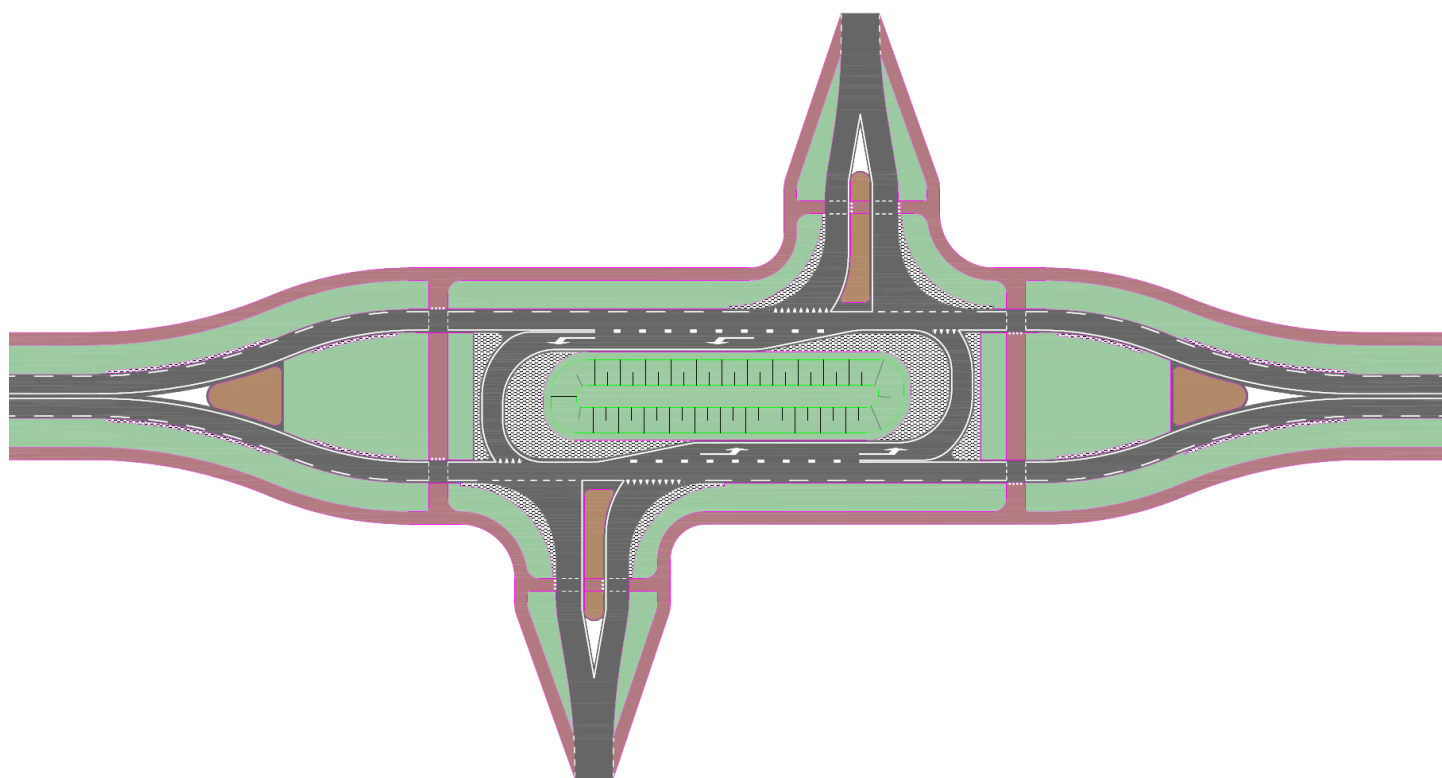




Onderzoeksrapport
Vorrangspleinen buiten de bebouwde kom

Onderzoek naar de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming

Windesheim 

Auteurs:

Justin Reimink & Martin Wiersum

Datum:

31 mei 2018

Voorrangspaleinen buiten de bebouwde kom



Onderzoek naar de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming

Bezoekadres

Dorpsstraat 20
7683 BJ Den Ham

Postadres

Postbus 12
7683 ZG Den Ham

T +31 (0) 546 67 88 88

F +31 (0) 546 67 28 25

E info@roelofsgroep.nl

Tevens vestigingen in

Sneek
Spijkenisse
Stadskanaal
Steenwijk
Veenendaal

Auteurs

Naam:	J. (Justin) Reimink	M. (Martin) Wiersum
LinkedIn:	Justin Reimink	Martin Wiersum

Onderwijsinstelling

Begeleider:	drs. ing. E.M. (Erwin) Bezembinder	e.bezembinder@windesheim.nl
2 ^e beoordelaar:	drs. ing. H. (Hugo) Kampen	h.kampen@windesheim.nl
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Windesheim	

Afstudeerbedrijf

Bedrijfsbegeleider:	ing. C.T. (Tim) Adema
Emailadres:	t.adema@roelofsgroep.nl
Functie:	Hoofd kenniscluster en senior-adviseur Verkeer en Vervoer

Projectgegevens

Naam:	Voorrangspaleinen buiten de bebouwde kom
Status:	Definitief
Datum:	31 mei 2018

Deze publicatie valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 – niet commercieel - Internationaal-licentie. Dit betekent dat de kennis uit deze publicatie hergebruikt mag worden als basis voor de ontwikkeling van nieuwe kennis mits de naam van de auteur(s) hierbij vermeld wordt en dit voor niet-commerciële doeleinden gebeurt. Bij twijfel, of commercieel hergebruik, kunt u contact opnemen met de auteur(s).

Voorwoord

Tijdens een gastcollege aan het eind van het tweede semester van het vierde jaar kwam Mark Jan Olijve spreken over het voorrangsplein. Door zijn enthousiasmerende manier van spreken raakten ook wij aangestoken met het 'voorrangsplein virus'. Wij beiden zagen het onderwerp voorrangspelen als een uitgelezen kans om een technische invulling te geven aan het komende afstudeeronderzoek.

De ervaringen met deze relatief nieuwe kruispuntvorm zijn positief. Onze verwachting is dat op veel locaties buiten de bebouwde kom een voorrangsplein beter zal functioneren dan traditionele kruispuntvormen. Waarom is deze kruispuntvorm zo beperkt toegepast? Deze vraag knaagt aan ons geweten. Wij zijn namelijk van mening dat per situatie gekozen moet worden voor de kruispuntvorm welke het best bijdraagt aan verkeerskundige vraagstukken.

Een gebrek aan kennis van het voorrangsplein en de verkeerskundige effecten van deze kruispuntvorm lijkt de reden voor de schaarste in voorrangspelen buiten de bebouwde kom. Lang niet alle verkeerskundigen zijn op de hoogte van deze kruispuntvorm: "Oh je bedoelt een ovonde?". Een andere belemmering voor de ontwikkelingsgang van voorrangspelen buiten de bebouwde kom is het ontbreken van deze kruispuntvorm in de Nederlandse richtlijnen van het CROW, welke door vrijwel iedere verkeerskundige in het vakgebied worden geraadpleegd.

Voor u ligt de afstudeerscriptie 'Voorrangspelen buiten de bebouwde kom'. In deze scriptie zijn vrijwel alle aspecten van het voorrangsplein buiten de bebouwde kom uitvoerig behandeld. Ons streven was namelijk om alle, voor de wegbeheerder van belang zijnde, aspecten van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom op te klaren. Dit was voor ons zo belangrijk dat wij een extra hoofdstuk hebben opgenomen in het onderzoeksrapport; 'Het voorrangsplein in perspectief'. Met de kennis van dit onderzoek hopen wij een beweging in gang te zetten, namelijk het opnemen van het voorrangsplein in de richtlijnen van het CROW. Het wordt tijd voor erkenning van het voorrangsplein als volwaardig kruispuntvorm!

Velen hebben bijgedragen aan dit onderzoek. Wij willen de volgende personen in het bijzonder bedanken voor hun inzet, begeleiding en de kans om ons verder te ontwikkelen:

-  Mark Jan Olijve
-  Tim Adema
-  Erwin Bezembinder

Verder willen wij alle geïnterviewde deskundigen en collega's van Roelofs bedanken voor het inhoudelijk sparren over voorrangspelen en het delen van hun kennis.

Wij wensen u veel leesplezier!

Den Ham, 31 mei 2018

Justin Reimink
Martin Wiersum

Samenvatting

Elf jaar geleden verscheen in Nederland een nieuwe kruispuntvorm: het voorrangsplein. In de loop der jaren is het aantal voorrangspleinen binnen de bebouwde kom gegroeid tot enkele tientallen. De ervaringen met het voorrangsplein zijn positief. Het ombouwen van kruispunten tot voorrangspleinen heeft binnen de bebouwde kom geleid tot verbeteringen ten aanzien van de ruimtelijke kwaliteit, doorstroming, verkeersveiligheid, oversteekbaarheid en leefbaarheid.

Buiten de bebouwde kom is op gebiedsontsluitingswegen vrijwel altijd sprake van kruispunten met een dominante hoofdstroom en ondergeschikte zijwegen. Om een vlot en veilige uitwisseling van verkeer plaats te laten vinden worden verschillende kruispuntvormen toegepast, zoals bijvoorbeeld een enkelstrooksrotonde of een voorrangskruispunt. De traditionele kruispunten voorzien in ofwel een veilige ofwel een vlotte verkeersafwikkeling; de balans hiertussen ontbreekt. Bij de aanwezigheid van een dominante hoofdstroom en ondergeschikte zijwegen voorziet het voorrangsplein in een vlotte én veilige verkeersafwikkeling. Desalniettemin zijn buiten de bebouwde kom slechts twee locaties bekend waar voorrangspleinen zijn gerealiseerd. Bekend is dat de effecten binnen de bebouwde kom positief zijn, hoe is het dan mogelijk dat voorrangspleinen buiten de bebouwde kom zo ondervertegenwoordigd zijn vergeleken met traditionele kruispuntvormen?

Zoals de grondlegger van het voorrangsplein stellig verwoordde: *"Mensen passen liever de richtlijnen toe die een ander bedacht heeft, dan dat zij de richtlijnen ter discussie stellen. Veel mensen kunnen niet buiten de richtlijnen denken, daarom is het nog steeds een probleem om voorrangspleinen geïntroduceerd te krijgen."* – Henk Tromp, 2018

Het voorrangsplein wordt tot nu toe vrijwel niet meegenomen in het afwegingsproces van kruispuntvormen buiten de bebouwde kom. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door het ontbreken van deze kruispuntvorm in de veelgebruikte verkeerskundige richtlijnen van het CROW. Dit is niet opmerkelijk, het ontbreekt namelijk aan kennis van de verkeerskundige effecten van het voorrangsplein in een buiten de bebouwde kom situatie. Zonder kennis van deze effecten blijft het onmogelijk het voorrangsplein te vergelijken met andere kruispuntvormen.

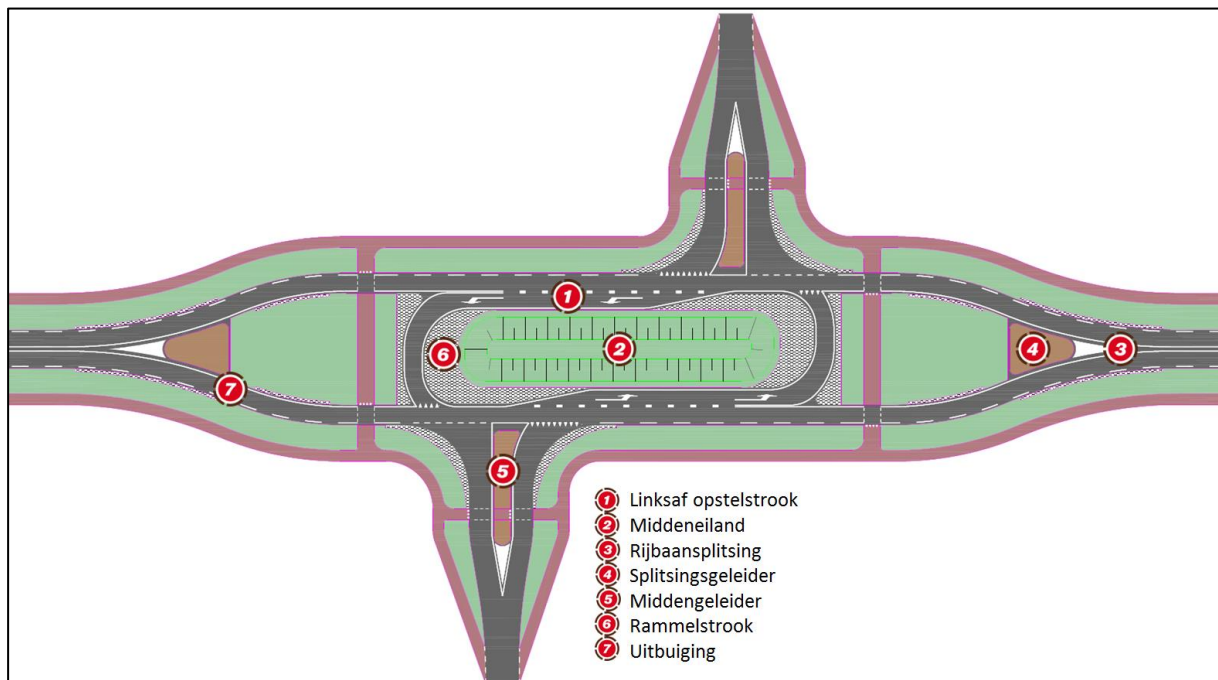
Het doel van dit onderzoek is ervoor te zorgen dat het voorrangsplein meegenomen wordt in het afwegingsproces van kruispuntvormen buiten de bebouwde kom. Zonder kennis van de belangrijkste verkeerskundige effecten blijft dit onmogelijk. Aangezien het gissen blijft naar de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming van het voorrangsplein buiten de bebouwde kom, is binnen dit onderzoek de volgende hoofdvraag geformuleerd:

"Wat is de optimale vormgeving van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom en wat zijn de effecten van deze vormgeving op de verkeersveiligheid en doorstroming?"

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag is in dit onderzoek gebruikgemaakt van meerdere onderzoeksmethoden. Allereerst zijn met behulp van literatuuronderzoek en interviews met wegbeheerders en ontwerpers de belangrijkste uitgangspunten en ontwerpelementen achterhaald. Met deze kennis zijn verschillende verkeerskundige ontwerpen opgesteld. Zonder kloppend verkeerskundig ontwerp – welke passend is bij de eisen van een buiten de bebouwde kom situatie – kunnen de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming niet worden bepaald. Tijdens de ontwerpfase zijn – met kennis van deze uitgangspunten en ontwerpelementen – drie aansluitingsvarianten en twee varianten in snelheid opgesteld. In de praktijk bestaat namelijk variatie in de vormgeving van de aansluiting. Daarnaast is uit dit onderzoek gebleken dat de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming vooral afhankelijk zijn van de snelheid. Nadat experts met verschillende achtergronden de varianten hebben beoordeeld zijn deze verder scherp gesteld. Vervolgens zijn de varianten getoetst met behulp van simulatieonderzoek en een uitvoerige theoretische analyse. De gekozen werkwijze heeft geleid tot een zeer grondig en valide onderzoek. Met behulp van negentien geïnterviewde deskundigen, elfduizend simulaties en een uitgebreide literatuurstudie zijn alle aspecten van voorrangspoleinen buiten de bebouwde kom grondig doorgelicht.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de optimale vormgeving van een voorrangspolein buiten de bebouwde kom niet bestaat. De 'optimale' vormgeving is afhankelijk van locatie specifieke eisen en kenmerken. Hierbij kan vooral worden gevarieerd in de aansluiting van de zijwegen. Wel is uit dit onderzoek een voorkeursvariant naar voren gekomen, namelijk 'de rechtse bajonetaansluiting'.

Om te komen tot de meest gunstige effecten op verkeersveiligheid en doorstroming zijn zeven ontwerpelementen fundamenteel in het ontwerp van een voorrangspolein buiten de bebouwde kom. Figuur I visualiseert de voorkeursvariant met de zeven fundamentele ontwerpelementen.



Figuur I De voorkeursvariant 'de rechtse bajonetaansluiting' en de zeven fundamentele ontwerpelementen

De rechtse bajonetaansluiting is verkeersveiliger, berijdbaarder en kent de hoogste capaciteitsgrenzen. Het belangrijkste verkeersveiligheidseffect wordt veroorzaakt door de ontwerpsnelheid. Hoe hoger de snelheid, des te groter de risico's op een verkeersongeval en des te groter de kans op ernstig letsel. Kwantitatieve waarnemingen over de verkeersveiligheid zijn niet onderzocht, het voorrangsp plein is immers nog niet in deze vorm in de praktijk toegepast.

De belangrijkste doorstromingseffecten worden veroorzaakt door de ontwerpsnelheid, de capaciteit van de linksaf opstelstrook en de wijze waarop de zijwegen zijn aangesloten. Uit het simulatieonderzoek is gebleken dat bij een lagere ontwerpsnelheid de hiaten op de hoofdrichting minder groot zijn en minder vaak voorkomen. Dit wordt veroorzaakt doordat het verkeer in de snelheidsreducerende uitbuiging de hiaten dichtrijdt. Hierdoor wordt het lastiger voor het verkeer op de zijwegen om in te voegen of over te steken. Het oversteken vanaf de zijweg wordt ook lastiger wanneer de zijweg aansluit in het midden, het verkeer kan dan namelijk niet achteraan sluiten bij een oververzadigde linksaf opstelstrook. Daarnaast geldt, hoe langer de linksaf opstelstrook, hoe meer opstelruimte en des te groter de capaciteit van het voorrangsp plein.

Bij een dominante hoofdstroom en een ondergeschikte zijrichting komt het voorrangsp plein het best tot zijn recht. De resultaten in dit onderzoek hebben aangetoond dat de maximale kruispunt capaciteit wordt behaald bij 1200 motorvoertuigen op de hoofdrichting en 50 motorvoertuigen op de zijrichting. Dit betekent een totale praktische kruispuntcapaciteit van 2500 motorvoertuigen per uur. Dit is beduidend minder dan de capaciteit van voorrangsp leinen binnen de bebouwde kom. Bij eenzelfde intensiteitsverhouding op voorrangsp leinen binnen de bebouwde kom kan het voorrangsp plein 300 motorvoertuigen per uur meer verwerken. De belangrijkste reden hiervoor is de beschikbaarheid van hiaten in de hoofdstroom. Doordat de benodigde snelheidsreductie buiten de bebouwde kom dubbel zo groot is, worden de hiaten voorafgaand aan het voorrangsp plein sterker dichtgereden en daalt de capaciteit van het voorrangsp plein.

Geconcludeerd kan worden dat het voorrangsp plein wel degelijk potentie biedt als kruispuntoplossing in specifieke situaties onder voorwaardelijke omstandigheden. Bij een hoge intensiteit op de hoofdrichting en een lage intensiteit op de aansluitende zijwegen kent een voorrangsp plein minder barrièrewerking dan rotondes en meer verkeersveiligheid dan voorrangskruispunten.

Wellicht wordt het tijd om het voorrangsp plein als volwaardig kruispuntvorm mee te nemen in het afwegingsproces van verschillende kruispuntvormen buiten de bebouwde kom. Dit onderzoek heeft immers de potentie van deze kruispuntvorm aangetoond. Aanbevolen wordt het voorrangsp plein te monitoren en te onderzoeken of de resultaten overeenkomen met de bevindingen uit dit onderzoek.

Summary

Eleven years ago, a new junction type appeared in the Netherlands: the priority square – in Dutch 'voorrangsplein'. Over the years, the number of priority squares within urban areas has grown to a few dozen. After all, the experiences with the priority square are positive. The conversion of intersections into priority squares has led to improvements in spatial quality, traffic flow, road safety, cross-over ability and environmental aspects within urban areas.

In rural areas, crossroads on distributor roads mainly possess a dominant direction and subordinate side roads. In order to allow a smooth and safe exchange of traffic to take place, various junction types are used, such as a single-lane roundabout or a priority intersection. Traditional junction types provide a safe or smooth traffic flow, the balance between both is lacking. In the presence of a dominant major road and subordinate side roads, the priority square provides a smooth and safe traffic flow. Even so, only two locations in rural areas are known where priority squares have been realized. It is known that the effects of the urban area priority squares are positive, how is it possible that priority squares are so underrepresented in rural areas compared to traditional junction types?

As the founder of the priority square firmly stated: "People prefer to apply guidelines that someone else has thought up, rather than to question those guidelines. Many people can't think outside of guidelines, this is why it is still a problem to introduce priority squares." - Henk Tromp, 2018

Until now, the priority square is hardly included in the determination process of junction types in rural areas. This may be caused by the absence of this junction type in the widely used traffic guidelines of CROW (Dutch traffic knowledge institution). This is not remarkable, because knowledge of traffic effects of the priority square in rural area situations are unknown. Without knowledge of these effects, it is simply impossible to compare the priority square with other junction types.

The aim of this research is to ensure that the priority square is included in the determination process of junction types in rural areas. Without knowledge of the most important traffic effects this remains impossible. Since the effects of the rural area priority square on road safety and traffic flow remain unknown, the following main question has been formulated within this study:

"What is the optimal design of a rural area priority square and what are the effects of this design on road safety and traffic flow?"

To answer the main question, several research methods were used in this study. Firstly, the most important starting points and design elements have been identified with the help of literature research and interviews with road authorities and designers. With this knowledge, various designs have been drawn up. Without an accurate design, which measures up to the requirements of a rural area situation, the effects on road safety and traffic flow cannot be determined.

During the design phase, three design variants and two variants in speed, were set up with knowledge of these starting points and design elements. In practice, the connection of side roads at intersections vary. In addition, this study showed that the effects on road safety and traffic flow are mainly dependent on speed. After experts with different backgrounds have assessed the design variants, the designs were further perfected. Thereafter, the various design variants were tested with the aid of simulation research and a detailed theoretical analysis. The chosen research procedure has led to a very thorough and valid study. With the help of nineteen interviewed experts, eleven thousand simulations and an extensive literature study, all aspects of rural area priority squares were thoroughly examined.

This research has shown that the optimal design of a rural area priority square does not exist. The 'optimal' design depends on location specific requirements and characteristics. The design can mainly be varied in the connection of the side roads. However, a preferred variant emerged from this study, namely 'the right staggered connection' – in Dutch 'de rechtse bajonetaansluiting'.

In order to achieve the most favorable effects on road safety and traffic flow, seven design elements are fundamental in the design of a rural area priority square. Figure II visualizes the preferred variant with the seven fundamental design elements.

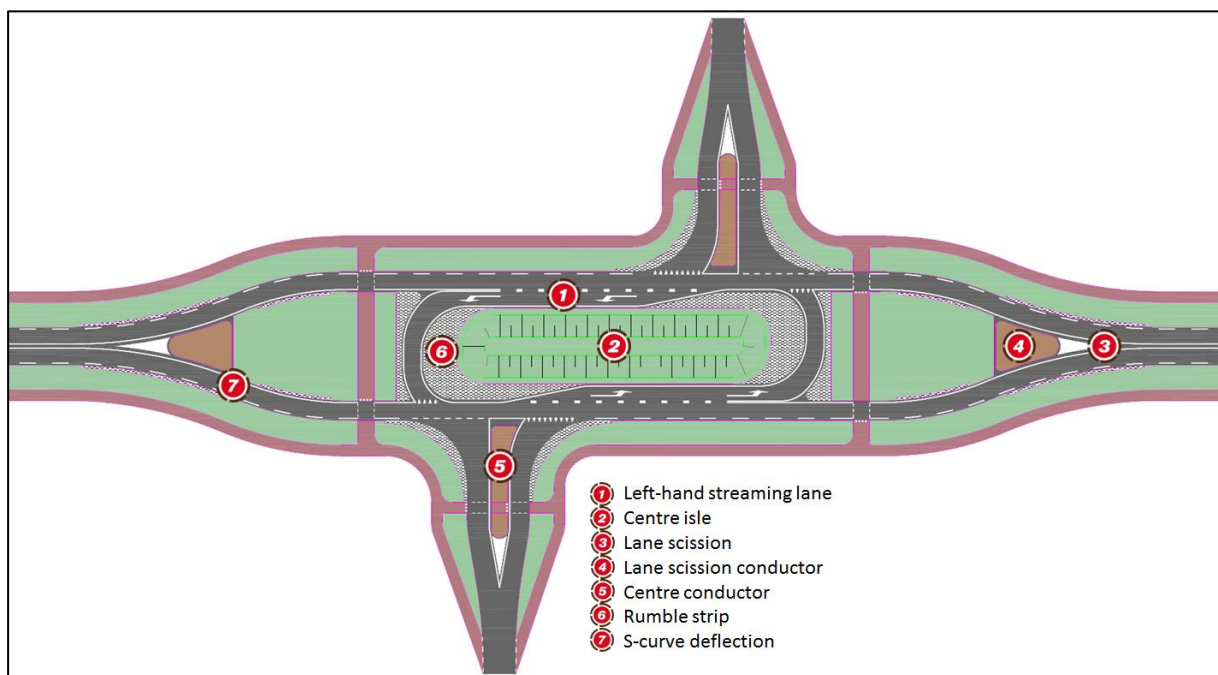


Figure II Preferred variant 'the right staggered connection' and the seven fundamental design elements

The right staggered connection is safer, more drivable and has the highest capacity limits. The main effect on road safety is caused by the design speed. The higher the speed, the greater the risk a traffic accident occurs and the greater the risk of serious injury. Quantitative observations on road safety have not been investigated, since the priority square has not yet been applied in practice in this form.

The main traffic flow effects are caused by the design speed, the capacity of the left-hand streaming lane and the way in which side roads are connected. The simulation study showed that due to a lower design speed, gaps between motor vehicles on the main direction decline and are less frequent. This is caused by the great reduction in speed prior to the priority square. The difference in speed between upcoming traffic and traffic on the priority square closes the gaps in between. This effect impedes the merging or crossing maneuver for traffic on the subordinate side roads. The difficulty in crossing the priority square increases due to a centric connection of the side road, crossing traffic will not be able to naturally merge onto the left-hand streaming lane if this lane is saturated. In addition, the greater the length of the left-hand streaming lane, the more streaming area available and the greater the capacity of the priority square.

With a dominant major road and subordinate side roads, the priority square is best shown. The results in this study have shown that the maximum junction capacity is achieved in 1200 motor vehicles in the main direction and 50 motor vehicles in the lateral direction. This means a total practical intersection capacity of 2500 motor vehicles per hour. This is significantly less than the capacity of priority squares within urban areas. With the same intensity ratio on urban area priority squares, the priority square can process 300 motor vehicles per hour in increase. The main reason for this difference is the availability of gaps in the main stream. Because of the fact that the required speed reduction on rural area priority squares is twice as large, the gaps prior to the priority square are closed more strongly and the capacity of the priority square declines.

It can be concluded that the priority square does offer potential as a junction type in specific situations under conditional circumstances. With a high intensity on the main direction and a low intensity on the adjacent side roads, a priority square has less barrier effect than roundabouts and possesses greater road safety than priority intersections.

Perhaps it is time to include the priority square as a fully-fledged junction type in the determination process of various rural area intersections. After all, this research has demonstrated the potential of this junction type. It is recommended to monitor the priority compare the determine if the results are consistent with the findings from this study.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	III
Samenvatting	V
Summary	IX
Inhoudsopgave	XIII
Begrippenlijst	XV
1 Inleiding.....	1
1.1 Aanleiding	2
1.2 Wat is een voorrangsplein?.....	3
1.3 Probleembeschrijving	4
1.4 Doel van het onderzoek.....	7
1.5 Onderzoeksvragen.....	8
1.6 Leeswijzer	9
2 Het onderzoek	11
2.1 Werkwijze	12
2.2 Onderzoeksmethoden	13
3 De fundering.....	21
3.1 Herkenbaarheidskenmerken.....	22
3.2 Ontwerpsnelheid	23
3.3 Maatgevend ontwerpvoertuig	23
4 De tekentafel	25
4.1 Ontwerpelementen	26
4.2 Fundamentele ontwerpelementen	27
4.3 Varianten	36
5 Verkeersveiligheid.....	43
5.1 Snelheid en verkeersveiligheid	44
5.2 Conflictpunten en verkeersveiligheid	50
5.3 Botstypen en verkeersveiligheid	51
6 Doorstroming	53
6.1 Rechtse bajonetaansluiting v50	54
6.2 Praktische capaciteitsgrenzen	55
6.3 Oversteekbaarheid	56
6.4 Wachtrijlengte zijwegen	59
6.5 Voertuigverliesuren.....	60
6.6 Verliestijden op de hoofdrichting	61
6.7 Verliestijden op de zijrichting	62

6.8	Vergelijking met binnen de bebouwde kom	63
7	Het voorrangspein in perspectief	65
7.1	De schop in de grond	66
7.2	'Kruispuntconcurrentie'	69
8	Conclusies en aanbevelingen	75
8.1	Conclusie.....	76
8.2	Aanbevelingen	78
9	Discussie	79
9.1	Betrouwbaarheid en validiteit.....	80
9.2	Bruikbaarheid van het onderzoek	81
10	Bibliografie.....	83

De bijlagen en ontwerpen zijn opgenomen in een apart bijlagen- en ontwerpenboek.

Begrippenlijst

In dit onderzoeksrapport worden de volgende definities gehanteerd voor onderstaande begrippen. Deze definities kunnen afwijken van de tot op heden gebruikelijke definities. Voor de juiste interpretatie van deze rapportage zijn de hier opgenomen definities leidend.

Afkorting	Toelichting
Bibeko	Binnen de bebouwde kom
Botssnelheid	Snelheid waarmee verkeersdeelnemers met elkaar botsen of de snelheid waarmee een motorvoertuig een fietser of voetganger raakt
Botstype/ conflicttype	Wijze waarop voertuigen in conflict kunnen komen
Bubeko	Buiten de bebouwde kom
Conflictpunt	Locatie waar voertuigen (uit verschillende richtingen) met elkaar in aanraking kunnen komen
Conflictsnelheid	Rijsnelheid van voertuigen op het conflictpunt
DO	Definitief ontwerp
ETW	Erftoegangsweg
GOW	Gebiedsontsluitingsweg
Km/u	Kilometer per uur
Mvt	Motorvoertuigen
Overload	Wanneer de capaciteit van weggebruikers wordt overschreden door een 'overload' aan uit te voeren taken
Verliestijd	Verliestijd is het verschil in ongehinderde rijtijd en de daadwerkelijke rijtijd
VO	Voorlopig ontwerp
VRI	Verkeersregelinstallatie
Workload	De mate waarin de capaciteit van weggebruikers wordt belast met informatie verwerkende taken/rijtaken

Tabel 1.1 Begrippenlijst

1 Inleiding



"De experimenteer bereidbaarheid is niet altijd even groot, wegbeheerders vinden het misschien eng om het voorrangsplein buiten de kom aan te leggen."

Atze Dijkstra, 2018

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In het eerste hoofdstuk wordt allereerst de aanleiding van dit onderzoek beschreven. Vervolgens wordt in de tweede paragraaf de probleembeschrijving toegelicht. In paragraaf 3 wordt het doel van dit onderzoek duidelijk en daaropvolgend worden de bijbehorende onderzoeksvragen in paragraaf 4 behandeld. Tot slot wordt de leeswijzer van het rapport beschreven.

Inhoudsopgave hoofdstuk 1

1.1	Aanleiding	2
1.2	Wat is een voorrangsplein?	3
1.3	Probleembeschrijving	4
1.3.1	Bestaande onderzoeken	5
1.4	Doel van het onderzoek	7
1.5	Onderzoeksvragen	8
1.5.1	Hoofdvraag	8
1.5.2	Deelvragen	8
1.6	Leeswijzer	9

1.1 Aanleiding

Nadat in 2007 het eerste voorrangsp plein in Hilversum is gerealiseerd zijn er in de daaropvolgende jaren tientallen voorrangsp leinen aangelegd. Het principe van deze 'nieuwe' kruispuntvorm komt voort uit het "Langzaam rijden gaat sneller" concept.

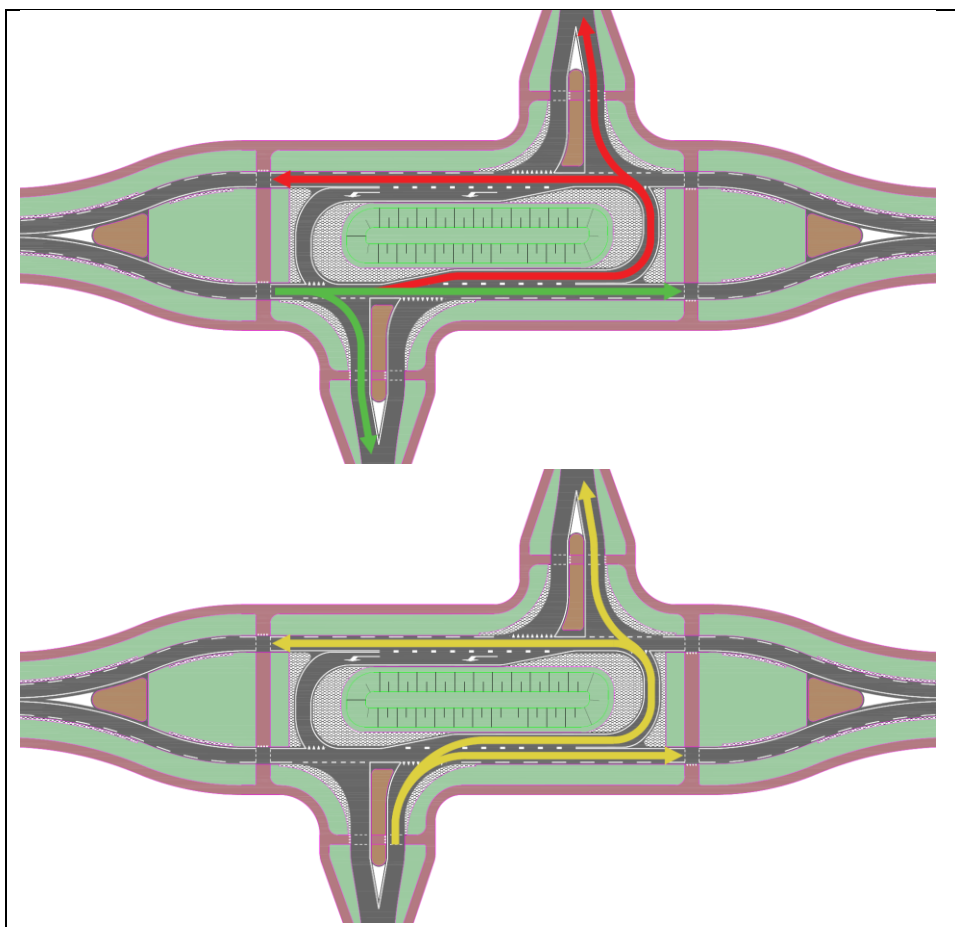
"Langzaam rijden gaat sneller" is ontstaan uit de behoefte naar een balans tussen een hoogwaardige ruimtelijke kwaliteit en een goede bereikbaarheid in stedelijke omgevingen. Het concept biedt een alternatief voor voorrangskruispunten met verkeersregelininstallaties (VRI's). In tegenstelling tot het systeem van 'hollen en stilstaan' en het ontbreken van menselijke interactie bij voorrangskruispunten met VRI's, is "Langzaam rijden gaat sneller" gebaseerd op een weginrichting waarbij een lage rijnsnelheid en menselijke interactie benodigd is. Deze weginrichting bestaat uit smalle rijstroken, gescheiden door een middenberm, waardoor weggebruikers elkaar niet kunnen passeren. Weggebruikers verplaatsen zich langzaam, maar met voorrang over deze rijstroken. De lagere snelheden en het verminderen van stops binnen "Langzaam rijden gaat sneller" zorgen voor een meer gelijkmatige doorstroming. Hierdoor zijn weggebruikers sneller op hun bestemming dan in het systeem van 'hollen en stilstaan'. Binnen "Langzaam rijden gaat sneller" worden voorrangskruispunten met VRI's vervangen door voorrangsp leinen en rotondes. De vormgeving, lagere snelheid en het tegengaan van inhaalbewegingen leiden tot een verbetering van de: ruimtelijke kwaliteit, doorstroming, verkeersveiligheid en oversteekbaarheid. Daarnaast wordt hierdoor de uitstoot van schadelijke stoffen, geluidsbelasting en ruimtebeslag verminderd (CROW, 2004).

