

Veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten

Pilotstudie conflictanalyse op kruispunten met verkeerslichten

R-2022-18

SWOV



Auteurs



Dr. M. Nabavi Niaki



Ing. G. Schermers



S.E. Gebhard, MSc



Dr. ir. A. Dijkstra

Ongevallen **voorkomen**
Letsel **beperken**
Levens **redden**

Documentbeschrijving

| | |
|---------------------|--|
| Rapportnummer: | R-2022-18 |
| Titel: | Veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten |
| Ondertitel: | Pilotstudie conflictanalyse op kruispunten met verkeerslichten |
| Auteur(s): | Dr. M. Nabavi Niaki, ing. G. Schermers, S.E. Gebhard, MSc & dr. ir. A. Dijkstra |
| Projectleider: | Ing. G. Schermers |
| Projectnummer SWOV: | S22.04.C |
| Projectinhoud: | <p>SWOV wil beter inzicht krijgen in de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten en wil op termijn onderzoeken welke maatregelen mogelijk zijn om deze kruispunten structureel veiliger te maken voor alle verkeersdeelnemers. Dit rapport behandelt de voorbereidende stappen voor een dergelijk grootschalig SWOV-onderzoek. Deze verkennende studie, die in 2022 is uitgevoerd, bestond uit twee delen. In Deel 1 is geïnventariseerd wat er al bekend is uit de literatuur over belangrijke veilige kenmerken van VRI-kruispunten, aan welke kenmerken al aandacht wordt besteed in de ontwerprichtlijnen en over welke kenmerken er meer kennis uit onderzoek nodig is. Deel 2 is een pilotstudie in de praktijk om een methode voor conflictanalyse te testen voor bruikbaarheid in het (grootschalige) vervolgonderzoek naar VRI-kruispunten.</p> |
| Aantal pagina's: | 101 |
| Fotografen: | Paul Voorham (omslag) – Peter de Graaff (portretten) |
| Uitgave: | SWOV, Den Haag, 2022 |
| | Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat |

**De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is toegestaan met bronvermelding.**

SWOV – Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Bezuidenhoutseweg 62, 2594 AW Den Haag – Postbus 93113, 2509 AC Den Haag
070 – 317 33 33 – info@swov.nl – www.swov.nl

 [@swov_nl](https://twitter.com/swov_nl) / [@swov](https://twitter.com/swov)  [linkedin.com/company/swov](https://www.linkedin.com/company/swov)

Samenvatting

In Nederland vallen 31% van de verkeersdoden en 54% van de fietsdoden op kruispunten (periode 2015 t/m 2019).¹ Vanwege hun complexiteit en hoge verkeersbelasting horen kruispunten met een verkeersregelinstantie (VRI) tot de onveiligste kruispunten in Nederland.¹ Dit geldt niet alleen voor gemotoriseerd verkeer maar vooral ook voor kwetsbare verkeersdeelnemers. In de afgelopen jaren is er in Nederland echter weinig kwantitatief onderzoek gedaan naar verkeersveiligheid van VRI-kruispunten in relatie tot hun ontwerp en inrichting. Bij dergelijk onderzoek speelt mee dat alleen ongevallenstatistieken vaak onvoldoende inzicht geven, omdat de aantallen ongevallen per locatie vaak heel laag zijn en de registratie van vooral fietsongevallen onvolledig is.

SWOV wil beter inzicht krijgen in de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten en wil op termijn onderzoeken welke maatregelen mogelijk zijn om deze kruispunten structureel veiliger te maken voor alle verkeersdeelnemers. In een grootschalig, meerjarig onderzoek wil SWOV de belangrijkste veiligheidskenmerken van VRI-kruispunten identificeren en bouwstenen leveren voor een eventuele herziening van ontwerprichtlijnen. Door richtlijnen – en afwijkingen daarvan – met verkeersveiligheidskennis te onderbouwen wordt het beter mogelijk om verantwoorde keuzes te maken. Dit rapport behandelt de voorbereidende stappen in dit grootschalig SWOV-onderzoek. Deze verkennende studie, die in 2022 is uitgevoerd, bestond uit twee delen.

Doel van **Deel 1** was om een beeld te krijgen van wat er al bekend is uit de literatuur over belangrijke veilige kenmerken van VRI-kruispunten, aan welke kenmerken al aandacht wordt besteed in de ontwerprichtlijnen, en over welke kenmerken er meer kennis uit onderzoek nodig is. Ook is verkend op welke manier de veiligheid van kruispunten kan worden bepaald zonder (alleen) gebruik te maken van ongevallenstatistieken.

Deel 2 van dit onderzoek – een pilotstudie in de praktijk – had als doel om de gekozen meetmethode (uitkomst van **Deel 1**) te testen voor bruikbaarheid in vervolgonderzoek naar VRI-kruispunten op grotere schaal. Deze methode maakt gebruik van nieuwe videotecnologie die het optreden van conflicten ('bijna-ongevallen') tussen verkeersdeelnemers meet. Aangezien conflicten vaker voorkomen dan (ernstige) ongevallen zijn ze beter geschikt voor onderzoek op lokaal niveau.



1. SWOV (2022). *Rotondes en andere kruispunten*. SWOV-factsheet, juni 2022. SWOV, Den Haag.

Deel 1: Verkennende studie literatuur en ontwerprichtlijnen

Uit het literatuuronderzoek kwamen de volgende kruispuntkenmerken naar voren als relevant voor de veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op (VRI-)kruispunten:

| Kenmerken | Invloed op verkeersveiligheid |
|---|---|
| Aantal takken | Hoe meer kruispunttakken, hoe onveilig. |
| Middengeleiders en kanalisatie-eilanden | Deze verhogen de veiligheid. |
| Soort fietsvoorziening | De volgende fietsvoorzieningen verhogen de veiligheid in aflopende volgorde: 1. fietspad, 2. fietsstrook, 3. gedeelde rijstrook. Verkeerslichten voor fietsers, opgeblazen fietsopstelstroken (OFOS) en uitbuiging van het fietspad verbeteren de veiligheid. |
| Snelheidsremmers en Snelheidsdisplays | Deze verbeteren de veiligheid door de snelheid van motorvoertuigen te verlagen. |
| Wegmarkeringen | Wegmarkeringen zoals stoplijnen bij VRI's verbeteren de veiligheid. Een voorrangfietsersoversteekplaats met rode kleur vermindert de veiligheid. |
| Zebrapaden | Zebrapaden hebben een gemengd effect met in sommige studies een toename van het aantal ongevallen en in andere een vermindering van de letselerntst. |
| Bus-/tramhaltes en trambanen | Bus-/tramhaltes en tramlijnen verminderen de veiligheid van fietsers. |
| Parkeren op straat | Parkeren in de buurt van een kruispunt vermindert de veiligheid. |

De meeste van bovengenoemde kenmerken komen aan bod binnen de Nederlandse ontwerp-richtlijnen. Bij ongeveer de helft van deze kenmerken wordt in de richtlijn echter niet gesproken over relevantie voor veiligheid; bij de andere helft wordt veiligheid wel genoemd, maar wordt niet gerefereerd aan onderzoek om de richtlijnen te onderbouwen of om de veiligheidsconsequenties van bepaalde ontwerpkeuzes inzichtelijk te maken. Aangezien richtlijnen niet verplicht zijn, kan men ervoor kiezen daarvan af te wijken. Een onderbouwing van de relatie met verkeersveiligheid is daarom nodig om bij het ontwerp en inrichting verantwoorde keuzes te kunnen maken.

In een vergelijkbaar SWOV-onderzoek uit 2013 is ook al geconstateerd dat er weinig empirisch onderbouwde verkeersveiligheidskennis is opgenomen in de richtlijnen en dat voor een dergelijke onderbouwing op een aantal onderwerpen ook verder onderzoek nodig is. Deze beoordeling uit 2013 is voor dit verkennende onderzoek geactualiseerd en de lijst met onderzoeksonderwerpen is geprioriteerd op basis van de mate van invloed op de verkeersveiligheid – sommige kruispuntkenmerken hebben immers een groter effect op veiligheid dan andere. Kruispuntkenmerken/voorzieningen zijn bij deze prioritering als cruciaal voor verkeersveiligheid beoordeeld als deze:

- conflicten met ernstige afloop (ongevallen met letsel) vermijden, en/of
- een aanzienlijke ongevalsreductie opleveren.

Als we hiermee rekening houden, komen we tot de volgende vijf belangrijkste onderzoeks-onderwerpen (in alfabetische volgorde) waarover kennis nodig is om de Nederlandse richtlijnen voor kruispunten (beter) mee te onderbouwen:

- Aantal kruispunttakken
- Fietspaden
- Ongevallencijfers voor kruispunttypen
- Voorzieningen om conflicten op kruispunten te vermijden, ook voor langzaam verkeer
- Voorzieningen voor fietsers en voetgangers

Deel 2: Pilot praktijkonderzoek

Voor de pilotstudie zijn gedurende één week videobeelden opgenomen op drie VRI-kruispunten in Zuid-Holland:

1. Mauritskade/Denneweg/Frederikstraat, Den Haag:
Relatief klein binnenstedelijk kruispunt tussen een gebiedsontsluitingsweg met limiet 50 km/uur en een eenrichtings-erftoegangsweg met limiet 30 km/uur.
2. Calandstraat/Waldorpstraat, Den Haag:
Groter binnenstedelijk kruispunt tussen twee gebiedsontsluitingswegen (50 km/uur).
3. Eerste Tochtweg/Zuidelijke Dwarsweg, Nieuwerkerk aan den IJssel:
Groot kruispunt buiten de bebouwde kom met op het kruispunt een lokale limiet van 50 km/uur en op de takken verderop limieten van 80 km/uur, 60 km/uur en 50 km/uur.

De locaties zijn verschillend in de mate van complexiteit en gekozen om een verscheidenheid aan (VRI-)kruispuntsoorten te dekken. Bij alle drie locaties zijn in de periode 2010 t/m 2020 ongevallene geregistreerd, waarvan op de twee stedelijke kruispunten ook een aanzienlijk deel met letsel en/of betrokkenheid van een fietser.

De videobeelden zijn geanalyseerd met software die computervisie gebruikt om conflicten tussen verkeersdeelnemers vast te stellen. Een conflict is een situatie waarbij twee weggebruikers in botsing zouden zijn gekomen als de snelheid en rijrichting ongewijzigd waren gebleven. Conflicten zijn automatisch vastgesteld en de analyse leverde gegevens over verkeersintensiteit, classificatie van weggebruikers, conflicternst, en daarmee informatie om de conflictfrequentie te berekenen (aantal conflicten gedeeld door het aantal ontmoetingen).

Uit de pilotstudie komen onder andere de volgende observaties over **conflicten**:

- De software detecteerde de volgende typen conflicten: auto-auto, auto-fiets en fiets-fiets. Ook conflicten met voetgangers werden soms gedetecteerd, maar deze resultaten – en de voetgangersintensiteiten – bleken onvoldoende betrouwbaar te zijn.
- De hoogste fietsconflict-frequentie wordt gemeten op het kruispunt met de meeste fietsers en de laagste op het kruispunt met de minste fietsers. Dit lijkt logisch, maar geldt dus niet alleen in absolute zin, voor het *aantal* conflicten, maar ook voor het *aandeel* van de ontmoetingen dat als conflict is aangemerkt (de conflictfrequentie).

De pilotstudie laat het volgende zien wat betreft kruispunt**complexiteit**, uitgedrukt als 1) het aantal *ontwerp- en inrichtingselementen* of 2) het aantal **conflictpunten** van het kruispunt:

- De grotere kruispunten hebben een veel groter aantal ontwerp- en inrichtingselementen, maar hebben niet consequent een hogere conflictfrequentie. Een groter aantal **elementen** hoeft dus niet altijd te leiden tot een ‘moeilijker’ en onveiligere kruispunt.
- De grotere kruispunten hebben de meeste **conflictpunten** voor conflicten met auto’s, maar deze hangen niet eenduidig samen met de conflictfrequentie.
- Het kruispunt met de meeste **conflictpunten** voor fietsers blijkt wel de hoogste frequentie van conflicten met fietsers te hebben.

