveiligheid);
- het onderzoeken van het voorrangsplein in netwerkverband. Door een onderzoek te doen naar voorrangspleinen in netwerkverband kan inzicht worden verkregen in welke invloed rotondes, voorrangskruispunten (met en zonder VRI) en voorrangspleinen op elkaar hebben binnen een verkeersnetwerk;
- een voorrangsplein kan een sturend effect hebben op de richting van het verkeer. Door de hoofdrichting in de gewenste richting te leggen, kan het voorrangsplein ervoor zorgen dat het verkeer die richting ook gaat gebruiken. Een onderzoek kan worden gedaan naar dit effect, waarbij onderzocht wordt of het voorrangsplein te gebruiken is als een sturend kruispunt;
- een onderzoek naar de resultaten van het simulatieprogramma. Onderzocht kan worden of de vertragingstijden en andere parameters kloppen met de werkelijke verkeerssituatie (kalibreren);
- voor een vervolgonderzoek waarbij een cameraobservatie wordt toegepast wordt aanbevolen om de camera op een hogere positie te plaatsen. Hierdoor heeft de observator meer overzicht over het voorrangsplein. Daarnaast zou een snelheidsmeting kunnen worden gedaan door radar of telslangen. Deze geven meer informatie, omdat ze 24 uur per dag kunnen meten en nauwelijks effect hebben op het weggedrag;
- het effect van het toepassen van een tweede voorsorteervak op een voorrangsplein met drie aansluitende wegen. Het gaat hier om het voorsorteervak dat is weergegeven in afbeelding 37. Onderzocht kan worden of het 'extra' voorsorteervak het gewenste effect oplevert.

5 Discussie

Betrouwbaarheid en validiteit

5 Discussie 129

5.1 Snelheidsmetingen 131

5.2 Cameraobservaties 131

5.3 Simulaties 132

5.4 Interviews 132

In dit hoofdstuk wordt dit onderzoek ter discussie gesteld. Per deelonderzoek wordt de betrouwbaarheid en de validiteit behandeld. Dit onderzoek heeft een hoge mate van betrouwbaarheid. Door het gebruik van verschillende bronnen wordt de betrouwbaarheid vergroot – ook wel trianguleren genoemd.

5.1 Snelheidsmetingen

De betrouwbaarheid van de snelheidsmeting is groot, door het grote aantal gemeten snelheden op zowel het wegvak als op het kruispunt. Voor een betrouwbaarheid van 95% moeten minimaal 377 voertuigen gemeten worden. Alle metingen liggen rond dit aantal. Hierdoor wordt geacht dat de snelheidsmeting betrouwbaar zijn. Dit is ook te zien in de statistische controle, die is uitgevoerd. Er wordt vanuit gegaan dat de resultaten van de snelheidsmeting representatief zijn voor de populatie. Ten eerste omdat er gemeten is op verschillende dagen en dagdelen. Ten tweede omdat de meting aselect is uitgevoerd. Ten slotte zijn er geen aanwijzingen dat het verkeersbeeld tijdens de meting anders is dan normaal. Wel bestaat een risico dat de gemeten snelheden lager zijn dan in de werkelijke situatie, omdat de gemeten automobilisten kunnen denken dat de observant een politieagent is, die een controle uitgevoerd. Hierdoor kunnen zij hun snelheid aanpassen, om te voorkomen dat zij te hard rijden. Dit is zo veel mogelijk voorkomen door de observant verdekt op te stellen.

De snelheidsmeting is valide. De snelheden zijn gemeten met een lasergun. Wel bestaat de kans dat de lasergun een verkeerde snelheid meet. Wanneer dit het geval is, is de afwijking verwaarloosbaar klein. Aangezien de gemeten groep groot is, hebben deze afwijkingen weinig invloed hebben op de gemiddelden en de V_{85}. Daarnaast zijn alleen de snelheden gemeten van een auto die niet gehinderd werd door ander verkeer, zoals bussen en vrachtverkeer. Tevens is de snelheid gemeten in km/h.

5.2 Cameraobservaties

Voor de cameraobservatie ligt de betrouwbaarheid lager. De camera neemt vanaf één standpunt beelden op, waarbij de camera op 1,5 meter boven het maaiveld staat. Hierdoor wordt het moeilijker om sommige verkeerssituaties goed in te schatten. Daarnaast heeft de observator grenzen in zijn waarnemingsvermogen. Deze kan zich goed concentreren op één verkeerssituatie en daardoor kan hij een andere verkeerssituatie over het hoofd zien. Voor dit onderzoek zijn de uitkomsten echter wel bruikbaar, omdat het gaat om een kwalitatief onderzoek. De verschillende observaties zijn daarnaast door dezelfde observator uitgevoerd, waarbij de observaties op dezelfde manier zijn behandeld. Hierdoor kunnen de uitkomsten goed met elkaar worden vergeleken.