Binnen "Langzaam rijden gaat sneller" wordt veelal gebruik gemaakt van rotondes en voorrangsp leinen, deze worden voornamelijk toegepast op gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom (bibeko). Op kruispunten tussen twee gebiedsontsluitingswegen worden doorgaans rotondes toegepast. De redenen hiertoe zijn: de gelijkwaardigheid van de kruisende wegen, de hoge verkeersveiligheid van rotondes en de voorrang voor het fietsverkeer. Op kruispunten tussen een gebiedsontsluitingsweg en een erftoegangsweg is er sprake van een dominante hoofdrichting (de gebiedsontsluitingsweg) en een ondergeschikte zijrichting (de erftoegangsweg). In deze situaties werpt de rotonde een 'drempel' op voor de doorstroming van de hoofdrichting. Daarom worden in bovengenoemde situaties vaker voorrangsp leinen toegepast. Een andere reden om voorrangsp leinen toe te passen is de betere inpasbaarheid ten opzichte van rotondes (Bout & Olijve, 2015).

Nederland telt momenteel al meer dan 50 voorrangsp leinen (Verkeersnet, 2016). Anders dan in bibeko situaties, waar al tientallen voorrangsp leinen zijn gerealiseerd, zijn buiten de bebouwde kom (bubeko) slechts twee voorrangsp leinen gerealiseerd. Voor zover bekend zijn dat de voorrangsp leinen in Harderwijk (GD) en Wommels (FR). Op kruispunten bubeko tussen gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen worden momenteel veelal traditionele kruispuntvormen toegepast, omdat de verkeerskundige effecten van voorrangsp leinen bubeko nog onbekend zijn. Hoewel verschillende wegbeheerders interesse tonen in de toepasbaarheid van een voorrangsp plein bubeko, beschikken zij over onvoldoende kennis om het voorrangsp plein als alternatieve kruispuntvorm te laten gelden in de afweging van verschillende kruispuntvormen. Dit onderzoek vult een deel van de kennisleemte omtrent de verkeerskundige effecten van het voorrangsp plein bubeko. Hierdoor kan het voorrangsp plein worden meegenomen in het afwegingsproces van kruispuntvormen bubeko.

1.2 Wat is een voorrangsp plein?

Een voorrangsp plein is een kruispunttype dat kenmerken heeft van een voorrangskruispunt en van een rotonde. Het voorrangsp plein heeft een rechthoekige vorm en is voorzien van een middeneiland. Op deze manier wordt de wachttijd voor oversteken of invoegen op de meest effectieve wijze teruggebracht. Zowel gemotoriseerd verkeer als langzaam verkeer kan het kruispunt in twee fasen oversteken. De snelheidsreductie in de uitbuiging van het voorrangsp plein zorgt voor kolonnevorming. Het overstekend verkeer vanuit de zijrichtingen krijgt de gelegenheid om in de hiaten tussen de kolonnes veilig over te steken. Bij een voorrangsp plein heeft het verkeer op de hoofdroute ongehinderd doorgang. De twee afslaande stromen passeren elkaar niet voorlangs, zoals dit gebeurt bij normale voorrangskruispunten, maar achterlangs (Verkeersnet, 2012). Figuur 1.1 toont een schematische weergave van het voorrangsp plein met de bijbehorende routes voor het gemotoriseerd verkeer. Met groen wordt de voorrangsgerechtigde richting aangegeven en met rood en geel de voorrangsplichtige richting.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het voorrangsp plein met de routes voor het gemotoriseerd verkeer vanaf de hoofd- en zijrichting

1.3 Probleembeschrijving

In bubeko situaties zijn veel kruispunten waar een dominante hoofdstroom kruist met ondergeschikte zijwegen. Gewoonlijk worden deze kruispunten ingericht als traditionele kruispuntvorm. Wellicht biedt het voorrangsplein bubeko een serieuze mogelijkheid om te voorzien in een vlotte en veilige verkeersafwikkeling tussen twee kruisende wegen. Vanwege de onbelemmerde doorstroming voor de hoofdrichting, het beperkte ruimtebeslag, de lage absolute snelheid en het beperkt aantal conflictpunten¹ wordt het voorrangsplein bibeko gezien als een volwaardig alternatief voor traditionele kruispuntvormen (Tromp & Andriess, 2012). De resultaten van voorrangspijnen bibeko zijn echter niet één op één over te nemen voor voorrangspijnen bubeko. De snelheid van het gemotoriseerd verkeer, samenstelling van het verkeer en de functie van de weg in een bibeko situatie zijn niet gelijk aan dat van een bubeko situatie. Ook zijn de effecten op het gebied van verkeersveiligheid en doorstroming van het voorrangsplein bubeko nog onbekend. Hierdoor kan het voorrangsplein bubeko nu nog niet worden meegenomen in een kruispuntafweging.

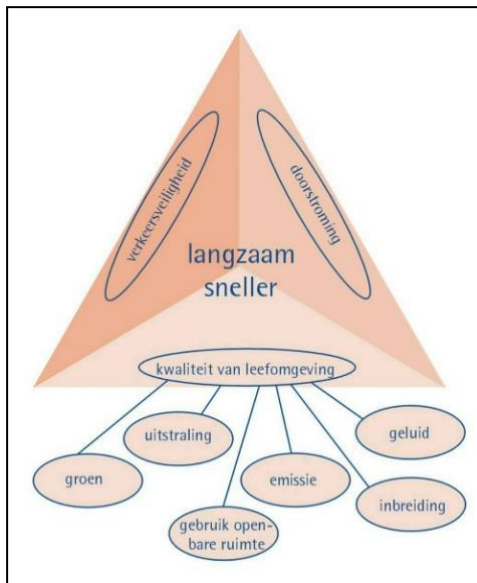
Duurzaam veilig en langzaam rijden gaat sneller

Uit cijfers van de ongevallenregistratie in Nederland blijkt dat 44 procent van alle geregistreerde verkeersslachtoffers (doden en ernstig gewonden), in de periode 2006 – 2009, op kruispuntniveau heeft plaatsgevonden (SWOV, 2012). Om de verkeersveiligheid op Nederlandse wegen te verbeteren is het overheidsinitiatief Duurzaam Veilig opgesteld. Dit concept richt zich op het ontwikkelen van een verkeerssysteem waarin vorm, functie en gebruik op elkaar zijn afgestemd. Ook worden de beperkte mogelijkheden van de weggebruiker in acht genomen. Duurzaam Veilig richt zich eveneens op het voorkomen van ongevallen en waar dit niet mogelijk is, op het beperken van letsel (CROW, 2012).

Om vorm te geven aan de doelstelling van het concept Duurzaam Veilig is de kruispuntonveiligheid de afgelopen jaren onder andere aangepakt door het aanleggen van rotondes in binnen en buiten de bebouwde kom situaties. De rotonde geniet de voorkeur, omdat niet alleen het aantal conflictpunten op een rotonde kleiner is dan op een traditioneel kruispunt, maar ook de conflictsnelheid lager is. Daar waar traditionele kruispunten zijn gereconstrueerd tot enkelstrooksrotondes, is het totaal aantal geregistreerde ongevallen met bijna 50% afgenomen (CROW, 2008). Echter, niet elk kruispunt kan worden omgezet naar een rotonde door bijvoorbeeld de beperkte ruimtelijke inpasbaarheid en een te hoge intensiteit (vracht)verkeer. Bij een ongelijkmatige verdeling van het verkeer over de verschillende richtingen, oftewel de aanwezigheid van een dominante hoofdstroom, beschikt een voorrangsplein over meer capaciteit dan een rotonde (Tromp & Andriess, 2012).

¹ Conflictpunt: Locatie waar voertuigen (uit verschillende richtingen) met elkaar in aanraking kunnen komen (Dijkstra, 2014)

Zoals benoemd in de aanleiding wordt binnen het “Langzaam rijden gaat sneller” concept veelal gebruik gemaakt van rotondes en voorrangspoleinen. “Langzaam rijden gaat sneller” bedient verschillende velden welke zijn onderverdeeld in drie hoofdthema’s, namelijk: verkeersveiligheid, doorstroming en leefbaarheid. De hoofdthema’s zijn weergegeven in Figuur 1.2.



Figuur 1.2 De thema’s van Langzaam rijden gaat sneller (Bron: CROW, 2004)

In kruispuntsituaties bubeko is in mindere mate sprake van de noodzaak om de ruimtelijke kwaliteit te verbeteren of te voorzien in minder ruimtebeslag. Daarnaast is het lastig om op basis van metingen op slechts twee voorrangspoleinen bubeko uitspraken te doen over de uitstoot van schadelijke stoffen en geluidsbelasting. Om deze redenen is het thema leefbaarheid in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Het onderzoek is afgekaderd op de thema’s verkeersveiligheid en doorstroming van voorrangspoleinen.

Verschiedende studies zijn verricht naar in het verleden gerealiseerde voorrangspoleinen bibeko. Ook zijn er twee studies uitgevoerd naar voorrangspoleinen bubeko. De bevindingen uit deze studies worden hieronder uiteengezet.

1.3.1 Bestaande onderzoeken

Voorrangspolein binnen de bebouwde kom

Uit verschillende onderzoeken komt naar voren dat bij kruispuntsituaties met een dominante hoofdstroom en ondergeschikte zijwegen een voorrangspolein een goed alternatief blijkt te zijn ten opzichte van traditionele kruispuntvormen. Ook wordt uit onderzoek duidelijk dat weggebruikers tevreden zijn over het voorrangspolein (Verkeersnet, 2016). Uit simulatie onderzoek blijkt dat het voorrangspolein bibeko een praktische kruispuntcapaciteit van 2400 mvt/uur (motorvoertuigen per uur) tot 3700 mvt/uur kent (Bout & Olijve, 2015). De hoogte van de daadwerkelijke praktische kruispuntcapaciteit is afhankelijk van de intensiteiten per richting (hoofdrichting en zijrichting) en het percentage afslaand vrachtverkeer.

De vormgeving van een voorrangspolein draagt, onder bovengenoemde omstandigheden, bij aan een verhoogde doorstroming ten opzichte van een rotonde en een verbetering van de verkeersveiligheid ten opzichte van een voorrangskruispunt. Bij een voorrangskruispunt kan men op de hoofdstroom weliswaar ongehinderd doorrijden maar het uitwisselen van verkeer op de zijwegen is bij dit kruispunttype niet optimaal. Tevens zorgen de hoge (conflict)snelheden voor verkeersonveilige situaties, met name voor langzaam verkeer (Tromp & Andriesse, 2012).

Uit onderzoek blijkt dat de oversteekbaarheid van voorrangspoleinen voor langzaam verkeer in de meeste gevallen goed is, maar niet beter dan bij een rotonde. Wanneer de wachttijden van voorrangskruispunten met VRI (oude situatie) worden vergeleken met de wachttijden van voorrangspoleinen (nieuwe situatie), zijn bij voorrangspoleinen verbeteringen merkbaar. Een voordeel van het voorrangspolein is dat het langzaam verkeer in etappes de hoofdrichting kan oversteken. Dit komt ten goede aan de oversteekbaarheid van het langzaam verkeer (Bout & Olijve, 2015).

Hetzelfde onderzoek toont aan dat de vormgeving van voorrangspoleinen de snelheid van het gemotoriseerd verkeer en de herkenbaarheid voor weggebruikers beïnvloedt.

Het onderzoek van Van der Leeden uit 2012 naar de vergelijkingen tussen een voorrangspolein, een voorrangskruispunt en een rotonde, en het onderzoek van Jaap Bout en Mark Jan Olijve naar de verkeersveiligheid en capaciteit van een voorrangspolein, zijn onderzoeken welke gebaseerd zijn op bibeko situaties. Om deze reden kunnen de resultaten uit deze onderzoeken niet één op één worden overgenomen voor bubeko situaties.

Voorrangspolein buiten de bebouwde kom

Uit onderzoek van Inspec Nederland BV wordt duidelijk dat een voorrangspolein in veel gevallen een goed alternatief blijkt te zijn voor zowel de rotonde als het voorrangskruispunt op provinciale wegen bubeko. Zo blijkt dat een voorrangspolein aanzienlijk verkeersveiliger is dan een voorrangskruispunt. Het wordt niet alleen onmogelijk gemaakt om het kruispunt vanuit de zijweg in een rechte lijn over te steken, ook is de conflictsnelheid lager bij een voorrangspolein. Eveneens krijgen fietsers bij een voorrangspolein de mogelijkheid om in twee fasen over te steken.

Hetzelfde onderzoek toont aan dat een voorrangspolein bubeko een verminderde verkeersveiligheid biedt ten opzichte van een rotonde. Echter, de doorstroming op de hoofdrichting van een voorrangspolein verbetert aanzienlijk ten opzichte van een rotonde. Daarnaast kent een voorrangspolein een hoger rijcomfort voor vrachtverkeer en bussen (Inspec Nederland BV, 2017).

In het onderzoek van Inspec Nederland BV worden de resultaten van onderzoeken naar voorrangspoleinen bibeko één op één overgenomen naar voorrangspoleinen bubeko. Hierbij is niet gekeken naar afwijkende effecten van de vormgeving van voorrangspoleinen bubeko en de verschillen tussen kruispuntsituaties bibeko en bubeko. Een diepgaande analyse naar de capaciteitsgrenzen en verkeersveiligheidseffecten van het voorrangspolein ontbreekt. Door deze werkwijze in het onderzoek kan het onderzoek van Inspec worden aangeduid als een verkennend onderzoek.

Het onderzoek naar de toepasbaarheid van het voorrangspolein bubeko van Van der Harst en De Jong uit 2012, toont aan dat een voorrangspolein potentie biedt ten opzichte van een voorrangskruispunt. Ten opzichte van een rotonde biedt een voorrangspolein volgens het onderzoek enkel potentie wanneer de doorstroming op de hoofdstroom in het geding komt. Een groot deel van de resultaten van voorrangspoleinen buiten de bebouwde kom zijn gebaseerd op aannames. De resultaten uit het onderzoek zijn niet representatief, omdat het voorrangspolein bubeko in dit onderzoek in werkelijkheid een ovonde is. Ook hebben zij maar naar één voorrangspolein bibeko gekeken. Dit vanwege het ontbreken van een voorrangspolein bubeko. De (andere) kruispunten welke in deze studie als referentie zijn gebruikt verschillen sterk in vormgeving met het voorrangspolein. Hierdoor zijn de resultaten minder betrouwbaar.

Voor zover bekend zijn geen buitenlandse studies naar voorrangspoleinen (bubeko) of vergelijkbare kruispuntvormen verricht.



Resumerend

Hoewel het “Langzaam rijden gaat sneller” concept voor bibeko situaties is geschreven, biedt het voorrangsp plein, dat hieruit voortvloeit, wellicht kansen voor de kruispuntproblematiek in bubeko situaties. Aangezien bij traditionele kruispuntvormen de capaciteit steeds vaker tekort schiet, groeit de noodzaak voor een alternatieve kruispuntvorm. In bubeko situaties is er veelal, meer dan in bibeko situaties, sprake van een dominante hoofdstroom en een beperkte hoeveelheid zijverkeer. Daarnaast ervaren vracht- en busverkeer discomfort door de vormgeving van rotondes (Tromp & Andriessse, 2012)

Het voorrangsp plein heeft zich bibeko inmiddels bewezen als interessante nieuwe manier om op gebiedsontsluitingswegen verkeer vlot en veilig af te wikkelen. Desalniettemin blijven momenteel de kansen voor een voorrangsp plein bubeko als volwaardig kruispuntvorm ongemoeid. Dit komt doordat de effecten van bibeko niet één op één overgenomen kunnen worden naar bubeko, omdat de snelheid van het gemotoriseerd verkeer, samenstelling van het verkeer en de functie van de weg in een bibeko situatie niet gelijk zijn aan dat van een bubeko situatie. Tevens zijn de effecten op verkeersveiligheid en capaciteit van het voorrangsp plein bubeko onbekend.

1.4 Doel van het onderzoek

Het primaire doel van dit onderzoek is ervoor te zorgen dat het voorrangsp plein meegenomen wordt in het afwegingsproces van kruispuntvormen bubeko. Met behulp van het inzicht in de effecten, welke voortvloeien uit het secundaire doel, kan de wegbeheerder een keuze maken voor de kruispuntvorm welke de meest optimale bijdrage levert aan de verkeersveiligheid en doorstroming per locatie.

Het secundaire doel van dit onderzoek is inzicht geven in de effecten op de verkeersveiligheid en doorstroming van voorrangsp leinen bubeko. Hiermee wordt bijgedragen aan het behalen van het primaire doel.

Het resultaat uit het onderzoek geeft niet alleen cijfermatig inzicht in de capaciteitsgrenzen van verschillende aansluitingsvormen van een voorrangsp plein bubeko, maar geeft ook inzicht in de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming. De optimale vormgeving geldt niet als doel van het onderzoek, maar als middel om het doel te bereiken. Er bestaat namelijk geen optimale vormgeving welke overal toepasbaar is, de vormgeving van kruispuntvormen is locatie gebonden en vergt altijd maatwerk.

Met behulp van het onderzoeksresultaat wordt het voor wegbeheerders mogelijk om het voorrangsp plein mee te nemen in het afwegingsproces van voorrangsp leinen bubeko. Zonder deze kennis blijven de kansen van een voorrangsp plein bubeko ongemoeid.

1.5 Onderzoeksvragen

Voortvloeiend vanuit de doelstelling zijn de onderzoeksvragen opgesteld. Op deze manier kan het doel van dit onderzoek daadwerkelijk behaald worden.

1.5.1 Hoofdvraag

In dit onderzoek staat de volgende hoofdvraag centraal:

Wat is de optimale¹ vormgeving² van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom³ en wat zijn de effecten van deze vormgeving op de verkeersveiligheid⁴ en doorstroming⁵?

1.5.2 Deelvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende vijf deelvragen opgesteld:

- ① *Welke uitgangspunten⁶ liggen ten grondslag aan een functioneel verkeerskundig ontwerp van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom?*
- ② *Welke ontwerpelementen⁷ liggen ten grondslag aan een functioneel verkeerskundig ontwerp van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom?*
- ③ *Hoe vertalen de uitgangspunten en ontwerpelementen zich tot verschillende varianten in een functioneel verkeerskundig ontwerp van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom?*
- ④ *Wat zijn de effecten van de verschillende varianten van voorrangspleinen buiten de bebouwde kom op de verkeersveiligheid en doorstroming?*
- ④ *Wat is de optimale vormgeving van een voorrangsplein buiten de bebouwde kom?*



Definities

- ① De **optimale** vormgeving draagt bij aan de hoogste theoretische kruispuntcapaciteit en de minste verliestijd maar doet geen ontoelaatbare afbreuk aan de verkeersveiligheid.
- ② De **vormgeving** is het geheel van alle ontwerpelementen welke samenkomen in een verkeerskundig ontwerp.
- ③ Een voorrangsplein in een **buiten de bebouwde kom** situatie waar een gebiedsontsluitingsweg (80 km/u) en een erftoegangsweg (60 km/u) elkaar kruisen.
- ④ De **verkeersveiligheid** wordt theoretisch bepaald door een drietal aspecten, namelijk: de snelheid, botstypen en het aantal conflictpunten.
- ⑤ Bij de **doorstroming** wordt gekeken naar de maximale praktische en theoretische kruispuntcapaciteit en de gemiddelde verliestijd van een voorrangsplein.
- ⑥ Een **uitgangspunt** is een basiskenmerk welke standaard wordt toegepast in het verkeerskundig ontwerp. Voorbeeld hiervan is de ontwerpsnelheid.
- ⑦ Een **ontwerpelement** is een verkeerstechnisch element van een kruispunt en kent een (specifieke) verkeerskundige functie. Voorbeelden van ontwerpelementen zijn de uitbuiging, de linksaf opstelstrook en het middeneiland.

1.6 Leeswijzer

Deze scriptie bestaat uit zeven inhoudelijke hoofdstukken die ieder een verschillend thema behandelen. Enkele hoofdstukken zijn voorzien van een metaforische titel. Deze titels zijn overeenkomend met de stappen in het ontwerpproces van een verkeerskundig ontwerp.

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 'Het onderzoek' de werkwijze en onderzoeksmethodieken, waar in deze studie gebruik van is gemaakt, toegelicht. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 'De fundering' van het verkeerskundig ontwerp behandeld. Dit houdt in dat de uitgangspunten, welke aan de basis van het ontwerp staan, worden beschreven. Na de fundering volgt hoofdstuk 4 'De tekentafel'. Aan de tekentafel wordt geschetst, gegumd en gevormd. In het hoofdstuk wordt uiteengezet welke ontwerpelementen van belang zijn bij een ontwerp van voorrangspalen buiten de bebouwde kom en hoe verschillende vormgevingsvarianten zijn opgesteld.

In hoofdstuk 5 volgt een theoretische analyse van de verkeersveiligheidseffecten van verschillende ontwerpen. Aansluitend wordt in hoofdstuk 6 een analyse van de doorstromingseffecten behandeld. Wegbeheerders zijn voornamelijk nieuwsgierig naar 'het voorrangspaal in perspectief'. In hoofdstuk 7 gaat de spreekwoordelijke schop in de grond en wordt toegelicht hoe en of het voorrangspaal kan 'concurreren' met andere kruispunten. Dit extra hoofdstuk van deze scriptie biedt een antwoord op de belangrijkste vragen van de wegbeheerder. Wanneer is het voorrangspaal een goede optie en hoe scoort het voorrangspaal op belangrijke verkeerskundige afwegingscriteria.

Tot besluit wordt in hoofdstuk 8 een antwoord gegeven op de hoofdvraag in de conclusie. Daaropvolgend worden in hoofdstuk 9 de resultaten van dit onderzoek ter discussie gesteld, volgen de aanbevelingen van dit onderzoek en wordt de bruikbaarheid van dit onderzoek toegelicht.

Ieder hoofdstuk eindigt met een beknopte samenvatting en start met een inleidende tekst. De bijlagen en ontwerpen zijn opgenomen in een apart bijlagen- en ontwerpenboek. In het ontwerpenboek zijn alle in dit onderzoek opgestelde varianten gebundeld. In het bijlagenboek zijn de werkwijze van de observatie, de uitwerking van de interviews, belangrijke achtergronden van het ontwerpproces en aanvullende figuren van de resultaten gebundeld.

2 Het onderzoek



"Ik weiger dingen klakkeloos toe te passen die een ander bedacht heeft, ik stel mezelf altijd de vraag waarom wordt dit zo toegepast en wat is het nut?"

Henk Tromp, 2018

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In voorgaand hoofdstuk zijn onder andere de onderzoeksvragen van dit onderzoek aan bod gekomen. Dit hoofdstuk beschrijft niet alleen met welke onderzoeksmethoden de onderzoeksvragen zijn beantwoord, maar ook waarom voor welke onderzoeksmethode is gekozen. De keuze en toelichting voor de onderzoeksmethoden wordt in §2.2 per deelvraag behandeld.

Inhoudsopgave hoofdstuk 2

2.1	Werkwijze	12
2.2	Onderzoeksmethoden	13
2.2.1	Deelvraag 1 & 2: Uitgangspunten en ontwerpelementen	13
2.2.2	Deelvraag 3: Ontwerpvarianten	15
2.2.3	Deelvraag 4: Effecten verkeersveiligheid	16
2.2.4	Deelvraag 4: Effecten doorstroming	16

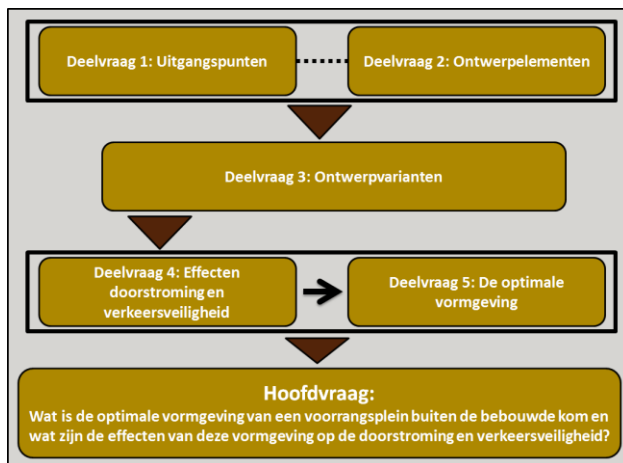
2.1 Werkwijze

Voorafgaand aan het onderzoek heeft allereerst het vooronderzoek plaatsgevonden. Tijdens dit vooronderzoek is onderzoek gedaan naar beschikbare literatuurstukken, is de werking van één voorrangsplein bubeko geobserveerd en is de werking van de simulatiesoftware scherp gesteld. Dit vooronderzoek heeft bijgedragen aan het opstellen van het onderzoeksplan en het maken van de juiste keuzes in de werkwijze en onderzoeksmethodieken van het onderzoek.

Enerzijds bood het literatuuronderzoek belangrijke vingerwijzingen voor een mogelijk ontwerp van een voorrangsplein bubeko, anderzijds bood het een eerste verkenning naar belangrijke ontwerpelementen. Het observatieonderzoek heeft plaatsgevonden op het voorrangsplein bubeko te Wommels (FR). De werkwijze van het observatieonderzoek is bijgevoegd in bijlage 1. De keuze voor het voorrangsplein bij Wommels ten opzichte van het voorrangsplein bij Harderwijk komt voort uit het feit dat het voorrangsplein bij Harderwijk ten tijde van het onderzoek niet bekend was. De observatie gaf inzicht in de werking van een voorrangsplein bubeko en het verkeersgedrag.

Om een gedegen keuze te maken in de simulatiesoftware, de werking hiervan beter te begrijpen en te bepalen hoe verschillende metingen verricht kunnen worden, is in het vooronderzoek een interview afgenomen met een simulatiedeskundige.

Het vooronderzoek heeft richting gegeven aan het onderzoek en leverde een belangrijke bijdrage aan keuzes in de werkwijze en onderzoeksmethoden. Met de kennis en ervaringen uit het vooronderzoek is een werkwijze gekozen welke, met behulp van de deelvragen, leidt tot een antwoord op de hoofdvraag. De volgorde waarin de deelvragen zijn onderzocht is schematisch weergegeven in Figuur 2.1. Onder deze schematische weergave volgt de onderbouwing voor de keuze van deze volgorde. De toegepaste onderzoeksmethodieken worden toegelicht in §2.2.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de volgorde waarin de deelvragen zijn beantwoord

De uitgangspunten en ontwerpelementen zijn de pijlers van ieder verkeerskundig ontwerp. Zonder deze pijlers is het onmogelijk om een functioneel verkeerskundig ontwerp op te stellen. De antwoorden uit deelvraag 1 en deelvraag 2 leiden tot een inzicht in de eisen waar het ontwerp aan moet voldoen, welke ontwerpelementen kunnen worden toegepast en welke ontwerpelementen een belangrijke (verkeerskundige) functie kennen. De antwoorden op deelvraag 1 en 2 worden onderzocht met behulp van interviews en literatuuronderzoek.

Met het inzicht uit deelvraag 1 en 2 zijn niet alleen relevante ontwerpvarianten opgesteld, welke voldoen aan de eisen (uitgangspunten), maar zijn ook de belangrijke ontwerpelementen in het ontwerp opgenomen. Door eerst de uitgangspunten en ontwerpelementen vast te stellen wordt voorkomen dat een (te) groot aantal ontwerpen moet worden opgesteld.

Alvorens de effecten van een voorrangsp plein bubeko op de verkeersveiligheid en doorstroming onderzocht kunnen worden, zijn vijf verkeerskundige ontwerpen opgesteld. Uit het interview met de simulatiedeskundige, welke heeft plaatsgevonden in het vooronderzoek, is gebleken dat een kloppend verkeerskundig ontwerp noodzakelijk is. Zonder een kloppend verkeerskundig ontwerp als basis voor het microsimulatiemodel is het niet mogelijk om waarheidsgetrouwe data te genereren (Moerland, 2018). Het antwoord op deelvraag 4 wordt kwalitatief verkregen doormiddel van literatuur, interviews en simulatieonderzoek.

Uit nadere analyse van de resultaten bij deelvraag 4 wordt bij deelvraag 5 een voorkeursvariant van het voorrangsp plein bubeko bepaald. De antwoorden op deelvragen leiden samen tot een antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek.

De onderzoeksmethoden welke hierbij zijn toegepast worden onderbouwd in de volgende paragraaf.

2.2 Onderzoeksmethoden

In Tabel 2.1 is per deelvraag weergegeven welke onderzoeksmethoden zijn toegepast om tot een antwoord te komen op de deelvraag. De werkwijze per onderzoeksmethode en keuze voor deze methode wordt vervolgens per deelvraag toegelicht.

Voorrangsp leinen buiten de beboude kom	Deelvraag 1	Deelvraag 2	Deelvraag 3	Deelvraag 4
Onderzoeksmethode	Uitgangspunten	Ontwerpelementen	Ontwerpvarianten	Effecten op doorstroming en verkeersveiligheid
Literatuuronderzoek				
Kwalitatief onderzoek (interviews)				
Technische toets				
Expert judgement (interviews)				
Simulatieonderzoek				

Tabel 2.1 Schematische weergave van de onderzoeksmethoden per deelvraag

2.2.1 Deelvraag 1 & 2: Uitgangspunten en ontwerpelementen

De uitgangspunten en ontwerpelementen worden vastgesteld door een iteratief proces van de onderzoeksmethoden, namelijk: literatuuronderzoek en kwalitatief onderzoek (interviews).

Een duidelijk voorbeeld van hoe de kennis uit literatuuronderzoek en interviews met wegbeheerders en ontwerpers leidt tot het vaststellen van uitgangspunten is de ontwerpsnelheid. Uit literatuuronderzoek is gebleken dat de keuze in ontwerpsnelheid een sterke invloed uitoefent op de vormgeving van het voorrangsp plein en de ontwerpelementen. Tevens komen uit het literatuuronderzoek meerdere logische en geloofwaardige snelheden op gebiedsontsluitingswegen bubeko naar voren. Deze logische snelheden zijn voorgelegd aan verschillende wegbeheerders, waaruit twee gewenste snelheden naar voren zijn gekomen.

In de interviews met ontwerpers zijn deze gewenste conflictsnelheden vertaald naar logische en werkbare ontwerpsnelheden. Dezelfde werkwijze is gehanteerd bij het vaststellen van ontwerpelementen. Het enige verschil hierbij is dat, na het vaststellen van een belangrijk ontwerpelement, de maatvoering van dit ontwerpelement, waar mogelijk, is bepaald door gebruik te maken van de Nederlandse ontwerprichtlijnen (literatuuronderzoek).

Literatuuronderzoek

Voordat het ontwerp is opgesteld zijn belangrijke uitgangspunten en ontwerpelementen van voorrangspaleinen verhelderd. Deze verkenning is gedaan met behulp van literatuuronderzoek naar bestaande onderzoeken van voorrangspaleinen en Nederlandse ontwerprijhtlijnen. Op deze manier is duidelijk geworden welke informatie nog ontbrak en welke informatie verder onderzocht moest worden. De reden van deze methode is dat het ontwerp sterk afhankelijk is van de vooraf vastgestelde uitgangspunten en ontwerpelementen.

De vormgeving van het voorrangspalein in het ontwerpproces is afhankelijk van de keuze in ontwerpelementen. Voorbeeld hiervan is dat wanneer gekozen wordt om geen linksaf opstelstrook toe te passen het ontwerp sterk zal veranderen. Het ontwerp is eveneens sterk afhankelijk van de gekozen uitgangspunten, de hoogte van de ontwerprijhtheid en lengte van het maatgevend ontwerpvoertuig. Dit is namelijk van invloed op de vorm van het voorrangspalein en de dimensies van de ontwerpelementen.

Kwalitatief onderzoek (interviews)

Om de uitgangspunten en ontwerpelementen verder scherp te stellen zijn interviews met wegbeheerders en ontwerpers afgenomen. De interviews met wegbeheerders zijn voornamelijk gebruikt om de uitgangspunten af te stemmen op de wensen en behoeften van wegbeheerders. De interviews met ontwerpers zijn voornamelijk gebruikt om (de dimensies van) belangrijke ontwerpelementen vast te stellen. Voor een volledige lijst met geïnterviewde personen wordt verwezen naar bijlage 2. Door gebruik te maken van de kennis van wegbeheerders en ontwerpers zijn de opgestelde ontwerpen praktisch relevant en leveren deze een bijdrage aan het beantwoorden van de hoofdvraag. Tijdens het onderzoek zijn meerdere wegbeheerders van verschillende overheden geïnterviewd. De reden hiertoe is dat de wensen en behoeften van gemeenten, provincies en Rijkswaterstaat onderling kunnen verschillen. De geïnterviewde ontwerpers zijn geselecteerd op basis van hun kennis en ervaring met het voorrangspalein. De reden hiervoor is dat zij parate kennis hebben van ontwerprijhtdilemma's en belangrijke ontwerpelementen van het voorrangspalein.

De interviews geven een antwoord op onder andere de volgende vragen:

-  Welke prioriteiten worden gesteld binnen het verkeer- en vervoersbeleid, gaat doorstroming boven verkeersveiligheid of andersom?
-  Hoe vertaalt bovenstaande vraag zich tot het vaststellen van de gewenste (ontwerp)rijhtheid op voorrangspaleinen bubeko?
-  Welke ontwerpelementen zijn van wezenlijk belang bij een goed functionerend voorrangspalein bubeko en waarom?

Tijdens de interviews zijn ook verkeerskundige ontwerpen van bestaande voorrangspaleinen voorgelegd aan de geïnterviewde personen. Alle ontwerpen zijn afwijkend in vormgeving en gebruik van ontwerpelementen. Door te sparren over de gevolgen in verkeersgedrag van vormgevingen en ontwerpelementen zijn aandachtspunten voor het ontwerp aan het licht gekomen. Hierdoor is duidelijk geworden hoe een verkeerskundig ontwerp eruit moet zien en welke vormgeving vooral niet toegepast moet worden.