Discussie en aanbevelingen vervolgonderzoek

Ondanks de bovengenoemde interessante waarnemingen, was de pilotstudie niet bedoeld – en geschikt – om de drie pilotlocaties onderling te vergelijken. De bedoeling was vooral om de geautomatiseerde video-opname- en -analyse methode toe te passen en te toetsen in zo veel mogelijk verschillende (verkeers)situaties en om de verschillende ontwerp- en inrichtingselementen te inventariseren. Uiteindelijk wilden we immers bepalen of – en onder welke omstandigheden – de methode geschikt is voor het grootschaliger vervolgonderzoek naar de belangrijkste kruispuntkenmerken in relatie tot verkeersveiligheid.

Wat betreft **de methode** liggen de foutmarges in deze pilot (behalve voor voetgangers) binnen geaccepteerde marges voor dit soort van onderzoek. Daarom concluderen wij dat de toepaste methode voldoende inzicht biedt in de verkeersveiligheidsproblematiek, als het gaat om conflicten met fietsers en gemotoriseerde voertuigen. Voor het vervolgonderzoek gelden wel de volgende belangrijke aandachtspunten:

- *Positionering van de camera's*
De camerahoogte en -hoek hebben een effect op de kwaliteit van het beeld en uiteindelijk ook op het resultaat van de analyses, vooral als het gaat om verkeerstellingen. Het gebeurt bijvoorbeeld nog relatief vaak dat weggebruikers worden afgeschermd of anderszins niet worden waargenomen. Ook heeft de pilot laten zien dat er blinde vlekken zijn waar de software voor beeldanalyse niet goed mee omgaat. Het is aan te bevelen om óf meerdere camera's te gebruiken óf om vanaf grotere hoogte en direct boven het kruispunt de beelden vast te leggen.
Een andere optie is om deze methode te gebruiken voor onderzoek dat is toegespitst op bepaalde manoeuvres of delen van het kruispunt waarop de relevante trajecten wel volledig in beeld zijn te brengen.
- *Nauwkeurigheid van de automatische beeldherkenning*
Vooral bij voetgangers, en in iets mindere mate fietsers, liet de nauwkeurigheid van de verkeerstellingen wensen over. Ook is de automatische classificatie van verschillende soorten vervoerswijzen (auto, fiets, motor, voetganger enz.) niet altijd even goed, vooral als het gaat om verschillende soorten tweewielers en verschillende soorten motorvoertuigen. In volgende studies moeten daarom niet alleen een betere cameraposities worden gekozen (zie hierboven), maar moet ook herhaaldelijk worden gekalibreerd en gevalideerd, bijvoorbeeld met aanvullende tellingen. Ook kan ervoor gekozen worden om de te onderzoeken vervoerswijzen en de onderverdeling daarvan te beperken.
- *Logistieke aandachtspunten*
Het uploaden en verwerken van de videodata heeft in de pilot veel tijd gekost en uiteindelijk tot verlies van data geleid. Dit lag onder andere aan problemen met het data-uploadplatform. In het vervolgonderzoek zal dit anders moeten.

Wat betreft **de inhoud** van het vervolgonderzoek, is het verstandig om te kiezen uit de belangrijkste onderzoeksonderwerpen die uit **Deel 1** van dit onderzoek zijn voortgevloeid. Op deze onderwerpen is er immers nog onvoldoende kennis over de relatie met verkeersveiligheid. Om te beginnen wil SWOV focussen op onderzoek naar kenmerken binnen de volgende onderwerpen:

- Maatregelen en voorzieningen ter voorkoming ongevallen tussen motorvoertuigen onderling en met kwetsbare verkeersdeelnemers (bijv. verkeerseilanden, scheiding van het verkeer, verkorte oversteeklengtes, e.d.)
- Fietspaden bij kruispunten (bijv. uitbuigen vs. niet uitbuigen, een- vs. tweerichtings, e.d.)

Bij een eventuele herziening van de ontwerprichtlijnen zou nieuwe kennis op deze onderwerpen kunnen worden gebruikt voor onderbouwing of voor het inzichtelijk maken van de veiligheidsconsequenties wanneer van de richtlijnen wordt afgeweken.

Summary

Safety of vulnerable road users at signalised intersections; Pilot study conflict analysis at signalised intersections

In the period 2015-2019, 31% of road deaths and 54% of bicycle fatalities in the Netherlands occurred at intersections.² Due to their complexity and high traffic demand, signalised intersections are among the least safe intersections in the Netherlands.¹ This is not only true for motorised traffic but above all for vulnerable road users. In recent years, not much quantitative research has been done on the road safety of signalised intersections in relation to their design and layout. A factor in such research is that crash statistics alone rarely provide sufficient insight, because the numbers of crashes per location are often very low and the registration of bicycle crashes in particular is incomplete.

SWOV wants to gain a better insight into the safety of signalised intersections and, in time, also wants to investigate possible measures to make these intersections structurally safer for all road users. In a large-scale, multi-year study, SWOV aims to identify the most important safety features of signalised intersections and provide building blocks for a possible revision of design guidelines. Underpinning guidelines – and deviations from recommended guideline principles - with road safety knowledge will make it easier to make informed choices. This report deals with the preliminary steps in this large-scale SWOV study. The exploratory study, conducted in 2022, consisted of two parts.

The aim of **Part 1** was to get a picture of what the literature reveals about important safety features of signalised intersections, which features are already addressed in design guidelines, and about areas where more knowledge should be gained from research. We also explored ways to determine the safety of intersections without (only) using crash statistics.

Part 2 of this research - a pilot field study - aimed to test the chosen measurement method (outcome of **Part 1**) for usability in follow-up research on signalised intersections on a larger scale. This method uses new video technology that measures the occurrence of conflicts ('near crashes') between road users. Since conflicts occur more frequently than (serious) crashes, they are more suitable for research at the local level.



2. SWOV (2022). *Roundabouts and other intersections*. SWOV fact sheet, June 2022. SWOV, The Hague.

Part 1: Exploratory literature review and design guidelines

The literature review showed the following intersection features to be relevant to the safety of vulnerable road users at (signalised) intersections:

| Design features | Road safety effect |
|--|---|
| Number of approaches | The more approaches, the less safe. |
| Traffic channelisation islands | Increase safety. |
| Type of bicycle facility | The following bicycle facilities increase safety, in descending order: 1. bicycle track, 2. bicycle lane, 3. shared lane. Traffic lights for cyclists, bike boxes, and bicycle track deflection improve safety. |
| Physical speed reduction measures and speed displays | Improve safety by reducing the speed of motor vehicles. |
| Road markings | Road markings such as stop lines at traffic lights improve safety. A priority bicycle crossing with a high-contrast red road surface reduces safety. |
| Zebra crossings | Zebra crossings have a mixed effect, with some studies showing an increase in the number of crashes and others showing a reduction in injury severity. |
| Bus-/tram stops and tram tracks | Bus-/tram stops and tram tracks reduce cyclist safety. |
| On-street parking | Parking near an intersection reduces safety. |

Most of the above design features are covered by the Dutch road design guidelines. However, for about half of these features, the guidelines do not mention the relationship with traffic safety; for the other half, safety is mentioned, but no reference is made to research to substantiate the guidelines or to clarify the safety consequences of certain design choices. Since guidelines are not mandatory, deviations are possible. A substantiation of the relationship with road safety is therefore required to make responsible choices in design and layout.

A SWOV study from 2013 also found that the guidelines only include empirically substantiated road safety knowledge to a limited extent and that further research is needed for such substantiation on a number of topics. The 2013 assessment was repeated and updated for the present exploratory study and the list of research topics was prioritised based on the degree of their road safety effect - after all, some intersection features have a greater road safety effect than others. In this prioritisation, intersection features/facilities were assessed as critical for road safety if they:

- Avoid conflicts with serious outcomes (injury crashes) and/or
- Significantly reduce crashes.

Taking this into account, we derived the following five main research topics (in alphabetical order) on which knowledge is needed to (better) substantiate Dutch intersection guidelines:

- Number of intersection legs
- Bicycle tracks
- Crash rates per intersection type
- Provisions to avoid conflicts at intersections, including provisions for slow traffic
- Facilities for cyclists and pedestrians.

Part 2: Pilot field study

For the pilot study, video footage was recorded at three signalised intersections in the province of South Holland for one week:

1. Mauritskade/Denneweg/Frederikstraat, The Hague:
Relatively small urban intersection between a 50 km/h distributor road and a one-way 30 km/h access road.
2. Calandstraat/Waldorpstraat, The Hague:
Larger urban intersection between two distributor roads (50 km/h).
3. Eerste Tochtweg/Zuidelijke Dwarsweg, Nieuwerkerk aan den IJssel:
Large rural intersection with a local limit of 50 km/h at the intersection and limits of 80 km/h, 60 km/h and 50 km/h on the approaches before/after the intersection.

The locations differ in degree of complexity and were chosen to cover a variety of signalised intersection layouts. From 2010 to 2020, crashes were registered at all three locations, including a significant share of injury crashes and/or crashes involving cyclists at the two urban intersections.

The video footage was analysed with software that uses computer vision to identify conflicts between road users. A conflict is a situation in which two road users would have collided if the speed and direction of travel had not changed. Conflicts were automatically identified, and the analysis provided data on traffic volume, road user classification, conflict severity, and thus information to calculate the conflict frequency (number of conflicts divided by the number of encounters).

The pilot study came up with the following observations (among others) about **conflicts**:

- The software detected the following types of conflicts: car-car, car-bicycle and bicycle-bicycle. Sometimes, conflicts with pedestrians were also detected, but these results - and pedestrian volumes - proved to be insufficiently reliable.
- The highest frequency of bicycle conflicts was measured at the intersection with most cyclists and the lowest frequency at the intersection with fewest cyclists. This seems logical, but applies not only in absolute terms, to the *number* of conflicts, but also to the *share* of encounters classified as conflicts (the conflict frequency).

The pilot study shows the following in terms of intersection **complexity**, expressed as 1) the number of *design* and *layout elements* or 2) the number of **points of conflict**:

- The larger rural intersection had a much larger number of design and layout **elements**, but did not consistently have a higher conflict frequency. Thus, more **elements** did not necessarily lead to a more 'difficult' and less safe intersection.
- The two larger intersections have the most **points of conflict** for conflicts with cars, but these do not seem to correlate with conflict frequency.
- The smaller urban intersection with most **points of conflict** for cyclists does appear to have the highest frequency of conflicts with cyclists.

Discussion and recommendations follow-up study

Despite the abovementioned interesting observations, the pilot study was not intended - and suited - to compare the three intersections and get concrete results. The aim was mainly to apply and test the automated video recording and analysis method in as many different (traffic) situations as possible, and to take stock of the various design and layout elements. After all, we ultimately wanted to determine whether - and under what circumstances - the method would be suitable for the larger-scale follow-up research into the most important intersection features in relation to road safety.

Regarding the **method**, the error margins in this pilot (except for pedestrians) are within accepted margins for this type of study. Therefore, we conclude that the applied method provides sufficient insight into road safety issues when it comes to conflicts with cyclists and motorised vehicles. For follow-up research, the following important issues will be carefully considered:

- *Camera position*
Camera height and angle affect the image quality and ultimately the analysis results, especially when it comes to traffic counts. For example, it still happens relatively often that road users are shielded or otherwise not observed by the cameras. The pilot has also shown that there are blind spots that the image analysis software does not handle well. For future studies, it is recommended to either use multiple cameras or to capture images from a larger height and directly above the intersection. Another option is to use this method for research focusing on certain manoeuvres or parts of the intersection where the relevant trajectories can be fully viewed.
- *Accuracy of automated image recognition*
For pedestrians in particular, and to a slightly lesser extent for cyclists, the accuracy of traffic counts left much to be desired. Also, the automatic classification of different types of transport modes (car, bicycle, motorbike, pedestrian, etc.) is not always correct, particularly when it concerns different types of two-wheelers and different types of motor vehicles. In future studies, not only better camera positions (see above) should be chosen, but calibration and validation should also be repeated, e.g., with additional counts. The modes of transport and the subcategories to be examined could also be limited.
- *Logistical concerns*
During the pilot, uploading and processing the video data took a long time and eventually led to data loss. This was partly due to problems with the data upload platform. In the follow-up study, this problem will have to be solved.

Regarding the **content** of the follow-up research, it would be wise to choose from the main research topics that emerged from **Part 1** of this study. After all, there is still insufficient knowledge about the relationship between these topics and road safety. To start with, SWOV would like to focus on research into design features relating to the following topics:

- Measures and facilities to prevent crashes between motor vehicles and crashes with vulnerable road users (e.g., traffic islands, separation of transport modes, shortened crossing lengths, etc.).
- Bicycle tracks at intersections (e.g., deflection vs. no deflection, one- vs. two-way, etc.).