De cameraobservatie wordt ook als valide gezien. Telkens is gebruikgemaakt van dezelfde camera, waarbij de camera de volledige voorrangspleinen heeft geregistreerd. Wel bestaat een kans dat met het analyseren van de beelden toevallige fouten zijn gemaakt. Hierbij gaat het om het missen van een conflict of een ander gedragspunt.

5.3 Simulaties

Tijdens het onderzoek is het simulatieprogramma niet gekalibreerd. Hierdoor is niet uitgebreid onderzocht of de resultaten waarheidsgetrouw zijn. Desalniettemin leidt het gebruik van het Langzaam-sneller-simulatieprogramma niet tot afwijkende resultaten. Een goede reden is dat dit simulatieprogramma gebaseerd is op bestaande gedragsregels en formules. Deze komen van andere simulatiemodellen (denk aan VISSIM, AIMSUM) en zijn uitgebreid onderzocht. Tevens zijn de gedragsregels aangepast aan de Nederlandse weggebruiker, waardoor geacht wordt dat de resultaten betrouwbaard zijn voor situaties in Nederland. Daarnaast zijn de grensverhoudingen bij de diverse inrichtingskenmerken in de simulaties een aantal keer doorgerekend. Hierbij zijn de intensiteiten van en naar één of twee zijrichtingen met één auto verhoogd of verlaagd. Daardoor wordt de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot, omdat toeval in de resultaten wordt verminderd. Ook is het simulatieprogramma meerdere malen gebruikt in andere onderzoeken (Van der Harst, et al., 2012; Van der Leeden, 2012). De simulaties zijn valide, er is geen afwijking aangetroffen in de resultaten van de simulaties.

5.4 Interviews

De interviews worden als betrouwbaar geacht. Een interview is een vorm van kwalitatief onderzoek. Hierbij hoeft niet worden voldaan aan een representativiteitsdrempel. Doordat de geïnterviewde personen verschillende achtergronden en expertises hebben, wordt de betrouwbaarheid van dit deelonderzoek vergroot. Tijdens de interviews werd een vragenlijst gebruikt. Deze gaf de interviews richting. Daarnaast was voldoende ruimte om af te wijken van de vragen, als het gesprek daarom vroeg. Hierdoor kon het onderste uit de kan worden gehaald tijdens de interviews. Door het gebruik van een vragenlijst zijn de interviews valide. Hierdoor kon gevraagd worden wat van te voren gepland was.

Bibliografie

Aarts L.T. Methoden en instrumenten voor het onderbouwen van verkeersveiligheidsbeleid - Een inventarisatie [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, 2011.

Amundsen F. en Hyden C. Proceedings of first workshop on traffic conflicts [Rapport]. - Oslo : Institute of Transport Economics, 1977.

Andriesse R. en Tromp H. Beter benutten van provinciale wegen, kan het ook sneller èn veiliger? [Conferentie] // Nationaal verkeerskundecongres. - Utrecht : [sn], 2012.

Baarda B., Van Dijkum C. en De Goede M. Basisboek Statistiek met SPSS [Boek]. - Groningen/Houten : Noordhoff Uitgevers, 2014.

Bezembinder E., Van Berkum E.C. en Wismans L.J.J. Ontwerpregels voor kruispunten in stedelijk netwerken [Conferentie] // Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk. - Rotterdam : [sn], 2013.

Boerlijst K. en Koldewee J. Voorrangspleinen in Hoofddorp [Interview]. - Hoofddorp : gemeente Haarlemmermeer, 26 maart 2015.

Coumans G. Voorrangspleinen in Arnhem [Interview]. - Arnhem : gemeente Arnhem, 16 maart 2015.

CROW ASVV 2012 - Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom [Boek]. - Ede : CROW, 2012.

CROW Basiskenmerken kruispunten en rotondes [Boek]. - Ede : CROW, 2015.

CROW Basiskenmerken wegontwerp - Categorisering en inrichting van wegen [Boek]. - Ede : CROW, 2012.

CROW Eenheid in rotondes [Boek]. - Ede : CROW, 1994.

CROW Factsheet LARGAS - Langzaam rijden gaat sneller [Rapport]. - Ede : CROW.

CROW Handboek verkeersonderzoek [Boek]. - Ede : CROW, 2008.

CROW Handboek wegontwerp 2013 - Basiscriteria [Boek]. - Ede : CROW, 2013.

CROW Handboek wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen [Boek]. - Ede : CROW, 2013.

CROW Langzaam rijden gaat sneller - Een handreiking voor verkeerskundigen [Boek]. - Ede : CROW, 2004.