Een andere methode om belangrijke ontwerpelementen van voorrangspoleinen bubeko vast te stellen is het uitvoeren van observatieonderzoek naar bestaande voorrangspoleinen bubeko. Voor zover bekend bestaan momenteel slechts twee voorrangspoleinen bubeko. Echter, dit betreft één voorrangspolein tussen een kruising met een gebiedsontsluitingsweg en erftoegangsweg en één voorrangspolein op een stroomweg. Het voorrangspolein op de gebiedsontsluitingsweg is te laat in het onderzoek ontdekt, waardoor de ervaringen van deze locatie niet meegenomen zijn in het onderzoek. Verder is observatieonderzoek op één voorrangspolein niet representatief, omdat meerdere locaties over meerdere jaren gemonitord dienen te worden (Dijkstra, 2018). Tevens ontbreken op beide voorrangspolein essentiële herkenbaarheidspunten, zoals deze zijn opgesteld in het onderzoek van Bout & Olijve in 2015. Om deze redenen is binnen dit onderzoek alleen observatieonderzoek uitgevoerd om het voorrangspolein beter te begrijpen en opvallende zaken mee te nemen in het onderzoek.

2.2.2 Deelvraag 3: Ontwerpvarianten

Met de kennis van de uitgangspunten en ontwerpelementen (de pijlers van het verkeerskundig ontwerp) uit deelvraag 1 en 2 zijn verschillende ontwerpvarianten van voorrangspoleinen bubeko opgesteld. De varianten variëren enerzijds in ontwerpsnelheid en anderzijds in aansluiting van de zijweg. Nadat de varianten zijn opgesteld zijn deze technisch getoetst. De technische toets houdt in dat de berijdbaarheid van het ontwerp is getoetst en de varianten zijn beoordeeld door ontwerpers van Roelofs. Dit om te voorkomen dat toevallige (ontwerp)fouten in de ontwerpvarianten aanwezig zijn en dat een maatgevend ontwerpvoertuig het ontwerp niet kan berijden. De technisch kloppende varianten zijn vervolgens voorgelegd aan een drietal deskundigen met verschillende achtergronden. Voor een volledige lijst met geïnterviewde personen in dit onderzoek wordt verwezen naar bijlage 2. Tijdens de expert judgement is getoetst of de varianten overeenkomen met de opvattingen van deskundigen met andere achtergronden zoals bijvoorbeeld gedrag.

Expert judgement (interviews)

Tijdens de expert judgement zijn de ontwerpvarianten voorgelegd aan deskundigen op het gebied van voorrangspoleinen, verkeersveiligheid en gedrag. Zij zijn gevraagd een waardeoordeel te vellen over de verschillende varianten.

De expert judgement interviews geven antwoord op onder andere de volgende vragen:

- Zijn de ontwerpelementen op een juiste wijze vormgegeven of dienen er aanpassingen te worden verricht?
- Wat zijn de verwachtingen in het gebruik, de herkenbaarheid en de verkeersveiligheid van de verschillende varianten?
- Is een voorkeursvariant aan te wijzen of kunnen varianten worden afgestreept?

Deze methode is gehanteerd omdat wegontwerpers vaak met een (te) verkeerstechnische blik naar een ontwerp kijken. Hierdoor bestaat het risico dat een ontwerper het voorrangspolein wel begrijpt, maar de weggebruiker niet (CROW, 2014). Door gebruik te maken van de kennis van deskundigen met verschillende achtergronden en de ontwerpvarianten hiermee te beoordelen is de voorkeursvariant tot stand gekomen.

2.2.3 Deelvraag 4: Effecten verkeersveiligheid

Het is lastig om de effecten op de verkeersveiligheid van voorrangspolein bubeko inzichtelijk te maken. Observatieonderzoek leidt tot de meest uitgebreide en betrouwbare waarnemingen. Hierbij wordt namelijk het gedrag van weggebruikers ook meegenomen. Echter zijn slechts twee voorrangspolein bubeko toegepast. Om het effect op de verkeersveiligheid van voorrangspolein bubeko op een betrouwbare wijze te toetsen en hierbij te komen tot resultaten welke representatief zijn voor 'alle' voorrangspolein, moet een kruispunt meerdere jaren gemonitord worden en dienen meerdere locaties te worden onderzocht (Dijkstra, 2018). Daarnaast zijn de in dit onderzoek opgestelde ontwerpen theoretisch en niet praktisch toegepast. Ook het simulatieonderzoek, waarmee de capaciteit van het voorrangspolein is bepaald, is geen juiste methode om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de verkeersveiligheidseffecten. Het verkeersgedrag van weggebruikers kan niet worden meegenomen in de simulatiemodellen en de snelheid, een belangrijke indicatie voor verkeersveiligheid, is afhankelijk van de instellingen van het programma. Bij een simulatiemodel 'krijg je eruit wat je erin stopt'. Aangezien andere methoden niet leiden tot betrouwbare en representatieve resultaten zijn de verkeersveiligheidseffecten van de varianten bepaald door middel van literatuuronderzoek.

Literatuuronderzoek

De verkeersveiligheid van een kruispunt is afhankelijk van een veelheid aan factoren. Drie bepalende kenmerken welke van invloed zijn op de kruispuntveiligheid zijn: het kruispunttype, het aantal passerende motorvoertuigen en de verhouding van de zijstroom tot de hoofdstroom (Dijkstra, 2014). In dit onderzoek zijn deze kenmerken in zekere zin irrelevant aangezien het een analyse betreft van een theoretische kruispuntvorm. Een manier om de kruispuntveiligheid van het voorrangspolein bubeko theoretisch te toetsen is de kans op een verkeersongeval en het risico op letselerfst van een verkeersongeval. In dit onderzoek wordt hierin voorzien door een theoretische analyse van: de snelheid, het aantal conflictpunten en conflicttypen, ofwel botstypen. Deze aspecten zijn enerzijds van invloed op de kans op een verkeersongeval en anderzijds op de letselerfst van een verkeersongeval (SWOV, 2014, Aarts, 2004 & Van Kampen, 2000).

2.2.4 Deelvraag 4: Effecten doorstroming

Uit eerder onderzoek van Jaap Bout en Mark Jan Olijve naar het voorrangspolein bibeko zijn verschillende effecten op het gebied van verkeersveiligheid en capaciteit naar voren gekomen. Uit het onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat wanneer een lagere snelheid op de hoofdrichting wordt gereden de capaciteit van het voorrangspolein wordt verminderd. Dit komt doordat de hiaten tussen de auto's op de hoofdrichting worden dichtgereden wanneer de snelheid in de uitbuiging wordt gereduceerd. Het verkeer op de zijrichting moet hierdoor langer wachten op een geschikt hiaat om te kunnen invoegen. Hierdoor neemt de vertragingstijd bij lagere snelheden toe en de capaciteit af. Binnen dit onderzoek is doormiddel van simulatieonderzoek gekeken of onder andere deze effecten ook gelden voor bubeko situaties. Voor simulatieonderzoek is gekozen, omdat op deze manier de maximale capaciteit van het voorrangspolein bubeko bepaald kan worden.

Simulatieonderzoek

Keuze simulatieprogramma

Binnen het concept "Langzaam rijden gaat sneller" wordt gebruik gemaakt van het simulatieprogramma 'Prosim'. Dit programma wordt gebruikt om de verkeersafwikkeling van een (streng) kruispunt(en) te bepalen (CROW, 2004). Aangezien het Prosim programma is ontwikkeld voor bibeko situaties en niet geschikt is voor bubeko, wordt binnen dit onderzoek gekozen om gebruik te maken van het microsimulatieprogramma 'Vissim'.

Simulatie opbouw

Input verkeersgegevens

Om de capaciteit van het voorrangsp plein bubeko te bepalen en de effecten van verschillende varianten inzichtelijk te maken, is gebruik gemaakt van Vissim. Binnen dit simulatieprogramma zijn verschillende intensiteiten op de hoofd- en zijrichting ingevoerd (intensiteitsverhouding), zoals weergegeven in Tabel 2.2. De intensiteit op de hoofdrichting is telkens met 200 motorvoertuigen verhoogd, terwijl de intensiteit op de zijrichting met 50 motorvoertuigen per keer is verhoogd.

Intensiteiten hoofdrichting						
400	600	800	1000	1200	1400	1600
Intensiteiten zijrichting						
50	100	150	200	250	300	
350	400	450	500	550	600	

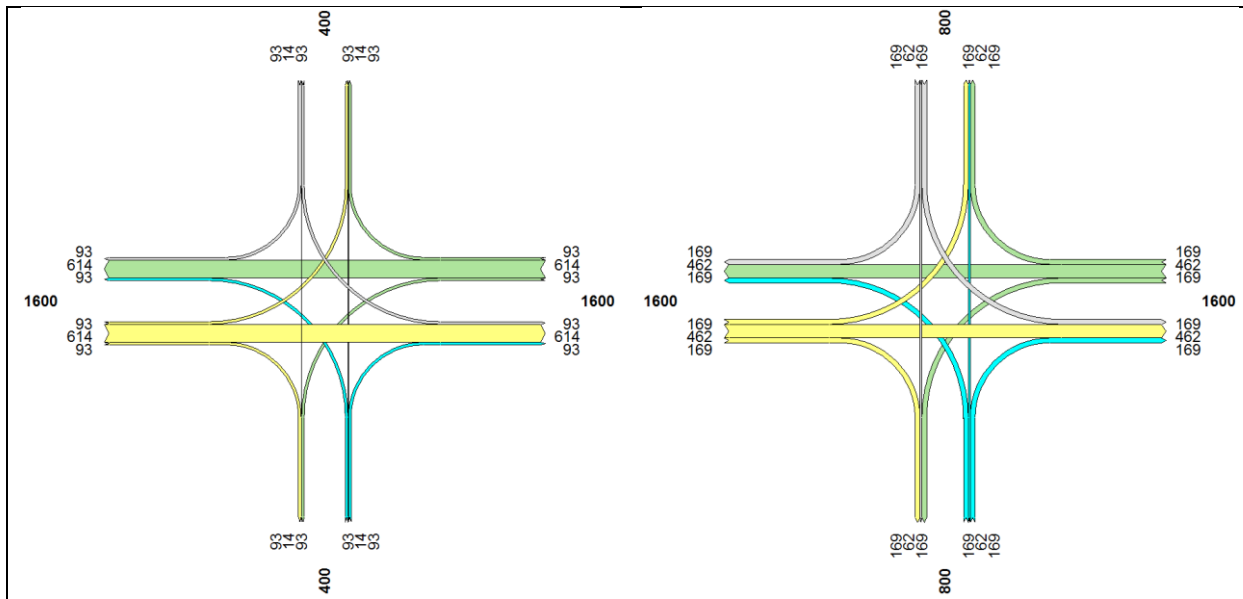
Tabel 2.2 Tekst (motorvoertuigen per uur per rijrichting)

Binnen dit onderzoek is een vaste verhouding autoverkeer (95%) en vrachtverkeer (5%) aangehouden om een zo representatief mogelijk beeld te geven van de werkelijke situatie bubeko. Onder het vrachtverkeer is vervolgens een verdeling van 70% licht en 30% zwaar vrachtverkeer gehanteerd. Deze verhoudingen worden in het vakgebied aangehouden als vuistregel (adviseur verkeer en vervoer Roelofs: S. Wennemers, persoonlijke communicatie, 14-03-2018) en komen overeen met data uit verkeerstellingen van Roelofs (Winkel, 2011). De daadwerkelijke percentages uit de praktijk zijn onbekend, omdat deze vaak sterk per locatie fluctueren. Tabel 2.3 toont de ingevoerde verkeersgegevens.

Voertuigcategorie	Voertuigverdeling (%)	Maatgevend normvoertuig
Licht verkeer	95	Personenauto
Vrachtverkeer	5	
 Licht	70	Kleine vrachtauto zonder oplegger of aanhanger
 Zwaar	30	Vrachtauto met oplegger of aanhanger

Tabel 2.3 Voertuigverdeling hoofdrichting

Het percentage afslaand vrachtverkeer vanaf de hoofdrichting (naar de zijrichting) is binnen dit onderzoek vastgesteld op 10%. Het verkeer is symmetrisch verdeeld volgens The Furness Distribution Model. Dit is een ritdistributiemodel wat het verkeer door middel van een algoritme symmetrisch verdeelt over de verschillende richtingen (Immers, 2011). Dit model komt overeen met het onderzoek dat is uitgevoerd door (Bout & Olijve, 2015). In Figuur 2.2 is de verdeling van het verkeer weergegeven bij twee verschillende intensiteitsverhoudingen. Het afslaande verkeer wordt verhoogd naar mate de intensiteiten op de zijrichting worden opgehoogd. Dit houdt in dat bij 800 motorvoertuigen op de hoofdrichting en 200 motorvoertuigen op de zijrichting, 186 motorvoertuigen vanaf de hoofdrichting afslaan naar de zijweg. Bij 400 motorvoertuigen op de zijrichting bedraagt het afslaande verkeer op de hoofdrichting naar de zijrichting 338 motorvoertuigen.



Figuur 2.2 Voertuigverdeling hoofd- en zijrichting bij intensiteitsverhoudingen van 800/200 mvt/uur per richting en 800/400 mvt/uur per richting (Gemaakt met Strodio)

Capaciteit

Bij het vaststellen van de capaciteit van de verschillende varianten van het voorrangspein is gekeken naar de praktische en theoretische capaciteitsgrens. De praktische capaciteitsgrens wordt bereikt wanneer weggebruikers langer dan 20 seconden moeten wachten. Na deze 20 seconden accepteert de weggebruiker kleinere hiaten om een invoegbeweging te kunnen maken (CROW, 2014). Binnen dit onderzoek wordt de praktische capaciteitsgrens bepaald wanneer de gemiddelde verliestijd meer dan 20 seconden bedraagt. De theoretische capaciteitsgrens wordt bereikt bij een gemiddelde verliestijd van meer dan 60 seconden of wanneer een gridlock in het simulatieprogramma ontstaat. Bij een gridlock staat het gehele voorrangspein in alle richtingen vast. De gemiddelde verliestijden worden gemeten voor de voertuigen die voorrang moeten verlenen, omdat voorrangsgerechtigde voertuigen op de hoofdrichting nauwelijks verliestijden kennen. Zij hoeven immers niet te wachten op een ander voertuig.

Oversteekbaarheid

Aangezien de oversteekbaarheid van het fietsverkeer erg belangrijk is, is binnen dit onderzoek het aantal fietsers dat de hoofdrichting oversteekt ingesteld op 100 fietsers per uur. Door de intensiteiten fietsverkeer bij verschillende varianten hetzelfde te houden, kan de oversteekbaarheid van de fietsers beter in beeld gebracht worden. Fietsers moeten namelijk voorrang verlenen aan het verkeer op de hoofdrichting en moeten hierbij gebruikmaken van de beschikbare hiaten. Voor de zijrichting is dit in mindere mate van belang, omdat het fietsverkeer bij een wachtrij van motorvoertuigen op de zijrichting tussen het verkeer door kan fietsen.

Betrouwbaarheid

Iedere intensiteitsverhouding is gesimuleerd met vijftig runs. Dit is gedaan om de betrouwbaarheid van de resultaten zo groot mogelijk te maken. Bij iedere run is de toedeling van het verkeer veranderd. Dit zorgt ervoor dat de runs niet identiek zijn, maar dat voertuigen op verschillende tijdstippen het simulatiemodel worden ingestuurd. Op deze manier wordt het toeval op de toedeling van het verkeer geminimaliseerd. Binnen het simulatieprogramma Vissim zijn de standaard parameters gebruikt. Echter, voor één parameter is een andere waarde ingevuld. Voor de parameter 'AnticipateRoutes' is de waarde van 70% gehanteerd. Deze waarde geeft aan hoeveel procent van de voertuigen gebruikmaakt van de richtingaanwijzer. De waarde van 70% komt dichterbij de werkelijkheid dan de standaard waarde van 0% (Moerland, 2018). In bijlage 3.7 zijn enkele afbeeldingen van het simulatieprogramma weergegeven.



Samenvattend

In dit hoofdstuk zijn allereerst de gehanteerde onderzoeksmethoden van het onderzoek beschreven. Vervolgens is de werkwijze per onderzoeksmethode en de keuze voor deze methode per deelvraag toegelicht. Voordat een ontwerp opgesteld kan worden, worden in het volgende hoofdstuk de vastgestelde uitgangspunten aan het ontwerp toegelicht, de zogenoemde fundering van het verkeerskundig ontwerp.

3 De fundering



"Het grootste voordeel van voorrangspoleinen is de kneedbaarheid van het kruispunttype."

Mark Jan Olijve, 2018

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In hoofdstuk 2 is de werkwijze met de bijbehorende onderzoeksmethoden per deelvraag toegelicht. Voordat in hoofdstuk 4 een ontwerp opgesteld kan worden, worden in dit hoofdstuk de uitgangspunten aan het ontwerp vastgesteld. Aan ieder verkeerskundig ontwerp worden namelijk basiseisen gesteld. Belangrijke criteria hierbij zijn: verkeersveiligheid, doorstroming, leefbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en kosten. De basiseisen komen samen in een zogenoemd Programma van Eisen (PVE) of uitgangspunten. De dimensies en de vormgeving van het verkeerskundig ontwerp zijn afhankelijk van het PVE of de gestelde uitgangspunten. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van uitgangspunten binnen drie thema's, te weten: herkenbaarheidskenmerken, ontwerpsnelheid en maatgevend ontwerpvoertuig. De uitgangspunten zijn gebaseerd op de resultaten uit interviews met verschillende wegbeheerders. Hierdoor voldoen de uitgangspunten aan de wensen en behoeften van wegbeheerders. Deze werkwijze leidt tot praktisch relevante ontwerpvarianten. De vastgestelde uitgangspunten worden in dit hoofdstuk per thema uitgewerkt.

Inhoudsopgave hoofdstuk 3

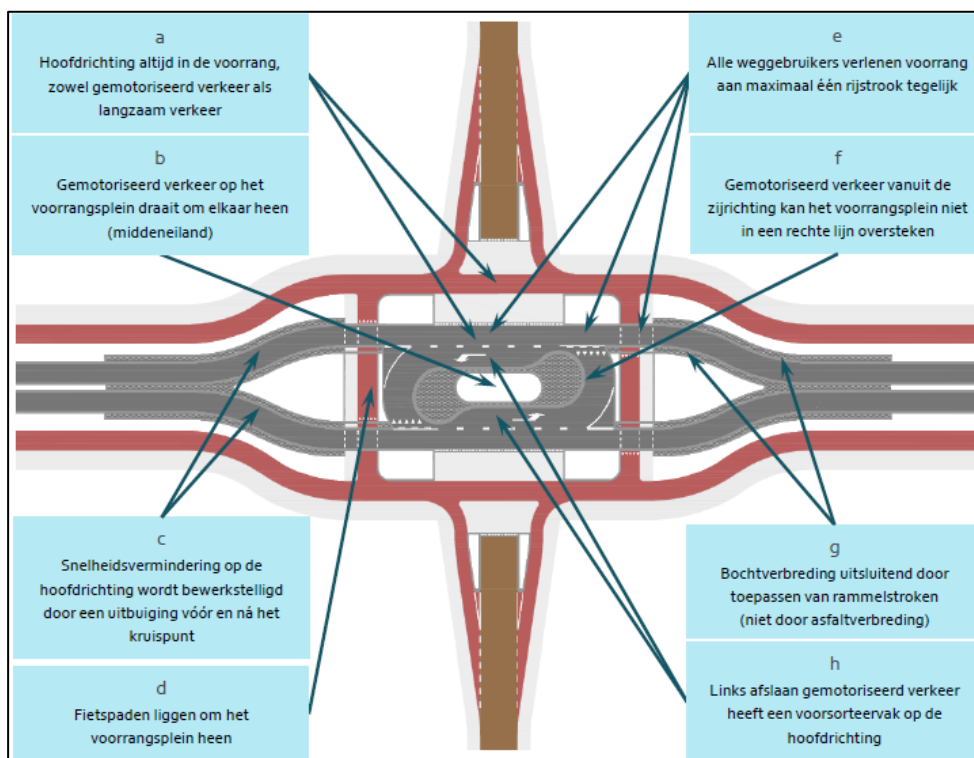
3.1	Herkenbaarheidskenmerken.....	22
3.2	Ontwerpsnelheid	23
3.3	Maatgevend ontwerpvoertuig	23

3.1 Herkenbaarheidskenmerken

De in het verleden aangelegde voorrangspelen variëren sterk in vormgeving. Het ontbreekt het voorrangsplein bibeko dan ook aan uniformiteit. Wat niet het geval is bij traditionele kruispuntvormen. Traditionele kruispuntvormen zijn vrijwel altijd vormgegeven in een vaste 'basisvorm'.

Het gebrek in uniformiteit in de reeds aangelegde voorrangspelen is ontstaan door de uitdagingen omtrent ruimtelijke inpasbaarheid, het gebrek aan kennis en ervaring met het voorrangsplein en de afwezigheid van een vaste 'basisvorm'. Het gemis aan uniformiteit in de vormgeving van voorrangspelen vormt een bedreiging voor de herkenbaarheid en begrijpelijkheid van het kruispunttype. Dit hindert de weggebruiker in het opbouwen van een eenduidig verwachtingspatroon en zaait verwarring. Een onduidelijke vormgeving kan onder andere de volgende vragen opwerpen bij weggebruikers: "Wat is de juiste rijrichting?", "Hoe is de voorrangssituatie geregeld?" en "Wat is de maximumsnelheid?". Een onduidelijke vormgeving komt de verkeersveiligheid en doorstroming zeker niet ten goede, hoe kan de weggebruiker immers een veilig en gewenst rijgedrag vertonen als men niet begrijpt wat van hen verwacht wordt (Ruijs, 2018)?

In eerder onderzoek naar voorrangspelen bibeko zijn acht herkenbaarheidskenmerken opgesteld (Bout & Olijve, 2015). Deze acht kenmerken bevorderen de herkenbaarheid en begrijpelijkheid van voorrangspelen en zorgen voor uniformiteit in het voorrangsplein als kruispunttype (Olijve, 2018). Het geheel van herkenbaarheidskenmerken is vastgesteld als basisvorm. Deze herkenbaarheidskenmerken gelden als uitgangspunt in dit onderzoek. Hierdoor wordt niet alleen bijgedragen aan eenheid en uniformiteit van zowel voorrangspelen binnen als buiten de kom, maar ook aan de verkeersveiligheid en doorstroming van het voorrangsplein. De basisvorm met de acht herkenbaarheidskenmerken wordt weergegeven in Figuur 3.1. De dimensies van verschillende ontwerpelementen staan hierbij niet vast. Dit biedt wegbeheerders en ontwerpers voldoende vrijheid om voorrangspelen ruimtelijk in te passen en blijft de kneedbaarheid van het kruispunttype behouden.



Figuur 3.1 De acht herkenbaarheidskenmerken (Bron: Bout & Olijve, 2015)

3.2 Ontwerpsnelheid

De ontwerpsnelheid, welke wordt vastgesteld door middel van de gewenste conflictsnelheid, van een voorrangspunt is een belangrijk uitgangspunt. Zo heeft het niet alleen invloed op de capaciteit van een kruispunt, maar ook op de verkeersveiligheid. Over het algemeen geldt: hoe lager de snelheid, hoe lager de capaciteit en hoe hoger de verkeersveiligheid. Ook is de keuze in ontwerpsnelheid van invloed op de dimensies van het voorrangspunt. De gewenste snelheidsreductie dient namelijk te worden gefaciliteerd en afgedwongen door de vormgeving van twee ontwerpelementen: de uitbuiging dwingt de gewenste snelheid af en de linksaf opstelstrook moet voldoende deceleratielengte bieden om een veilige en comfortabele remvertraging mogelijk te maken.

Een lage ontwerpsnelheid leidt enerzijds tot een hogere verkeersveiligheid. Anderzijds leidt een lage ontwerpsnelheid tot een verslechterde doorstroming. Een hoge ontwerpsnelheid daarentegen leidt tot een omgekeerd effect voor zowel de verkeersveiligheid als de doorstroming. Hierdoor ontstaat er een spanningsveld tussen verkeersveiligheid en doorstroming. De grootte van het effect in snelheid op de verkeersveiligheid en doorstroming en de oorzaken hiervan worden verhelderd in hoofdstuk 5 en 6.

Het bevorderen en/of waarborgen van de verkeersveiligheid en doorstroming is een belangrijk criterium in het afwegingsproces van kruispuntvormen. Om de verschillen in effecten van de snelheid op beide thema's aan te tonen worden in dit onderzoek twee varianten in snelheid opgesteld. Eén variant met een ontwerpsnelheid van 50 km/u en één variant met een ontwerpsnelheid van 70 km/u. Deze snelheden zijn gebaseerd op de gewenste conflictsnelheden volgens geïnterviewde wegbeheerders en de daarbij behorende logische en geloofwaardige ontwerpsnelheden volgens geïnterviewde ontwerpers. Vrijwel alle geïnterviewde personen zijn van mening dat er in ieder geval een snelheidsreductie moet plaatsvinden (70 km/u variant). Ook zijn zij van mening dat de ontwerpsnelheid niet lager mag zijn dan 50 km/u. Wanneer een lagere ontwerpsnelheid wordt vastgesteld als uitgangspunt verdwijnt immers de 'winst' op de doorstroming ten opzichte van rotondes (ontwerpsnelheid van 30 km/u) (Olijve, 2018).

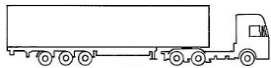
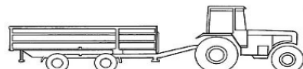
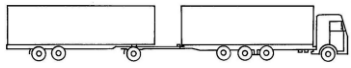
3.3 Maatgevend ontwerpvoertuig

Binnen het vakgebied wegontwerp wordt infrastructuur gedimensioneerd op het maatgevend normvoertuig. Het normvoertuig is gedefinieerd als denkbeeldig voertuig waarvan de eigenschappen representatief of maatgevend mogen worden geacht voor één of meer typen voertuigen. Binnen dit onderzoek wordt de term maatgevend normvoertuig aangeduid als maatgevend ontwerpvoertuig. De reden voor de keuze in het maatgevend ontwerpvoertuig als uitgangspunt is als volgt: Het kruispunt dient veilig en comfortabel berijdbaar te zijn door alle daar te verwachten voertuigen.

De dimensies van het voorrangspunt zullen zijn afhankelijk van de keuze in maatgevend(e) ontwerpvoertuig(en). De lengte, breedte en draaicirkel van maatgevend(e) ontwerpvoertuig(en) bepalen de vormgeving van achtereenvolgens: de breedte van het middeneiland, de maatvoering van de rijstroken, de maatvoering van de overrijdbare stroken en de bochtverbreding. Het belangrijkste aspect hierbij is de breedte van het middeneiland. Het middeneiland dient voldoende opstelruimte te bieden om te kunnen fungeren als tussenstop voor een twee fasen oversteek. Wanneer deze niet wordt gedimensioneerd op het langste maatgevend voertuig zal deze de doorgaande rijbaan blokkeren. Dit wordt als strikt onacceptabel gezien (Bontje P. , et al., 2018).

In het onderzoek van Bout en Olijve uit 2015 is ook geconstateerd dat wanneer onvoldoende rekening wordt gehouden met langere voertuigen dit in de praktijk leidt tot problemen. Zo worden trottoirbanden stuk gereden en wordt de doorgaande rijbaan geblokkeerd. In het onderzoek van (Inspec Nederland BV, 2017) wordt ook vastgesteld dat de berijdbaarheid voor lange voertuigen een belangrijk aandachtspunt is bij het ontwerpen van voorrangspijnen bubeko. Deze voertuigen komen namelijk veel vaker voor op voorrangspijnen bubeko dan op voorrangspijnen bibeko.

Het is onvoldoende om de dimensies van het voorrangspijn bubeko slechts af te stemmen op één maatgevend ontwerpvoertuig. De kenmerken van maatgevende ontwerpvoertuigen verschillen namelijk in sleeplijnen, draaicirkel, lengte en breedte (Jellema & Joustra, 2018). Met behulp van interviews zijn verschillende maatgevende ontwerpvoertuigen vastgesteld. De maatgevende ontwerpvoertuigen zijn weergegeven in Tabel 3.1. De Langere Zwaardere Vrachtautocombinatie (LZV) berijdt alleen de hoofdrichting.

Maatgevend ontwerpvoertuig	Lengte (m)	Breedte (m)	Maatgevend voor
Trekker- opleggercombinatie 	16.5	2.55	Draaicirkel
Landbouwvoertuig met aanhanger 	18	3	Breedte
Vrachtauto met aanhanger 	19.25	2.55	Lengte
Langere Zwaardere vrachtautocombinatie 	25.25	2.55	Hoofdrichting

Tabel 3.1 Maatgevende ontwerpvoertuigen



Samenvattend

In dit hoofdstuk zijn allereerst de acht herkenbaarheidskennmerken van het voorrangspijn vastgesteld. Vervolgens zijn de ontwerpsnelheden en het maatgevende ontwerpvoertuigen beschreven. Deze uitgangspunten liggen, samen met de fundamentele ontwerpelementen, ten grondslag aan het in dit onderzoek opgestelde verkeerskundig ontwerp. De fundamentele ontwerpelementen van voorrangspijnen bubeko worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

4 De tekentafel



"De uitdaging van het voorrangsplein ligt met name op de snelheidsreducerende maatregel. Hoe krijg je de snelheid terug naar 50 km/u?"

Arjan Peet, 2018

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In het vorige hoofdstuk zijn de uitgangspunten waaraan het verkeerskundig ontwerp moet voldoen verhelderd. Voorliggend hoofdstuk beschrijft de fundamentele ontwerpelementen en het doorlopen ontwerpproces. De ontwerpfilosofie en ontwerpdilemma's uit dit onderzoek bieden ontwerpers een ruggensteun in het ontwerpproces. Bestaande kruispuntsituaties verschillen in de praktijk in aansluiting van de zijwegen op de hoofdrichting. Om de effecten van de diverse aansluitingsvormen te bepalen zijn drie aansluitingsvarianten opgesteld. Tot slot worden de drie aansluitingsvarianten worden in dit hoofdstuk behandeld.

Inhoudsopgave hoofdstuk 4

4.1	Ontwerpelementen	26
4.2	Fundamentele ontwerpelementen	27
4.2.1	Linksaf opstelstrook	28
4.2.2	Middeneiland	29
4.2.3	Rijbaansplitsing	30
4.2.4	Splitsingsgeleider	30
4.2.5	Middengeleider	31
4.2.6	Rammelstrook	32
4.2.7	Uitbuiging	33
4.3	Varianten	36
4.3.1	Bajonet aansluiting 'uit het lood'	37
4.3.2	Aansluiting in het midden	38
4.3.3	Linkse bajonetaansluiting	39
4.3.4	Rechtse bajonetaansluiting	40
4.3.5	De voorkeursvariant	41

4.1 Ontwerpelementen

Een verkeerskundig ontwerp bestaat uit allerlei verschillende ontwerpelementen, inrichtingselementen en aandachtspunten. Bij een functioneel verkeerskundig ontwerp komen alle elementen samen tot een verkeersveilige en inpasbare oplossing, waarbij de gestelde eisen aan de verkeersafwikkeling en overige aspecten geborgd zijn. Elk element kent een verkeerskundige functie en deze (in combinatie met andere elementen) leidt tot uiteenlopende effecten op de verkeersveiligheid en de doorstroming.

In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten beschreven welke in dit onderzoek ten grondslag liggen aan het verkeerskundig ontwerp van voorrangspoleinen bubeko. Tijdens het ontwerpproces zijn deze uitgangspunten vertaald naar een voorlopig ontwerp (VO) van een voorrangspolein bubeko. Gedurende het ontwerpproces is gebleken dat niet alle ontwerpelementen in één vaste vorm aangehouden kunnen worden. Bij het ontwerpen van een voorrangspolein bubeko kan de ontwerper variëren in een veelheid aan ontwerpelementen, inrichtingselementen, maatvoeringen en vormgevingen. Een ontwerp voorrangspolein bubeko bestaat niet en het ontwerp is altijd afhankelijk van maatwerk.

In dit onderzoek is vastgesteld dat ontwerpelementen in de basisvormgeving van voorrangspoleinen bubeko leiden tot belangrijke verkeerskundige effecten, later genoemd: de fundamentele ontwerpelementen.

Fundamentele ontwerpelementen

- ① Linksaf opstelstrook
- ② Middeneiland
- ③ Rijbaansplitsing
- ④ Splitsingsgeleider
- ⑤ Middengeleider
- ⑥ Rammelstrook
- ⑦ Uitbuiging

Naast de fundamentele ontwerpelementen zijn ontwerpelementen toegepast welke in de vormgeving van een kruispunt standaard of optioneel aanwezig zijn. De functie van deze algemene ontwerpelementen is niet specifiek verbonden aan het voorrangspolein bubeko of worden niet altijd toegepast. Verder bestaan belangrijke aandachtspunten welke van belang zijn bij het ontwerp van voorrangspoleinen bubeko. Voor een uitvoerige toelichting van de algemene ontwerpelementen, inrichtingselementen en aandachtspunten wordt verwezen naar bijlage 3.

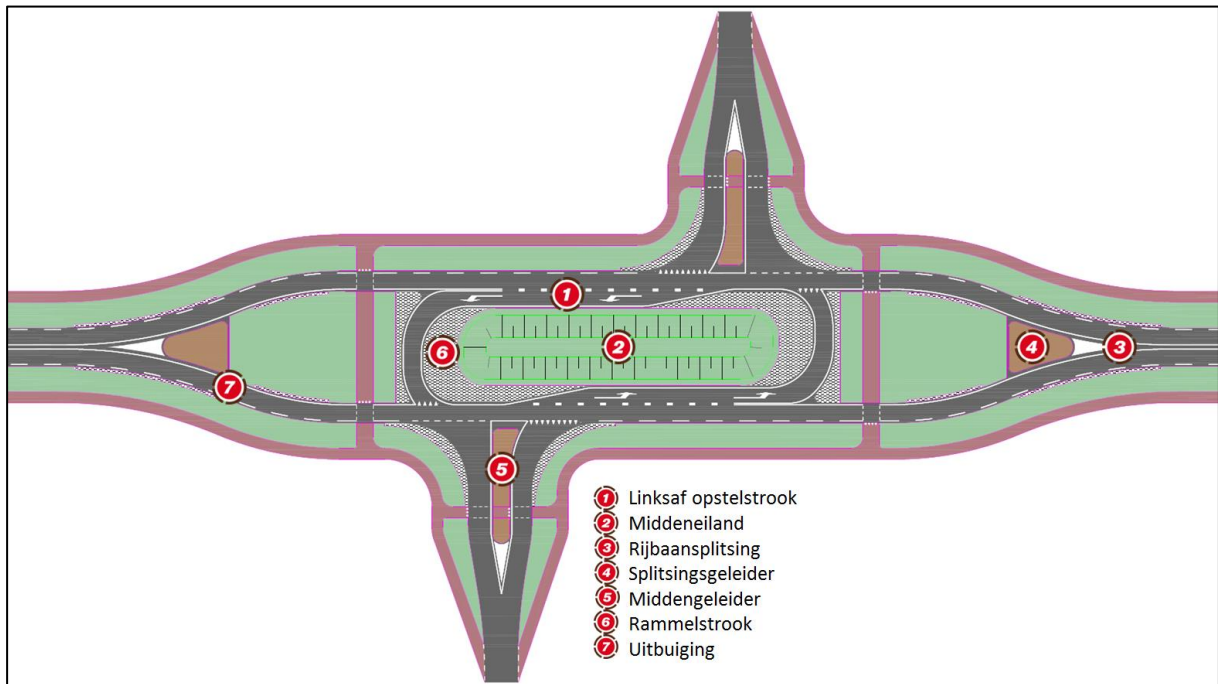


Kanttekening

Tijdens dit onderzoek zijn logische en doelmatige dimensies gebruikt voor de vormgevingen van het voorrangspolein bubeko. Voor de interpretatie van deze dimensies is het van belang om te vermelden dat deze niet dienen te worden gezien als standaard vaststaande maatvoeringen. Ontwerpers en wegbeheerders zijn vrij om af te wijken van de in dit onderzoek vastgestelde keuzes in maatvoering. Zodoende blijft het voorrangspolein een kneedbaar kruispunttype en wordt de ruimtelijke inpasbaarheid vergemakkelijkt.