In a possible revision of the design guidelines, newly generated knowledge on these topics could be used to substantiate or provide insight into the safety consequences when deviating from the guidelines.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 14 |
| 1.1 | Doelstelling | 14 |
| 1.2 | Beleidscontext | 15 |
| 1.3 | Evaluatie van kruispuntveiligheid | 15 |
| 1.4 | Onderzoeksvragen | 16 |
| | DEEL 1 | 18 |
| 2 | Maten en meetmethoden voor kruispuntveiligheid | 19 |
| 2.1 | Maten voor kruispuntveiligheid | 19 |
| 2.1.1 | Ongevallendata | 19 |
| 2.1.2 | Conflicten en conflictmaten | 19 |
| 2.1.3 | Veiligheids- en complexiteitsscores | 21 |
| 2.2 | Methoden voor dataverzameling | 22 |
| 3 | Literatuurstudie kruispuntkenmerken | 24 |
| 3.1 | Afzonderlijke kenmerken van VRI-kruispunten | 25 |
| 3.1.1 | Aantal takken | 25 |
| 3.1.2 | Middengeleiders en kanalisatie-eilanden | 25 |
| 3.1.3 | Opstelstroken | 26 |
| 3.1.4 | Fietsvoorzieningen | 26 |
| 3.1.5 | Snelheidsremmers | 28 |
| 3.1.6 | Wegmarkeringen en zebra-paden | 28 |
| 3.1.7 | Locatie verkeerslichten | 29 |
| 3.1.8 | Bus-/tramhaltes en trambanen | 29 |
| 3.1.9 | Parkeren op straat | 29 |
| 3.2 | Kruispuntcomplexiteit | 29 |
| 3.2.1 | Aantal kruispuntelementen op VRI-kruispunten | 30 |
| 3.2.2 | Aantal conflictpunten | 31 |
| 4 | Kruispuntveiligheid in ontwerprichtlijnen | 33 |
| 4.1 | (VRI-)kruispuntkenmerken in Nederlandse richtlijnen | 34 |
| 4.1.1 | Aanwezigheid kruispuntkenmerken literatuurstudie | 34 |
| 4.1.2 | Aanwezigheid kruispuntkenmerken INTERSAFE | 37 |
| 4.1.3 | Belangrijkste onderzoeksonderwerpen en -vragen voor kruispunten | 39 |
| 4.2 | VRI-kenmerken in Duitse richtlijnen | 42 |
| 4.2.1 | Richtlijn voor wegen buiten de bebouwde kom (RAL) | 42 |
| 4.2.2 | Richtlijn voor straten binnen de bebouwde kom (RASt) | 46 |
| 4.2.3 | Beoordeling van de Duitse richtlijnen RAL en RASt | 48 |
| 4.3 | Onderzoeksonderwerpen op basis van beoordeling richtlijnen | 49 |

| | |
|---|------------|
| DEEL 2 | 50 |
| 5 Opzet pilotstudie | 51 |
| 5.1 Selectie onderzoekslocaties | 51 |
| 5.2 Selectie bedrijven voor video-opname en -beeldanalyse | 53 |
| 5.3 Vastleggen videobeelden | 54 |
| 5.4 Data-upload | 54 |
| 5.5 Kalibratie videocamerabeelden | 55 |
| 5.6 Geautomatiseerde analyse van videodata | 56 |
| 5.7 Validatie van de geautomatiseerde verkeerstelling | 58 |
| 6 Resultaten pilotstudie | 60 |
| 6.1 Mauritskade | 60 |
| 6.1.1 Intensiteit | 61 |
| 6.1.2 Complexiteit: aantal conflictpunten | 62 |
| 6.1.3 Complexiteit: aantal elementen | 62 |
| 6.1.4 Gemeten aantal conflicten | 64 |
| 6.2 Calandstraat | 64 |
| 6.2.1 Intensiteit | 65 |
| 6.2.2 Complexiteit: aantal conflictpunten | 65 |
| 6.2.3 Complexiteit: aantal elementen | 66 |
| 6.2.4 Gemeten aantal conflicten | 67 |
| 6.3 Eerste Tochtweg | 67 |
| 6.3.1 Intensiteit | 68 |
| 6.3.2 Complexiteit: aantal conflictpunten | 68 |
| 6.3.3 Complexiteit: aantal elementen | 69 |
| 6.3.4 Gemeten aantal conflicten | 71 |
| 6.4 Resultaten drie kruispunten samengevat | 71 |
| TOT SLOT | 74 |
| 7 Samenvatting, discussie en conclusies | 75 |
| 7.1 Deel 1: Literatuurstudie en ontwerprichtlijnen | 75 |
| 7.1.1 Resultaten | 75 |
| 7.1.2 Discussie | 78 |
| 7.2 Deel 2: Pilotstudie video- en complexiteitsanalyse | 79 |
| 7.2.1 Resultaten | 79 |
| 7.2.2 Discussie | 80 |
| 7.2.3 Conclusies videoanalysemethode | 81 |
| 7.3 Conclusies | 81 |
| 7.4 Leerpunten voor het vervolg | 82 |
| 8 Vervolgstappen en onderzoeksplan | 84 |
| Literatuur | 86 |
| Bijlage A Beoordeling Nederlandse Richtlijnen | 96 |
| Bijlage B Beoordeling Duitse richtlijnen RAL en RASt | 100 |

1 Inleiding

Kruispunten met een verkeersregelinstallatie (VRI-kruispunten) horen vanwege hun complexiteit en hoge verkeersbelasting tot de onveiligste kruispunten in Nederland. Dit geldt niet alleen voor gemotoriseerd verkeer maar vooral ook voor kwetsbare verkeersdeelnemers. SWOV wil onderzoek doen naar de achterliggende infrastructurele problemen die samenhangen met de onveiligheid van fietsers en voetgangers bij VRI-kruispunten. Het onderzoek beschreven in dit rapport is daarvan een eerste verkenning.

Vanwege de verschillende verkeersdeelnemers, vele verkeersinteracties en verschillende rijrichtingen op gelijkvloerse kruispunten is de kans op ontmoetingen met grote verschillen in snelheid, massa en richting groot. De mogelijkheid om maatregelen te treffen is beperkt en het is moeilijk om de verschillende verkeersdeelnemers fysiek in ruimte of tijd van elkaar te scheiden. Deze inherente onveiligheid van kruispunten uit zich dan ook in een relatief hoog aandeel van alle verkeersongevallen en -slachtoffers, met name onder voetgangers en fietsers. In Nederland vallen 31% van alle verkeersdoden en 54% van de verkeersdoden onder fietsers op kruispunten (periode 2015-2019; SWOV, 2022b). Ook uit internationaal onderzoek blijkt dat er een bijna 50% hogere kans is op een fietsongeval op een kruispunt dan op wegvakken (Corben et al., 2010; Kullgren et al., 2019; Meuleners et al., 2020). Vanwege de hogere verkeersintensiteiten is het verkeersveiligheidsprobleem vooral evident bij kruispunten met een verkeersregelinstallatie (VRI) (SWOV, 2022b). In de afgelopen jaren is er in Nederland relatief weinig kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar systematische en structurele oplossingen voor de verkeersveiligheidsproblemen bij VRI-kruispunten. Tegelijkertijd stijgt het aantal ongevallen op kruispunten de afgelopen jaren, net als het aantal ongevallen onder fietsers.

1.1 Doelstelling

SWOV wil beter inzicht krijgen in de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten en onderzoeken welke maatregelen mogelijk zijn om deze kruispunten structureel veiliger te maken, in het bijzonder voor kwetsbare weggebruikers. In een grootschalig, meerjarig onderzoek wil SWOV de belangrijkste veiligheidskenmerken van VRI-kruispunten identificeren en bouwstenen leveren voor een eventuele herziening van ontwerprichtlijnen. Dit rapport behandelt de voorbereidende stappen in dit grootschalige onderzoek. Deze verkennende studie, die in 2022 is uitgevoerd, bestond uit twee delen.

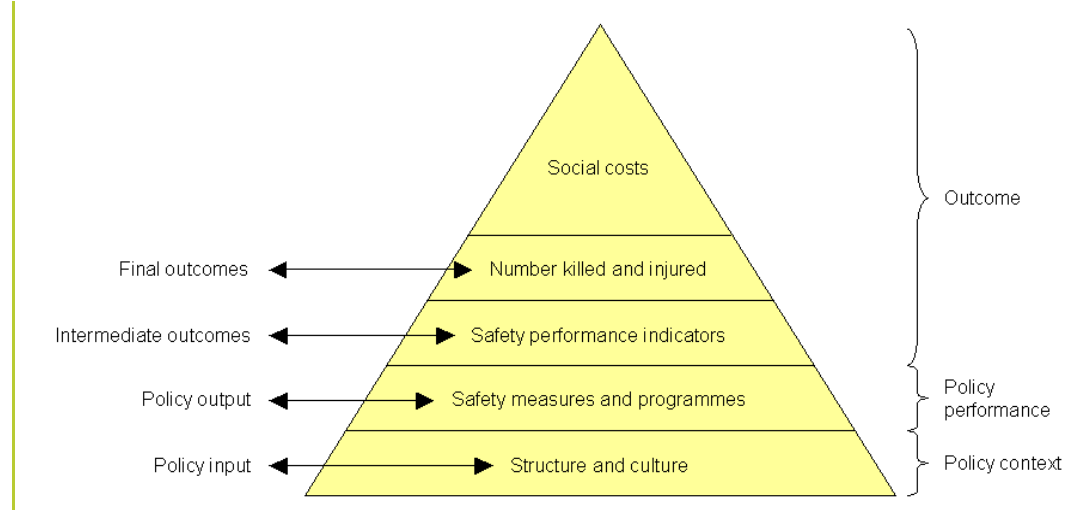
Doel van **Deel 1** was om een beeld te krijgen van wat er al bekend is uit de literatuur over belangrijke veilige kenmerken van VRI-kruispunten, aan welke kenmerken al aandacht wordt besteed in de ontwerprichtlijnen, over welke kenmerken we in vervolgonderzoek meer te weten willen komen, en hoe de veiligheid van kruispunten kan worden bepaald.

Deel 2 van dit onderzoek – een pilotstudie in de praktijk – had als doel om de gekozen meetmethode (uitkomst van **Deel 1**) te testen voor bruikbaarheid in vervolgonderzoek naar VRI-kruispunten op grotere schaal.

1.2 Beleidscontext

Verkeersveiligheid wordt vaak afgemeten aan ongevallen of slachtoffers: in absolute aantallen of gecorrigeerd voor bijvoorbeeld expositie (risico's). Het gaat dan om de zogeheten 'einduitkomsten' van het verkeersveiligheidsproces (zie *Afbeelding 1.1*). Ook de 'tussenuitkomsten' kunnen een goede indruk geven van het verkeersveiligheidsniveau. Dit zijn indicatoren die direct zijn gerelateerd aan het aantal ongevallen, de zogeheten Safety Performance Indicators (SPI's). Voorbeelden daarvan zijn gereden snelheden, (on)veilig verkeersgedrag, (on)veilige infrastructuur, of andere 'surrogaatmaten'.

Afbeelding 1.1. De verkeersveiligheidspiramide (Koornstra et al., 2002)



In verkeersveiligheidsbeleid kan worden gestuurd op zowel de einduitkomsten als de tussenuitkomsten (*Afbeelding 1.1*). In het eerste geval wordt gekeken naar ongevallen die reeds zijn gebeurd – een reactieve aanpak. Beleid dat ontwikkelingen in belangrijke indicatoren monitort en daarop stuurt, volgt een proactieve aanpak: acties worden ondernomen vóórdat er ongevallen gebeuren.

De veiligheidsevaluatie en het structureel veiliger maken van VRI-kruispunten is binnen deze beleidscontext te plaatsen.

1.3 Evaluatie van kruispuntveiligheid

De veiligheid van kruispunten kan in principe worden bepaald op zowel het niveau van ongevallen en risico's, als het niveau van veiligheidsindicatoren. In het eerste geval kan voor specifieke kruispunten een traditionele *ongevallenanalyse* worden gedaan.