CROW Schonere lucht bij een betere doorstroming - Minder emissies door 'Langzaam rijden gaat sneller' [Boek]. - Ede : CROW, 2008.

De Goede M. Voorrangsplein en begrijpelijkheid [Interview]. - Soesterberg : TNO, 20 april 2015.

De Jong M. [et al.] Technieken voor de observatie en analyse van verkeersconflicten - Literatuurstudie [Rapport]. - Diepenbeek : Steunpunt Verkeersveiligheid, 2007.

De Leur J. en Ippel M. Voorrangspleinen in Heerhugowaard [Interview]. - Heerhugowaard : gemeente Heerhugowaard, 10 maart 2015.

DHV Evaluatie IBP-reconstructie voorrangspleintje Kamerlingh Onnesweg - Minckelersstraat [Rapport]. - Amersfoort : DHV, 2008.

DHV Verkeerskundige evaluatie - IBP projecten 2008: Ring Noord [Rapport]. - Amersfoort : DHV, 2010.

Dijkstra A. Voorrangspleinen [Interview]. - Den Haag : SWOV, 3 maart 2015.

Goudappel Coffeng Evaluatie IBP2010 - gemeente Hilversum [Rapport]. - Den Haag : Goudappel Coffeng, 2012.

Harris J.I, en Perkins R. Traffic conflict characteristics [Rapport]. - Milford : Proceedings Automotive Safety Seminar, 1968.

Hayward J.C. Near miss determination through use of a scale of danger [Rapport]. - Washington D.C. : Highway Research Board, 1972.

Hendriks J. Voorrangspleinen [Interview]. - Kampen : BonoTraffics, 9 maart 2015.

Kamminga J. en Van der Horst J. Fietsers en het voorrangsplein [Interview]. - Utrecht : Fietsersbond, 12 maart 2015.

Kraay J.H. en Oppe S. Verkeersconflicten als uitgangspunt voor een methode van verkeersveiligheidsonderzoek - Een overzicht van de mogelijkheden en beperkingen van conflictmethode [Tijdschrift] // Verkeerskunde. - Den Haag : ANWB, 1979. - 30. - pp. 226-229.

Kraay J.H., van der Horst A.R.A. en Oppe S. Handleiding voor de conflictobservatietechniek DOCTOR (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research) [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, IZF-TNO, 1986.

Oppe S. Conflictanalyse, een methode voor verkeersveiligheidsonderzoek [Tijdschrift] // Verkeerskunde. - Den Haag : ANWB, 1975. - 5. - pp. 248-255.

Oving W. Conflictobservatie en bevordering van verkeersveiligheid [Rapport]. - 1975.

Reurings M.C.B. [et al.] Waarom is de ontwikkeling van het aantal ernstige verkeersgewonden anders dan die van het aantal verkeerdoden? - Een analyse van de verschillen in ontwikkeling [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, 2012.

Slinger W. [et al.] Langzaam rijden gaat écht sneller [Tijdschrift] // Verkeerskunde. - Den Haag : ANWB, 2006. - 3. - pp. 50-56.

SWOV SWOV-Factsheet - Achtergronden bij de vijf Duurzaam Veilig-principes [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, 2012.

SWOV SWOV-Factsheet - De relatie tussen snelheid en ongevallen [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, 2012.

Taylor M.C., Kynam D.A. en Baruya A. The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents [Rapport]. - Crowthorne, Berkshire : Transport Research Laboratory, 2000. - TRL Report 421.

Technical University of Helsinki Driving speeds and pedestrian safety: a mathematical model [Rapport]. - Helsinki : Pasanen, Eero, 1992.

Tromp H. Het voorrangsplein [Interview]. - Zwolle : Move Mobility, 31 maart 2015.

Tromp H. Voorrangspleinen [Interview]. - Zwolle : Move Mobility, 15 december 2014.

Van der Harst L.J. en De Jong M.H. Voorrangspleintjes - Toepasbaarheid buiten de bebouwde kom [Rapport]. - Leeuwarden : Goudappel Coffeng, 2012.

Van der Leeden E.P.J. A comparison between the pleintje, priority intersection & roundabout [Rapport]. - Deventer : Goudappel Coffeng, 2012.

Van Gent R. Second opinion - Langzaam-Sneller-evaluatie mist overtuigingskracht [Tijdschrift] // Verkeerskunde. - Den Haag : ANWB, 2006. - 3. - pp. 66-67.

Van Schagen I.N.L.G., Wegman F.C.M. en Roszbach R. Veilige en geloofwaardige snelheidslimieten - Een strategische verkenning [Rapport]. - Leidschendam : SWOV, 2004.

Zeegers T. 'Langzaam rijden gaat sneller' leidt tot oversteekproblemen [Tijdschrift] // Ketting. - Utrecht : [sn], 2006. - 183. - pp. 1-10.