4.2 Fundamentele ontwerpelementen

De fundamentele ontwerpelementen zijn van dusdanig belang dat deze altijd in een voorrangsplein bubeko dienen te worden toegepast. De elementen zijn onmisbaar omdat deze enerzijds van grote invloed zijn op de verkeersveiligheid en doorstroming van voorrangspleinen, anderzijds worden deze fundamentele ontwerpelementen gezien als herkenbaarheidskenmerken van voorrangspleinen bubeko. Het blijft echter altijd de keuze voor wegbeheerders en ontwerpers om deze elementen toe te passen of aan te passen. Figuur 4.1 toont de zeven fundamentele ontwerpelementen. In deze paragraaf wordt per ontwerpelement een toelichting gegeven.



Figuur 4.1 De 7 fundamentele ontwerpelementen van het voorrangsplein bubeko

4.2.1 Linksaf opstelstrook

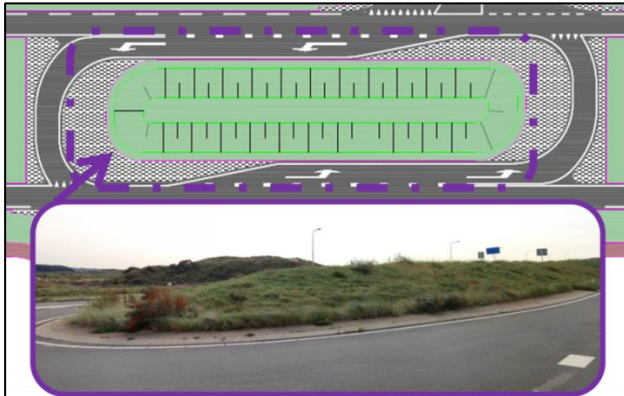
In eerder onderzoek naar voorrangspoleinen bibeko is het effect van de linksaf opstelstrook op de verkeersveiligheid en capaciteit reeds onderzocht (Bout & Olijve, 2015). Uit het onderzoek blijkt de linksaf opstelstrook cruciaal te zijn voor de capaciteit van het voorrangspolein. Ook levert de linksaf opstelstrook een belangrijke bijdrage aan de begripelijkheid en uniformiteit in inrichtingsvorm van het voorrangspolein. Omwille van deze redenen en aangezien de linksaf opstelstrook een herkenbaarheidskenmerk is (uitgangspunt) is de linksaf opstelstrook vastgesteld als fundamenteel ontwerpelement.

De linksaf opstelstrook kent een tweetal functies. De eerste functie is af te leiden van de naam, namelijk het bieden van opstelruimte voor het overstekende of afslaande verkeer. Het bieden van opstelruimte is noodzakelijk om te voorkomen dat het wachtende verkeer de doorgaande rijstrook blokkeert, wat als strikt onacceptabel wordt gezien. Daarnaast biedt deze opstelstrook het verkeer op de hoofdrichting de ruimte om veilig en comfortabel af te remmen, ook wel deceleratieruimte genoemd. Hierdoor hoeft het afslaand verkeer niet te remmen op de doorgaande rijstrook en zal het verkeer niet hinderen.

Het formaat is afhankelijk van de hoogte van de ontwerpsnelheid. In dit onderzoek gelden de varianten met ontwerpsnelheden van 50 km/u (v50) en 70 km/u (v70). De hoofdzakelijke functie van de linksaf opstelstrook is niet eenduidig. In de v50 variant is de benodigde opstelruimte maatgevend, een groot deel van de snelheidsreductie vindt immers al plaats in de uitbuiging. Bij de vormgeving in de v70 variant is de benodigde deceleratieafstand maatgevend. De vereiste opstelruimte voor een basisvorm voorrangspoleinen is onbekend, deze afstand is namelijk afhankelijk van het aandeel afslaand verkeer en verschilt per locatie. Daarom wordt in beide gevallen de benodigde deceleratieafstand als basis voor de lengte van de linksaf opstelstrook genomen. Aandachtspunt is dat wanneer de opstelstrook korter wordt gedimensioneerd dan de benodigde deceleratieruimte, het afslaande verkeer zal afremmen op de doorgaande rijstrook. Dit wordt onwenselijk geacht in verband met het effect van opduwen (achteroprijdend verkeer hanteert een zeer korte volgtijd) (Jellema & Joustra, 2018). De lengte van de linksaf opstelstrook is bepaald aan de hand van de formule welke is weergegeven in bijlage 3.2.

4.2.2 Middeneiland

De ervaring met andere voorrangspoleinen leert dat spookrijden nogal eens voorkomt (Bout & Olijve, 2015). Dit is ook geconstateerd tijdens de praktijkobservatie bij het voorrangspolein bubeko in Wommels (FR). Aangezien spookrijden leidt tot een ernstig verkeersveiligheidsrisico zijn maatregelen noodzakelijk. Een infrastructurele maatregel om spookrijden te voorkomen is een verhoogd middeneiland. Dit ontwerpelement is overgenomen van rotondes. Bij rotondes is het middeneiland een belangrijk herkenbaarheidskenmerk. Doordat het middeneiland het doorzicht onderbreekt herkent een weggebruiker bij het naderen van de rotonde de kruispuntsituatie als zodanig (CROW, 2014). In Figuur 4.2 wordt het (verhoogde) middeneiland afgebeeld in een referentiebeeld.



Figuur 4.2 Referentiebeeld van een middeneiland (Bron: Google Maps)

De voorrangssituatie op rotondes en voorrangspoleinen is niet overeenkomstig, de aanwezigheid van een middeneiland wel. In de praktijk blijkt dat weggebruikers het voorrangspolein nogal eens verwarren met een rotonde. Om het voorrangspolein te onderscheiden van rotondes wordt een verhoogd middeneiland in een rechthoekige vorm toegepast. Aangezien het ontwerpelement een essentiële bijdrage levert aan de herkenbaarheid en verkeersveiligheid van voorrangspoleinen bubeko, wordt het bestempeld als fundamenteel ontwerpelement.

De aanwezigheid van een verhoogd middeneiland vormt een visueel en fysiek obstakel voor weggebruikers op de hoofd- en zijrichting en kent verschillende functies. Deze functies zijn: het bieden van manoeuvreerruimte voor het om elkaar heen draaiende gemotoriseerd verkeer, een herkenbaarheidsfunctie, het doorzicht blokkeren en een esthetische functie. Om te voorzien in voldoende manoeuvreerruimte wordt ter hoogte van het middeneiland een overrijdbare strook toegepast (zie §4.2.6 Rammelstrook). De ruimte voor het middeneiland wordt gecreëerd door de rijbaansplitsing. Voor de maatvoering van de breedte van het middeneiland is het langste ontwerpvoertuig maatgevend. Wanneer namelijk onvoldoende opstelruimte wordt gecreëerd zal een lang voertuig de doorgaande richting blokkeren, hetgeen onacceptabel wordt geacht.

Het langste maatgevend ontwerpvoertuig kent een lengte van 19,25 meter. Naast de lengte van het langste maatgevend ontwerpvoertuig is ook de draaicirkel van de trekker-opleggercombinatie van belang voor de manoeuvreerruimte op het middeneiland. In dit onderzoek is de breedte van 20 meter gehanteerd voor de maatvoering van het middeneiland. Deze maat biedt voldoende ruimte voor het opstellen van lange voertuigen en voorziet in een comfortabele draaicirkel voor de trekker-opleggercombinatie. In dit onderzoek is uitgegaan van de voertuigkarakteristieken volgens (CROW, 2012). Met behulp van de software Autoturn is getoetst of het middeneiland voorziet in voldoende manoeuvreerruimte. In de praktijk kent de trekker-opleggercombinatie een scherpere stuurhoek dan de stuurhoek waarmee getoetst is. Hierdoor is het mogelijk om de breedte van 20 meter te knijpen.

4.2.3 Rijbaansplitsing

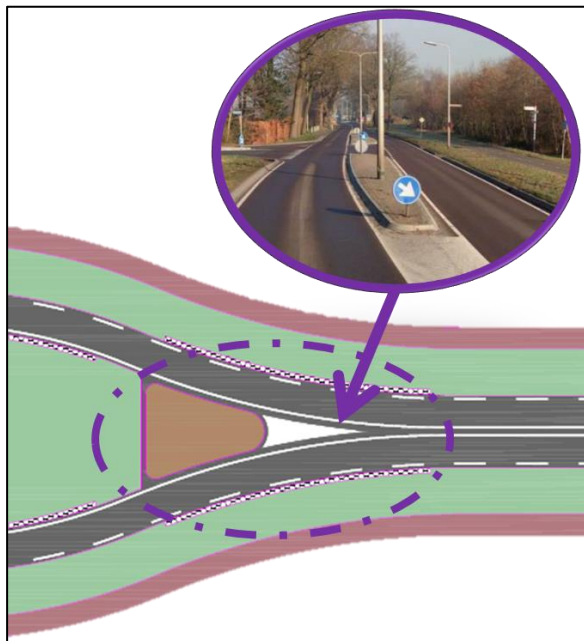
Voorafgaand aan het voorrangsplein wordt de doorgaande rijbaan gesplitst in twee afzonderlijke rijbanen. Bij de kop van de rijbaansplitsing wordt een middengeleider gerealiseerd, ook wel splitsingsgeleider (zie §4.2.4 Splitsingsgeleider). Na de splitsingsgeleider en tussen de gescheiden rijbanen bevindt zich de middenberm. Vanaf de rijbaansplitsing worden de gescheiden rijbanen uitgebogen in de vorm van een S-boog.

De rijbaansplitsing is een cruciaal element in de vormgeving van voorrangspelen. De rijbaansplitsing kent namelijk de volgende functies: een scheiding tussen de twee doorgaande rijstroken, het toepassen van een middeneiland en voldoende afstand voor het faciliteren van een twee fasen oversteek voor zowel gemotoriseerd verkeer als fietsverkeer uit de aansluitende zijweg. Verder draagt de rijbaansplitsing bij aan de zichtbaarheid en herkenbaarheid van de naderende kruispuntsituatie.

De breedte van de rijbaansplitsing is afhankelijk van de breedte van het middeneiland, in dit onderzoek is de breedte van 20 meter gehanteerd.

4.2.4 Splitsingsgeleider

In de kop van de rijbaansplitsing wordt een splitsingsgeleider toegepast. De combinatie van de rijbaansplitsing, splitsingsgeleider en uitbuiging draagt bij aan de zichtbaarheid en herkenbaarheid van het voorrangsplein. De functie van de splitsingsgeleider komt overeen met dat van een middengeleider. De splitsingsgeleider benadrukt de splitsing in rijbanen en het daarbij behorende wegverloop. De fysieke onderbreking van het rechtdoorgaande wegbeeld verhoogt het attentieniveau van weggebruikers en geeft aan dat zij een kruispuntsituatie naderen. Door de geleidende vorm van de splitsingsgeleider accentueert deze de boog van de uitbuiging. Zodoende wordt de weggebruiker erop attent gemaakt dat een aanpassing van de snelheid vereist is. De splitsingsgeleider dient dus te worden uitgevoerd in een geleidende vorm. De splitsingsgeleider kent geen vaste maatvoering en is afhankelijk esthetische wensen. In Figuur 4.3 is een referentiebeeld van de splitsingsgeleider afgebeeld.



Figuur 4.3 Referentiebeeld van een splitsingsgeleider (Bron: Google Maps)

4.2.5 Middengeleider

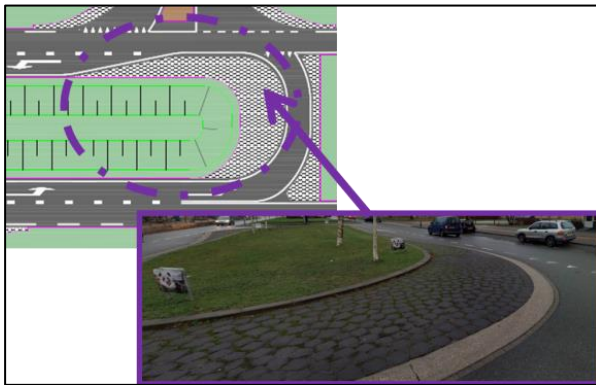
Een middengeleider op de aansluitende zijwegen vervult zowel een functie voor het verkeer op de hoofdrichting alsmede het verkeer op de zijrichting. De primaire functie van de middengeleider is het verhogen van het attentieniveau voor weggebruikers. Door de toepassing van een middengeleider wordt de weggebruiker er namelijk extra op geattendeerd dat deze een kruisende weg nadert. Daarnaast accentueert de middengeleider de ondergeschiktheid van de zijrichting (aansluitende erftoegangsweg) en daarmee de dominante status van de hoofdrichting (doorgaande gebiedsontsluitingsweg). Dit komt de herkenbaarheid van de voorrangssituatie ten goede en leidt ertoe dat weggebruikers op de zijrichting het (snelheids)gedrag aanpassen. Ook geleidt de middengeleider het verkeer op de zijweg naar de te volgen richting op de hoofdweg en dwingt deze het gewenste opstelgedrag af. Tot slot creëert de middengeleider ruimte voor een twee fasen oversteek voor fietsverkeer in de hoofdrichting. De maatvoering is afhankelijk van de locatie en benodigde ruimte voor het fietsverkeer om in twee fasen te kunnen oversteken. De vorm dient zodanig te worden vormgegeven dat deze het verkeer op de gewenste wijze geleidt. Belangrijk aandachtspunt is dat de middengeleider geen obstakel mag vormen voor het verkeer op de hoofdrichting en de manoeuvreerruimte voor het verkeer vanaf de keerlus, daarom is de middengeleider op 1,5 meter afstand van de doorgaande rijstrook geplaatst.

4.2.6 Rammelstrook

Om snelheidsreductie en het juiste opstelgedrag van weggebruikers op voorrangspaleinen af te dwingen wordt gebruik gemaakt van 'krappe' boogstralen en wordt 'zo min mogelijk asfalt aangeboden'. Deze scherpe bogen zijn alleen niet berijdbaar door lange voertuigen zoals bijvoorbeeld een trekker- opleggercombinatie. Vooral de sleeplijn van de achteras vraagt bij lange voertuigen op een voorrangspalein extra ruimte. Om te voorkomen dat het voorrangspalein onberijdbaar wordt voor lange voertuigen of dat deze voertuigen de berm- en trottoirbanden beschadigen wordt ter hoogte van het middeneiland, in de uitbuiging en in de aansluitboog van de zijweg bochtverbreiding toegepast. Deze bochtverbreiding wordt toegepast door middel van rammelstroken. De rammelstroken leveren een onmisbare bijdrage aan de berijdbaarheid van het voorrangspalein en zijn daarom vastgesteld als fundamenteel ontwerpelement.

Automobilisten worden min of meer gedwongen om de rammelstroken te vermijden door het veroorzaakte discomfort. Lange voertuigen ondervinden (bijna) geen comforthinder door rammelstroken en zullen zonder moeite gebruik maken van deze extra geboden ruimte. Naast het waarborgen van de berijdbaarheid van het voorrangspalein en het afdwingen van het gewenste opstelgedrag kent de rammelstrook nog een andere functie, namelijk het bieden van vergevingsgezindheid in de uitbuiging. Wanneer weggebruikers de uitbuiging verkeerd inschatten en uit koers raken biedt de rammelstrook nog enige ruimte om de koersafwijking te corrigeren.

De rammelstroken worden gedimensioneerd met behulp van de sleeplijnen van de verschillende ontwerpvoertuigen. De maatgevende sleeplijn is de uiterste grens van de rammelstroken. Omwille van esthetisch oogpunt en om de aanleg van rammelstroken technisch uitvoerbaar te maken, worden de rammelstroken doorgezet naar het begin van de linksaf opstelstrook. Hierdoor wordt tevens de rechthoekige vorm van het verhoogde middeneiland benadrukt. Figuur 4.4 toont een voorbeeld van een rammelstrook.



Figuur 4.4 Referentiebeeld van een rammelstrook (Bron: Google Maps)

4.2.7 Uitbuiging

De uitbuiging in de vorm van een S-boog is een fundamenteel ontwerpelement van een voorrangsplein. De uitbuiging ontstaat door de noodzaak om aansluiting te vinden tussen de doorgaande rijstroken op het toeleidende wegvak en de gescheiden rijstroken op het voorrangsplein. Belangrijker nog is de verkeerskundige functie van de uitbuiging. De uitbuiging zorgt namelijk voor de benodigde snelheidsreductie van het verkeer op de hoofdrichting van het voorrangsplein. De uitbuiging kent twee hoofdzakelijke toepassingsvormen, namelijk de enkelvoudige uitbuiging en de tweevoudige uitbuiging. Hierbij bestaat er keuzevrijheid in de vormgeving van de uitbuiging: een dwingende of geleidelijke vormgeving. De keuze in de plaats van de uitbuiging (voor en na of alleen voor het voorrangsplein) is gebonden aan de keuze voor een enkelvoudige of tweevoudige uitbuiging. Tot slot speelt een ander facet een belangrijke rol bij de uitvoering van de uitbuiging. Een uitbuiging zowel voor als na het voorrangsplein wordt gezien als een belangrijk herkenbaarheidskenmerk (uitgangspunt) van het kruispunttype.

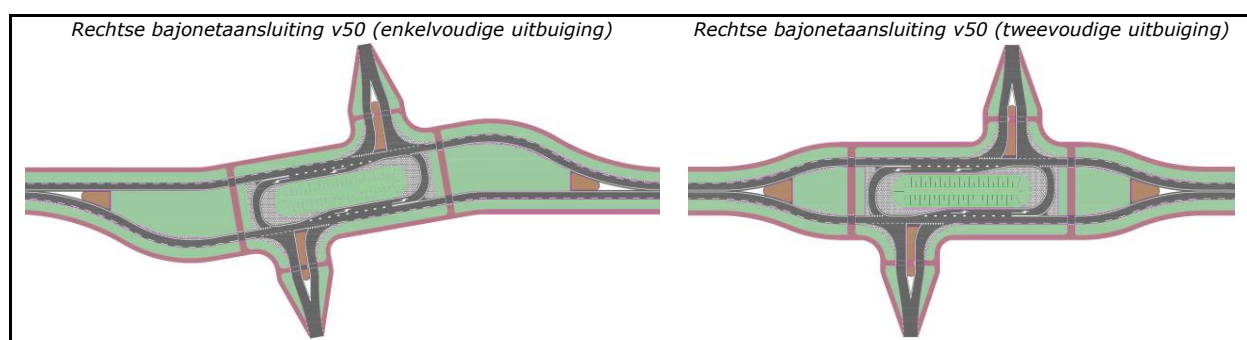
Enkelvoudige uitbuiging

De enkelvoudige uitbuiging is een inventieve oplossing uit het onderzoek van Inspec Nederland BV om te voorzien in snelheidsreductie bij voorrangsplassen bubeko. De enkelvoudige uitbuiging vindt alleen plaats op de toeleidende rijbaan vóór het voorrangsplein. Door de toepassing van een enkelvoudige uitbuiging is het niet mogelijk om na het voorrangsplein een tweede uitbuiging te situeren. Een ander gevolg van een enkelvoudige uitbuiging is dat het voorrangsplein onder een hoek dient te worden geplaatst om in de aansluiting van de uitbuiging te kunnen voorzien. De enkelvoudige uitbuiging wordt gekenmerkt door een asymmetrische vorm. Het ruimtebeslag van de enkelvoudige uitbuiging is groter dan dat van de tweevoudige uitbuiging. De enkelvoudige uitbuiging oogt als een visueel meer dwingende uitbuiging dan de tweevoudige uitbuiging.

Tweevoudige uitbuiging

De tweevoudige uitbuiging komt overeen met de klassieke vorm van voorrangsplassen bibeko. Deze uitbuiging vindt zowel voor als na het voorrangsplein plaats. Zoals eerder vermeld is het ruimtebeslag van de tweevoudige uitbuiging het kleinst. De tweevoudige uitbuiging kent een symmetrische vorm.

De verschillende typen uitbuigingen worden gevisualiseerd in Figuur 4.5. In de linker afbeelding wordt de enkelvoudige uitbuiging getoond, in de rechter afbeelding de tweevoudige uitbuiging.



Figuur 4.5 Rechtse bajonetaansluiting met enkelvoudige en tweevoudige uitbuiging

Vormgeving uitbuiging

De keuze in de toepassingsvorm van de uitbuiging en de daarbij behorende vormgeving is afhankelijk van twee aspecten, namelijk de gewenste snelheidsreductie en de ruimtelijke inpassingsopgave. Deze aspecten zijn onderling aan elkaar gebonden. Een geleidelijke uitbuiging kent namelijk een groter ruimtebeslag en een hogere passeersnelheid. Een dwingende uitbuiging kent een lagere passeersnelheid en een kleiner ruimtebeslag. In de praktijk verschilt de beschikbare ruimte per specifieke locatie. Hierdoor kan de vorm tussen verschillende voorrangspelen (bubeko) verschillen.

Aangezien de tweevoudige uitbuiging een onmisbare herkenbaarheidsfunctie dient en past binnen vastgestelde uitgangspunten wordt deze vormgeving toegepast in de vormgeving van het voorrangspein bubeko. Naast de herkenbaarheidsfunctie kent de tweevoudige uitbuiging (ten opzichte van de enkelvoudige uitbuiging) voor- en nadelen, deze worden gevisualiseerd in Figuur 4.6.

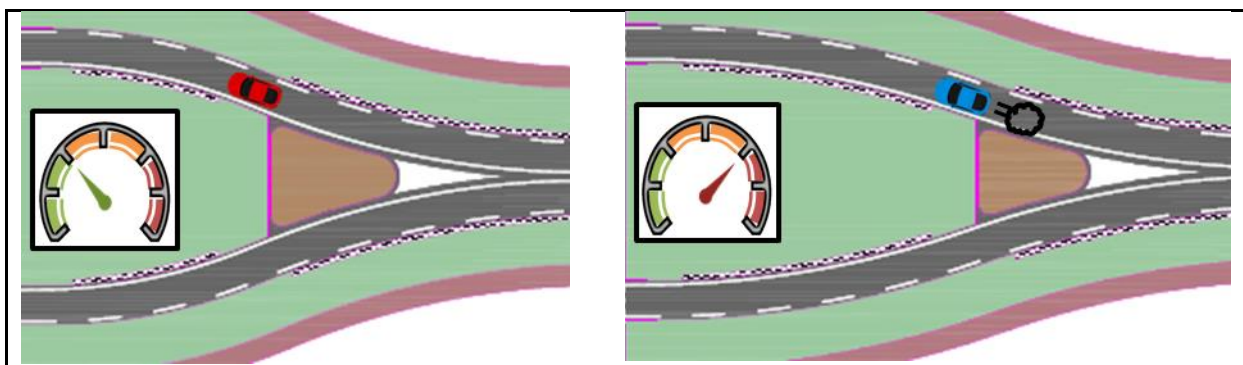
Voordelen	Nadelen
• Herkenbaarheid; • Geen as verdraaiing; • Geen (korte) rechtstand na uitbuiging noodzakelijk; • Alle aansluitingsvormen mogelijk; • Snelheidsremming voor en na het voorrangspein; • Voldoende oprijzicht; • Minder ruimtebeslag; • Gelijkvloerse fietsoversteek mogelijk.	• Minder visueel dwingend; • Minder grote afrijcapaciteit; • Waarneembaarheid rijbaansplitsing; • Waarneembaarheid S-boog;

Figuur 4.6 Voor- en nadelen van de tweevoudige uitbuiging

Maatvoering S-boog

Tijdens het ontwerpproces leverde de vormgeving van de S-boog (uitbuiging) het grootste ontwerpdilemma op. Bij het vormgeven van de S-boog ontstaat het spanningsveld tussen enerzijds voldoende (dwingende) snelheidsreductie en anderzijds het (voorkomen van het) uit koers raken van voertuigen.

De maatvoering (boogstraal) van horizontale bogen is doorgaans gebaseerd op geldende Nederlandse richtlijnen. Het hanteren van deze richtlijnen resulteert in veilige en comfortabel berijdbare bogen, dus geen krappe boogstralen. De snelheidsreductie van de uitbuiging wordt bepaald door de krapte van de boogstraal: hoe krappere de boog des te lager de snelheid en hoe ruimer de boog des te hoger de snelheid. Dit is weergegeven in Figuur 4.7.



Figuur 4.7 Krappe en ruime boogstralen (bij een uitbuiging van respectievelijk 50 en 70 km/u)

Omdat de gangbare boogstralen volgens richtlijnen onvoldoende voorzien in snelheidsreductie door de S-boog is in dit onderzoek afgeweken van de richtlijnen. Allereerst is gezocht naar een oplossing via een theoretische benadering: hoe kunnen boogstralen zo krap mogelijk worden gedimensioneerd zonder dat vrachtauto's kantelen en voertuigen van de weg raken? Deze theoretische benadering leverde niet het gewenste resultaat, de S-boog bleef onvoldoende krap om te voorzien in de gewenste snelheidsreductie. Gaandeweg het ontwerpproces is gebleken dat een praktische benadering wél leidt tot boogstralen welke een voldoende snelheidsreducerend effect teweegbrengen. Om te komen tot dwingende boogstralen welke de snelheid reduceren is de ontwerpfilosofie van boogstralen op rotondes toegepast. Deskundigen van verschillende achtergronden bevestigen de bruikbaarheid van deze benadering. Het proces van de theoretische- en praktische benadering naar de gewenste boogstralen wordt uitvoerig uiteengezet in bijlage 3.3.

Om te voorkomen dat door de krappe boogstralen voertuigen uit koers raken wordt de (ontwerp)snelheid in de S-boog in stappen gereduceerd volgens de zogenoemde stappentheorie. Voor een nadere uitleg van de stappentheorie wordt verwezen naar bijlage 3.3. Tot slot kent de tweevoudige uitbuiging enkele nadelen. Deze nadelen worden geminimaliseerd door de toepassing van andere fundamentele ontwerpelementen zoals bijvoorbeeld de splitsingsgeleider. Daarnaast wordt aanbevolen om de S-boog te accentueren met behulp van inrichtingselementen. Een voorbeeld van een inrichtingselement is het toepassen van bochtreflectorpalen. Deze en andere inrichtingselementen worden nader toegelicht in bijlage 3.4. Tot slot kent de S-boog belangrijke aandachtspunten in verband met zichtlijnen, een voorbeeld hiervan is de boogherkenning. Alle belangrijke aandachtspunten worden beschreven in bijlage 3.5.

De boogstralen in de S-bogen bij ontwerpssnelheden $v=50$ en $v=70$ dienen de snelheden van 70 km/u, 65 km/u en 50 km/u af te dwingen. Om dit te bewerkstelligen worden respectievelijk de stralen $r=90$, $r=80$ en $r=50$ gehanteerd.



Samenvattend

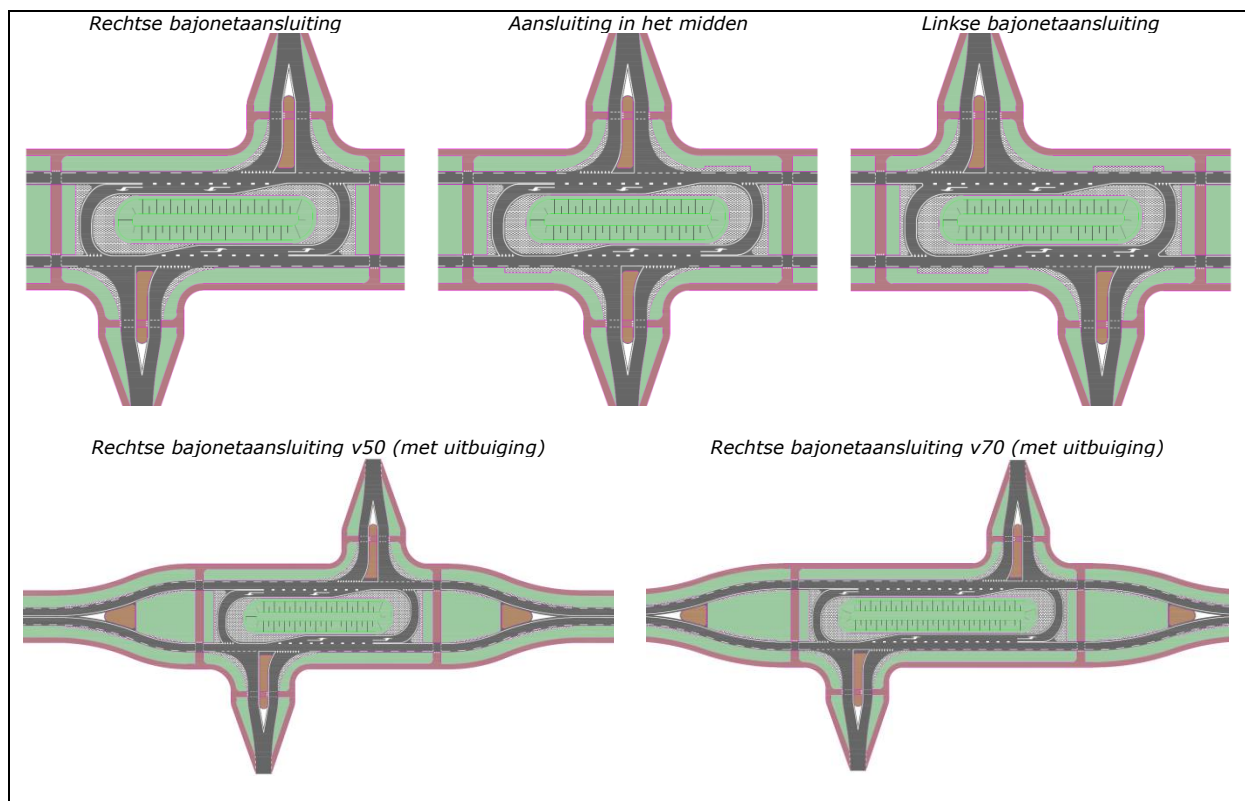
In bovenstaande paragraaf zijn de zeven fundamentele ontwerpelementen van het voorrangsplein bubeko beschreven. Deze ontwerpelementen zijn toe te passen in verschillende vormgevingen en varianten in snelheid van het voorrangsplein bubeko. De verschillen in vormgeving zijn noodzakelijk doordat de aansluiting van de zijweg in kruispuntsituaties bubeko verschilt. Dit worden vanaf nu de aansluitingsvarianten genoemd. De varianten in snelheid worden vanaf nu snelheidsvarianten genoemd. De verschillende aansluitingsvarianten en snelheidsvarianten worden toegelicht in de volgende paragraaf.

4.3 Varianten

In dit onderzoek zijn de verschillende vormgevingen gebundeld tot drie aansluitingsvarianten: de rechtse bajonetaansluiting, de aansluiting in het midden en de linkse bajonetaansluiting. Om het effect van de snelheid op de capaciteit te kunnen bepalen is de rechtse bajonetaansluiting uitgevoerd in twee snelheidsvarianten, namelijk de 50 km/u variant en de 70 km/u variant. Tijdens het ontwerpproces en uit verscheidene interviews is namelijk gebleken dat de rechtse bajonetaansluiting de voorkeur heeft. Deze vormgeving kent de meeste verkeerskundige voordelen ten opzichte van de andere twee varianten.

Deze paragraaf behandelt de drie aansluitingsvarianten, zoals afgebeeld in Figuur 4.8. Binnen deze varianten zijn veel ontwerpelementen overeenkomstig. De verschillen in de varianten, specifieke effecten en de bijbehorende ontwerpkeuzes worden per variant toegelicht. Aan het slot worden alle voor- en nadelen van de drie aansluitingsvarianten uiteengezet.

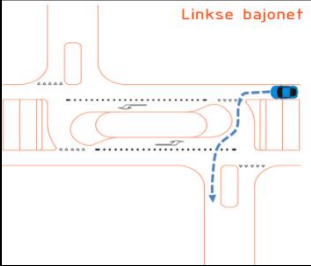
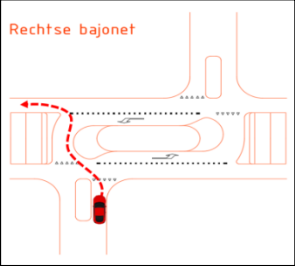
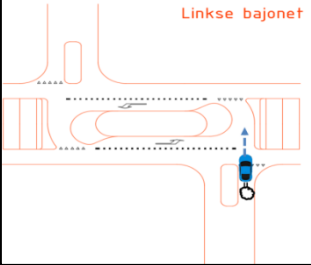
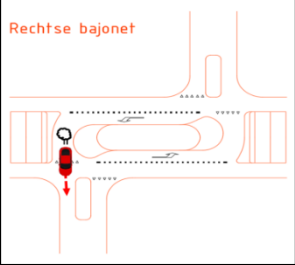
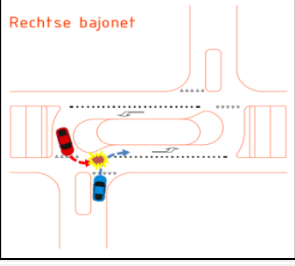
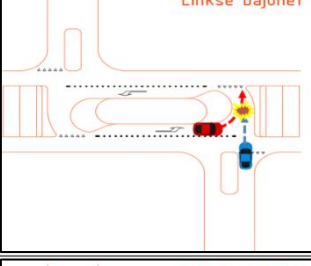
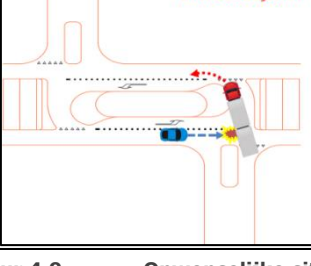
Bij de vormgeving van de snelheidsvarianten blijft het voorrangsplein bubeko in de basis gelijk. Enkel de dimensies van de uitbuiging en de linksaf opstelstrook variëren. Daarom wordt deze variant niet nader toegelicht.