Wanneer de veiligheid van kruispunten wordt geëvalueerd op basis van *veiligheidsindicatoren*, is te denken aan 'surrogaatmaten' zoals onveilige interacties of conflicten (in *Hoofdstuk 2* wordt hier verder op ingegaan). De definitie van een conflict is een situatie waarbij twee weggebruikers in botsing zouden komen als hun snelheid en rijrichting ongewijzigd zouden blijven (Amundsen & Hyden, 1977).

Een ander voorbeeld van een veiligheidsindicator zou een 'veiligheidsscore' voor veilige infrastructuur zijn – in dit geval kruispuntontwerp en -inrichting. Bij een dergelijke veiligheidsscore worden 'kritische' ontwerp- en inrichtingselementen van een kruispunt geïnventariseerd en gescoord: kenmerken die belangrijk zijn voor de veiligheid van kruispunten. Voorbeelden van dergelijke veiligheidsscores zijn de IRAP Road Protection Scores voor wegen (iRAP, 2009) en ook de factsheet met risicofactoren die in Nederland in ontwikkeling is (Kennissetwerk SPV, 2019).

Voorwaarde voor een dergelijke veiligheidsscore is wel dat bekend is welke ontwerp- en inrichtingselementen de belangrijkste ('kritisch') zijn. Voor VRI-kruispunten is dat vooralsnog niet goed bekend; dit is onderwerp van deze meerjarige SWOV-studie.

Zowel kruispuntevaluaties op basis van ongevallen als die op basis van surrogaatmaten zullen moeten worden aangevuld met andere data zoals verkeerstellingen, snelheden en gegevens over de inrichting van het kruispunt. Alleen dan kan inzicht gegeven worden in expositie, risico's en de eventuele relatie met verschillende – mogelijk kritische – kruispuntelementen.

Kruispuntelementen zijn behalve afzonderlijk, uiteraard ook in combinatie belangrijk voor de verkeersveiligheid. Ze kunnen enerzijds tot een beter geregeld, maar anderzijds ook tot een complexer ('moeilijker') kruispunt leiden. Een 'complexiteitsscore' zou daarom een andere mogelijke indicator kunnen zijn. Het aantal aanwezige elementen (bijv. fiets-/voetgangervoorzieningen, maar ook inrichting als markering en borden) vormt dan een maat voor de complexiteit. Een andere maat die vaak voor de complexiteit gebruikt wordt is het aantal mogelijke conflictpunten: dat wil zeggen punten op het kruispunt waar de rij- of looplijnen (trajecten) van verschillende verkeersdeelnemers elkaar kunnen kruisen. Bij beide conflictmaten is de veronderstelling dat meer conflictpunten of kruispuntelementen tot meer complexiteit leiden, wat de taakbelasting hoger kan maken (onveilig).

1.4 Onderzoeksvragen

Welke kruispuntelementen belangrijk zijn voor de veiligheid op VRI-kruispunten, in hoeverre de richtlijnen daaraan al aandacht besteden, en over welke kruispunteigenschappen we in vervolgonderzoek meer te weten willen komen, vormen het onderwerp voor deze verkenning. Ook willen we weten welke verkeersveiligheidsmaten geschikt zijn om de veiligheid van VRI-kruispunten in Nederland op grote schaal te evalueren en welke methoden daarvoor beschikbaar zijn. Voor **Deel 1** van dit onderzoek (*Hoofdstukken 2 t/m 4*) zijn daarom onderstaande onderzoeksvragen opgesteld:

1. Verkennende studie van literatuur en richtlijnen

- a. Wat is een gepaste risicomaat voor VRI-kruispunten? (*Hoofdstuk 2*)
- b. Welke methoden worden gebruikt voor veldonderzoek naar VRI-kruispuntveiligheid? (*Hoofdstuk 2*)
- c. Wat zijn voor verkeersveiligheid in het algemeen, en voor kwetsbare verkeersdeelnemers specifiek, de belangrijkste ontwerp- en inrichtingseisen bij VRI-kruispunten? (*Hoofdstuk 3*)
- d. Welke verkeersveiligheidseisen worden in de richtlijnen gesteld aan VRI-kruispunten? (*Hoofdstuk 4*)

Vooruitlopend op uitgebreide beantwoording van de eerste twee onderzoeksvragen (zie *Hoofdstuk 2*), vermelden we hier alvast dat in **Deel 2** – de pilotstudie – ervoor is gekozen om het (relatieve) aantal conflicten tussen verkeersdeelnemers te meten op basis van geautomatiseerde videobeeldanalyses. In de pilot is deze methode getest voor bruikbaarheid in onderzoek op grotere schaal. Voor **Deel 2** zijn daarom de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

2. Pilot praktijkonderzoek

- a. Wat is het veiligheidsniveau voor alle weggebruikers op een aantal VRI-kruispunten van gevarieerde complexiteit op basis van informatie over snelheid, conflicten en trajecten?
- b. Is deze videoanalysemethode geschikt om de effecten van kritische ontwerpelementen op verkeersveiligheid, ook van fietsers en voetgangers, te onderzoeken?
- c. Kan deze methode toegepast worden op zowel kleine/eenvoudige als grotere/complexere kruispunten?

Het tweede deel van dit rapport bespreekt de opzet (*Hoofdstuk 5*) en de resultaten (*Hoofdstuk 6*) van deze pilotstudie.

Voor beide delen volgt in *Hoofdstuk 7* een samenvatting en bespreking van alle resultaten, alsook de conclusies van dit verkennende onderzoek. Tot slot is in *Hoofdstuk 8* een plan opgezet voor het vervolgonderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten.
(ERSF, 1996; Schermers et al., 2013)

DEEL 1

2 Maten en meetmethoden voor kruispuntveiligheid

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag welke verkeersveiligheidsmaten geschikt zijn om de veiligheid van VRI-kruispunten in Nederland te evalueren (*Paragraaf 2.1*) en welke methoden beschikbaar zijn om de gegevens daarvoor in te winnen (*Paragraaf 2.2*).

2.1 Maten voor kruispuntveiligheid

De veiligheid van kruispunten kan worden bepaald op het niveau van ongevallen en slachtoffers of van veiligheidsindicatoren. In het eerste geval kijken we naar ongevalldata (*Paragraaf 2.1.1*), in het tweede geval naar indicatoren of ‘surrogaatmaten’ zoals conflicten (*Paragraaf 2.1.2*) of ‘scores’ op basis van ontwerp en inrichting van de aanwezige infrastructuur (*Paragraaf 2.1.3*).

2.1.1 Ongevalldata

Gegevens over ongevallen zijn vaak verkregen uit politierapporten, ambulance- en ziekenhuisgegevens en in sommige gevallen van verzekeringsfirma’s of uit zelf gerapporteerde ongevallen in online-enquêtes. Hoewel ongevalgegevens nog steeds veel wordt gebruikt, kennen ze verschillende beperkingen. Ongevalgegevens bevatten namelijk geen gedetailleerde informatie over de gebeurtenissen voorafgaand aan het ongeval; er zitten verschillen in de interpretatie en vastlegging van ongevalgegevens door verschillende agenten; niet alle ongevallen worden geregistreerd (vooral niet de minder ernstige en die zonder betrokkenheid van motorvoertuigen); en ook de exacte locatie van het ongeval wordt niet goed vastgelegd.

Als we naar een selectie van (kruispunt)locaties kijken, speelt naast de bovengenoemde beperkingen, ook ‘het probleem van de kleine aantallen’. Aangezien ongevallen niet heel vaak voorkomen, zijn er meestal onvoldoende gegevens om betrouwbare – statistisch gefundeerde – conclusies te kunnen trekken. In sommige gevallen moeten vele jaren aan ongevalgegevens worden samengenomen om de veiligheid op een locatie te kwantificeren. Op die manier zouden we echter voorbijgaan aan wijzigingen in infrastructuur en veranderingen in verkeersgedrag die er in deze periode zijn geweest (Alsop & Langley, 2001; Amoros, Martin & Laumon, 2006).

2.1.2 Conflicten en conflictmaten

Alternatief voor slachtoffer- en ongevalgegevens zijn indicatoren die sterk verband houden met de verkeersveiligheid. Surrogaatmaten (‘surrogate safety measures; SSM), meten geen ongevallen maar bijna-ongevallen of ‘conflicten’ tussen verkeersdeelnemers, en geven op die manier een indruk van de veiligheid van een locatie. De definitie van een conflict is een situatie waarbij twee weggebruikers in botsing zouden zijn gekomen als de snelheid en rijrichting ongewijzigd waren gebleven (Amundsen & Hyden, 1977). Conflicten hebben dezelfde onderliggende oorzaak als (ernstige) ongevallen maar komen vaker voor; hun ‘statistische massa’ is daarom beter geschikt voor onderzoek (Zheng, Ismail & Meng, 2014).

Afbeelding 2.1 illustreert de theorie achter het gebruik van conflicten als alternatief voor ongevalanalyses (Hyden, 1987). Deze methode is sinds medio 1970 populair geworden voor verkeersveiligheidsanalyses. Aan de basis van de piramide bevindt zich het merendeel van het

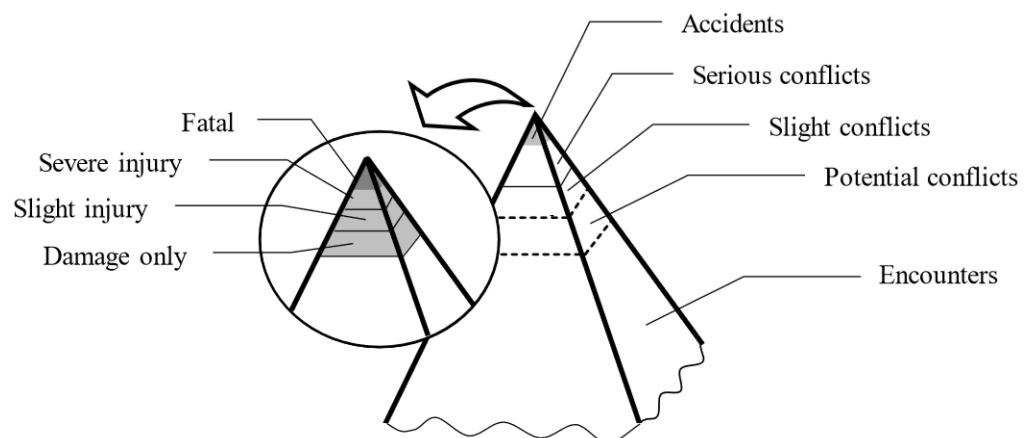
verkeer, dat elkaar weliswaar ontmoet, maar verder ongehinderd aan het verkeersproces deelneemt. Direct daarboven heb je een kleiner aandeel verkeer dat te maken krijgt met kleine verstoringen, de bijna-conflicten. Een klein deel hiervan is ernstiger (conflict), een nog kleiner aandeel ernstig (bijna-ongeval), en het kleinste aandeel, het topje van de piramide, eindigt in een ongeval.

Ook binnen de groep ongevallen is de verdeling vergelijkbaar: de onderkant bevat het grootste deel van de ongevallen, die met uitsluitend materiële schade, en het topje helemaal bovenaan bevat het kleinste aandeel ongevallen: die met dodelijke afloop.

Afbeelding 2.1 maakt ook inzichtelijk dat het observeren van SSM een goed alternatief kan zijn voor verkeersongevallen. Door observatie van SSM (zoals conflicten) kijken we ‘lager in de piramide’, waarmee het probleem van te kleine aantallen (ongevallen) verholpen kan worden. Om dit verder te onderbouwen zijn er studies geweest die zowel naar het aantal conflicten als naar het aantal ongevallen kijken. In verschillende studies is daarbij wel een relatie gevonden (Amundsen & Hyden, 1977; Migletz, Glauz & Bauer, 1985; Peesapati, Hunter & Rodgers, 2013), maar in andere studies niet (zie de literatuurstudie van (Zheng, Ismail & Meng, 2014). Dit heeft onder andere te maken met kwaliteit van gegevens (vooral over ongevallen), met verschillende observatieperioden voor ongevallen (meerdere jaren) en conflicten (korte observaties), en met de manier waarop conflicten worden gemeten (Zheng, Ismail & Meng, 2014).

Over het geheel genomen, concluderen we dat conflicten een geschikte surrogaatmaat voor ongevallen zijn.