Figuur 4.8 De verschillende aansluitingsvarianten en snelheidsvarianten

4.3.1 Bajonet aansluiting 'uit het lood'

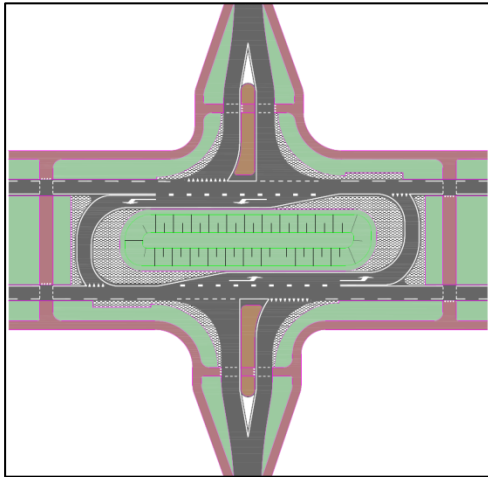
Wanneer kritisch naar de twee bajonetvarianten wordt gekeken, valt op dat de aansluiting van de zijweg niet recht tegenover (haaks) de linksaf opstelstrook is gesitueerd. Deze aansluitingsmogelijkheden zijn wel meegenomen in dit onderzoek, maar zijn in de ontwerpfase niet verder uitgewerkt. Bij het haaks aansluiten van de bajonetaansluiting nemen de risico's op zeer onwenselijke situaties fors toe. Om te voorkomen dat deze situaties zich voordoen worden de bajonetaansluitingen 'uit het lood' geplaatst. De onwenselijke situaties worden weergegeven in Figuur 4.9 en voorzien van een korte toelichting.

Linkse bajonetaansluiting	Rechtse bajonetaansluiting	Toelichting
		De haakse aansluiting van de zijweg werkt spookrijden in de hand. Het eerst voorbij rijden van de 'bestemming' om vervolgens terug te rijden naar de bestemming wordt als zeer onnatuurlijk ervaren door de weggebruiker (Ruijs, 2018).
		Het is mogelijk om in één rechte lijn van en naar de zijweg over te steken. Weggebruikers worden hierdoor in mindere mate verplicht om eerst een goede inschatting te maken van het geboden hiaat en zullen haastig oversteekgedrag vertonen.
		Korte bocht voor lange bocht of is de linksaf opstelstrook onderdeel van de voorrangsweg? Wanneer zelfs verkeerskundigen verschillen van mening over deze onduidelijke voorrangssituatie , hoe zal de weggebruiker dan begrijpen wat er verwacht wordt?
		Het uit de zijweg overstekende verkeer kruist twee stroken. Deze onoverzichtelijke situatie verhoogt het risico op dwarsconflicten.
		Om te voorkomen dat lange voertuigen de doorgaande rijstrook blokkeren moet het middeneiland van de haaks linkse bajonet (veel) breder worden toegepast.

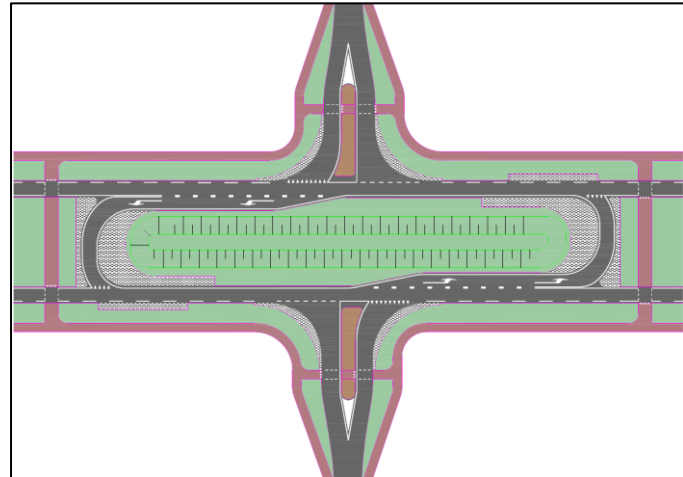
Figuur 4.9 Onwenselijke situaties bij de rechtse en linkse bajonetaansluiting

4.3.2 Aansluiting in het midden

Bij de reconstructie van kruispunten is in de huidige situatie vaak sprake van een viertaks kruispunt van een gebiedsontsluitingsweg met haaks aansluitende erftoegangswegen. De variant 'Aansluiting in het midden', zoals afgebeeld in Figuur 4.10, lijkt dan ook in deze situaties de meest voor de hand liggende oplossing. De overeenkomst in de ligging van de erftoegangswegen met dat van een huidige situatie vergemakkelijkt de inpasbaarheid van de variant en drukt daardoor de investeringskosten.



Figuur 4.10 Voorrangsplein met de aansluiting in het midden



Figuur 4.11 Voorrangsplein met aansluiting in het midden met de linksaf opstelstrook beginnend ter hoogte van de zijrichting

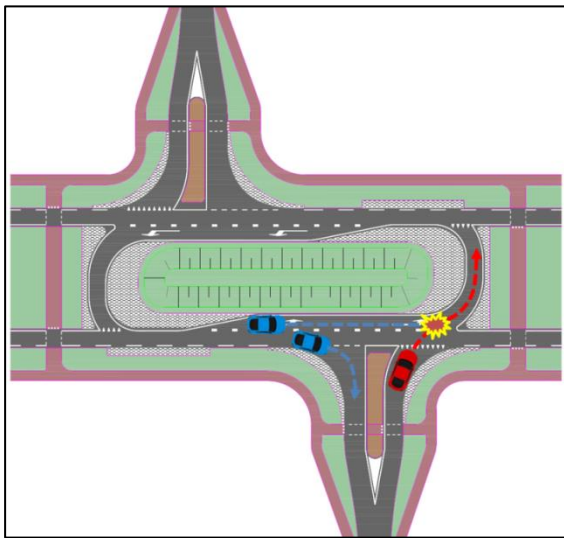
Doordat de zijweg aansluit in het midden van de linksaf opstelstrook ontstaat een 'extra' conflictpunt. Het verkeer dat van de zijweg een overstekende manoeuvre wenst te maken kan zowel verkeer ontmoeten op de doorgaande rijstrook als op de linksaf opstelstrook. Wanneer oververzadiging van de linksaf opstelstrook optreedt, wordt het voor weggebruikers vanuit de zijweg erg lastig om 'in te voegen' op de linksaf opstelstrook, zij kunnen immers niet achteraan sluiten. Daarnaast leidt deze vormgeving tot een concentratie van meerdere verkeerstaken op één punt. Dit bemoeilijkt de begrijpbaarheid van de kruispuntsituatie voor weggebruikers waardoor de kans op onverwachte manoeuvres toeneemt. Tot slot blijkt uit verschillende rijcurve toetsen dat met langere voertuigen een extra overrijdbare strook (of verbreding van het middeneiland) noodzakelijk is om het voorrangsplein te kunnen berijden.

Om de negatieve gevolgen van de aansluiting in het midden uit de weg te ruimen is het mogelijk om de linksaf opstelstrook ter hoogte van de zijrichting te laten beginnen, zoals is weergegeven in Figuur 4.11. Hierdoor sluit het overstekende verkeer uit de zijweg op een meer natuurlijke wijze aan op de linksaf opstelstrook. Echter, het voorrangsplein krijgt hierdoor een zeer langgerekte vorm, welke de inpasbaarheid en de economische haalbaarheid van het voorrangsplein bedreigen. Wellicht biedt de bajonetaansluiting een uitkomst.

4.3.3 Linkse bajonetaansluiting

De linkse bajonetaansluiting neemt de negatieve gevolgen van de onnatuurlijke aansluiting tussen de zijweg en linksaf opstelstrook niet weg. De berijdbaarheid van de linkse bajonetaansluiting is ook minder dan de twee andere varianten. Uit verschillende rijcurve toetsen blijkt namelijk dat met een trekker-opleggercombinatie een extra overrijdbare strook (of verbreding van het middeneiland) noodzakelijk is om het voorrangspein te kunnen berijden.

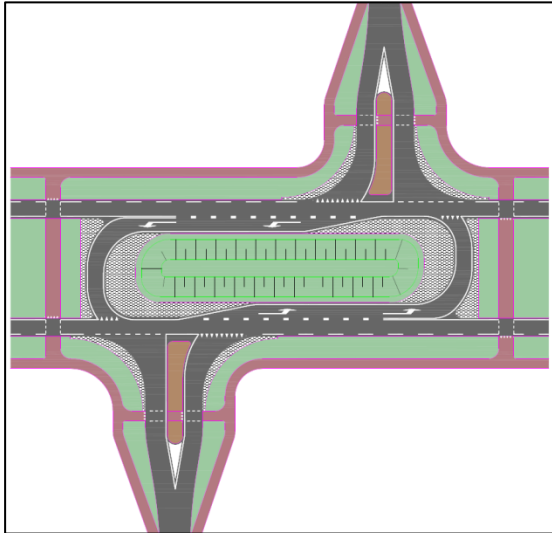
Een belangrijke, zeer ongewenste situatie welke in §4.3.1 niet aan bod is gekomen, is het verhoogde risico op afdekconflicten bij linkse bajonetaansluitingen. Uit observaties van (Bout & Olijve, 2015) blijkt dat afdekconflicten een specifiek (onwenselijk) gevolg zijn van de linkse bajonetaansluiting. Deze problematiek wordt verduidelijkt in Figuur 4.12



Figuur 4.12 Afdekconflict op de linkse bajonetaansluiting

4.3.4 Rechtse bajonetaansluiting

De rechtse bajonetaansluiting heeft vanaf de zijweg een geleidelijke aansluiting met de linksaf opstelstrook. Deze aansluitingsvorm kent hierdoor niet de negatieve gevolgen welke ontstaan bij de aansluiting in het midden en linkse bajonetaansluiting. Ook is een extra overrijdbare strook niet vereist, omdat de positie van de aansluitende zijweg voldoende ruimte creëert voor de rijcurve van lange voertuigen. De vorm van de rechtse bajonetaansluiting biedt automatisch ruimte voor de linksaf opstelstrook. Eveneens kent deze aansluiting een meer comfortabele berijdbaarheid voor lange voertuigen vanuit de zijweg.



Figuur 4.13 **Rechtse bajonetaansluiting**

Een ander belangrijk aspect aan de vormgeving van de aansluiting in het midden en de linkse bajonetaansluiting is dat de weggebruikers een verhoging van de workload² ervaren. Wanneer situaties optreden met een veelheid aan prikkels, een onduidelijke weginrichting of een veelheid aan verschillende verkeerstaken ontstaat overload³ en zal de weggebruiker in mindere mate in staat zijn de verkeerstaken juist uit te voeren (CROW, 2014). De logische vormgeving van de rechtse bajonetaansluiting scheidt verschillende verkeerstaken in behapbare stukken. Dit in tegenstelling tot de aansluiting in het midden en de linkse bajonetaansluiting (Ruijs, 2018). Het oprijdend verkeer vanuit de zijweg kruist namelijk maar één strook. Daarnaast verduidelijkt de vormgeving van de rechtse bajonetaansluiting de te volgen richting om af te slaan vanuit de hoofdrichting. De zijweg wordt aan het gezichtsveld van de weggebruiker onttrokken. Zodoende wordt overduidelijk dat de doorgaande rijrichting moet worden gevolgd alvorens linksaf kan worden geslagen (Ruijs, 2018). Het risico op spookrijden vanaf de zijweg wordt geminimaliseerd bij de rechtse bajonetaansluiting. Enerzijds wordt dit bewerkstelligd door de positie van de zijweg (uit het lood), anderzijds zorgt de dwingende vormgeving van de middengeleider ervoor dat weggebruikers vrijwel onmogelijk kunnen gaan spookrijden.

² Workload: De mate waarin de capaciteit van weggebruikers wordt belast met informatie verwerkende taken/rijtaken (CROW, 2014).

³ Overload: Wanneer de capaciteit van weggebruikers wordt overschreden door een 'overload' aan uit te voeren taken (CROW, 2014).

4.3.5 De voorkeursvariant

De verschillende aansluitingen en onderscheidende voor- en nadelen van de varianten zijn in voorgaande paragrafen toegelicht. Om tot een transparante keuze voor een voorkeursvariant te komen zijn alle voor- en nadelen van de drie varianten inzichtelijk gemaakt. Tabel 4.1 toont de voor- (+) en nadelen (-) van alle varianten.

Aspect	Linkse bajonetaansluiting	Aansluiting in het midden	Rechtse bajonetaansluiting
Verkeersveiligheid	-Kans op afdekconflicten; -Extra conflictpunt; -Onnatuurlijke aansluiting; -Onlogische invoegmanoeuvre; -Onnatuurlijke links afslaande manoeuvre vanaf hoofdweg; -Concentratie verkeerstakingen;	-Extra conflictpunt; -Onnatuurlijke aansluiting; -Onlogische invoegmanoeuvre; -Onnatuurlijke links afslaande manoeuvre vanaf hoofdweg; -Onnatuurlijke links afslaande manoeuvre vanaf zijweg; -Concentratie verkeerstakingen;	-Onnatuurlijke links afslaande manoeuvre vanaf zijweg;
Ruimtelijke inpassing	+Natuurlijke links afslaande manoeuvre vanaf zijweg;	+Geen kans op afdekconflicten;	+Geen kans op afdekconflicten; +Geen extra conflictpunt; +Natuurlijke aansluiting; +Logische invoegmanoeuvre; +Scheiding verkeerstakingen;
Fietsverkeer ⁴	-Indirecte fietsvoorzieningen bij éénrichtingsfietspaden in alle richtingen;	+Eenvoudig inpasbaar in veel praktijksituaties	-Aanpassing aansluitende zijwegen huidige situatie veelal noodzakelijk
Berijdbaarheid	-Minder Comfortabele berijdbaarheid lange voertuigen; -Extra rammelstrook vereist;	-Minder Comfortabele berijdbaarheid lange voertuigen; -Extra rammelstrook vereist;	+Comfortabele berijdbaarheid lange voertuigen +Geen extra rammelstrook vereist;

Tabel 4.1 De voor- en nadelen van alle varianten

De weging van de verschillende aspecten is afhankelijk van locatie specifieke eisen. Wanneer de weging van de verschillende aspecten een gelijke waarde kennen is de rechtse bajonetaansluiting de overduidelijke voorkeursvariant. Dit betekent niet dat de aansluiting in het midden zal disfunctioneren. De aansluiting in het midden kent een groot voordeel ten opzichte van de andere aansluitingsvormen, namelijk de eenvoudige inpasbaarheid in veel praktijksituaties. Tevens zijn de effecten van de onnatuurlijke aansluiting op de linksaf opstelstrook minder ongunstig dan bij de linkse bajonetaansluiting.



Samenvattend

In deze paragraaf zijn de verschillende voor- en nadelen van de aansluitingsvarianten beschreven. Duidelijk is geworden dat de rechtse bajonetaansluiting de meeste voordelen kent en als voorkeursvariant wordt gezien. Nu de ontwerpvarianten scherp zijn gesteld, wordt het tijd om naar de verkeersveiligheidseffecten te kijken. Uit interviews is gebleken dat de snelheid een grote invloed heeft op de verkeersveiligheid van een kruispunt. Daarom volgt in het volgende hoofdstuk een diepgaande verkeersveiligheidsanalyse met name gericht op de snelheidsvarianten 50 km/u en 70 km/u.

⁴ In kruispuntsituaties buiten de bebouwde kom is vaak geen sprake van éénrichtingsfietspaden in alle richtingen. Fietsers worden in deze situaties veelal ontsloten door een tweerichtingsfietspad in beide richtingen, parallelvoorzieningen of een ongelijkvloerse fietsvoorziening.

5 Verkeersveiligheid



"Als het gaat om het voorkomen van ongevallen en het beperken van letselernst is de snelheidsreductie een cruciaal element op voorrangspoleinen."

Atze Dijkstra, 2018

Inhoudsopgave hoofdstuk 5

5.1	Snelheid en verkeersveiligheid	44
5.2	Conflictpunten en verkeersveiligheid	50
5.3	Botstypen en verkeersveiligheid	51

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

Uit het voorgaande hoofdstuk is duidelijk geworden dat de rechtse bajonetaansluiting de voorkeur geniet. Deze variant heeft immers de meeste voordelen ten opzichte van de andere varianten. In dit hoofdstuk wordt de verkeersveiligheid van de verschillende varianten onder de loep genomen. De verkeersveiligheid wordt theoretisch benaderd op de thema's snelheid, conflictpunten en botstypen. De keuze voor deze theoretische benadering komt doordat evaluatiestudies naar verkeersongevallen op voorrangspoleinen bubeko niet mogelijk zijn. Het ontbreekt namelijk aan geregistreeerde ongevallendata van voorrangspoleinen bubeko om hier statistisch gezien betrouwbare en representatieve uitspraken over te doen (Dijkstra, 2018).

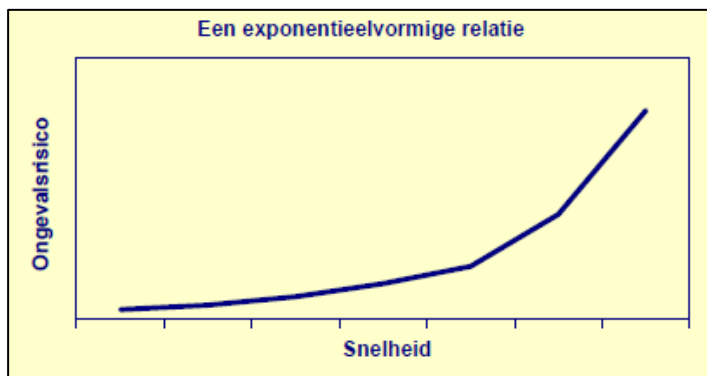
5.1 Snelheid en verkeersveiligheid

De verkeersveiligheid van een kruispunt is inherent verbonden aan de verschillen in massa en snelheid van de op het kruispunt aanwezige verkeersdeelnemers (SWOV, 2014). Enerzijds is de absolute snelheid en spreiding in snelheid van invloed op de kans op een ongeval (Aarts, 2004), anderzijds is de snelheid van invloed op de letselernst van een verkeersongeval (SWOV, 2012).

In dit onderzoek bestaan op het gebied van ontwerpsnelheid twee verschillende varianten, de 50 km/u (V50) variant en de 70 km/u (V70) variant. De daadwerkelijke conflictsnelheid⁵ of rijnsnelheid op het voorrangspein zal in de praktijk niet geheel overeenkomen met de gehanteerde ontwerpsnelheden in dit onderzoek. Aangezien de conflictsnelheden niet zijn te voorspellen of te bepalen wordt de ontwerpsnelheid vastgesteld als conflictsnelheid.

Snelheid en ongevalskans

Voor de relatie tussen snelheid en ongevalskans geldt: hoe hoger de snelheid, des te groter de kans om bij een ongeval betrokken te raken. Verschillende studies tonen aan dat een machtsverband de relatie tussen de absolute rijnsnelheid en het ongevalsrisico het best omschrijft, zoals weergegeven in Figuur 5.1 (SWOV, 2009).



Figuur 5.1 Schematische weergave van de machtsfunctie in de relatie snelheid-ongevalskans (Bron: SWOV, 2009)

⁵ Conflictsnelheid: Rijnsnelheid van voertuigen op het conflictpunt.

Het verband tussen snelheid en ongevalskans betreft een complexe materie en is afhankelijk van een veelheid aan factoren. In het algemeen geldt dat een verhoging van het ongevalsrisico bij een hogere snelheid verklaard kan worden door de langere remweg bij een hogere snelheid en de beperking in het proces van informatieverwerking tot handeling van de mens (SWOV, 2012).

Hoewel het feit bestaat dat de ongevalskans meer toeneemt naarmate de snelheid stijgt, houdt dit niet in dat snelheidsmaatregelen meer effect hebben op wegen met een hoge snelheid (bubeko situaties) dan op wegen met een lage snelheid (bibeko situaties). De hoogte van de ongevalskans als de mate waarin de ongevalskans stijgt is sterk afhankelijk van het type weg. Volgens de stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) is dit verschil zeer waarschijnlijk te verklaren door het verschil in complexiteit van de weg- en verkeersomgeving in combinatie met de capaciteit van informatieverwerking van de mens. In het algemeen geldt dat autosnelwegen het laagste ongevalsrisico kennen en dat een toenemende snelheid de ongevalskans minder sterk beïnvloedt dan op gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen (SWOV, 2009).

Voor dit onderzoek betekent de kennis van de relatie tussen snelheid en ongevalskans dat de ongevalskans bij een ontwerpsnelheid van 70 km/u hoger is dan de ongevalskans bij een ontwerpsnelheid van 50 km/u.

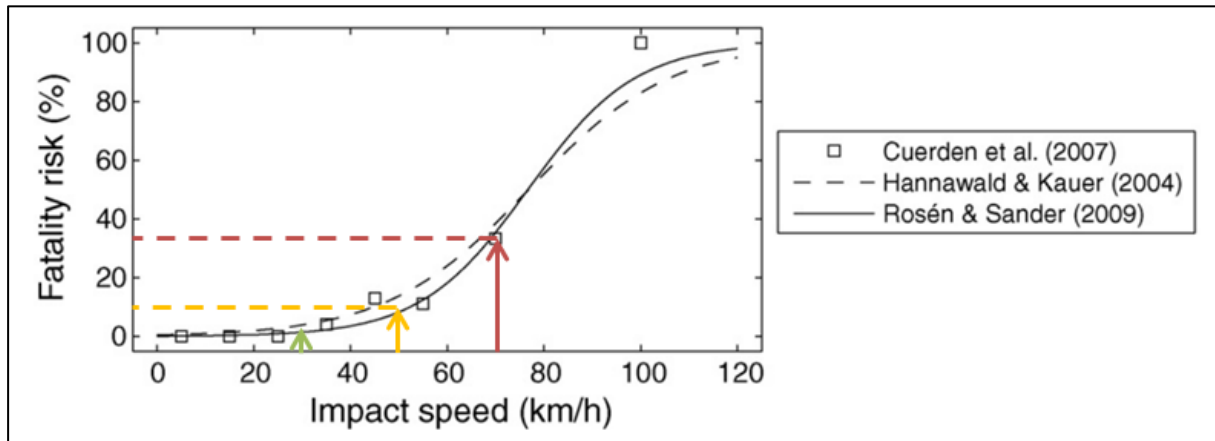
Snelheid en letselernst

Een belangrijke indicatie voor verkeersveiligheid is de relatie tussen snelheid en letselernst. Hoe hoger namelijk de botssnelheid⁶ des te ernstiger de gevolgen in materiële schade en letsel. Dit is gebaseerd op de natuurkundige wet omtrent kinetische energie (bewegingsenergie). Bij een botsing tussen twee verkeersdeelnemers komen grote natuurkundige krachten vrij welke werken op het voertuig en de mens. Een belangrijk aspect hierbij is dat de mens fysiek zeer kwetsbaar is in verhouding tot de vrijkomende natuurkundige krachten (SWOV, 2012).

Bij botsingen tussen twee verkeersdeelnemers speelt ook de massa van voertuigen, ofwel het verschil in massa tussen twee verkeersdeelnemers een zeer forse rol. Hoe lichter namelijk het voertuig hoe ongunstiger de afloop voor de bestuurder van dit voertuig (Van Kampen, 2000). Daarnaast is ook de kwetsbaarheid van de weggebruiker van aanzienlijk belang. Fietzers en voetgangers worden gezien als kwetsbare verkeersdeelnemers, zij hebben immers in tegenstelling tot motorvoertuigen geen beschermende schil om zich heen die een deel van de vrijgekomen energie kan opnemen (SWOV, 2012).

⁶ Botssnelheid: Snelheid waarmee verkeersdeelnemers met elkaar botsen of de snelheid waarmee een motorvoertuig een fietser of voetganger raakt.

In andere onderzoeken wordt vaak gerefereerd naar een overzicht van recente studies (Rosén, Stigson, & Sander, 2011) waarin de relaties tussen het overlijdensrisico van voetgangers en botssnelheid worden geëvalueerd. Uit deze evaluatiestudie blijkt dat drie studies betrouwbare risicoschattingen van de relatie tussen botssnelheid en overlijdensrisico van voetgangers aantonen. De uitkomsten van deze studies worden weergegeven in Figuur 5.2.

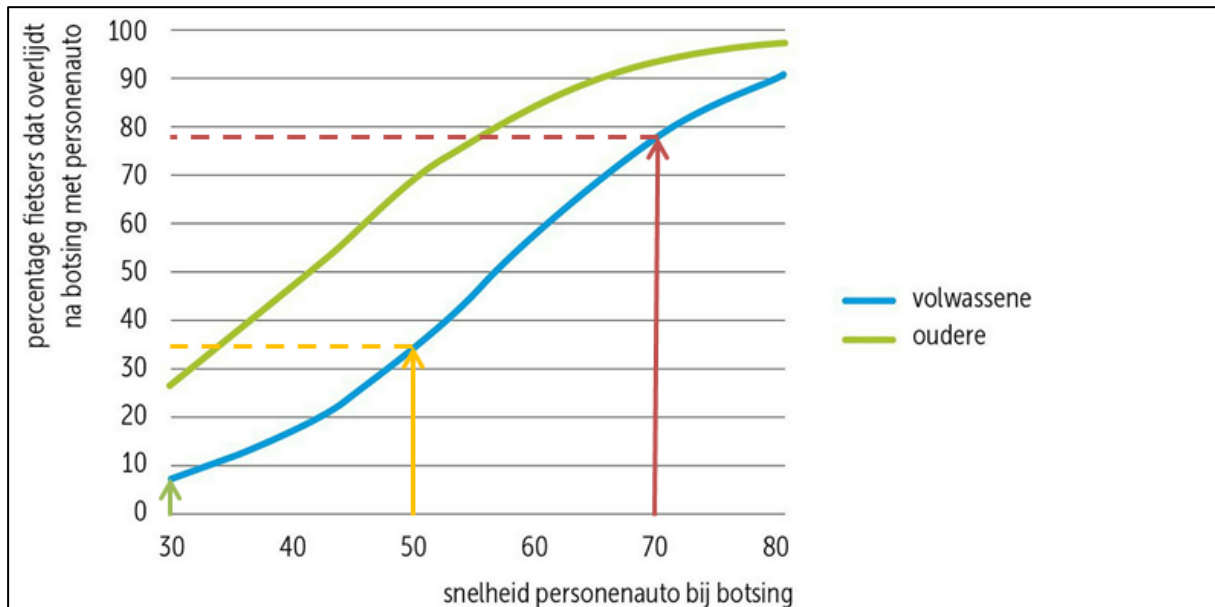


Figuur 5.2 De relatie tussen botssnelheid en overlijdenskans bij voetgangers (Bron: Rosén, Stigson & Sander, 2011)

Uit Figuur 5.2 blijkt dat het overlijdensrisico van voetgangers dramatisch toeneemt naarmate de botssnelheid stijgt. Bij een lage botssnelheid van 30 km/u overleven bijna alle voetgangers de impact. Bij een botssnelheid van 50 km/u overleeft ongeveer 85% van de voetgangers een botsing met een personenauto tegenover minder dan 65% bij een botssnelheid van 70 km/u. Hoewel deze grafiek een goede indicatie biedt van het effect op de verkeersveiligheid van kruispunten, is deze in zekere zin irrelevant voor voorrangspunten bubeko. In bubeko situaties is immers weinig sprake van overstekende voetgangers. De relatie tussen het overlijdensrisico en de botssnelheid bij botsingen tussen gemotoriseerd verkeer en fietsverkeer biedt een betere indicatie voor de verkeersveiligheid.

Snelheid en letselernst fietsverkeer

Een Amerikaanse studie naar de letselernst van fietsers bij ongevallen met personenauto's, toont aan dat de relatie tussen het overlijdensrisico van fietsers en botssnelheid eenzelfde soort verband kent als de relatie tussen het overlijdensrisico van voetgangers en botssnelheid (Kim, Kim, Ulfarsson & Porrello, 2007). De bevindingen uit deze studie zijn weergegeven in Figuur 5.3.



Figuur 5.3 De relatie tussen botssnelheid en overlijdenskans bij fietsers (Bron: CROW, 2016)

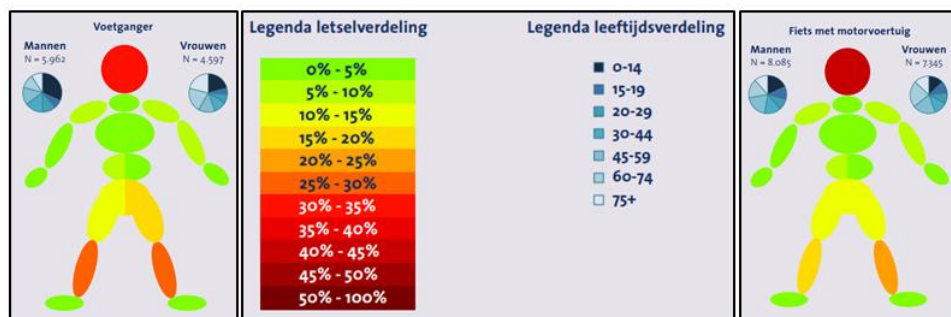
Ook het overlijdensrisico van fietsers neemt drastisch toe naarmate de botssnelheid van personenauto's toeneemt, zo blijkt uit Figuur 5.3. Hierbij is ook de kans dat een oudere volwassen fietser overlijdt weergegeven. De kans dat een oudere volwassen fietser overlijdt is groter dan bij een jongvolwassen fietser, dit heeft te maken met een slechtere fysieke gesteldheid van ouderen (SWOV, 2012).

Bij een botssnelheid van 30 km/u overleeft ongeveer 91% van de volwassen een verkeersongeval met een personenauto. De kans op overlijden neemt gestaag toe tot een snelheid van ongeveer 45 km/u. Bij een botssnelheid van 50 km/u overleeft iets minder dan 70% van de fietsers de impact. De overlijdenskans van fietsers daalt naar een verontrustend lage waarde bij een snelheid van 70 km/u, minder dan 25% van de fietsers overleeft een botsing met een personenauto.

Opvallend is dat volgens Figuur 5.2 en Figuur 5.3 de overlijdenskans van fietsers veel lager is dan de overlijdenskans van voetgangers. De verschillen tussen de botssnelheid van 50 km/u en 70 km/u bedragen respectievelijk 15% en 40%. In beide literatuurstukken is geen verklaring voor dit verschil gevonden. Een mogelijke verklaring voor het feit dat fietsers een groter overlijdensrisico kennen dan voetgangers is als volgt:

Bij impact met een motorvoertuig is de kans groot dat een fietser de motorkap of voorruit van het motorvoertuig raakt met het hoofd. Bij voetgangers wordt een deel van de krachten opgevangen door het onderlichaam. Hierdoor is het hoofdletsel bij fietsers vaak ernstiger dan bij voetgangers.

Dit wordt bevestigd door een studie naar het letsel en letselast van ernstig verkeersgewonden (Weijermars, Bos, & Stipdonk, 2014). Figuur 5.4 toont de letselverdeling per lichaamsdeel. Aan de linkerzijde wordt het letselfiguur van de voetganger getoond, aan de rechterzijde het letselfiguur van de fietser. Bij beide letselfiguren weergeeft de linkerzijde de letselverdeling van mannen en de rechterzijde de letselverdeling van vrouwen. De leeftijdsverdeling van mannen en vrouwen wordt weergegeven in cirkeldiagrammen.



Figuur 5.4 Letselverdeling per lichaamsdeel (Bron: Weijermars, Bos & Stipdonk, 2014)

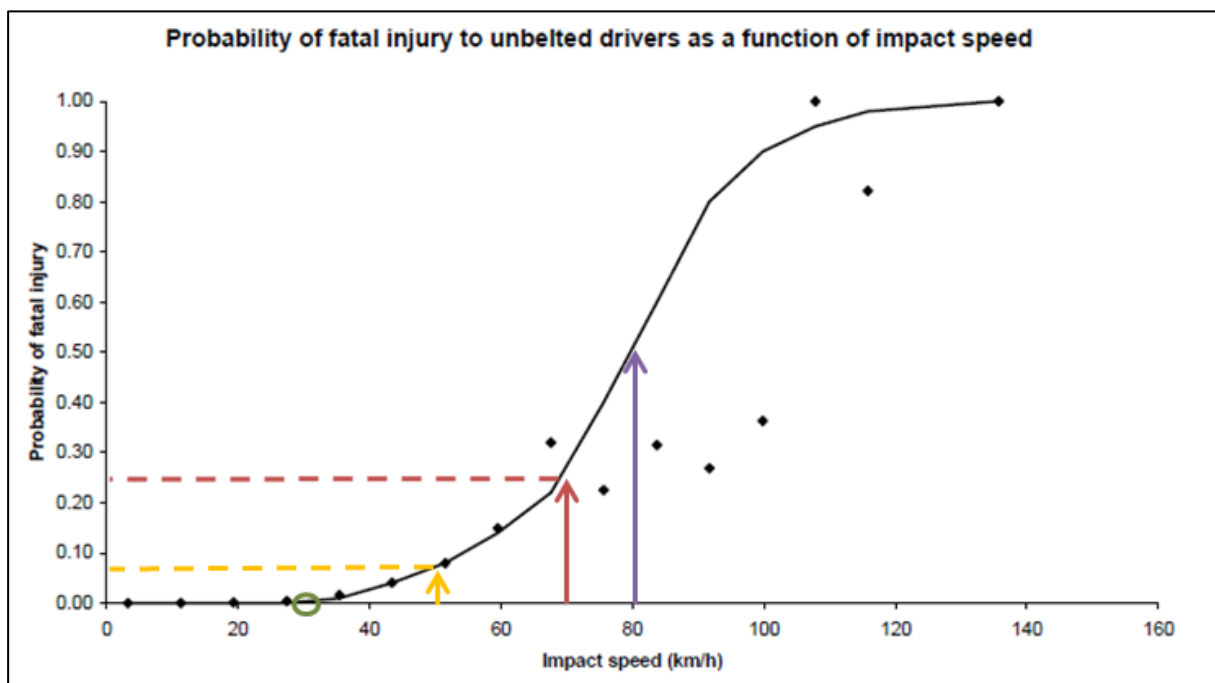
Ook een Belgische studie naar de letselernst van verkeersongevallen toont aan dat fietsers veel vaker dan voetgangers leiden aan hoofdletsel als gevolg van een verkeersongeval. Ook blijkt uit deze studie dat fietsers vaker dan voetgangers leiden aan verwondingen aan interne organen ten gevolge van een verkeersongeval (Dhondt et al., 2013).

Snelheid en letselernst gemotoriseerd verkeer

Over de relatie tussen botssnelheid en overlijdensrisico bij een botsing tussen twee personenauto's is weinig literatuur voorhanden. In tegenstelling tot studies over deze relatie bij fietsers en voetgangers, zijn voor personenauto's geen studies gevonden. Wel is een recente Noorse studie gevonden (Elvik, Christensen, & Amundsen, 2004) waar de relatie tussen ongevalsrisico en botssnelheid van personenauto's, waarbij bestuurders geen gordel dragen, wordt behandeld. De waarden waarmee Figuur 5.5 is opgebouwd komen voort uit het onderzoek van (Evans, 1995).

Een belangrijke kanttekening bij de interpretatie van deze waarden is dat hierbij alleen frontale conflicten tussen motorvoertuigen worden behandeld. Frontale conflicten doen zich niet voor op het voorrangspein bubeko. Ook zijn in het onderzoek van Evans enkel gegevens gebruikt van ongevallen waarbij de bestuurders gewond zijn geraakt, dit zal echter weinig effect hebben op een afwijking van de dodelijk gewonden. In Figuur 5.5 wordt de overlijdenskans van bestuurders zonder gordel getoond. Dat terwijl het onderzoek van (Evans, 1995) juist aantoonde dat autogordels effectief zijn in het voorkomen van dodelijk letsel. Vastgesteld is dat dit voornamelijk het geval is bij lagere snelheden en in mindere mate bij hogere snelheden. De lijn in Figuur 5.5 zal bij lagere snelheden waarschijnlijk lager zijn en dus iets naar rechts verschuiven.

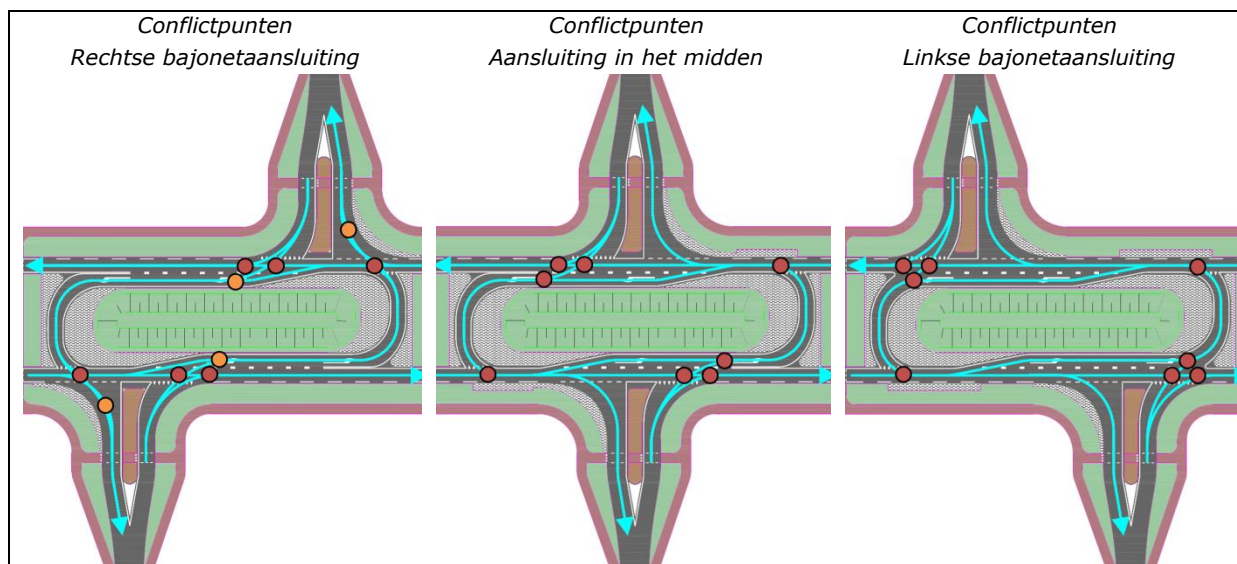
Figuur 5.5 laat zien dat wederom eenzelfde verband bestaat tussen overlijdensrisico en botssnelheid. Bij een lage botssnelheid van 30 km/u overleven alle bestuurders een botsing tussen twee personenauto's. Een impact met een botssnelheid van 50 km/u kent een laag overlijdensrisico van minder dan 10% voor bestuurders (meer dan 90% overleeft de impact). Het overlijdensrisico stijgt gestaag tot een botssnelheid van ongeveer 65 km/u. Vanaf de botssnelheid van 65 km/u stijgt het overlijdensrisico zeer sterk. Bij een botssnelheid van 70 km/u overleven ongeveer 75% van de bestuurders een ongeval. Het risico op overlijden verdubbelt bij een botssnelheid van 80 km/u van 25% naar 50%.



Figuur 5.5 De relatie tussen ongevalsrisico en botssnelheid van personenauto's waarbij bestuurders geen gordel dragen (Bron: Elvik, Christensen & Amundsen, 2004)

5.2 Conflictpunten en verkeersveiligheid

Het aantal conflictpunten⁷ op een kruispunt kent een belangrijke relatie met het risico op verkeersongevallen. Hoe minder conflictpunten hoe veiliger een kruispunt (SWOV, 2014). Het aantal conflictpunten is afhankelijk van de vormgeving van het voorrangsp plein en verschilt per variant. De conflictpunten op de drie varianten worden afgebeeld in Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Conflictpunten van de verschillende varianten

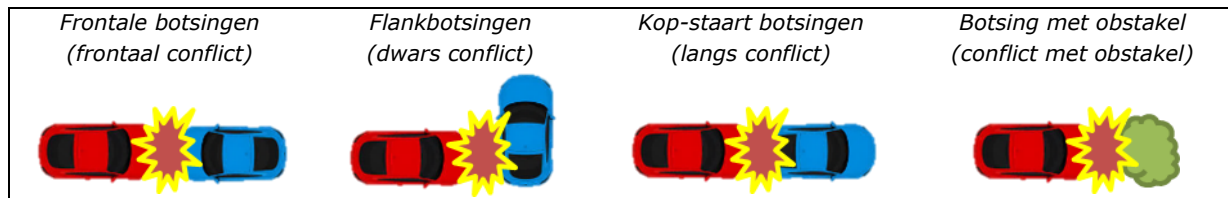
De oranje stippen in Figuur 5.6 worden aangeduid als 'zachte' conflictpunten. Op de zachte conflictpunten komen twee verschillende verkeersstromen wel degelijk met elkaar in conflict, maar de voertuigen van deze verkeersstromen passeren eerder al een 'hard' conflictpunt. In de praktijk is het onmogelijk dat beide verkeersstromen met elkaar in conflict komen op beide conflictpunten. Het vaststellen van het juiste aantal conflictpunten blijft een dilemma, maar aangezien de zogenoemde zachte conflictpunten niet daadwerkelijk op kunnen treden worden deze niet meegenomen als conflictpunt. In tegenstelling tot de rechtse bajonetaansluiting is bij de twee andere varianten wel één conflictpunt meer aanwezig. Het verkeer op de linksaf opstelstrook rijdt daar immers al op die strook. Deze opvatting is gebaseerd op een interview met verkeersveiligheidsdeskundige Atze Dijkstra (Dijkstra, 2018).

Uit Figuur 5.6 is af te lezen dat de rechtse bajonetaansluiting (voorkeursvariant) zes conflictpunten kent ten opzichte van 8 conflictpunten op de midden aansluiting en linkse bajonet aansluiting. Het aantal conflictpunten van een kruispuntvorm is een goed instrument om de verkeersveiligheid van verschillende kruispuntvormen met elkaar te vergelijken (zie hoofdstuk 7).

⁷ [herhaling] Conflictpunt: Locatie waar voertuigen (uit verschillende richtingen) met elkaar in aanraking kunnen komen (Dijkstra, Enkele aspecten van kruispuntveiligheid, 2014)

5.3 Botstypen en verkeersveiligheid

Naast de relatie tussen botssnelheid en overlijdenskans is ook het botstype (ook wel conflicttype) van invloed op de letselernst als gevolg van een ongeval. Bubeko kennen botsingen gemiddeld gezien een ernstiger afloop dan bibeko, dit vanwege de hogere botssnelheden (Van Kampen, 2000). In het onderzoek van Van Kampen worden botsingen onderscheiden in vier typen, deze zijn gevisualiseerd in Figuur 5.7.



Figuur 5.7 Schematische weergave van verschillende botstypen

Uit onderzoek het onderzoek blijkt dat obstakelbotsingen het slechtst aflopen (ongeveer 45% ernstig gewonden⁸), gevolgd door een frontale botsing (ongeveer 30% ernstig gewonden) (Van Kampen, 2000). Daaropvolgend is een flankbotsing met ongeveer 25% ernstig gewonden het meest ernstige botstype. Achter aanrijdingen lopen het minst vaak slecht af (ongeveer 5% ernstig gewonden), maar bij dit type botsing ontstaat doorgaans wel vaak nekletsel (whiplash). Dit type letsel leidt vaak toch hinderlijke klachten en heeft langdurige gevolgen.

Uit interview met verkeersveiligheidsdeskundige Atze Dijkstra blijkt dat niet frontale botsingen het meest ernstig zijn maar flankbotsingen. Een auto is namelijk zo ontworpen dat bij een frontale botsing de inzittenden beter zijn beschermd dan bij een zijdelingse botsing. Een frontaal conflict blijft echter wel een hevig soort botsing. De verklaring voor het verschil in de opvatting van de deskundige en de bevindingen uit het onderzoek van Van Kampen is dat de voertuigveiligheid sinds 2000 sterk is verbeterd (Dijkstra, 2018). Eveneens blijkt uit dit interview dat echte 'harde' flankbotsingen niet optreden op het voorrangsp plein bubeko. Dit komt doordat het ontwerp ertoe leidt dat voertuigen vanaf de zijweg of linksaf opstelstrook zo staan opgesteld dat zij een invoegmanoeuvre maken. Door de vormgeving van het voorrangsp plein bubeko worden de meest ernstige botstypen (frontale conflicten & dwarsconflicten) tussen twee verkeersdeelnemers uitgesloten.

⁸ Ernstig gewonden: doden en ziekenhuisgewonden (Van Kampen, 2000).



Samenvattend

Verkeersveiligheid

Uit bevindingen van verschillende studies blijkt dat hoe hoger de snelheid, hoe slechter het gesteld is met de verkeersveiligheid. De gevolgen op de letselernst van verkeersdeelnemers bij een hogere snelheid zijn vooral groot bij fietsers. Bij een botssnelheid van 50 km/u is de overlijdenskans meer dan 30%. Bij een botssnelheid van 70 km/u wordt dit percentage meer dan verdubbeld naar een overlijdenskans van meer dan 75%.

Voor botsingen tussen automobilisten geldt hetzelfde effect. Dit effect neemt echter wel minder ernstig toe naarmate de snelheid toeneemt tot een snelheid van 65 km/u. Voor automobilisten geldt, op basis van de gebruikte literatuur, dat bij een snelheid van 50 km/u de kans op overlijden van een bestuurder kleiner is dan 10%. Voor een snelheid van 70 km/u is dit percentage nog altijd laag, namelijk 25%.

Op het gebied van verkeersveiligheid geniet de 50 km/u variant de voorkeur ten opzichte van de 70 km/u variant.

6 Doorstroming



**"4 verschillende varianten,
50 runs per variant,
55 intensiteitsverhoudingen"**

11.000 simulaties totaal

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In het voorgaande hoofdstuk is op een theoretische manier gekeken naar de verkeersveiligheid van de verschillende varianten. Hieruit is naar voren gekomen dat de 50 km/u variant op het gebied van verkeersveiligheid gunstiger is dan de 70 km/u variant. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de simulaties toegelicht. Eveneens worden in dit hoofdstuk de verkregen gegevens geanalyseerd.

De volgende varianten zijn gesimuleerd met verschillende intensiteiten:

-  Rechtse bajonetaansluiting v50;
-  Aansluiting in het midden v50;
-  Linkse bajonetaansluiting v50;
-  Rechtse bajonetaansluiting v70.

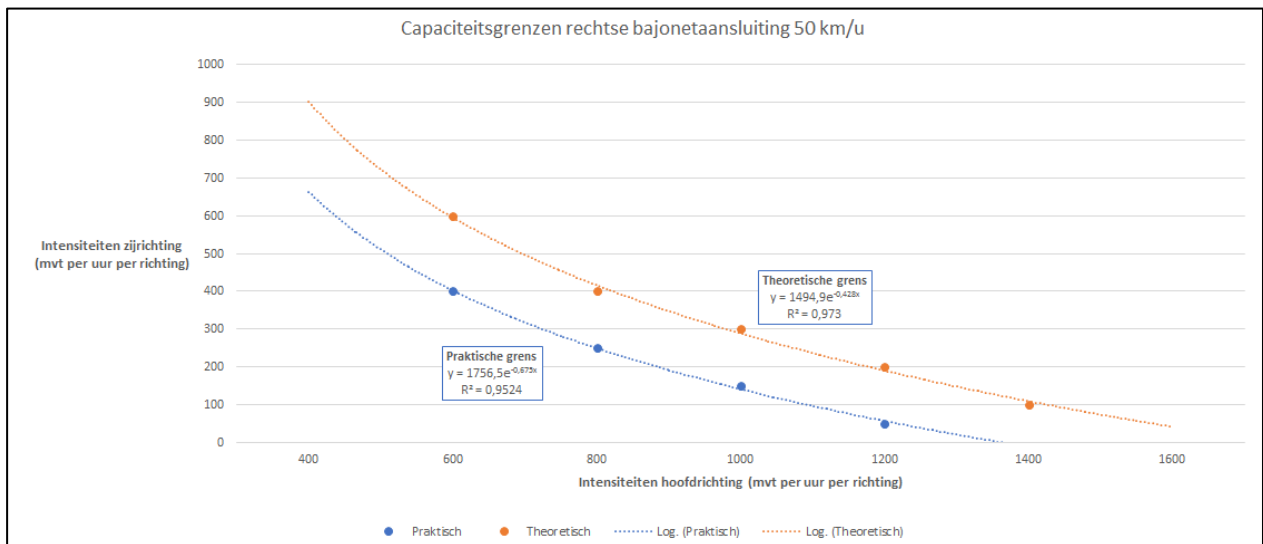
Met behulp van het simulatieprogramma Vissim zijn de capaciteitsgrenzen van verschillende aansluitingsvormen van het voorrangspein bepaald. Eveneens is bij de rechtse bajonetaansluiting v50 de snelheid verhoogd om te achterhalen of de eerdergenoemde effecten van een voorrangspein bibeko overeenkomen met een voorrangspein bubeko. De invoergegevens welke zijn gebruikt tijdens de simulaties zijn weergegeven in §2.2.4. De intensiteiten op de hoofdrichting zijn in stappen van 200 motorvoertuigen per uur per richting opgehoogd. Voor de zijrichting zijn de intensiteiten steeds opgehoogd met 50 motorvoertuigen per uur per richting.

Inhoudsopgave hoofdstuk 6

6.1	Rechtse bajonetaansluiting v50	54
6.2	Praktische capaciteitsgrenzen	55
6.3	Oversteekbaarheid	56
6.4	Wachtrijlengte zijwegen	59
6.5	Voertuigverliesuren.....	60
6.6	Verliestijden op de hoofdrichting	61
6.7	Verliestijden op de zijrichting	62
6.8	Vergelijking met binnen de bebouwde kom	63

6.1 Rechtse bajonetaansluiting v50

In hoofdstuk 4 zijn de uitgangspunten en ontwerpelementen vertaald naar drie vormgevingsvarianten. Met de bevindingen uit hoofdstuk 4 is vastgesteld dat, op basis van diverse verkeerskundige factoren, de rechtse bajonetaansluiting de voorkeur geniet ten opzichte van de linkse bajonetaansluiting en de aansluiting in het midden. Aangezien de rechtse bajonetaansluiting is bepaald als voorkeursvariant worden de capaciteitsgrenzen van de rechtse bajonetaansluiting met een snelheid van 50 km/u weergegeven in Figuur 6.1. Alle capaciteitsgrenzen van de overige drie varianten zijn bijgevoegd in de bijlage.



Figuur 6.1 Capaciteitsgrenzen rechtse bajonetaansluiting 50 km/u

In bovenstaand figuur zijn verschillende punten weergegeven. Deze punten geven de theoretische en praktische capaciteitsgrenzen weer. Aan de hand van de aangegeven punten kan een logaritmische trendlijn berekend worden. Met de bijbehorende formule kunnen door het invullen van de intensiteiten op hoofdrichting de maximale intensiteiten op de zijrichting berekend worden. In de formule staat de 'y' voor de intensiteiten op de zijrichting en de 'x' voor de intensiteiten op de hoofdrichting. Met de correlatiecoëfficiënt 'R²' kan een uitspraak gedaan worden over de sterkte van de logaritmische samenhang. Hoe dichter de correlatiecoëfficiënt bij 1 ligt, hoe sterker de samenhang is en dus hoe betrouwbaarder de formule.

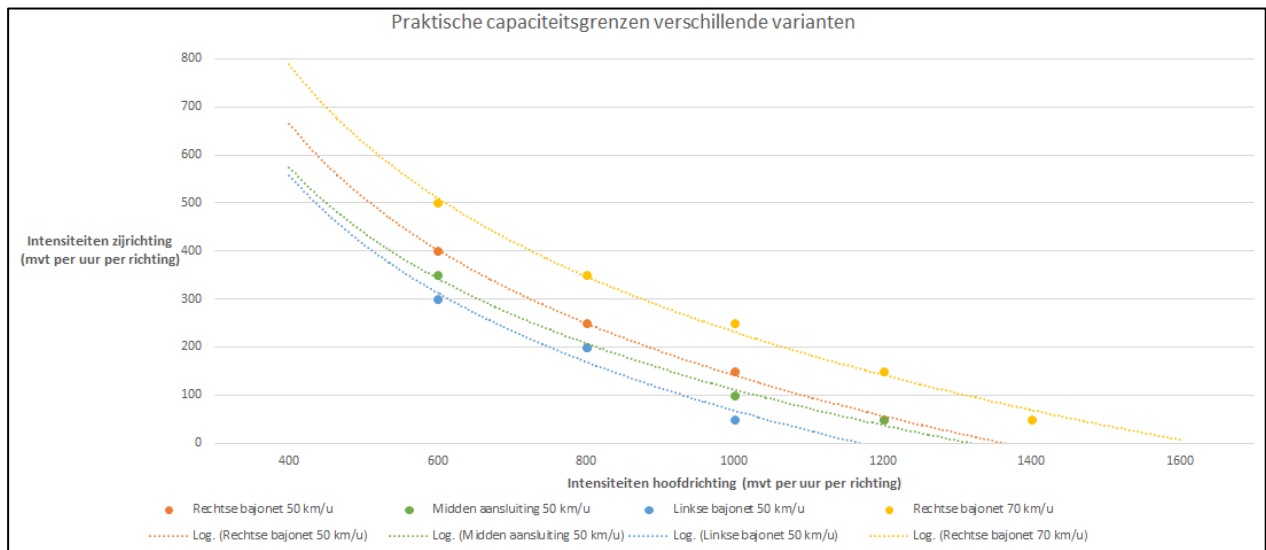
De grafiek laat voor zowel de praktische als theoretische capaciteitsgrens een logaritmisch verband zien. Voor de praktische capaciteitsgrens geldt dat bij 600 motorvoertuigen op de hoofdrichting het voorrangspein nog maximaal 400 motorvoertuigen op de zijrichting kan verwerken. Wanneer 1000 motorvoertuigen op de hoofdrichting rijden, kan het voorrangspein nog maximaal 150 motorvoertuigen op de zijrichting verwerken.

Het verkeer op de hoofdrichting heeft sterke invloed op de maximale hoeveelheid motorvoertuigen vanaf de zijrichting. Hoe hoger de intensiteiten op de hoofdrichting, hoe minder motorvoertuigen op de zijrichting kunnen rijden.

Uit de grafiek is af te lezen dat het voorrangspein een maximale praktische capaciteitsgrens van 2500 motorvoertuigen per uur kent. De praktische capaciteitsgrens wordt bereikt bij een gemiddelde wachttijd van 20 seconden op de zijrichting. De maximale theoretische capaciteitsgrens, welke bereikt wordt bij een gemiddelde wachttijd van 60 seconden op de zijrichting, bedraagt 3000 motorvoertuigen per uur.

6.2 Praktische capaciteitsgrenzen

Figuur 6.2 laat de praktische capaciteitsgrenzen van alle vier de varianten zien.



Figuur 6.2 Praktische capaciteitsgrenzen van de verschillende varianten

Duidelijk zichtbaar is dat de 70 km/u variant de hoogste capaciteitsgrens kent. De volgende capaciteitsgrenzen worden respectievelijk bereikt door de rechtse bajonetaansluiting, de aansluiting in het midden en de linkse bajonetaansluiting.

De hogere capaciteit bij een hogere snelheid wordt verklaard door het feit dat het verkeer bij een hogere snelheid de hiaten in de uitbuiging niet dichtrijdt. Wanneer de uitbuiging zorgt voor een forse snelheidsreductie, worden hiaten tussen het verkeer dichtgereden. Bij de snelheidsreductie van 80 km/u naar 70 km/u treedt dit effect minder op dan wanneer de snelheid van 80 km/u wordt teruggebracht naar 50 km/u. Dit effect zorgt ervoor dat het verkeer op de zijrichting langer moet wachten, omdat de hiaten te klein zijn geworden om te kunnen invoegen. Bij een hogere snelheid blijven de hiaten behouden waardoor het verkeer eerder kan invoegen. Verder zorgt de grotere linksaf opstelstrook bij de 70 km/u variant voor extra capaciteit. Dit is nodig om te voorzien in comfortabele en veilige snelheidsreductie op de linksaf opstelstrook.

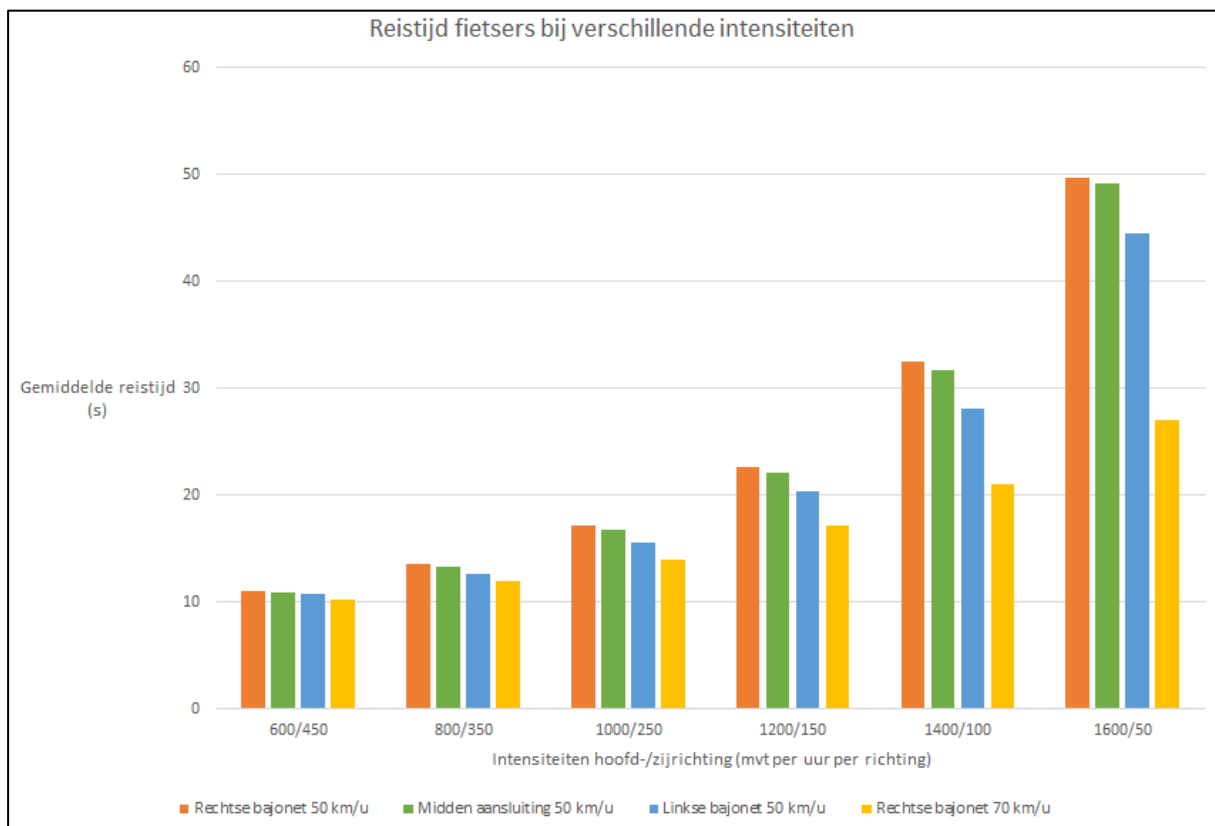
Het verplaatsen van de rechtse bajonetaansluiting naar het midden van het voorrangspein heeft nadelige gevolgen voor de capaciteit. Verklaring hiervoor is dat wanneer de linksaf opstelstrook vol staat met gemotoriseerd verkeer, het verkeer vanaf de zijweg onmogelijk kan invoegen op de linksaf opstelstrook. Bij de rechtse bajonetaansluiting is dit niet het geval, omdat bestuurders hier achteraan kunnen sluiten op de linksaf opstelstrook. Tevens kunnen weggebruikers bij de aansluiting in het midden vanaf het middeneiland niet in één keer oversteken. Zij moeten eerst meerijden met de hoofdrichting alvorens zij de zijweg kunnen bereiken. Aangezien de weggebruikers niet in één keer kunnen oversteken, zijn zij een groter hiaat benodigd.

Het effect wat wordt beschreven bij de aansluiting in het midden wordt vergroot bij de linkse bajonetaansluiting. Bij deze variant is de capaciteit nog sneller bereikt, omdat het verkeer vanaf de zijrichting nog moeilijker dan bij de aansluiting in het midden de linksaf opstelstrook kan oprijden. Het verkeer vanaf de zijrichting zal lang moeten wachten, omdat op de linksaf opstelstrook geen plek is om in te voegen.

6.3 Oversteekbaarheid

Wanneer de intensiteiten van een gebiedsontsluitingsweg bubeko hoger worden dan 800 mvt/uur, is een middengeleider gewenst (CROW, 2016). Het voorrangspein kent een middeneiland waardoor fietsers altijd in twee etappes kunnen oversteken. Bovenop het middeneiland wordt de snelheid op de hoofdrijbaan ofwel teruggebracht naar 50 km/u of naar 70 km/u. Dit wordt bewerkstelligd door middel van de uitbuiging. Door de gereduceerde snelheid kunnen fietsers beter inschatten wanneer zij veilig kunnen oversteken.

Onderstaand figuur geeft de gemiddelde reistijd van fietsers per variant weer. De gemiddelde reistijd is gemeten door de gemiddelde reistijd van de twee fietsoversteken op de hoofdrichting te combineren. Dit is gedaan omdat het verkeer bij de simulaties symmetrisch is verdeeld waardoor de verschillen tussen de twee oversteken minimaal zijn. De gemeten oversteekafstand bedraagt 40 meter en is bij iedere variant gelijkgesteld. De verschillende intensiteitsverhoudingen zijn aangehouden, omdat bij deze intensiteiten de totale gemiddelde verliestijd van de rechtse bajonetaansluiting (v50) het hoogst is. De totale gemiddelde verliestijden van de verschillende aansluitingsvormen en intensiteitsverhoudingen zijn weergegeven in bijlage 4.2.



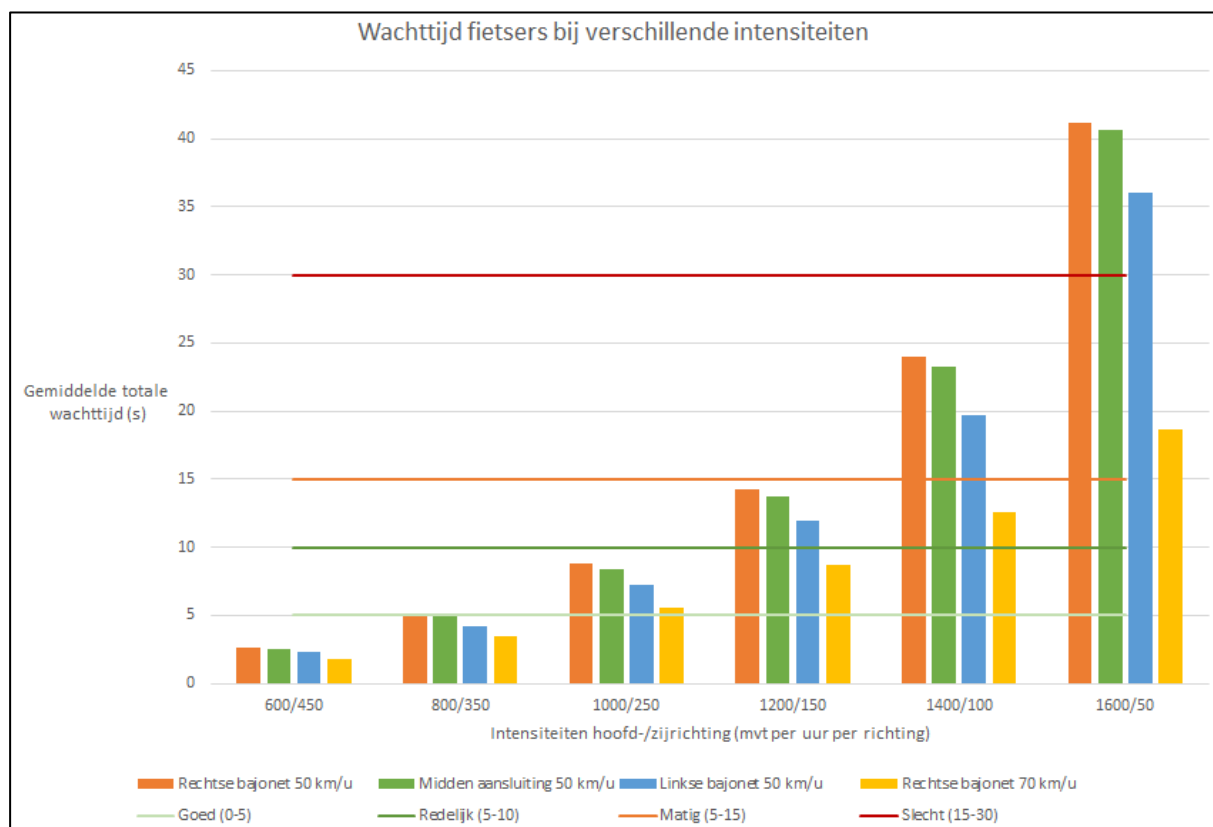
Figuur 6.3 Gemiddelde reistijd bij verschillende varianten en intensiteiten

In de grafiek is goed te zien dat wanneer de intensiteiten op de hoofdrichting toenemen, de oversteekbaarheid voor het fietsverkeer daalt. Dit komt doordat het aantal acceptabele hiaten om over te steken afneemt.

De verschillen tussen de drie varianten zijn minimaal. Deze verschillen zijn te verklaren doordat het gemotoriseerde verkeer vanaf de zijweg bij de aansluiting in het midden en de linkse bajonetaansluiting langer moet wachten om de linksaf opstelstrook op te kunnen rijden. Dit heeft als gevolg dat het fietsverkeer eerder kan oversteken, omdat op het voorrangspein minder verkeer rijdt.

De verschillen tussen de twee snelheden zijn te verklaren doordat de acceptabele hiaten bij de 50 km/u variant in de uitbuiging worden dichtgereden waardoor het fietsverkeer langer moet wachten. Dit effect komt in mindere mate voor bij de 70 km/u variant waardoor hier meer acceptabele hiaten voor het fietsverkeer aanwezig zijn.

In Figuur 6.4 is de gemiddelde totale wachttijd per variant weergegeven. Allereerst betekent dit dat de twee oversteekbewegingen die een fietser moet maken, bij het oversteken van de hoofdrichting, bij elkaar zijn opgeteld. Vervolgens is het gemiddelde genomen van de twee oversteken, omdat de verschillen tussen de oversteken minimaal zijn. De horizontale lijnen geven een kwalificatie van de wachttijd aan, zoals is weergegeven in Tabel 6.1.



Figuur 6.4 Gemiddelde wachttijd van fietsers bij verschillende varianten en intensiteiten

Wachttijd (s)	Kwalificatie
0 - 5	Goed
5 - 10	Redelijk
10 - 15	Matig
15 - 30	Slecht
> 30	Zeer slecht

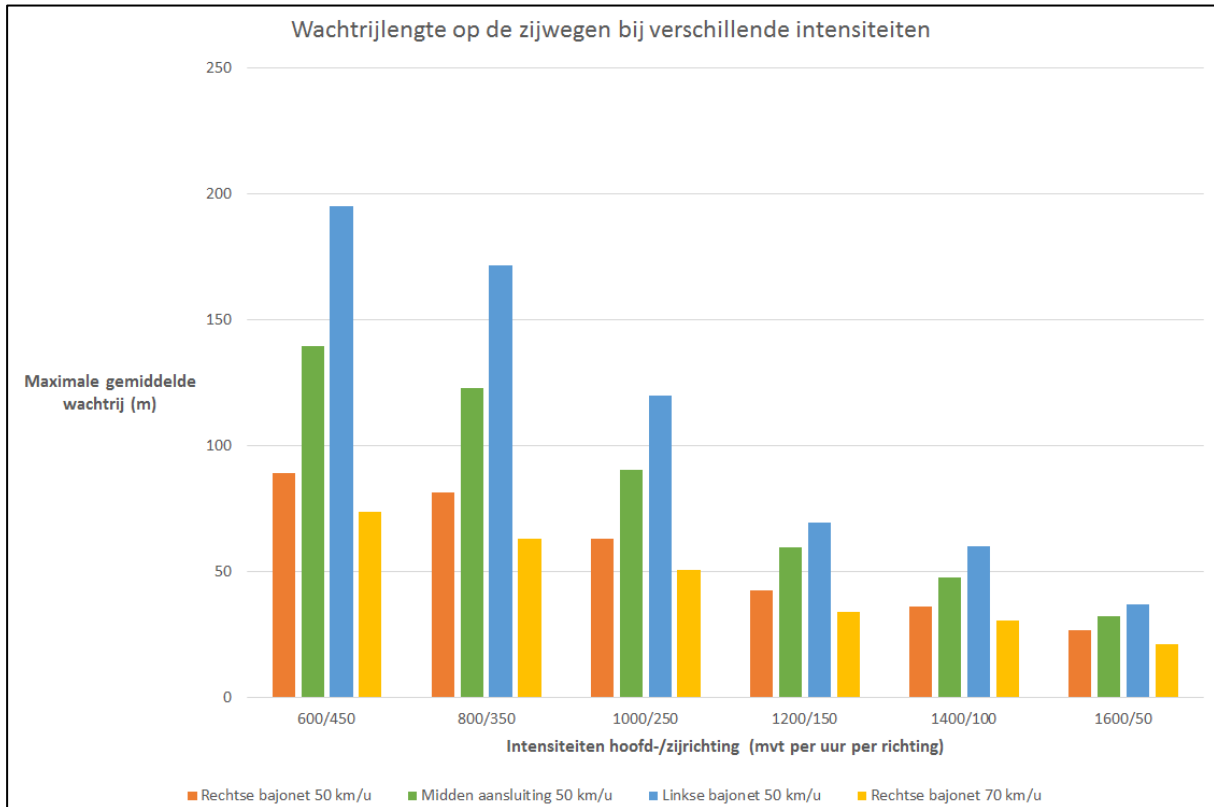
Tabel 6.1 Oversteekbaarheid van wegen (Bron: Trenso)

Uit de grafiek wordt duidelijk dat bij een intensiteit op de hoofdrichting van meer dan 1200 motorvoertuigen per uur per richting de oversteekbaarheid matig tot slecht wordt. Voor intensiteiten tot 1000 motorvoertuigen per uur per richting is de oversteekbaarheid goed tot redelijk. Ook de gemiddelde totale wachttijd van de 70 km/u variant komt als beste naar voren. Dit heeft wederom te maken met de minimaal benodigde hiaattijd om over te kunnen steken. De hiaten worden bij de 50 km/u variant in de uitbuiging dichtgereden waardoor het fietsverkeer langer moet wachten op een geschikt hiaat.