Afbeelding 2.1. Hyden's Conceptual safety pyramid (Hyden, 1987)



Conflicten kunnen bijvoorbeeld in het verkeer (veldonderzoek) worden geteld of worden geschat uit een microsимулатie (bijv. het SSAM model van de Federal Highway Administration). Waar conflicten kwantitatief worden bepaald, wordt gebruikgemaakt van verschillende conflictmaten en drempelwaarden. Conflictmaten uitgedrukt in tijd (“temporal proximity measures”) zoals de ‘time-to-collision’ en ‘post-encroachment time’ worden het vaakst gebruikt, ook binnen verschillende soorten studies (Arun et al., 2021). Met deze indicatoren wordt gemeten hoe dichtbij een botsing twee voertuigen kwamen, uitgerekend in tijd (seconden). Er zijn ook andere soorten indicatoren van conflicten, zoals kinetische indicatoren op basis van deceleratie of subjectieve conflicten (bijna-botsingen) zoals waargenomen door observanten. Verschillende maten van conflicten en hun toepassingen zijn samengevat in een literatuuronderzoek van (Arun et al., 2021) en bevatten:

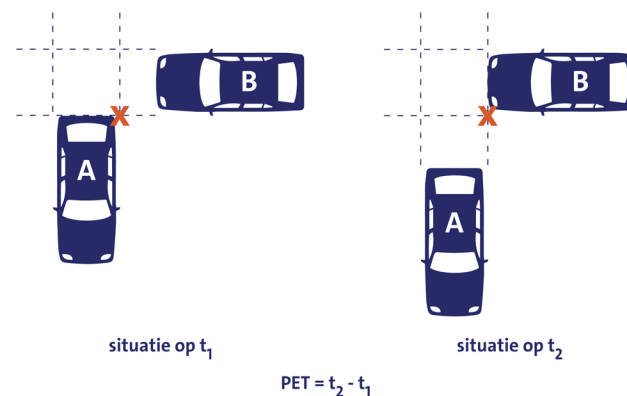
- Tijdelijke conflictmaten:
 - Time-to-collision (TTC) en “modified TTC”;
 - Post-encroachment time (PET).

- Ruimtelijke conflictmaten:
 - Proportion of stopping distance (PSD): verhouding tussen de resterende afstand tot de mogelijke conflictpunt en de acceptabele minimum stopafstand;
 - Potential index for collision with urgent deceleration (PICUD): afstand tussen twee opeenvolgende voertuigen wanneer ze volledig tot stilstand komen tijdens een noodremming.
- Kinetische conflictmaten:
 - Overschrijding van een drempelwaarde voor maximum deceleratie;
 - Overschrijding van een drempelwaarde voor maximum deceleratie óf acceleratie;
 - Minimum benodigde deceleratie om een botsing te voorkomen.
- Gecombineerde conflictmaten, zoals:
 - Aggregated crash propensity metric;
 - Bijna-botsingen (zoals waargenomen door conflictwaarnemers);
 - Combinaties van individuele indicatoren (bijv. TTC samen met maximum vertraging).

In onze analyse zullen wij de TTC en PET, indicatoren die vaak samen worden gebruikt om conflicten tussen twee weggebruikers en de ernst van hun interactie te identificeren. De TTC – time-to-collision – is de tijd die twee verkeersdeelnemers nodig hebben om met elkaar in botsing te komen als hun beweging en snelheid ongewijzigd blijven. De PET – post-encroachment time – is de tijd die een verkeersdeelnemer nodig heeft om het conflictpunt te verlaten en de tweede verkeersdeelnemer om aan te komen (zie *Afbeelding 2.2*). Hoe dichter de waarden van TTC en PET bij nul liggen, hoe ernstiger het conflict is.

Paragraaf 2.2 gaat verder in de op de methoden die beschikbaar zijn om deze data te verzamelen.

Afbeelding 2.2. Illustratie van de post-encroachment time (PET): het aantal seconden tussen het moment dat weggebruiker 'A' de baan van weggebruiker 'B' verlaat (t_1 , links) en het moment waarop 'B' de baan van 'A' bereikt (t_2 , rechts) (Kraay & Van der Horst 1988).



2.1.3 Veiligheids- en complexiteitsscores

Naast ongevalanalyses of conflictobservaties, zijn er ook methoden die de veiligheid van wegen en kruispunten uitdrukken puur op basis van ontwerp en inrichting van die locaties. Ze zijn gericht op het identificeren van zogenaamde latente ontwerp- en inrichtingsdefecten en hebben als doel om toekomstige ongevallen te voorkomen. Een aantal van die methoden is gebaseerd op een onafhankelijke expertbeoordeling (bijvoorbeeld verkeersveiligheidsaudits en -inspecties) (Belcher, Proctor & Cook, 2008; Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2011) terwijl andere gebruikmaken van een beoordeling van (een combinatie van) infrastructuurkenmerken die een bewezen relatie hebben met verkeersveiligheid en iets zeggen over de veiligheid van het ontwerp. Voorbeelden daarvan zijn de Road Protection Score (iRAP, 2013), de DV-meter (Houwing, 2003; Van der Kooi & Dijkstra, 2000), en ProMeV (Aarts, Dijkstra & Bax, 2014; Bax et al., 2017).

Bij dergelijke beoordelingen wordt voor een set belangrijke ('kritische') ontwerp- en inrichtingselementen gekeken of ze aanwezig zijn, en of ze voldoen aan de veiligheidsnormen. Verkeersveiligheidsaudits (VVA) en verkeersveiligheidsinspecties (VVI) worden formeel vastgelegd in een rapport met uitspraken over alle afwijkingen en defecten. De beoordeling van (combinaties van) kenmerken wordt vaak uitgedrukt in een 'veiligheidsscore' en wordt gebruikt

bij het monitoren van de kwaliteit van het wegenetwerk, zoals in RISM (European Commission, 2008; 2018) en nu ook het SPV (<https://www.kennisnetwerkspv.nl/>).

Een veiligheidsscore op basis van kritische ontwerp- en inrichtingselementen is voornamelijk niet geschikt om de veiligheid van VRI-kruispunten in Nederland te bepalen, aangezien nog niet voldoende bekend is welke elementen het belangrijkst zijn voor de veiligheid op VRI-kruispunten. Er ontbreekt met name nog veel kennis als het gaat om de veiligheid van kruispunten voor (veel) fietsers en voetgangers. In deze meerjarige studie wil SWOV de relatie tussen kruispuntkenmerken en onveiligheid juist onderzoeken (zie *Paragraaf 1.4*). De kennis die dit onderzoek oplevert zou in de toekomst wel kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van een dergelijke veiligheidsscore voor VRI-kruispunten.

In het SWOV-onderzoek naar de samenhang tussen kenmerken en veiligheid van VRI-kruispunten willen we de veiligheid voornamelijk bepalen aan de hand van het (relatief) aantal conflicten (zie *Paragraaf 2.1.2*). In deze pilotstudie naar de bruikbaarheid van die methode wordt dus niet gekeken naar het verband tussen afzonderlijke kruispuntelementen en veiligheid. Wel besteden we aandacht aan het aspect 'complexiteit', door kruispunten van verschillende complexiteit als pilotlocatie te selecteren. Het idee is dat een 'complexiteitscore' ook een mogelijke veiligheidsmaat zou kunnen zijn: hoe complexer ('moeilijker') het kruispunt, hoe onveiliger het zou zijn.

De complexiteit kan in verschillende maten worden uitgedrukt. Op basis van de literatuur gebruiken we in dit onderzoek twee complexiteitsmaten voor kruispunten: 1) het aantal conflictpunten, en 2) het aantal ontwerp- en inrichtingselementen op het kruispunt.

De eerste maat, gebaseerd op conflictpunten, is de oudste en bekendste, en houdt in dat het kruispunt complexer is naarmate er meer conflictpunten zijn (Kekez et al., 2022; SWOV, 2022b). Conflictpunten zijn daarbij alle punten waar de rij- of looplijnen (trajecten) van weggebruikers elkaar kruisen, ongeacht of ze in tijd worden gescheiden door bijvoorbeeld de verkeersregeling. Wanneer bijvoorbeeld de doorgaande beweging op de hoofdtak groen heeft, en de zijtak rood, neemt dat niet weg dat een dwarsconflict kan ontstaan als er door rood wordt gereden.

De tweede complexiteitsmaat beschouwt kruispunt-complexiteit vanuit het aantal aanwezige ontwerp- en inrichtingskenmerken zoals bijvoorbeeld, het aantal takken, aantal rijstroken per tak, aantal en type opstelstrook, aantal en type voorzieningen voor fietsers en voetgangers, aantal verkeerslichten, aantal verschillende wegmarkeringen, bebording, voorzieningen voor openbaar vervoer, enzovoort. In principe geldt ook hier dat een groter aantal fysieke elementen leidt tot een complex kruispunt. Dit verband wordt echter niet door alle onderzoeken onderbouwd. Sommige onderzoeken laten zien dat meer kenmerken juist leiden tot een betere geleiding van het verkeer en beter gedrag van de verkeersdeelnemer (Dijkstra, 2014a; Nabavi Niaki, Wijlhuizen & Dijkstra, 2021), terwijl andere studies aantonen dat meer kenmerken zorgen voor een (te) hoge (rij)taakbelasting, wat kan leiden tot het nemen van gevaarlijke beslissingen (Kircher & Ahlström, 2020; Richard & Lichty, 2013; Werneke & Vollrath, 2012).

2.2 Methoden voor dataverzameling

Om data over het optreden van conflicten te verzamelen, zijn er volgens de onderzoeksliteratuur verschillende methoden toegepast (Arun et al., 2021):

- Veldonderzoek:
 - handmatige observaties (live of met videobeelden);
 - automatische herkenning van conflicten op basis van videobeelden;
 - naturalistisch rijonderzoek/voertuiginstrumentatie.

- Simulatie:
 - microsimulatie met software
 - rijsimulatie met medewerking van een proefpersoon
- Anders:
 - onderzoek op een testbaan;
 - theoretisch onderzoek.

Omdat microsimulatiestudies meestal niet (voldoende) rekening (kunnen) houden met niet-gemotoriseerd verkeer en ook minder gedetailleerde ontwerpaspecten meenemen (Mahmud et al., 2019), zijn die minder geschikt voor deze SWOV-studie met aandacht voor de veiligheid van fietser en voetganger en de relatie met kruispuntelementen. Ook het gebruik van voertuig-instrumentatie in naturalistisch rijonderzoek is meer gericht op het gedrag van een vaak beperkt groep bestuurders op hele trajecten in plaats van op het gedrag van heel veel gebruikers op één locatie (Zheng, Ismail & Meng, 2014).

Om conflicten te bestuderen op een bestaande locatie zoals een VRI-kruispunt, komen handmatige observatie en automatische herkenning van conflicten op basis van videobeelden naar voren als de meest gebruikte methoden in de literatuur. Terwijl menselijke waarnemers mogelijk het gevaar van een complexe situatie beter kunnen inschatten vergeleken met objectieve maten, zijn er zorgen wat betreft de reproduceerbaarheid, consistentie en arbeidsintensiviteit van handmatige observatie (Zheng, Ismail & Meng, 2014). Mensen zijn immers minder snel dan computers en kunnen sommige conflicten over het hoofd zien of verschillend inschatten. De laatste jaren zijn computervisietechnieken steeds beter geworden in het herkennen en meten van verkeersgedrag (Faure et al., 2021; Miah et al., 2021; Perreault et al., 2021). Voor dit onderzoek is daarom gekozen voor geautomatiseerde videobeeldanalyse.

Om computervisie toe te kunnen passen op videobeelden, is het nodig dat de beelden voldoen aan bepaalde eisen. Zo moet het beeld bijvoorbeeld een voldoende hoge resolutie hebben met voldoende contrast om objecten te kunnen identificeren. Traditionele RGB-camera's zijn het meest gebruikelijk en verkrijgbaar (Laureshyn & Várhelyi, 2020). Door hun hoge resolutie en kleursensoren kunnen objecten (voertuigen) makkelijker geïdentificeerd worden. RGB-camera's hebben echter veel moeite met minder ideale omstandigheden; donker, schaduwen, schittering en slecht weer kunnen allemaal leiden tot onbruikbare beelden. Naast RGB-camera's kunnen ook warmtecamera's of lidar gebruikt worden (detectie en plaatsbepaling m.b.v. laser).