Bij intensiteiten boven de 1200 motorvoertuigen per uur per richting worden de wachttijden dusdanig hoog dat het gewenst is om een ongelijkvloerse fietsoversteek aan te brengen. Hoewel deze oplossing erg duur is, wordt de wachttijd hiermee tot nul beperkt.

6.4 Wachtrijlengte zijwegen

Figuur 6.5 toont de maximale gemiddelde wachtrijlengte op de zijwegen van de verschillende varianten. De gemiddelde wachtrijlengte op de zijwegen van de verschillende varianten is bijgevoegd in bijlage 4.3.

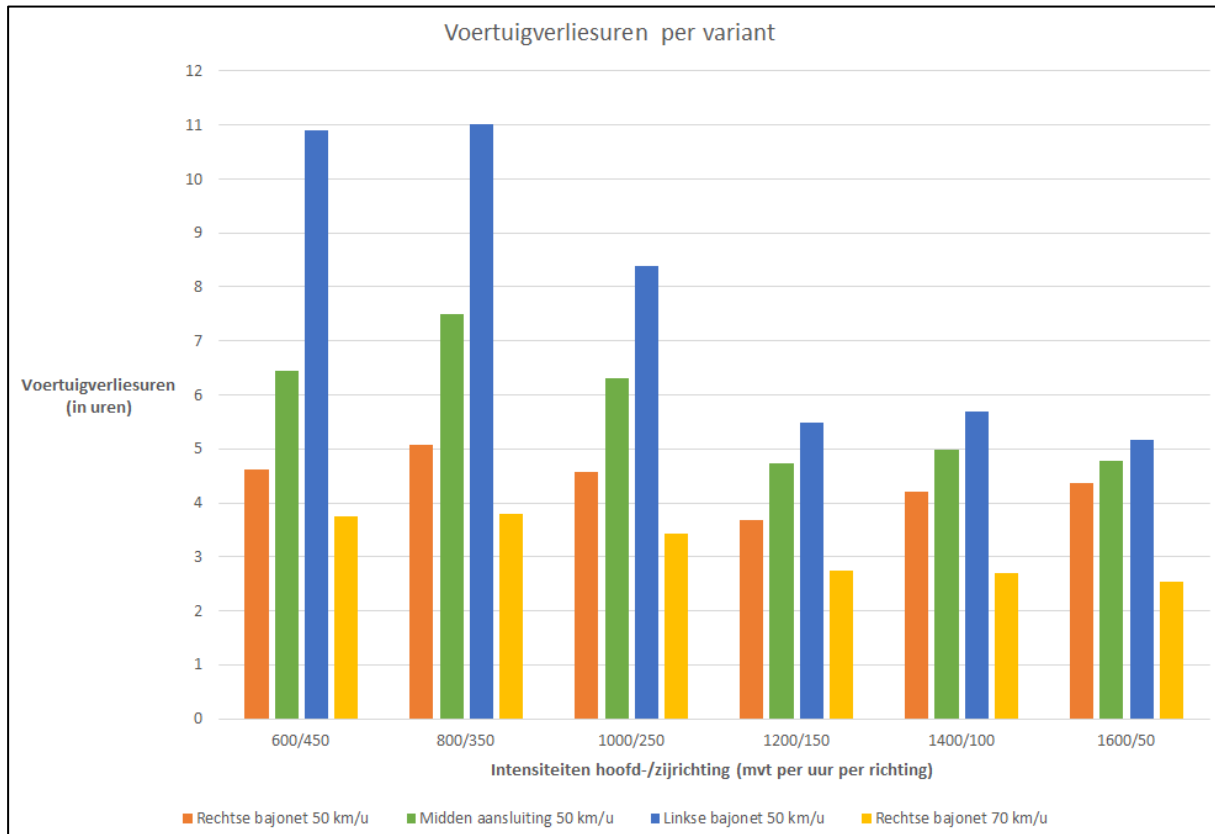


Figuur 6.5 Maximale gemiddelde wachtrijlengte op de zijwegen bij verschillende varianten en intensiteiten

De linkse bajonetaansluiting kent gemiddeld de langste wachtrij. Dit komt doordat het verkeer vanaf de zijweg minder goed kan invoegen op de linksaf opstelstrook wanneer daar verkeer staat opgesteld. Hierdoor moet het verkeer op de zijweg bij de linkse bajonetaansluiting en de aansluiting in het midden langer wachten dan bij de rechtse bajonetaansluiting. Doordat het verkeer langer moet wachten op de zijweg wordt hierdoor de wachtrijlengte langer. Wanneer de wachtrijlengte in bepaalde situaties niet langer mag zijn dan een bepaald aantal meter, omdat hierdoor bijvoorbeeld onderliggende kruispunten vastlopen, kan gekozen worden voor specifieke variant.

6.5 Voertuigverliesuren

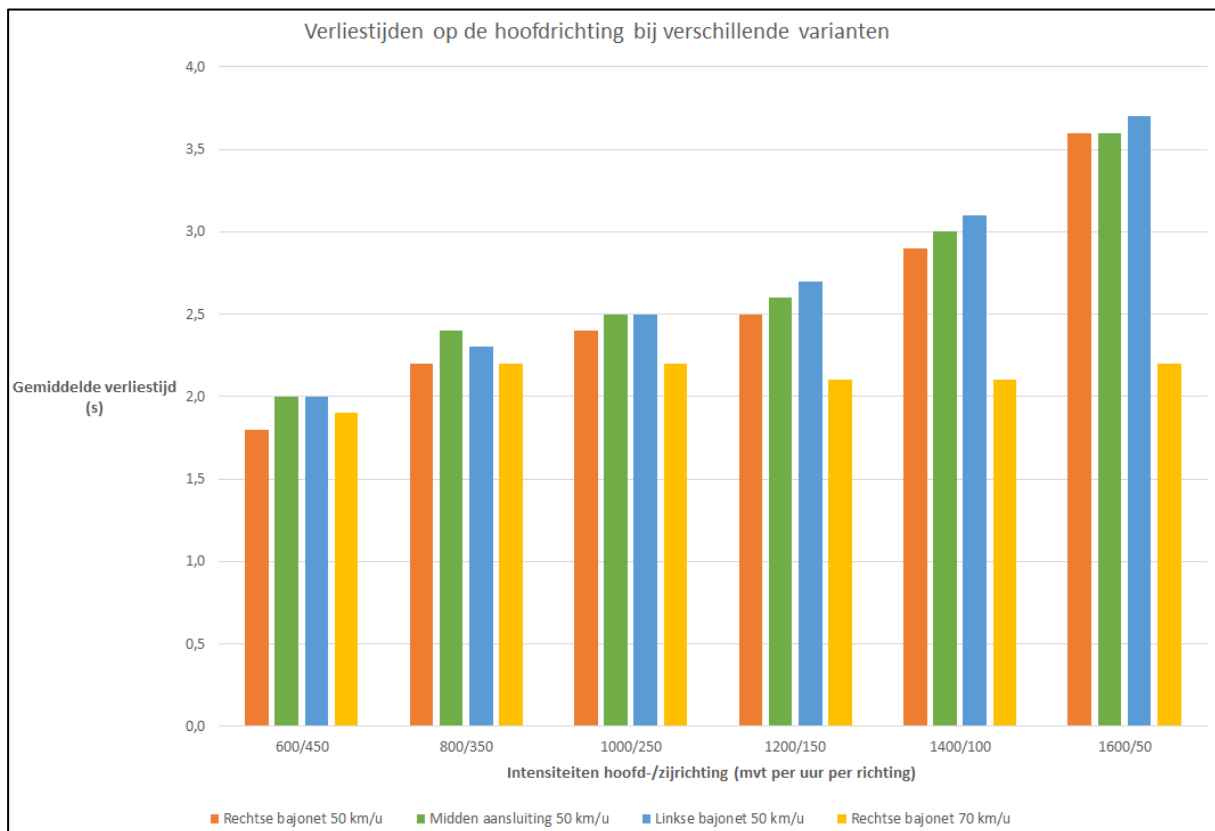
In Figuur 6.6 wordt het aantal voertuigverliesuren per variant weergegeven. De rechtse bajonetaansluiting geniet de voorkeur, omdat deze de minste voertuigverliesuren kent. De uitkomsten hiervan komen overeen met de varianten die de langste wachtrijlengte kennen, zoals beschreven in §6.4.



Figuur 6.6 Voertuigverliesuren bij verschillende varianten en intensiteiten

6.6 Verliestijden op de hoofdrichting

In Figuur 6.7 zijn de verliestijden op de hoofdrichting per variant weergegeven. Verliestijd is het verschil in ongehinderde rijtijd en de daadwerkelijke rijtijd.

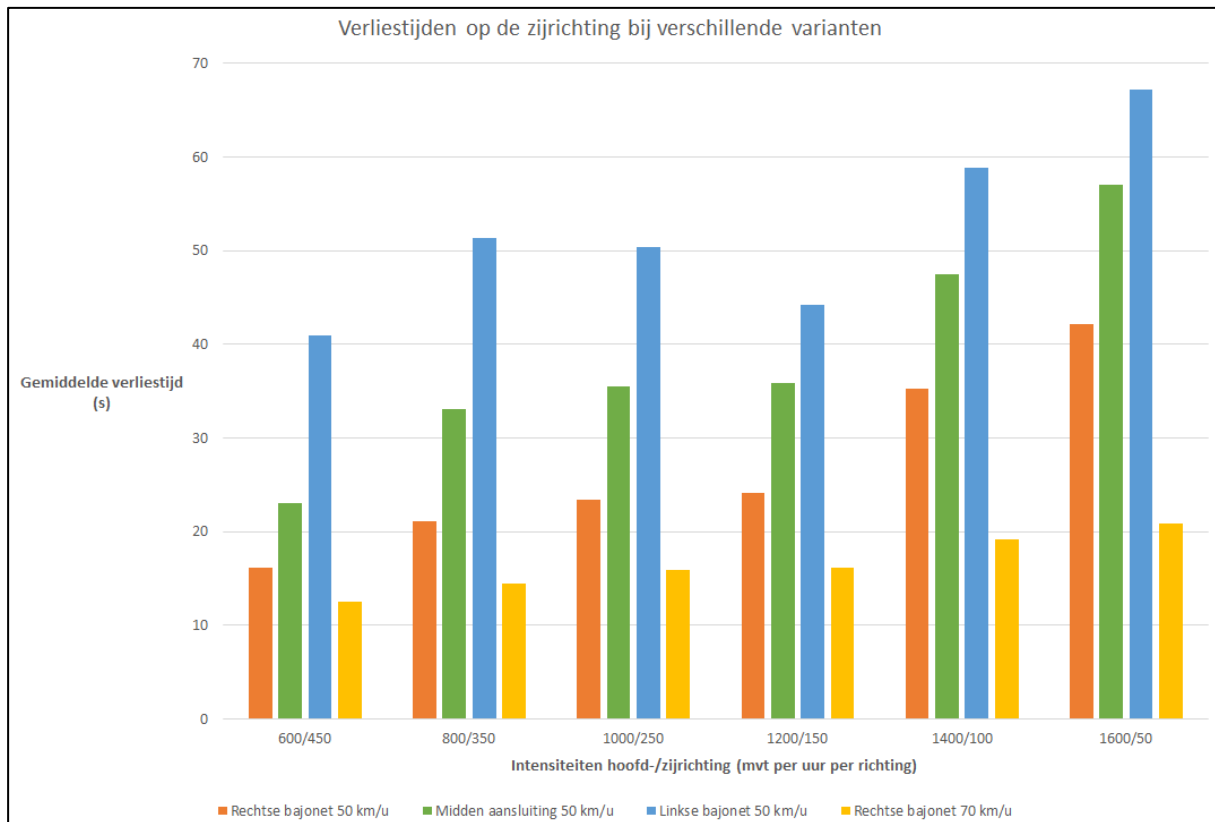


Figuur 6.7 Verliestijden op de hoofdrichting bij verschillende varianten intensiteiten

Uit de hierboven getoonde figuur wordt duidelijk dat de verschillende aansluitingsvormen bijna geen invloed hebben op de doorstroming op de hoofdrichting. De verschillen tussen de gemiddelde verliestijden zijn immers nagenoeg gelijk bij iedere intensiteitsverhouding. Eveneens wordt duidelijk dat de 70 km/u variant bij een hogere intensiteit op de hoofdrichting een mindere verliestijd kent en zorgt voor een betere doorstroming. Doordat het verkeer bij de 50 km/u varianten langzamer gaat rijden en de intensiteit verkeer op de hoofdrichting stijgt, gaat de verliestijd omhoog. Zoals eerder beschreven zijn de totale gemiddelde verliestijden van de verschillende aansluitingsvormen en intensiteitsverhoudingen weergegeven in bijlage 4.2.

6.7 Verliestijden op de zijrichting

In Figuur 6.8 zijn de verliestijden op de zijrichting van de verschillende varianten weergegeven.

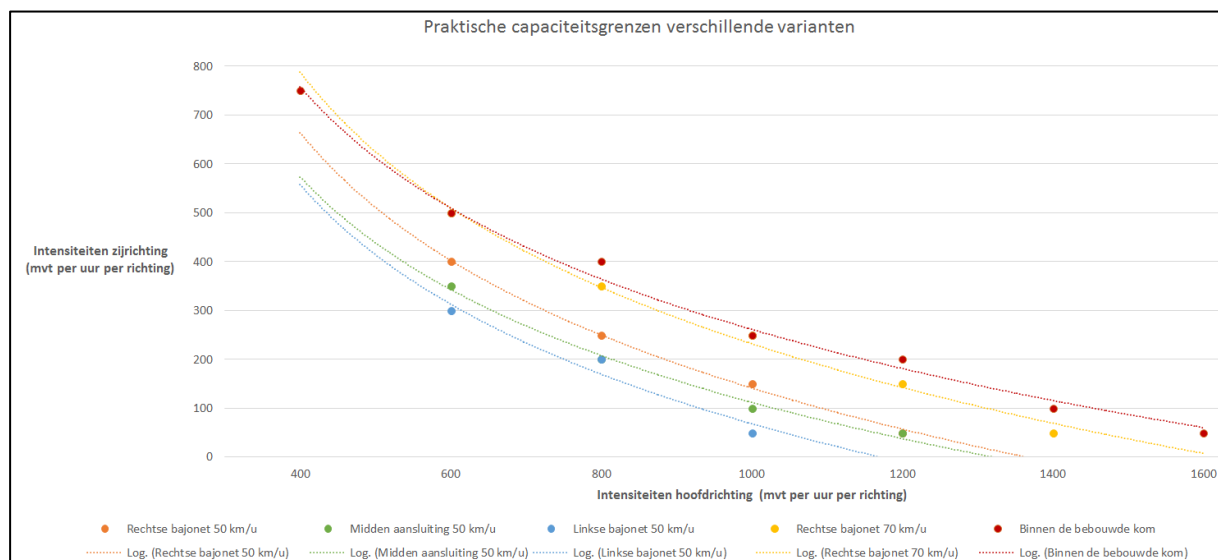


Figuur 6.8 Verliestijden op de zijrichting bij verschillende varianten en intensiteiten

Uit Figuur 6.8 wordt duidelijk dat de linkse bajonetaansluiting het minst gunstigste is voor het verkeer vanuit de zijrichting. Dit komt doordat het verkeer vanaf de zijweg moeilijk kan invoegen op de linksaf opstelstrook. Hierdoor neemt de verliestijd toe.

6.8 Vergelijking met binnen de bebouwde kom

Figuur 6.9 toont niet alleen de praktische capaciteitsgrenzen van de verschillende varianten bubeko, maar ook de praktische capaciteitsgrens van het voorrangspein bibeko.



Figuur 6.9 Praktische capaciteitsgrenzen bibeko en bubeko

Bovenstaand figuur laat zien dat de praktische capaciteitsgrens van het voorrangspein bubeko lager ligt dan dat van het voorrangspein bibeko. Twee verklaringen voor de verschillen in capaciteitsgrens kunnen zijn: De lagere snelheid en de fietsers op de hoofdrichting in de voorrang. Door de lagere snelheid op het voorrangspein bibeko heeft het verkeer vanaf het middeneiland en vanaf de zijrichting een kleiner hiaat nodig om te kunnen oversteken of invoegen. Eveneens is de snelheidsreductie bubeko dubbel zo groot als bibeko. Hierdoor worden de hiaten voorafgaand aan het voorrangspein sterker dichtgereden en daalt de capaciteit. Ook de fietsers op de hoofdrichting zijn bibeko in de voorrang waardoor wellicht extra hiaten ontstaan waar het verkeer vanaf het middeneiland en zijrichting gebruik van kan maken.



Samenvattend

Doorstroming

De 70 km/u variant kent de hoogste capaciteitsgrens en de minste voertuigverliesuren. De hogere capaciteit bij een hogere snelheid wordt verklaard doordat het verkeer bij een hogere snelheid de hiaten in de uitbuiging niet dichtrijdt. Wanneer de uitbuiging zorgt voor een snelheidsreductie naar 50 km/u worden veel van de acceptabele hiaten tussen het verkeer dichtgereden. Hierdoor kan het verkeer vanaf de zijweg niet meer gebruik maken van deze hiaten. Eveneens zorgt de langere linksaf opstelstrook bij de 70 km/u variant voor een grotere capaciteit.

Het verplaatsen van de rechtse bajonetaansluiting naar het midden van het voorrangspein heeft nadelige gevolgen voor de capaciteit. Verklaring hiervoor is dat wanneer de linksaf opstelstrook vol staat met gemotoriseerd verkeer, het verkeer vanaf de zijweg onmogelijk kan invoegen op de linksaf opstelstrook. Bij de rechtse bajonetaansluiting is dit niet het geval, omdat bestuurders hier achteraan kunnen sluiten op de linksaf opstelstrook. Tevens kunnen weggebruikers bij de aansluiting in het midden vanaf het middeneiland niet in één keer oversteken. Zij moeten eerst met de hoofdrichting meedriegen alvorens zij de zijweg kunnen bereiken. Aangezien het verkeer dus niet in één keer kan oversteken is het verkeer een groter hiaat benodigd. Dit effect wordt vergroot bij de linkse bajonetaansluiting.

Eveneens wordt duidelijk dat de capaciteitsgrenzen van het voorrangspein bibeko niet één op één overgenomen kunnen worden naar het voorrangspein bubeko.

Voorkeursvariant en voorkeurssnelheid

De voorkeursvariant 'de rechtse bajonetaansluiting' kent twee primaire conflictpunten minder dan de andere twee varianten. De ontwerpsnelheid van 50 km/u is hierbij de overduidelijke voorkeurssnelheid, dit vanwege de forse effecten op de verkeersveiligheid. Aangezien deze effecten zich het sterkst manifesteren bij de conflicten tussen gemotoriseerd verkeer en fietsverkeer kan overwogen worden om bij het ontbreken van fietsvoorzieningen een ontwerpsnelheid van 70 km/u te hanteren. De ontwerpsnelheid van 70 km/u kent namelijk een grotere kruispuntcapaciteit en lagere verliestijden dan de 50 km/u variant. Hierbij is een belangrijke kanttekening dat een deel van dit effect wordt veroorzaakt door de langere linksaf opstelstrook bij de v70 variant. Daarnaast bestaat bij het hanteren van verschillende ontwerpsnelheden bij voorrangspeinen buiten de bebouwde kom geen eenheid in de kruispuntvorm. Dit komt de herkenbaarheid van het voorrangspein bubeko niet ten goede. Doordat de positieve effecten van een v50 ontwerpsnelheid klein zijn op de doorstroming en fors op de verkeersveiligheid wordt ten strengste aanbevolen om bij het ontwerp van voorrangspeinen buiten de kom altijd de ontwerpsnelheid v50 te hanteren.

7 Het voorrangsplein in perspectief



"Wanneer is het interessant om een voorrangsplein toe te passen en wanneer niet?"

Kor Venhuizen, 2018

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In de voorgaande twee hoofdstukken zijn de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming behandeld. Om de praktische relevantie van de in dit onderzoek opgestelde ontwerpen aan te tonen en in perspectief te plaatsen, wordt voorafgaand aan de conclusie de voorkeursvariant toegepast in een daadwerkelijke kruispuntsituatie. In dit hoofdstuk wordt inzichtelijk gemaakt welke (eventuele) aanpassingen aan het voorkeursontwerp moeten worden verricht. In §7.1 wordt beschreven hoe kan worden omgegaan met het spanningsveld tussen het oplossen van het verkeerskundige probleem, ruimtelijke inpassing en kostenbewust ontwerpen.

De afweging in verschillende kruispuntvormen kan worden gemaakt met behulp van verschillende afwegingsmodellen. De (meeste van de) huidige afwegingsmodellen zijn behoorlijk versnipperd en nemen niet alle kruispuntvormen mee, dat geldt in het bijzonder voor het voorrangsplein bubeko. Een goed en betrouwbaar afwegingsmodel vergt gedegen onderzoek, tijd en zorg. Het produceren van een afwegingsmodel was dan ook geen doel van dit onderzoek. In dit onderzoek ontbrak het aan tijd om een gedetailleerd afwegingsmodel te ontwikkelen. Toch is tijdens interviews gebleken dat deskundigen, en vooral wegbeheerders, nieuwsgierig zijn naar hoe het voorrangsplein zich verhoudt tot andere kruispuntvormen. In §7.2 wordt het voorrangsplein globaal en op basis van verschillende criteria in perspectief geplaatst met andere relevante kruispuntvormen. Dit geeft een inzicht in de 'concurrentiepositie' van een voorrangsplein. Wanneer is een voorrangsplein een goede kruispunt oplossing en wanneer vooral niet?

Inhoudsopgave hoofdstuk 7

7.1	De schop in de grond	66
7.1.1	Fictieve case	66
7.1.2	Ontwerpkeuzes.....	67
7.1.3	Kwalitatieve beoordeling.....	68
7.2	'Kruispuntconcurrentie'	69
7.2.1	Veiligheid.....	69
7.2.2	Capaciteit	72
7.2.3	Kosten	73
7.2.4	Ruimtebeslag	74

7.1 De schop in de grond

Tijdens interviews met wegbeheerders is gevraagd naar een potentiële locatie voor een voorrangspuin bubeko. Hieruit zijn drie potentiële locaties naar voren gekomen. De eerste locatie betrof een drietaks kruispunt. Deze locatie is niet gekozen, omdat een viertaks kruispunt in dit onderzoek de voorkeur geniet. Bij de tweede locatie was sprake van een sterk politiek spanningsveld. Hierdoor kon deze locatie uiteindelijk niet worden meegenomen. Om deze redenen is de derde locatie: het kruispunt 'N761 – Marijenkampen' nabij Steenwijkerwold, gekozen.

7.1.1 Fictieve case

Aanleiding

Er heerst subjectieve verkeersonveiligheid (onder omwonenden) op het kruispunt N761 – Marijenkampen. De snelheid op de N761 is namelijk hoog en het oversteken in etappes is niet mogelijk. De hoge snelheid in combinatie met de hoge intensiteit fietsverkeer leidt tot de wens om het kruispunt infrastructureel aan te passen. Daarom is de locatie aangewezen als fictieve case voor het toepassen van een voorrangspuin bubeko.

Intensiteiten en verkeersongevallendata

De intensiteiten op de N761 zijn laag voor een dergelijke weg, namelijk zo'n 4000 motorvoertuigen (mvt) per etmaal (gemiddelde werkdag op wegvakniveau). De intensiteiten op de zijweg(en) bedragen 1400 mvt per etmaal. Het aandeel overstekende fietsers op de hoofdrichting is hoog, namelijk ruim 500 per etmaal (gemiddelde werkdag). Het aantal overstekende fietsers op de zuidelijke erftoegangsweg is onbekend. Uit data van de gemeente Steenwijkerland blijkt dat weinig noemenswaardige ongevallen gebeuren op het kruispunt. Exacte data is niet voorhanden. Bovengenoemde intensiteiten vertalen zich naar de volgende verhoudingen voor het maatgevend spitsuur: hoofdrichting 400 mvt, zijrichting 140 mvt en 75 fietsers.

Stakeholders en belangen

Hieronder worden puntsgewijs de stakeholders met hun belangen vermeld.

-  Gemeente Steenwijkerland: *vlot en veilige ontsluiting voor alle modaliteiten op het kruispunt;*
-  Provincie Overijssel: *doorstroming van de N761 waarborgen;*
-  Bewoners / fietsers: *verkeersveiligheid fietsverkeer verbeteren;*
-  Boeren: *berijdbaarheid en oversteekbaarheid landbouwverkeer verbeteren.*

Aandachtspunten

De volgende aandachtspunten worden toegelicht:

-  Verkeersveiligheid fietsverkeer;
-  Verkeersveiligheid gemotoriseerd verkeer;
-  Verkeersveiligheid landbouw verkeer;
-  Doorstroming verkeer N761;
-  Doorstroming verkeer op aansluitende zijwegen;
-  Kosten

(Verkeerskundig adviseur gemeente Steenwijkerland: K. Venhuizen, persoonlijke communicatie, 18-05-2018).



Figuur 7.1 Huidige situatie



Figuur 7.2 Het voorrangsplein ingepast

7.1.2 Ontwerpkeuzes

Voor het inpassen van het voorrangsplein op het kruispunt N761 – Marijenkampen is de rechtse bajonetaansluiting met ontwerpsnelheid 50 km/u toegepast. Door de ligging van de erftoegangswegen in de huidige situatie leent de voorkeursvariant zich uitstekend voor de inpassing in de nieuwe situatie. Het voorrangsplein krijgt in de nieuwe situatie echter wel een afwijkende vorm in lengte. Dit is noodzakelijk doordat beide aansluitende erftoegangswegen haaks moeten worden aangesloten. Dit wordt mogelijk door het voorrangsplein te verlengen. Andere opties zoals het verleggen van de noordelijke of zuidelijke zijweg bieden geen uitkomst. Het verleggen van de noordelijke zijweg is uitgesloten doordat hiervoor een woning moet worden gesaneerd. Het verleggen van de zuidelijke zijweg is wel mogelijk. Echter, voor deze optie moeten meerdere bomen worden gekapt en moet extra grond worden aangekocht. Hierdoor wordt het voorrangsplein minder lang en de grondaankoop aan de noordzijde tot een minimum beperkt. Een belangrijke kwestie is hierbij dat de linksaf opstelstrook veel minder lang kan worden gedimensioneerd. Dit zal een lagere snelheid op het voorrangsplein ten goede komen.

Fietsoversteek

Aan de oostzijde van het voorrangsplein is een twee fasen oversteek voor fietsers toegepast. In bovenstaand figuur is te zien dat (ter hoogte van deze fietsoversteek) na de uitbuiging een langere rechtstand is toegepast. Voor de uitbuiging is namelijk sprake van een flauwe boog, hierdoor is het mogelijk dat voertuigen op de linksaf opstelstrook onvoldoende opstelzicht hebben op het verkeer vanaf de hoofdrichting.

Overrijdbare stroken

In het VO zijn de overrijdbare stroken alleen daar aangelegd waar deze volgens rijcurvetoetsen noodzakelijk zijn. Het is mogelijk dat de rij- en sleeplijnen van vrachtverkeer in de praktijk anders zijn. Om deze onzekerheid weg te nemen en vanuit esthetisch oogpunt bestaat de optie om de overrijdbare stroken in zijn geheel door te zetten.

In het verdere ontwerpproces naar een definitief ontwerp (DO) dient de wegbeheerder tezamen met de ontwerper keuzes te maken in de hierboven beschreven dilemma's. Deze keuzes zijn afhankelijk van budget, ruimtebeslag, esthetische afweging en belangrijker nog verkeerskundige afwegingen. Belangrijk aandachtspunt hierbij zijn de zichtlijnen en het zo kort mogelijk dimensioneren van het voorrangsplein omwille van snelheidsreductie.

7.1.3 Kwalitatieve beoordeling

Fietsverkeer

Het kruispunt is voorzien van een logisch gesitueerde (tweerichtingen en twee fasen) fietsoversteek. Voldoende opstelruimte voor het intensieve fietsverkeer is aanwezig. Door de toepassing van de twee fasen overstek kan het fietsverkeer in etappes oversteken. Hierdoor wordt barrièrewerking tot een minimum beperkt en kennen fietsers een lage wachttijd. De snelheid van het kruisende gemotoriseerd verkeer wordt gereduceerd tot een snelheid van (ongeveer) 50 km/u. Hetgeen bijdraagt aan een acceptabele verkeerveiligheid voor fietsers.

Gemotoriseerd verkeer

Doordat de rijrichtingen op de hoofdrichting worden opgesplitst worden frontale conflicten uitgesloten. Verder wordt de snelheid geleidelijk doch dwingend gereduceerd tot een snelheid van 50 km/u, een veilige botssnelheid voor gemotoriseerd verkeer. Gemotoriseerd verkeer op de hoofdrichting kan vrijwel ongehinderd het kruispunt passeren. De wachttijd van het gemotoriseerd verkeer op de zijrichting wordt aanzienlijk verminderd doordat zij slechts één richting tegelijkertijd kruisen. De linksaf opstelstrook biedt meer dan voldoende opstelruimte voor het gemotoriseerd verkeer.

Vrachtverkeer en landbouwverkeer

De oversteekbaarheid voor lange voertuigen vanaf de zijweg wordt aanzienlijk verbeterd door de mogelijkheid om in twee fasen over te steken. De linksaf opstelstrook biedt een rustpunt voor lange voertuigen. Doordat fietsers op de zijweg uit de voorrang worden geplaatst (in plaats van in de voorrang huidige situatie) ondervindt het lange verkeer minder hinder van deze situatie. Zij hoeven slechts aan één richting voorrang te verlenen wat de situatie minder complex maakt dan de huidige situatie. Dit komt niet alleen de verkeersveiligheid voor landbouwverkeer en vrachtverkeer ten goede, ook de veiligheid van het fietsverkeer wordt op deze manier verbeterd.

Kosten

De kosten voor een voorrangspolein op het kruispunt 'N761 – Marijenkampen' bedragen naar schatting €775.000,- exclusief btw (prijspeil mei 2018). Bij de globale kostenraming zijn de volgende kosten niet meegenomen: engineeringskosten (circa 20%), grondaankoop, werkzaamheden kabels en leidingen (Kostenexpert Roelofs: R. Wijnstra, persoonlijke communicatie, 18-05-2018).



Samenvattend

Uit deze paragraaf wordt duidelijk dat het voorrangspolein geen vaste maatvoering kent en dat het een kneedbaar kruispunttype is. Het voorrangspolein is in verschillende situaties in te passen met behoud van de fundamentele ontwerpelementen (zoals is beschreven in §4.2). Om het voorrangspolein in perspectief te plaatsen met andere kruispuntvormen wordt het voorrangspolein in de volgende paragraaf op het gebied van doorstroming, verkeersveiligheid en kosten beknopt vergeleken met de traditionele kruispuntvormen.

7.2 'Kruispuntconcurrentie'

Uit de vorige paragraaf is duidelijk geworden dat het voorrangsp plein een kneedbaar kruispunttype is. Echter, het is nu nog niet duidelijk hoe het voorrangsp plein bubeko zich verhoudt tot de traditionele kruispuntvormen. In deze paragraaf wordt het voorrangsp plein beknopt vergeleken met traditionele kruispuntvormen, zodat de wegbeheerder het voorrangsp plein in perspectief kan plaatsen met andere kruispuntvormen. Op deze manier kan een juiste beslissing worden gemaakt om het voorrangsp plein al dan niet mee te nemen in een kruispuntafweging. De verschillen op het gebied van verkeersveiligheid, capaciteit, kosten en ruimtebeslag van de kruispunttypen worden achtereenvolgens toegelicht.

7.2.1 Veiligheid

Het bevorderen of waarborgen van de verkeersveiligheid op een kruispunt is een belangrijk criterium bij de keuze in een kruispuntvorm. Verkeersveiligheid is afhankelijk van een veelheid aan factoren. Hierdoor is het lastig om een goede uitspraak te doen over de verkeersveiligheid van het voorrangsp plein bubeko. Het voorrangsp plein is immers nog te beperkt toegepast om betrouwbare en representatieve evaluatiestudies uit te voeren. Het voorrangsp plein bubeko kan wel worden vergeleken op basis van drie (theoretische) indicatoren (Dijkstra, 2018). De drie indicatoren zijn: snelheid, het aantal conflictpunten en botstypen. De drie indicatoren worden achtereenvolgens toegelicht.

Snelheid

De werkelijk gereden snelheden op traditionele kruispuntvormen zijn bekend. De werkelijk gereden snelheden op voorrangspoleinen bubeko zijn onbekend. Het ontwerp dat voortkomt uit dit onderzoek is namelijk niet in de praktijk toegepast. Om de kruispuntvormen te kunnen vergelijken wordt aangenomen dat de snelheid op een voorrangspolein bubeko iets hoger is dan de ontwerpssnelheid, namelijk 55 km/u. Tabel 7.1 illustreert de snelheden van de vier kruispuntvormen en de onderlinge verschillen.

Snelheid (in km/u)	30	40	50	60	70	80
	1	2	3			4
Veilige snelheid bij conflicten tussen	gemotoriseerd verkeer en fietsers		gemotoriseerd verkeer			
Overlijdenskans fietsers	9%	15%	35%	60%	79%	92%

Tabel 7.1 Snelheden, veilige conflictsnelheden en overlijdenskans fietsers van verschillende kruispuntvormen

De waarden van: een veilige snelheid bij conflicten, de overlijdenskans van fietsers in relatie tot de snelheid en de gereden snelheden op de verschillende kruispuntvormen zijn gebaseerd op verschillende studies en literatuurstukken (CROW, 2016 & CROW, 2008 & Kim et al., 2007 & SWOV, 2012 & Dijkstra, 2018 & Tromp H. , 2018).

In de eerste rij van Tabel 7.1 worden de snelheden van de volgende kruispunten weergegeven:

- 1** Enkelstrooksrotonde
- 2** Turborotondes
- 3** Voorrangspolein
- 4** Voorrangskruispunt (met VRI)

De snelheid op enkelstrooksrotondes is het laagst, namelijk 30 tot 35 km/u. Een groot verschil met het voorrangskruispunt (met VRI), op deze kruispuntvorm is de snelheid 75 tot 80 km/u. De snelheden op turborotondes en voorrangspoleinen naderen elkaar. Afhankelijk van de binnenstraal ligt de snelheid op turborotondes rond de 40 km/u. Aangenomen wordt dat de snelheid op voorrangspoleinen bubeko rond de 50 km/u tot 55 km/u ligt.

Conflictpunten

Uit onderzoek naar verkeersveiligheid op kruispunten binnen de bebouwde kom van (Janssen, 2003) blijkt dat het risico op het aantal ongevallen per kruispunt sterk toeneemt met het aantal conflictpunten per kruispunt. Het aantal conflictpunten op een voorrangsp plein bubeko is afhankelijk van de vormgeving van de aansluiting. Voor turborotondes geldt dat het aantal conflictpunten verschilt per variant. Dat het aantal conflictpunten per kruispunttype verschilt is te zien in Tabel 7.3. De conflictpunten per kruispunttype zijn gerelateerd aan het voorrangskruispunt (met VRI), dit is het kruispunttype met de meeste conflictpunten.

Kruispunttype	Aantal conflictpunten		Relatief t.o.v. voorrangskruispunt (met VRI)	
Enkelstrooksrotonde	4		0,17	
Turborotonde (basis – ei)	10	8	0,41	0,33
Voorrangsp lein (rechtse bajonetaansluiting - overig	6	8	0,25	0,33
Voorrangskruispunt (met VRI)	24		1,00	

Tabel 7.2 Aantal conflictpunten per kruispunttype (Bron: SWOV, 2014 & CROW, 2008)

De enkelstrooksrotonde scoort met 4 conflictpunten het best. Gevolgd door het voorrangsp lein (rechtse bajonetaansluiting) met 6 conflictpunten. De basisrotonde en eirotone kennen respectievelijk 10 en 8 conflictpunten. Het voorrangskruispunt (met VRI) scoort met 24 conflictpunten veruit het slechtst.

Botstypen

Naast het aantal conflictpunten is het soort conflict ofwel botstype een belangrijke indicator voor de verkeersveiligheid. Het botstype is namelijk van invloed op de letselernst bij verkeersongevallen (Dijkstra, 2018). In Tabel 7.3 zijn de mogelijke botstypen per kruispunttype te zien. Alle soorten botstypen doen zich voor op het voorrangskruispunt (met VRI). Eén van de meest ernstige botstypen, frontale botsingen, doen zich niet voor op (turbo)rotondes en voorrangsp leinen. De 'flank botsingen' op (turbo)rotondes en voorrangsp leinen zijn andersoortig dan op voorrangskruispunten (met VRI). Doordat het verkeer meer onder een hoek (invoegend) met elkaar botst zijn de gevolgen minder ernstig (Dijkstra, 2018).

Kruispunttype	Botstypen		
	Frontale botsingen	Flankbotsingen	Kop-staart botsingen
Enkelstrooksrotonde		X	X
Turborotonde		X	X
Voorrangsp lein		X	X
Voorrangskruispunt (met VRI)	X	X	X

Tabel 7.3 Botstypen per kruispunttype



Samenvattend

De hoge snelheid, het grote aantal conflictpunten en de kans dat frontale botsingen kunnen optreden, maken het voorrangskruispunt (met VRI) de meest onveilige kruispuntvorm. De lage snelheid, het lage aantal conflictpunten en het uitsluiten van frontale conflicten, maken dat de enkelstrooksrotonde veruit de meest verkeersveilige kruispuntvorm is. Gevolgd door het voorrangsp plein en turborotondes. De snelheid op turborotondes is lager dan de snelheid op het voorrangsp plein, maar het voorrangsp plein heeft minder conflictpunten. Zonder praktijkervaring met het voorrangsp plein (bubeko), is geen objectief oordeel te vellen over het onderscheid tussen deze twee kruispunttypen. Aangenomen wordt dat de verkeersveiligheid van turborotondes en voorrangsp pleinen bubeko vrijwel gelijk is. Feit is echter wel dat het voorrangsp plein verkeersveiliger is voor fietsers. Bij een gelijkvloerse fietsoversteek hoeven fietsers in tegenstelling tot turborotondes maar één strook tegelijkertijd over te steken.

7.2.2 Capaciteit

Naast verkeersveiligheid is de capaciteit van een kruispuntvorm een belangrijk criterium bij de afweging tussen meerdere kruispuntvormen. De enkelstrooksrotonde is de meest verkeersveilige oplossing, maar voorziet niet altijd in voldoende capaciteit. Bij hoge(re) intensiteiten zijn andere kruispuntvormen noodzakelijk om te voorzien in voldoende verkeersafwikkeling.

In Tabel 7.4 staan de praktische en theoretische capaciteitsgrenzen van verschillende kruispuntvormen. Het voorrangsp plein kent meer capaciteit dan een enkelstrooksrotonde, maar minder dan een eirotonde. Dit is niet vreemd, omdat een eirotonde op de hoofdrichting twee aan- en afvoertakken heeft. Echter, de oversteekbaarheid van fietsverkeer is bij een ei- en turborotonde op de hoofdrichting vaak slechter, omdat hier twee rijstroken overgestoken moeten worden.

Bij een ongelijkmatige verdeling van het verkeer over de verschillende richtingen, oftewel de aanwezigheid van een dominante hoofdstroom, heeft een voorrangsp plein de voorkeur, omdat dit zorgt voor minder barrièrewerking op de hoofdrichting dan een rotonde. Dit bevordert met name het comfort voor vracht- en busverkeer.

In vergelijking met het voorrangskruispunt heeft het voorrangsp plein 65% meer capaciteit. Ten opzichte van een voorrangskruispunt met VRI heeft het voorrangsp plein 40% minder capaciteit.

Kruispuntvorm	Capaciteit in spitsuur van alle toerritten samen (=10% van de etmaalcapaciteit)	
	Praktisch	Theoretisch
Voorrangskruispunt (met eventueel linksaf vakken)	1500	1800
Enkelstrooksrotonde	2000	2700
Voorrangsp plein (rechtse bajonetaansluiting 50 km/u)	2500	3000
Voorrangsp plein (rechtse bajonetaansluiting 70 km/u)	2900	3400
Eirotonde	3200	onbekend
Turborotonde basisvorm	3500	3800
Viertakskruispunt met VRI (per toevoertak 3x1 rijstrook)	3500	4000

Tabel 7.4 Praktische en theoretische capaciteitsgrenzen van verschillende kruispuntvormen (mvt/uur)



Kanttekening

De wijze waarop de praktische en theoretische capaciteitsgrenzen van de in Tabel 7.4 getoonde kruispuntvormen wordt bepaald is versnipperd. Voor voorrangskruispunten wordt het intensiteitscriterium van Slop toegepast, bij (turbo)rotondes wordt gebruik gemaakt van de verzadigingsgraad en bij voorrangskruispunten met VRI's wordt gebruik gemaakt van de verzadigingsgraad en maximale cyclustijd. Bij het voorrangsplein is het verliestijd criterium toegepast. Wanneer de gemiddelde wachttijd op de zijweg de waarde van 20 seconden overstijgt is de praktische kruispuntcapaciteit bereikt. Voor de theoretische grens geldt een waarde van 60 seconden. Wanneer een hogere waarde (tijdens drukke perioden) wordt geaccepteerd stijgt de capaciteitsgrens van het voorrangsplein. De praktische capaciteitsgrenzen zijn dus enigszins flexibel te noemen. Bij bijvoorbeeld voorrangskruispunten met VRI's worden immers ook langere wachttijden op de zijwegen geaccepteerd tijdens spitsuren.

7.2.3 Kosten

Een kruispuntvorm moet de verkeerveiligheid (ten minste) waarborgen en beschikken over voldoende capaciteit om te voorzien in een vlot en veilige verkeersafwikkeling. De onderlinge verschillen in verkeerveiligheid en doorstroming van de vier kruispunttypen zijn benoemd in de voorgaande sub paragrafen, maar wat kost dat nou zo'n kruispunt?

Om wegbeheerders een indicatie te geven van de globale kosten per kruispuntvorm en het voorrangsplein op het gebied van kosten in perspectief te plaatsen met andere kruispuntvormen, zijn met behulp van twee kostenexperts de globale kosten per kruispuntvorm geraamd. In Tabel 7.5 zijn deze globale kosten weergegeven per kruispuntvorm. De getoonde bedragen zijn exclusief: btw, engineeringskosten (circa 20%), onderhoudskosten, aankoop gronden en werkzaamheden aan kabels en leidingen.

Kruispuntvorm	Globale kosten (prijspeil mei 2018)
Voorrangskruispunt (met eventueel linksaf vakken)	€ 450.000,-
Enkelstrooksrotonde	€ 450.000,-
Voorrangsplein (rechtse bajonetaansluiting 50 km/u)	€ 850.000,-
Eirotonde	€ 600.000,-
Turborotonde basisvorm	€ 850.000,-
Voorrangskruispunt met VRI (per toevoertak 3x1 rijstrook)	€ 650.000,-

Tabel 7.5 Globale kosten verschillende kruispuntvormen (Bron: persoonlijke communicatie René Wijnstra en Herman ter Brake, kostenexperts Roelofs, 18-05-2018)

Het voorrangskruispunt en de enkelstrooksrotonde zijn de goedkoopste kruispuntvormen. Gevolgd door de eirotonde en het voorrangskruispunt met VRI. De duurste kruispuntvormen zijn de basis turborotonde en het voorrangsplein. Deze zijn volgens raming gelijk in kosten. Belangrijk hierbij is wel dat bij een turborotonde de fietsinfrastructuur vaak ongelijkvloers moet worden gerealiseerd. Het wordt in het vakgebied onacceptabel geacht om fietsers bij turborotondes gelijkvloers te ontsluiten. Hetgeen niet noodzakelijk is bij een voorrangsplein. De kosten voor een ongelijkvloerse ontsluiting van het fietsverkeer bedragen bij raming €1.000.000,- (voormalig kostenexpert Roelofs: H. ter Brake, persoonlijke communicatie, 22-05-2018).

7.2.4 Ruimtebeslag

In de voorgaande sub paragraaf zijn de kosten voor grondaankoop niet meegenomen in de globale kostenraming van de verschillende kruispuntvormen, dit is niet zonder reden. Het ruimtebeslag en daarbij benodigde grondaankoop is namelijk altijd situatie afhankelijk. Zo wordt bij (turbo)rotondes soms een extra bypass aangelegd of varieert het aantal opstelstroken bij voorrangskruispunten met VRI's (per richting). Vaststaat dat het voorrangspein minder breedte beslaat dan een turborotonde, maar de vorm beslaat wel een grotere lengte. Daarbij heeft de turborotonde dan aansluitende wegen met meer rijstroken dan een voorrangspein. Tot slot is het ruimtebeslag van een kruispunt in buiten de bebouwde kom situaties veel minder belangrijk dan bij binnen de bebouwde kom situaties waar de beschikbare ruimte beperkt is. De daadwerkelijke verschillen tussen kruispuntvormen moeten per locatie worden vastgesteld.



Samenvattend

De ideale kruispuntvorm bestaat niet, de keuze in een kruispuntvorm is altijd afhankelijk van locatie specifieke mogelijkheden en eisen, beschikbaar budget en politieke keuzes. Vaststaat dat de enkelstrooksrotonde met stipt op nummer 1 staat als het gaat om verkeersveiligheid. De enkelstrooksrotonde is echter wel beperkt in doorstroming, zeker bij de aanwezigheid van een dominante hoofdstroom. Een voorrangskruispunt met VRI biedt dan uitkomst. Echter het capaciteitsvoordeel van een voorrangskruispunt met VRI staat in scherp contrast met de verkeersveiligheid, deze laat te wensen over. Een turborotonde is relatief verkeersveilig en kent een grote afwikkelingscapaciteit, maar vaak is een ongelijkvloerse ontsluiting voor fietsverkeer noodzakelijk. Hierdoor lopen de kosten hoog op. Het voorrangspein biedt bij de aanwezigheid van een dominante hoofdstroom een balans in verkeersveiligheid en doorstroming, maar heeft wel een prijskaartje.

8 Conclusies en aanbevelingen

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In hoofdstuk 7 is niet alleen de inpasbaarheid van het voorrangsp plein aangetoond, ook is het voorrangsp plein vergeleken met traditionele kruispuntvormen. Hoewel dit hoofdstuk niet bijdraagt aan het beantwoorden van de in dit onderzoek gestelde hoofdvraag, draagt het hoofdstuk wel bij aan het behalen van de in dit onderzoek gestelde doelstelling.

Om tot een antwoord op de hoofdvraag te komen zijn in dit onderzoek vijf deelvragen onderzocht. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste resultaten van de deelvragen en biedt zodoende een helder en concreet antwoord op de hoofdvraag. Vervolgens worden aanbevelingen met betrekking tot de vormgeving van het voorrangsp plein bubeko en aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

Inhoudsopgave hoofdstuk 8

8.1	Conclusie.....	76
8.2	Aanbevelingen	78

8.1 Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de volgende hoofdvraag:

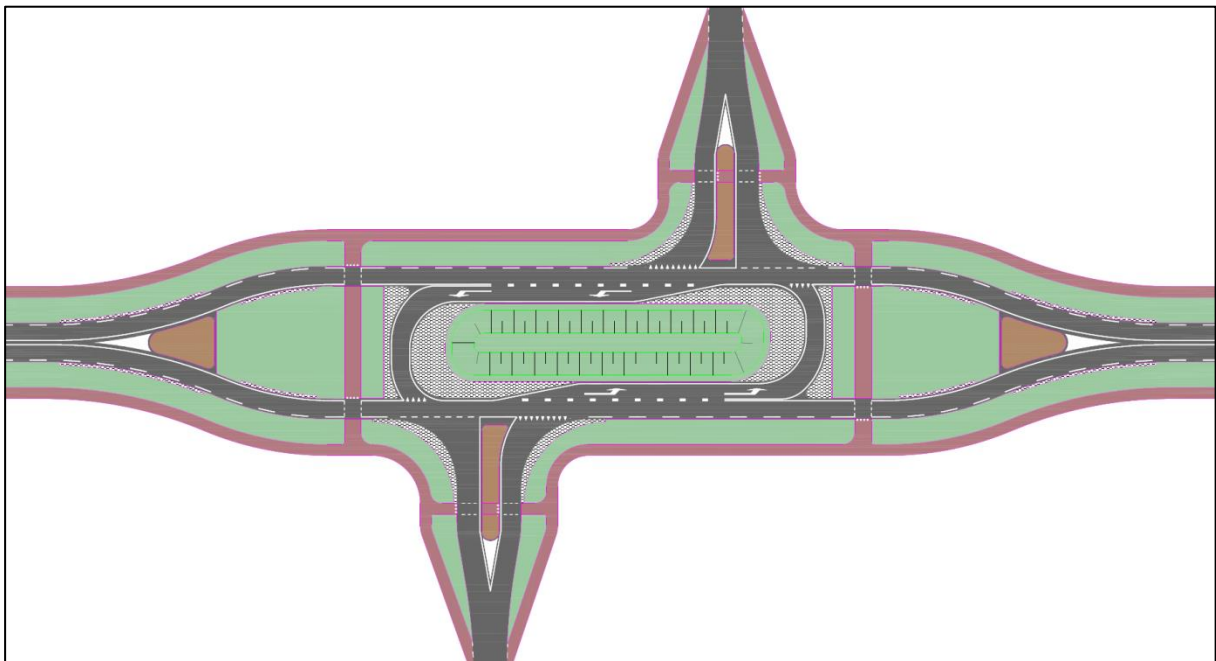
"Wat is de optimale vormgeving van een voorrangsp plein buiten de bebouwde kom en wat zijn de effecten van deze vormgeving op de verkeersveiligheid en doorstroming?"

Voor het beantwoorden van deze hoofdvraag zijn interviews met diverse deskundigen afgenomen, verschillende ontwerpen opgesteld, literatuur onderzoek verricht en simulatieonderzoek uitgevoerd.

De optimale vormgeving van een voorrangsp plein bubeko bestaat niet. Locatie specifieke eisen en kenmerken leiden tot de noodzaak om maatwerk te verrichten bij de realisatie van het voorrangsp plein bubeko. Wel is uit dit onderzoek gebleken dat één variant de overduidelijke voorkeur geniet ten opzichte van de andere opgestelde varianten in dit onderzoek: 'de rechtse bajonetaansluiting v50' (ontwerpsnelheid 50 km/u). Uit de resultaten van dit onderzoek is de ontwerpsnelheid van 50 km/u gebleken als vlot en veilige ontwerpsnelheid.

Voorkeursvariant 'de rechtse bajonetaansluiting v50'

Figuur 8.1 toont de voorkeursvariant 'de rechtse bajonetaansluiting v50'. Uit dit onderzoek is gebleken dat de rechtse bajonetaansluiting meer voordelen kent dan de aansluiting in het midden of de linkse bajonetaansluiting.



Figuur 8.1 Voorkeursvariant 'de rechtse bajonetaansluiting v50'

De rechtse bajonetaansluiting is verkeersveiliger, rijdbaar en kent de hoogste capaciteitsgrenzen. Deze voordelen worden met name veroorzaakt door de natuurlijke aansluiting van de zijweg en de juiste toepassing van de 7 fundamentele ontwerpelementen. De 7 fundamentele ontwerpelementen zijn: Linksaf opstelstrook, Middeneiland Rijbaansplitsing, Splitsingsgeleider, Middengeleider, Rammelstrook en de Uitbuiging.

Verkeersveiligheid en doorstroming

Uit dit onderzoek is gebleken dat, naast de vormgeving van het voorrangsplein, de snelheid een cruciaal aspect is. De logische vormgeving van de rechtse bajonetaansluiting voorziet in een vloeiende verkeersafwikkeling van het verkeer uit de zijweg. Ook bij hogere intensiteiten kan het verkeer vanuit de zijweg blijven oversteken naar de linksaf opstelstrook. Verder kan het verkeer sneller afrijden vanaf de linksaf opstelstrook. Wanneer de aansluiting van de zijweg niet in het verlengde van de linksaf opstelstrook is gesitueerd moet het verkeer vanaf de linksaf opstelstrook eerst meerijden in de hoofdrichting om vervolgens rechtsaf te kunnen slaan. Hierdoor zijn zij een langer kritisch hiaat benodigd. Een hogere snelheid betekent een grotere capaciteit. Door een grote snelheidsreductie in de uitbuiging op de hoofdrichting worden hiaten in de verkeersstroom sterker dichtgereden dan bij een lage snelheidsreductie.

Echter is uit de theoretische analyse naar verkeersveiligheid van het voorrangsplein gebleken dat snelheidsreductie onmisbaar is. Bij een hogere snelheid neemt de overlijdenskans van fietsers drastisch toe. Bij een botssnelheid van 50 km/u is de overlijdenskans namelijk 30% en bij een botssnelheid van 70 km/u loopt dit op naar 75%. Voor automobilisten geldt hetzelfde effect alleen treedt dit minder sterk op dan bij fietsers.

Uit dit onderzoek blijkt de potentie van het voorrangsplein in een buiten de bebouwde kom situatie. De rechtse bajonetaansluiting v50 kent een vlot en veilige verkeersafwikkeling.

8.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

-  Aanbevolen wordt om de capaciteitsgrenzen van voorrangspoleinen bibeko en bubeko te valideren. De bevindingen uit dit onderzoek en bevindingen uit het onderzoek naar voorrangspoleinen bibeko van (Bout & Olijve, 2015) komen niet overeen. Hoewel een logische verklaring bestaat voor het verschil tussen de bevindingen zijn geen van beide capaciteitsgrenzen gevalideerd. Zonder validatie van de capaciteitsgrenzen blijven deze slechts een indicatie voor de kruispuntcapaciteit van voorrangspoleinen.
-  Uit dit onderzoek blijkt de potentie van het voorrangspolein bubeko. Zonder vermelding in de richtlijnen van het CROW wordt verwacht dat de kansen van het voorrangspolein ongemoeid blijven. Het CROW wordt aanbevolen om een werkgroep op te stellen welke, de bevindingen uit dit onderzoek en bestaande kennis over voorrangspoleinen, implementeren in de richtlijnen.
-  De effecten van het voorrangspolein op netwerkniveau zijn onbekend. Welke netwerkbrede veranderingen treden op als gevolg van voorrangspoleinen? Wat is het effect op de doorstroming van een streng voorrangspoleinen? Aanbevolen wordt om bovenstaande vragen te beantwoorden met behulp van vervolgstudies.
-  In dit onderzoek is vastgesteld dat een capaciteitsverschil bestaat tussen de snelheidsvarianten. Dit verschil wordt waarschijnlijk versterkt doordat de linksaf opstelstrook in de 70 km/u variant langer is gedimensioneerd. Aanbevolen wordt dan ook om te onderzoeken wat het effect op de capaciteit van een langere linksaf opstelstrook is bij voorrangspoleinen bubeko.
-  Aanbevolen wordt om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn van het voorrangspolein op kruispunten met stroomwegen. Verwacht wordt dat de snelheidsvariant van 70 km/u een geschikt kruispuntalternatief is wanneer onvoldoende budget beschikbaar is voor een ongelijkvloerse kruising. Uit het interview met provincie Friesland blijken immers zeer positieve ervaringen met het voorrangspolein in Wommels.

Wanneer wordt overgegaan tot realisatie van een voorrangspolein bubeko wordt aanbevolen om:

-  Of de rechtse bajonetaansluiting of de aansluiting in het midden toe te passen. Deze kennen meer gunstige voordelen op het gebied van verkeersveiligheid en doorstroming dan de linkse bajonetaansluiting;
-  De zeven fundamentele ontwerpelementen toe te passen. Uit dit onderzoek is gebleken dat deze allen een essentiële functie kennen om de verkeersveiligheid, doorstroming, bereikbaarheid en de herkenbaarheid van het voorrangspolein te waarborgen;
-  Een monitoringsonderzoek te doen naar de daadwerkelijke effecten op de verkeersveiligheid, doorstroming en leefbaarheid. Met behulp van de resultaten uit monitoringsonderzoeken kunnen de bevindingen uit dit onderzoek worden gevalideerd en worden de effecten van het voorrangspolein op het milieu (uitstoot van schadelijke stoffen e.d.) in kaart gebracht. Deze zijn in dit onderzoek niet aan bod gekomen.

9 Discussie

Wat te verwachten in dit hoofdstuk?

In dit hoofdstuk wordt kritisch gekeken naar het uitgevoerde onderzoek. Allereerst wordt gekeken naar de betrouwbaarheid en validiteit van de resultaten uit dit onderzoek. Dit wordt gedaan door de gebruikte onderzoeksmethoden ter discussie te stellen. Vervolgens wordt beschreven wat de bruikbaarheid van dit onderzoek is voor het werkveld.

Inhoudsopgave hoofdstuk 9

9.1	Betrouwbaarheid en validiteit.....	80
9.1.1	Literatuuronderzoek.....	80
9.1.2	Interviews	80
9.1.3	Simulaties.....	81
9.2	Bruikbaarheid van het onderzoek	81

9.1 Betrouwbaarheid en validiteit

De gebruikte onderzoeksmethoden hebben geleid tot een beantwoording van de deelvragen en uiteindelijk tot het beantwoorden van de hoofdvraag. In deze paragraaf worden de drie gebruikte onderzoeksmethoden ter discussie gesteld.

9.1.1 Literatuuronderzoek

Aangezien verkeersveiligheid niet met een simulatieprogramma te meten is, is gebruik gemaakt van een theoretische analyse van de verkeersveiligheid van voorrangspoleinen. Bij het gebruik van bevindingen uit studies om de verkeersveiligheid van een kruispuntvorm te achterhalen zijn kanttekeningen te plaatsen. Praktijkervaringen van het voorrangspolein zijn immers niet meegenomen. Daarnaast is onder andere gebruik gemaakt van buitenlandse studies. Hierdoor zijn de resultaten van deze studies minder representatief voor voorrangspoleinen bubeko in Nederland.

9.1.2 Interviews

Tijdens het afnemen van de interviews zijn de juiste personen voor de juiste vraagstukken bevestigd. Om te komen tot praktisch relevante uitgangspunten - de basis voor ieder verkeerskundig ontwerp - zijn wegbeheerders geïnterviewd. Het ontwerp dient namelijk zoveel mogelijk te voldoen aan de wensen en behoeften van wegbeheerders. Om deze uitgangspunten te vertalen tot een verkeerskundig ontwerp, zijn ontwerpers geïnterviewd welke kennis en ervaring hebben met het ontwerpen van voorrangspoleinen. Door gebruik te maken van de parate kennis van ervaren ontwerpers worden functionele en juiste ontwerpelementen toegepast om te komen tot logische verkeerskundige varianten. Tot slot zijn de ontwerpen getoetst door experts van verschillende achtergronden. Zodoende worden (toevallige) fouten in het ontwerp geminimaliseerd. Hierbij is ook een verkeerspsycholoog geïnterviewd, een veelvoorkomend probleem is namelijk dat verkeerskundige ontwerpen worden opgesteld door een 'technicus'. Een technicus kijkt met een andere bril naar ontwerpen dan de mens. Met behulp van de kennis uit het interview met de verkeerspsycholoog zijn de ontwerpen zodanig opgesteld dat deze ook voor de weggebruiker begrijpelijk zijn. Door een kloppend verkeerskundig ontwerp als basis te nemen voor het simulatieonderzoek wordt gekomen tot zo valide mogelijke waarnemingen

Alle interviews zijn opgenomen en uitvoerig uitgewerkt. Na uitwerking zijn zij ter controle opgestuurd naar de geïnterviewde personen om interpretatie van de onderzoekers zoveel mogelijk uit te sluiten. Deze grondige wijze van verwerking leidt tot de hoogst haalbare betrouwbaarheid van resultaten uit de interviews.

9.1.3 Simulaties

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van het simulatieprogramma Vissim. Dit programma wordt wereldwijd gebruikt en wordt gezien als een betrouwbaar simulatieprogramma. Vissim is namelijk in verschillende studies gekalibreerd op praktijksituaties. Desalniettemin blijft het een simulatieprogramma en zijn de resultaten niet gevalideerd met een praktijksituatie van een voorrangsp plein bubeko. Om tot resultaten te komen welke zo goed mogelijk overeenkomen met een werkelijke situatie zijn verschillende voertuigen in Vissim gebruikt welke voorzien zijn van verschillende kenmerken welke zoveel mogelijk overeenkomen met een praktijksituatie. Hiermee is getracht om te komen tot zo valide mogelijk resultaten.

De simulatiemodellen zijn intern gecontroleerd op fouten. Hierdoor worden toevallige fouten in de simulatiemodellen zo veel mogelijk voorkomen. Dit komt de betrouwbaarheid van de resultaten uit de simulatiemodellen ten goede. Elke variant is gesimuleerd met verschillende intensiteitsverhoudingen. Deze intensiteitsverhoudingen zijn vervolgens doorerekend in vijftig verschillende 'runs'. Het gebruik van een dermate groot aantal runs vergroot de betrouwbaarheid van de resultaten uit het simulatieonderzoek. Op deze manier wordt namelijk de kans op toevalstreffers geminimaliseerd. Tot slot zijn de simulatie instellingen uitvoerig beschreven. Met dezelfde instellingen, intensiteitsverhoudingen en modellen zijn de resultaten uit dit onderzoek reproduceerbaar en kan worden gecontroleerd of de resultaten overeenkomen bij herhaling.

Hoewel geprobeerd is de simulaties met de werkelijkheid overeen te laten komen, verschilt de samenstelling van het verkeer op iedere locatie. In dit onderzoek is een vaste waarde van vrachtverkeer aangehouden wat discutabel is. Eveneens is een vast percentage afslaand vrachtverkeer gehanteerd. Deze waarden kunnen in de praktijk verschillen waardoor de waarden uit het onderzoek niet geheel voor iedere praktijksituatie overeen zullen komen.

De grotere capaciteit bij een hogere snelheid kan een vertekend beeld geven, omdat bij de 70 km/u variant niet alleen de snelheid is aangepast. Ook de lengte van de linksaf opstelstrook is dusdanig gedimensioneerd dat weggebruikers op een veilige en comfortabele manier hun snelheid kunnen aanpassen. Wat het exacte effect is van de snelheidsverschillen is hierdoor niet geheel duidelijk. De verschillen in capaciteit tussen de twee verschillende snelheden kunnen dus lager zijn, omdat een deel van het effect komt door de verlengde linksaf opstelstrook.

9.2 Bruikbaarheid van het onderzoek

Dit onderzoek vult de kennisleemte van het voorrangsp plein bubeko. Doordat de effecten op verkeersveiligheid en doorstroming zijn beschreven geeft dit de wegbeheerder goede houvast om het voorrangsp plein mee te nemen in de kruispuntafweging. De gemaakte ontwerpen bieden een stevige basis voor toekomstige ontwerpers die met het voorrangsp plein aan de slag gaan. Eveneens zijn de fundamentele ontwerpelementen toegelicht. Hierdoor wordt de wildgroei in een groot aantal verschillende vormen en gebruik van ontwerpelementen tegengegaan. Hetgeen een belangrijke bijdrage levert aan de uniformiteit en herkenbaarheid van voorrangsp pleinen.

Dit onderzoek draagt in zijn geheel bij aan het inzichtelijk maken van de effecten van het voorrangsp plein op (met name) het gebied van verkeersveiligheid en doorstroming. Door dit onderzoek kan het voorrangsp plein meegenomen worden in de kruispuntafweging en kan deze relatief nieuwe kruispuntvorm worden opgenomen in de veelgebruikte richtlijnen van het CROW. Hierdoor wordt het gebruik van de kennis en bevindingen uit dit onderzoek gestimuleerd. Het onderzoek draagt zodoende bij aan het kiezen van de optimale kruispuntvorm bij iedere afzonderlijke situatie. Dit levert een maatschappelijke bijdrage aan de verbetering van de verkeersveiligheid, leefbaarheid en doorstroming.

10 Bibliografie

- Aarts, L.** (2004). *Snelheid, spreiding in snelheid en de kans op verkeersongevallen*. Leidschendam: SWOV.
- Bontje, P., Bannink, C., Canten, J., Eelman, N., Kwakkel, L., Vermijs, R., et al.** (2018, maart 12). Interviewsesse uitgangspunten en ontwerpelementen. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Bout, J., & Olijve, M. J. H.** (2015). *Het voorrangsplein: een nieuw kruispunttype?! Zwolle: CROW.*
- Broeren, P.** (2013). *Geometrisch wegontwerp: oude theorieën, nieuwe inzichten*. Rotterdam.
- CROW.** (2004, Februari 1). *Langzaam rijden gaat sneller - Een handreiking voor verkeerskundigen*. Ede: CROW.
- CROW.** (2008). *Handboek verkeersveiligheid*. Ede: CROW.
- CROW.** (2008). *Turborotondes*. Ede: CROW.
- CROW.** (2012). *ASSV 2012*. Ede: CROW.
- CROW.** (2012). *Basiskennmerken wegontwerp - Categorisering en inrichting van wegen*. Ede: CROW.
- CROW.** (2012). *Handboek wegontwerp 2013 - Basiscriteria*.
- CROW.** (2013). *Handboek wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen*. Ede: CROW.
- CROW.** (2014). *Eenheid in rotondes*. Ede: CROW.
- CROW.** (2014). *Mobiliteit en gedrag*. Ede: CROW.
- CROW.** (2014). *Onderzoek en modellen - Werken met verkeers- en mobiliteitsmodellen*. Ede.
- CROW.** (2016). *Ontwerpwijzer fietsverkeer*. Ede: CROW.
- De Jong, J., & Broeren, P.** (2016). *Snelheidsprofielen horizontale bogen*.
- Dhondt, S., Macharis, C., Terry, N., Van Malderen, F., & Putman, K.** (2013). *Health burden of road traffic accidents, an analysis of clinical data on disability and mortality exposure rates in Flanders and Brussels*. Elsevier.
- Dijkstra, A.** (2014). *Enkele aspecten van kruispuntveiligheid*. Den Haag: SWOV.
- Dijkstra, A.** (2018, april 11). Verkeersveiligheid en het voorrangsplein buiten de bebouwde kom. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Elvik, R., Christensen, P., & Amundsen, A.** (2004). *Speed and road accidents, An evaluation of the Power Model*. Oslo: The Institute of Transport Economics (TOI).

- Evans, L.** (1995). *Safety-belt effectiveness: The influence of crash severity and selective recruitment*. Elsevier.
- Hendriks, J.** (2018, maart 19). Uitgangspunten, ontwerpelementen en vormgeving. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Immers, B.** (2011). *Het ritdistributiemodel [Presentatie]*. Opgehaald van KU Leuven: <https://www.mech.kuleuven.be/cib/verkeer/dwn/cursusteksten-voor-2011/les-4-het-ritdistributiemodel.pdf>
- Inspec Nederland BV.** (2017). *Voorrangspoleinen buiten de kom - Verkenning naar toepassing op provinciale wegen in Flevoland*. Lelystad: Inspec Nederland BV.
- Janssen, S.** (2003). *Veiligheid op kruisingen van verkeersaders binnen de bebouwde kom*. Leidschendam: SWOV.
- Jellema, H., & Joustra, N.** (2018, maart 15). Uitgangspunten inrichtingselementen en vormgevingsaspecten. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Kim, J., Kim, S., Ulfarsson, G., & Porrello, L.** (2007). *Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents*. Elsevier.
- Moerland, W.** (2018, februari 21). Interview microsimulatiemodel; VISSIM. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Olijve, M. J. H.** (2018, maart 26). Uitgangspunten, ontwerpelementen en vormgeving. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Peet, A.** (2018, maart 23). Uitgangspunten en ontwerpelementen. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Rijkswaterstaat.** (2017). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA)*. Rijkswaterstaat.
- Rosén, E., Stigson, H., & Sander, U.** (2011). *Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed*. Elsevier.
- Ruijs, K.** (2018, April 5). Het voorrangspolein door de ogen van de weggebruiker. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- RVV 1990.** (2017, Juli 01). *Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990*. wetten.overheid.nl.
- SWOV.** (2009). *De relatie tussen snelheid en ongevallen [SWOV-Factsheet]*. Leidschendam: SWOV.
- SWOV.** (2012). *De relatie tussen snelheid en ongevallen [SWOV-Factsheet]*. Leidschendam: SWOV.
- SWOV.** (2012). *Kwetsbare verkeersdeelnemers [SWOV-Factsheet]*. Leidschendam: SWOV.
- SWOV.** (2012, januari). *SWOV-factsheet, Rotondes*. Opgehaald van <https://www.swov.nl/feiten-cijfers/factsheet/rotondes>

- SWOV.** (2014). *Kruispunttypen [SWOV-Factsheet]*. Den Haag: SWOV.
- SWOV.** (2014). *Naar meer veiligheid op kruispunten*. Den Haag: SWOV.
- Tromp, H.** (2018, april 9). Het voorrangspelen volgens de grondlegger. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Tromp, H., & Andriesse, R.** (2012). Beter benutten van provinciale wegen, kan het ook sneller én veiliger? *Beter benutten van provinciale wegen, kan het ook sneller én veiliger?*, (p. 6).
- Tromp, J.** (1997). *Kantelen bij vrachtwagens*. Leidschendam: SWOV.
- Van Kampen, L.** (2000). *De invloed van voertuigmassa, voertuigtype en type botsing op de ernst van letsel*. Leidschendam: SWOV.
- Venhuizen, K.** (2018, maart 15). Uitgangspunten en ontwerpelementen. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Verhoeven, N.** (2011). *Wat is onderzoek?* Den Haag: Boom Lemma uitgevers.
- Verkeersnet.** (2012). Voorrangsplein wordt populair. *Verkeersnet*.
- Verkeersnet.** (2016). Voorrangsplein wint terrein. *Verkeersnet*.
- Vlug, S., & Dorgelo, G.** (2018, maart 13). Uitgangspunten en ontwerpelementen. (J. Reimink, & M. Wiersum, Interviewers)
- Weijermars, W., Bos, N., & Stipdonk, H.** (2014). *Lasten van verkeersletsel ontleed. Basis voor een nieuwe benadering van verkeersveiligheid*. Den Haag: SWOV.
- Winkel, B.** (2011). *Verkeerstellingen gemeente Stadskanaal*. Den Ham: Roelofs.