Tabel 2.1 Plus- en minpunten van videotecnologie

| Apparaat | Pluspunten | Minpunten |
|---------------|--|--|
| RGB-camera | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Textuur en kleurinformatie helpt bij object-identificatie (Wei et al., 2018) ➤ Hoge resolutie (Laureshyn & Várhelyi, 2020) ➤ Lage prijs (Laureshyn & Várhelyi, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Niet geschikt voor condities met minder licht, schaduw, regen enz. (Laureshyn & Várhelyi, 2020) ➤ Persoonskenmerken moeten worden geanonimiseerd |
| Warmte-camera | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alle lichtomstandigheden ➤ Geen persoonlijke kenmerken zichtbaar (Fu, Miranda-Moreno & Saunier, 2016; Laureshyn & Várhelyi, 2020) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Moeilijk onderscheid te maken tussen objecten en weggebruikers (Bahnsen & Moeslund, 2015) ➤ Lagere resolutie dan RGB (Laureshyn & Várhelyi, 2020) ➤ Duurder dan RGB (Laureshyn & Várhelyi, 2020) |
| Lidar | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Goed bij zwak licht (Wei et al., 2018; Zhang et al., 2019) ➤ Nauwkeuriger als het gaat om ruimtelijke/geografische inschattingen (Wei et al., 2018) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kan soms objecten niet goed onderscheiden, vooral met 'sparse cloud'-camera (Wei et al., 2018) |

3 Literatuurstudie kruispuntkenmerken

Dit hoofdstuk bevat achtergrondinformatie en onderzoeksresultaten uit de literatuur over de ontwerp- en inrichtingselementen van VRI-kruispunten die bijdragen aan de veiligheid. Behalve aan de relatie van verkeersveiligheid met afzonderlijke kruispuntelementen, wordt ook aandacht besteed aan de relatie met een combinatie van deze elementen: een maat voor de complexiteit van VRI-kruispunten. Met andere woorden: welke kruispuntelementen en -voorzieningen zijn belangrijk voor de veiligheid en kun je er ook ‘te veel’ van hebben?

Onderzoek van SWOV heeft aangetoond dat, gecorrigeerd voor verkeersintensiteiten, VRI-kruispunten minder veilig zijn dan met voorrang geregelde kruispunten (SWOV, 2022b). In Nederland vallen 31% van alle verkeersdoden en 54% van de verkeersdoden onder fietsers op kruispunten (periode 2015-2019; SWOV, 2022b). Dit beeld is bevestigd door onderzoek uit andere landen zoals Australië, waar is gevonden dat nagenoeg 50% meer fietsongevallen plaatsvinden bij kruispunten (Meuleners et al., 2020). In stedelijke gebieden in Nederland valt 65% van de verkeersdoden onder fietsers bij kruispunten, buiten de bebouwde kom is dat aandeel met 54% wat lager (Reurings et al., 2012; SWOV, 2022a).

Deze literatuurstudie is gericht op VRI-kruispunten, en specifiek:

1. **Kenmerken van (VRI-)kruispunten** die belangrijk zijn voor de veiligheid (Paragraaf 3.1)
2. **Complexiteitsmaten** die mogelijk samenhangen met de veiligheid (Paragraaf 3.2)

Voor het onderzoek zijn wetenschappelijke studies geselecteerd in het Nederlands en Engels.

Tabel 3.1 geeft de zoektermen die voor de twee genoemde onderwerpen zijn gehanteerd.

Tabel 3.1. Zoekcriteria per onderwerp van de literatuurstudie

| Onderdeel | Zoektermen |
|--------------------------------------|--|
| Kenmerken van VRI-kruispunten | <ul style="list-style-type: none"> > fietsveiligheid bij VRI's > cycling safety at intersections > fietsveiligheid/cycling safety en: <ul style="list-style-type: none"> - number of lanes - allowed movements - presence of cycling facility - type of cycling facility - presence and type of median - number of intersection legs - speed bumps > bicycle box |
| Kruispuntcomplexiteit | <ul style="list-style-type: none"> > VRI kruispunt complexiteit > intersection complexity |

3.1 Afzonderlijke kenmerken van VRI-kruispunten

Er zijn veel studies uitgevoerd naar de relatie tussen ontwerp- en inrichtingskenmerken van VRI-kruispunten en veiligheid. De kenmerken die het vaakst zijn onderzocht in literatuur worden besproken in de volgende paragrafen.

3.1.1 Aantal takken

De meeste kruispunten zijn drie- of viertaks maar kruispunten met meer dan vier takken komen ook voor. De veiligheid van een kruispunt neemt af bij een toenemend aantal takken. Onderzoek heeft aangetoond dat, bij vergelijkbare verkeersintensiteiten, een viertakskruispunt tot 61% meer letselongevallen heeft dan een drietakskruispunt (Elvik, 2006). Zelfs ten opzichte van drietakskruispunten met 83% meer verkeer, had een viertaks nog steeds 37% meer letselongevallen (Elvik, 2006). Volgens iRAP vallen op viertaks kruispunten 20-60% meer verkeersdoden en ernstig verkeersgewonden dan op drietakskruispunten (iRAP, 2013). Ook SWOV-onderzoek heeft laten zien dat drietakskruispunten veiliger zijn dan viertakskruispunten (Dijkstra, 2014b).

Naast het aantal takken, heeft de aansluithoek tussen de takken een effect op de verkeersveiligheid. Onderzoek van Nightingale et al. (2017) op viertakskruispunten heeft aangetoond dat 10 graden afwijking van een haakse aansluiting leidt tot 4% meer ongevallen (Nightingale et al., 2017). Ander onderzoek heeft aangetoond dat kruispunten met een aansluithoek van kleiner dan 75 graden een grotere kans hebben op dodelijke ongevallen dan kruispunten met een hoek van groter dan 75 graden (Haleem & Abdel-Aty, 2010).

3.1.2 Middengeleiders en kanalisatie-eilanden

Voor zowel voetgangers als fietsers bieden middengeleiders, middeneilanden en soms ook kanalisatie-eilanden de mogelijkheid om gefaseerd over te steken. Vooral bij kruispunten waar er geen VRI-regeling aanwezig is, maar ook bij VRI-kruispunten, is er vaak onvoldoende tijd om in één keer over te steken. De voetganger of fietser kan de oversteekbeweging dan halverwege onderbreken en zich beschermd opstellen op de middengeleider. Onderzoek toont aan dat middengeleiders op wegvakken en kruispunten de verkeersveiligheid, het oversteekgemak en het comfort voor fietsers en voetgangers kunnen vergroten (Van Boggelen et al., 2011; Wout, 2022).

Kijkend naar het effect van een middengeleider op ongevallen onder fietsers en voetgangers, lijkt er sprake te zijn van een veiligheidswinst bij een oversteeklengte van drie of meer rijstroken, maar bij fietsongevallen is het effect nog heel indicatief. Schepers & Voorham (2010) hebben het effect van een middengeleider en middeneiland op kruispuntongevallen tussen fietsers en motorvoertuigen onderzocht, maar de resultaten bleken niet statistisch significant te zijn. Ze hebben gekeken naar oversteekongevallen op wegen met een limiet tussen 50 en 70 km/uur waarbij de fietser de gebiedsontsluitingsweg overstak. Uit een andere studie bleek het ongevalsrisico bij een oversteeklengte van drie of meer rijstroken met een middeneiland 28% lager te zijn dan zonder een middeneiland (Zegeer et al., 2005). Canadees onderzoek heeft laten zien dat een verhoogde middengeleider de veiligheid met 10% doet verbeteren (Sawalha & Sayed, 2001).

Ook kunnen middengeleiders zorgen voor een lagere taakbelasting van fietsers en voetgangers. (Schepers et al., 2011). Een middengeleider onderbreekt de oversteekbeweging en daardoor hoeven overstekende verkeersdeelnemers slechts rekening te houden met verkeer uit één richting (eerst van één kant, en na de middengeleider van de andere kant; Van Boggelen et al., 2011). Middengeleiders moeten minimaal 3,5 m breed zijn voor de veilige opstelling van fietsers en 2 m breed voor voetgangers (Andriess, Van Gorp & Hulshof, 2019).

3.1.3 Opstelstroken

Studies hebben aangetoond dat het toepassen van opstelstroken voor motorvoertuigen (een rijstrook voor alleen links of rechts afslaand verkeer) de veiligheid kan verbeteren. Een Noorse meta-studie vond een gemiddelde afname van 29% van het aantal ongevallen na het invoeren van een linkerrijstrook op een VRI-kruispunt (Høye, 2021; Osama, Sayed & Sacchi, 2016). Een speciale rijstrook voor rechtsaf blijkt het aantal ongevallen op kruispunten met verkeerslichten met 18% te verminderen (Høye, 2021).

3.1.4 Fietsvoorzieningen

Onderzoek heeft aangetoond dat waar gefietst wordt, wegen zonder enige fietsvoorziening of met een fietsstrook het minst veilig zijn en situaties met vrijliggende fietspaden het meest veilig (Van Petegem, Schepers & Wijlhuizen, 2021). Hierbij is gekeken naar ongevallen op zowel kruispunten als wegvakken (Madsen & Lahrmann, 2017; Van Petegem, Schepers & Wijlhuizen, 2021; Wout, 2022). Een oudere studie heeft echter gevonden dat het veiligheidsvoordeel van een vrijliggend fietspad zich vooral op wegvakken voordoet, en dat het risico op kruispunten juist hoger kan zijn bij aanwezigheid van een vrijliggend fietspad (Welleman & Dijkstra, 1988).

Een- en tweerichtingsfietspaden bij kruispunten

Onderzoek in Nederland heeft aangetoond dat het ongevalsrisico van tweerichtingsfietspaden bij kruispunten bijna vier keer zo hoog is als dat van eenrichtingsfietspaden (Harwood et al., 2002; Schepers et al., 2010; Schepers et al., 2013; Thomas & De Robertis, 2013).

Verkeersregelinstallaties (VRI) met fietsregeling

VRI-kruispunten met een aparte regeling voor fietsers wordt als veiliger ervaren door fietsers dan VRI-kruispunten zonder regeling (Schepers et al., 2017; SWOV, 2022b; Weigand, 2008; Wout, 2022). Een aparte fasering voor fietsers en een conflictvrije regeling kunnen zorgen voor 15% tot 50% minder ongevallen (Akar & Clifton, 2009; Mitra & Bhowmick, 2020; Schepers et al., 2017; SWOV, 2022b; Weigand, 2008; Wout, 2022; Ziakopoulos, Botteghi & Papadimitriou, 2017).

Fietspadbreedte

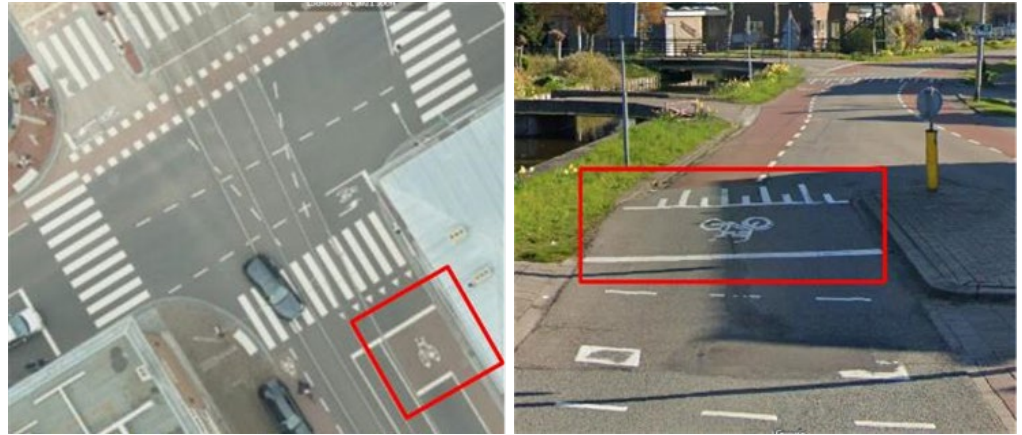
De WRI (World Resources Institute) beveelt een fietspadbreedte aan van minstens 2,2 meter, en liefst meer dan 2,8 meter. Als dit vanwege ruimtegebrek niet haalbaar is, dan moet de snelheidslimiet of het verkeersvolume omlaag (Adriazola-Steil et al., 2021). Deze richtlijn is nodig om het fietspad veilig te maken voor inhaalmanoeuvres en verschillende soorten gebruikers (bijvoorbeeld bakfietsen). Dit werd verder onderbouwd in een empirisch onderzoek waarin fietspaden met een breedte van minstens 2,5 meter leidden tot veiligere inhaalmanoeuvres door fietsers dan smallere fietspaden (Theuwissen, 2022).

Opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS)

Opgeblazen opstelstroken voor fietsers worden toegepast bij (VRI-)kruispunten om fietsers meer in het zicht te brengen van het gemotoriseerd verkeer. OFOS verhogen de veiligheid van vooral fietsers die afslaan (vooral linksaf) en geeft recht doorgaande fietsers meer ruimte om op te trekken voor het overig verkeer (*Afbeelding 3.1* geeft voorbeelden). Dit soort opstelstroken scheidt meer veiligheid voor de fietsers (Schepers et al., 2017; SWOV, 2020; Weigand, 2008).

Onderzoek in Canada en de VS heeft aangetoond dat situaties met OFOS 14% minder ongevallen hebben dan situaties zonder dit soort opstelstroken (Weigand, 2008; Zangenehpour, Miranda-Moreno & Saunier, 2013).

Afbeelding 3.1. Opgeblazen fietsopstelstroken (OFOS)



Een vergelijkbare maatregel is het verspringen van de stoplijnen op vrijliggende fietspaden en op de hoofdrijbaan (Afbeelding 3.2). Ook deze maatregel verhoogt de zichtbaarheid en daardoor de veiligheid van fietsers (Madsen & Lahrmann, 2017; Weigand, 2008; Wout, 2022).

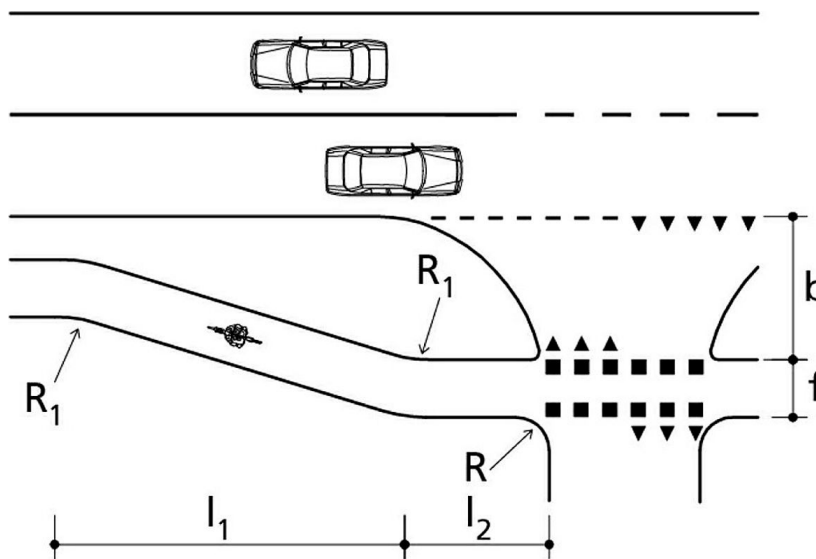
Afbeelding 3.2. Verspringing van de stoplijn



Uitbuigen fietspad

Het uitbuigen van een fietspad ter hoogte van een kruispunt (Afbeelding 3.3) heeft het voordeel dat het zicht op fietsers voor afslaand verkeer vanaf de hoofdtek aanzienlijk verbetert (Kuiken & Schepers, 2017).

Afbeelding 3.3: Uitbuiging fietspad ter hoogte van een kruispunt (CROW, 2021)



Onderzoek heeft aangetoond dat uitbuiging reducties tot 77% in het risico op fietsongevallen oplevert (Cantisani, Moretti & De Andrade Barbosa, 2019; Madsen & Lahrman, 2017; Nabavi Niaki, Wijlhuizen & Dijkstra, 2021; Schepers et al., 2011; Schepers et al., 2010; Wijlhuizen, Nabavi Niaki & Dijkstra, 2021). Een uitbuiging van tussen de 2 en 5 m vanaf de hoofdrijbaan lijkt aantoonbaar veiliger dan een rechtdoor lopend parallel fietspad, vooral omdat fietsers niet in de blinde hoek van automobilisten zitten (Schepers et al., 2017). Ook heeft het uitbuigen van een fietspad ter hoogte van kruispunten voordelen omdat het proces van kruisen in etappes wordt verdeeld. Komend vanaf de zijtak, krijgt kruisend verkeer eerst te maken met fietsers en pas daarna met verkeer op de hoofdtaak.

3.1.5 Snelheidsremmers

In Nederland en elders heeft onderzoek laten zien dat kruispunten met snelheden onder de 30 km/uur een lager risico op letselongevallen onder fietsers hebben dan kruispunten met hogere snelheden (Duivenvoorden, 2021; Fortuijn, Carton & Feddes, 2005; Harris et al., 2013). Snelheidsremmers bij kruispunten zorgen er niet alleen voor dat automobilisten minder snel rijden, maar ook dat ze vaker meer aandacht hebben voor de conflicterende rijrichting (Summala et al., 1996). Een bijkomend voordeel van lagere snelheden op de taken van een kruispunt is dat overstekend (kwetsbaar) verkeer de snelheden en oversteekmogelijkheden beter kunnen inschatten – hoe hoger de snelheden, hoe moeilijker het is om in te schatten wanneer er voldoende tijd is om tussen het verkeer door over te steken (Elvik, 2015; Oxley et al., 2005; Sun et al., 2015).

Verticale snelheidsremmers (drempels, plateaus)

Snelheidsdrempels zijn effectief in het remmen van de snelheid vlak voor kruispunten en op het kruisingsvlak, ook bij kruispunten buiten de bebouwde kom (Daniels & Focant, 2017; Duivenvoorden, 2021; Fortuijn, Carton & Feddes, 2005). Met een voor-nastudie van kruispunten op provinciale 80km/uur-wegen hebben Fortuijn, Carton & Feddes (2005) aangetoond dat er 40% minder slachtofferongevallen waren na aanleg van een plateau vlak voor het kruispunt. Een vergelijking van drietakskruispunten (GOW-ETW) binnen de bebouwde kom met en zonder snelheidsremmers liet zien dat er 54% minder fiets-motorvoertuigongevallen met letsel zijn gevonden bij aanwezigheid van een drempel of uitritconstructie (Fortuijn, Carton & Feddes, 2005; Van Petegem & Uijtwilligen, 2021). Uit een andere studie is gebleken dat het aantal letselongevallen met een reductie tot 80% afneemt na het plaatsen van plateaus op kruispunten binnen de bebouwde kom (Van der Dussen, 2002). Een Deense voor-nastudie heeft ook laten zien dat er 24% minder ongevallen plaatsvonden na aanleg van een kruispuntplateau op kruispunten binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur of minder (Jensen et al., 2021).

Snelheidsdisplays

Snelheidsdisplays laten de snelheid van naderende individuele voertuigen zien (in Nederland zijn Smileys daar een voorbeeld van). Onderzoek naar dynamische snelheidsdisplays heeft aangetoond dat deze de rijsnelheid met 1 tot 10 km/uur kunnen verminderen (Cruzado & Donnell, 2009; Daniels & Focant, 2017; Gehlert, Schulze & Schlag, 2012). Onderzoek uit de VS vindt dat deze displays het aantal ongevallen met 5% doen afnemen (Hallmark, Hawkins & Smadi, 2015).

3.1.6 Wegmarkeringen en zebrapaden

Wegmarkeringen zijn een essentieel onderdeel van de weg- en verkeersomgeving. Voorbeelden van wegmarkeringen zijn stopstrepen, as- en kantmarkeringen, voorrangsmarkeringen (haaiantanden), zebramarkering, blokmarkering, kanalisatiestrepen, geleidelijnen, enzovoort. Literatuuronderzoek toont dat het ontbreken van een stopstreep bij VRI-kruispunten de letselernst met 1,7% kan verhogen (Haleem, Alluri & Gan, 2015). De aanwezigheid van gemarkeerde zebrapaden (op de takken van kruispunten) laat gemengde resultaten zien met

soms een toename van het aantal letsels en ongevallen van tussen 80% en 200% voor voetgangers (Koepsell et al., 2002; Mooney et al., 2016) maar ook soms een afname van de ernst van het letsel met ongeveer 1,4% (Haleem, Alluri & Gan, 2015; Hanson, Noland & Brown, 2013). Een Nederlands onderzoek heeft onverwacht gevonden dat fietspadoversteken in de voorrang met een rode kleur en hoogwaardige markeringen meer fiets-motorvoertuigongevallen hebben dan zonder kleur en hoogwaardige markeringen (Schepers et al., 2011). De auteurs noemen als mogelijke reden hiervoor dat de oversteeksnelheden van fietsers hoger zouden zijn bij zulke markering. Of dit ook bij een VRI-kruispunt van toepassing is, is niet bekend.

3.1.7 Locatie verkeerslichten

Het Handboek verkeerslichtenregelingen geeft aan dat te veel verkeerslichten die ook nog dicht op elkaar staan, kunnen zorgen voor onduidelijkheid en tot problemen kunnen leiden bij weggebruikers. Het is belangrijk dat de verkeerslichten duidelijkheid scheppen voor welke richting en beweging ze bedoeld zijn (CROW, 2022).

3.1.8 Bus-/tramhaltes en trambanen

Het is aangetoond dat tramlijnen het aantal fietsongevallen verhogen tot 23% (Gildea, Hall & Simms, 2021; Hertach et al., 2018). Een studie van 52 gesignaleerde kruispunten in Kolkata, India, heeft aangetoond dat de aanwezigheid van tramlijnen en tramhaltes het risico op ongevallen verhoogt (Mitra & Bhowmick, 2020). De aanwezigheid van bushaltes verhoogt de frequentie van ernstige ongevallen (met letsel of dodelijke afloop) met een factor van tot wel 1,22 (Dong et al., 2020; Zhu, Sze & Newnam, 2022).

3.1.9 Parkeren op straat

Als parkeren op straat in de buurt van een kruispunt is toegestaan, is dit nadelig voor de verkeersveiligheid: ongevallen kunnen tot 84% toenemen (Quistberg et al., 2015; Thomas et al., 2017; Van Petegem & Uijtdewilligen, 2021). De aanwezigheid van een parkeerstrook of parkeervakken kan het zicht op het fietspad voor automobilisten belemmeren en ook het detectievermogen van fietsers beperken (Deliali, Christofa & Knodler Jr, 2021). Parkeren heeft ook invloed op de complexiteit van het verkeersproces en kan de zichtlijnen beperken bij kruispunten (Thomas et al., 2017).

3.2 Kruispuntcomplexiteit

Kruispunten, en met name VRI-kruispunten met een relatief hoge verkeersbelasting en meerdere rijstroken op alle takken, zijn vrij complex voor weggebruikers. Op VRI-kruispunten komen veel verschillende soorten weggebruikers samen en zijn er daardoor veel verkeersbewegingen. Daarnaast zijn VRI-kruispunten ook vaak ingericht met verschillende soorten verkeersvoorzieningen (markering, kanalisatie-eilanden, verkeerslichten, voetganger- en fietsoversteken, drempels, busbanen, tramvoorzieningen enz.) die de veiligheid moeten verbeteren. Deze inrichtingselementen zijn vooral bedoeld om het verkeer beter te regelen door het verkeer in tijd en soms ruimte te scheiden, te kanaliseren en soms ook door snelheden te remmen. Tegelijkertijd kan een veelvoud aan voorzieningen op een groot VRI-kruispunt er juist voor zorgen dat weggebruikers een veel hogere taakbelasting ervaren en slechter zicht hebben op andere verkeer, waardoor er fouten kunnen worden gemaakt die nadelig zijn voor verkeersveiligheid. In de regel is te verwachten dat hoe groter een kruispunt is, hoe meer verkeersvoorzieningen en inrichtingselementen het heeft, en hoe complexer het kruispunt voor de weggebruiker is. En andersom: hoe kleiner, hoe minder inrichtingselementen, en hoe eenvoudiger het kruispunt.

Dat er een samenhang is tussen de complexiteit van een VRI-kruispunt en verkeersveiligheid is bijna vanzelfsprekend. Echter, de richting van deze relatie verdient verdere verkenning. De vraag

is of, gecorrigeerd voor de verkeersbelasting, complexe kruispunten met meer inrichtingselementen meer of minder veilig zijn dan eenvoudige of minder complexe kruispunten. Omdat er een sterke relatie is tussen ongevallen en conflicten, en conflicten relatief eenvoudig en binnen korte tijd te observeren zijn, richten wij ons voornamelijk op complexiteit in relatie tot het soort en aantal verkeersvoorzieningen en het aantal en soort verkeersconflicten. Wij gaan in deze paragraaf na of deze relaties beter te onderbouwen zijn met de onderzoeksliteratuur.

3.2.1 Aantal kruispuntelementen op VRI-kruispunten

Het totale aantal inrichtingselementen dat aanwezig is op een kruispunt en in de kruispuntomgeving kan iets zeggen over de complexiteit van een kruispunt. Literatuur over dit onderwerp laat zien dat de hoeveelheid aan inrichtingselementen een aantoonbare relatie heeft met het rijgedrag, en daardoor met veiligheid. Mentale taakbelasting is het menselijk vermogen om informatie te kunnen verwerken en speelt, samen met aandacht, een belangrijke rol bij deelname aan het verkeer, vooral tijdens het rijden. Naarmate de hoeveelheid informatie rondom de weggebruiker toeneemt, of het aantal taken dat tijdens het rijden moet worden uitgevoerd stijgt, neemt de taakbelasting toe en de kwaliteit van de rijtaak af (Harms, 1991; Stinchcombe & Gagnon, 2010; Teasdale et al., 2004; Theeuwes, Van der Horst & Kuiken, 2012). Bijvoorbeeld, een onderzoek van Bichicchi et al. (2020) heeft aangetoond dat de mentale belasting van bestuurders met 15% toeneemt bij het rijden over een weg met drie rijstroken (2x3), veel uitritten en in een winkelgebied, vergeleken met rijden op een enkelstrooks weg (2x1) in een woongebied. Edquist, Rudin-Brown & Lenné (2012) lieten zien dat de mentale belasting van bestuurders 60% lager was op verkeersaders zonder mogelijkheid tot parkeren, vergeleken met stedelijke wegen met parkeermogelijkheid langs de rijbaan.

Een kruispunt biedt veel informatie en is voor de weggebruiker een complexe situatie met een vrij hoge taakbelasting. Dit heeft vaak als gevolg dat weggebruikers hun gedrag bij kruispunten aanpassen. Onderzoek heeft aangetoond dat automobilisten vanwege een hogere taakbelasting bij het naderen van een kruispunt de rijnsnelheid verminderen (Harms, 1991; Houtenbos, 2008; Montella et al., 2011). Ook onder fietsers neemt de mentale taakbelasting toe wanneer de verkeerssituatie complex is (Boele-Vos, Commandeur & Twisk, 2017; Vlakveld et al., 2015). Taakbelasting moet overigens niet worden verward met een gebrek aan aandacht (oftewel afleiding). Bij afleiding is sprake van een concurrerende taak die ook een beroep doet op de informatieverwerking, ten koste van de primaire rijtaak (Schaap et al., 2013).

Onderzoek van Elvik (2006) en Preusser et al. (1998) heeft aangetoond dat de complexiteit van een kruispunt kan worden bepaald door het ontwerp en het aantal infrastructurele kenmerken dat aanwezig is. Vanwege hogere taakbelasting is de verwachting dat een toenemende complexiteit leidt tot meer onveiligheid. Er zijn echter ook onderzoeken die laten zien dat inrichtingselementen juist zorgen voor betere geleiding en betere ordening van de verkeersstromen, en daardoor juist voor meer veiligheid.

Uit Elvik (2006) blijkt dat de kans op een ongeval toeneemt bij kruispunten met veel verkeersvoorzieningen die, per tijdseenheid, tegelijk de aandacht vragen van de weggebruiker (Elvik, 2006). Dit komt overeen met bevindingen van Preusser et al. (1998) waaruit blijkt dat situaties bij kruispunten met veel visuele informatie, en waarvoor meerdere of complexe besluitvormingsprocessen nodig zijn, voor weggebruikers uitdagend zijn. Onderzoek heeft aangetoond dat inrichtingskenmerken als trambanen, bushaltes, dichte bebouwing/hoge mate van verstedelijking, het aantal rijstroken per rijrichting, bebording en markering, parkeren op de rijbaan en geleiders de mentale taakbelasting verhogen (Bichicchi et al., 2020; Dai & Dadashova, 2021; Distefano et al., 2020; Edquist, Rudin-Brown & Lenné, 2012; Heimes, Nagel & Frank, 1998; Kircher & Ahlström, 2020; Maitre, 2017; Richard & Lichty, 2013; Rudin-Brown, Edquist & Lenné, 2014; Werneke & Vollrath, 2012). De complexiteit van een kruispunt neemt ook toe naarmate het aantal takken toeneemt (Chandler et al., 2013). Chen (2015) definieerde complexe kruispunten als kruispunten met meer dan vijf takken (Chen, 2015). Dit geeft aan dat een hogere

complexiteit leidt tot een hogere mentale taakbelasting. Behalve van een groot aantal inrichtingselementen is ook van hoge verkeersintensiteiten met veel variatie in verkeerssamenstelling aangetoond dat ze de complexiteit van kruispunten kunnen verhogen (Distefano et al., 2020).

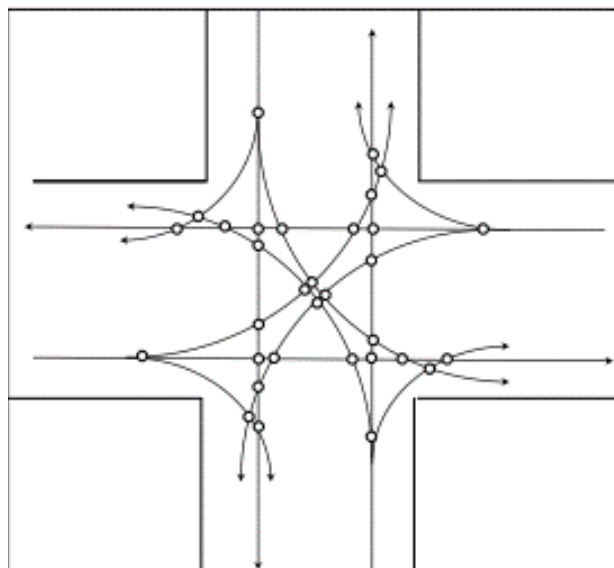
Naast een samenhang tussen complexiteit en het aantal verkeersvoorzieningen is er ook een samenhang tussen het aantal verkeersvoorzieningen en de kans op ongevallen. SWOV-onderzoek heeft laten zien dat kruispunten met meer verkeersvoorzieningen een grotere kans op ongevallen hebben (Aarts & Van Nes, 2007). Onderzoek van Edquist, Rudin-Brown & Lenné (2012) gaf aan dat de (reactie)tijd om een voetganger te detecteren met 60% toenam bij complexe kruispunten. Ook is de kans op letselongevallen 60% hoger bij complexe kruispunten (Elvik, 2006). In literatuuronderzoek van Dai & Dadashova (2021) is ook nog gevonden dat er een verband is tussen inrichtingselementen (aantal rijstroken, bushalte, oprit, meer verkeersborden, parkeren op straat, etc.) en meer fietsongevallen.

Sommige onderzoeken laten echter ook het tegenovergestelde zien, namelijk dat meer kenmerken juist leiden tot een betere geleiding van het verkeer en beter gedrag van de verkeersdeelnemer (Dijkstra, 2014a; Nabavi Niaki, Wijlhuizen & Dijkstra, 2021). Ook volgens de PIARC beoordelingsmethodiek (PIARC, 2019) leiden meer kenmerken tot een betere verkeersdiscipline, is het verkeer beter geregeld en is de veiligheid daarbij gebaat. Impliciet suggereert dit dus dat hogere complexiteit beter is voor de veiligheid. Een kanttekening daarbij is wel dat de PIARC-methodiek vooral gericht is op gemotoriseerd verkeer en geen rekening houdt met fietsers en voetgangers. Echter, het is te verwachten dat ook fietsers en voetgangers gebaat zijn bij verkeersvoorzieningen die worden aangebracht om ook het langzaam verkeer te regelen en te beschermen.

3.2.2 Aantal conflictpunten

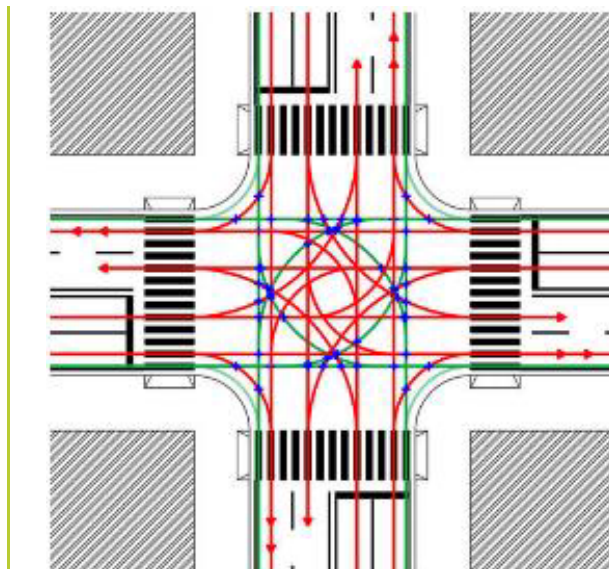
Het aantal conflictpunten is de bekendste maat voor complexiteit. Bij de conflictpuntmethode wordt gekeken naar alle mogelijke verkeersbewegingen en de punten waar deze lijnen elkaar kruisen: de conflictpunten. Het aantal conflictpunten kan apart worden geteld voor de verschillende verkeersdeelnemers. Een bekend voorbeeld zijn de 32 conflictpunten tussen motorvoertuigen onderling op een viertakskruispunt (Afbeelding 3.4) met een rijstrook per tak, waarbij alle verkeersbewegingen (linksaf, rechtdoor en rechtsaf) zijn toegestaan. Op een drietakskruispunt zijn dat 24 conflictpunten.

Afbeelding 3.4.
32 conflictpunten voor
motorvoertuigen op een
standaard viertakskruispunt.



Naarmate het aantal rijstroken per richting toeneemt, of het aantal verschillende weggebruikers toeneemt, neemt het aantal mogelijke verkeersbewegingen toe en stijgt het aantal conflictpunten. *Afbeelding 3.5* illustreert dit voor het aantal conflictpunten tussen motorvoertuigen onderling, en tussen fietsers en motorvoertuigen op een viertakskruispunt met twee rijstroken per tak).

Afbeelding 3.5. Aantal conflictpunten op een viertakskruispunt met 2 rijstroken per tak, fietsers en voetgangers (Bron: (Cantisani, Moretti & De Andrade Barbosa, 2019)).



De V.S. Federal Highway Administration geeft aan dat voor optimale kruispuntveiligheid het aantal conflictpunten geminimaliseerd moet worden (Blackburn et al., 2022). Dat is echter een lastige opgave, want hoe meer takken er op een kruispunt aansluiten, hoe meer verkeersbewegingen er zijn en hoe groter het aantal conflictpunten.

Hoewel de wetenschappelijke literatuur minder duidelijk de relatie tussen het aantal conflictpunten en verkeersveiligheid aantoont, is er een aantal studies waarin deze relaties wel expliciet zijn onderzocht. Zo is er bijvoorbeeld een sterke correlatie gevonden tussen een gemodelleerd aantal conflictpunten en het aantal geregistreerde ongevallen tussen motorvoertuigen en ook het aantal fiets-motorvoertuigongevallen (Bommer, 2022). Hoewel er geen harde onderbouwing voor wordt gegeven, beweren onderzoekers dat kruispunten met minder conflictpunten ook veiliger voor auto-inzittenden en fietsers zijn (Corben et al., 2010; Kekez et al., 2022; SWOV, 2022b; Thompson, Kwon & Park, 2009; Thompson et al., 2009).

4 Kruispuntveiligheid in ontwerprichtlijnen

In het voorgaande hoofdstuk is een aantal verkeersvoorzieningen en maatregelen bij (VRI-)kruispunten beschreven die de verkeersveiligheid kunnen beïnvloeden, vooral die van kwetsbare deelnemers. In dit hoofdstuk gaan we na in hoeverre de huidige Nederlandse richtlijnen rekening houden met dergelijke voorzieningen en maatregelen en welke relevante kenmerken daarin nog ontbreken (*Paragraaf 4.1*). Daarnaast worden, ter vergelijking, ook de Duitse richtlijnen tegen het licht gehouden (*Paragraaf 4.2*). De Duitse richtlijnen zijn gedetailleerder en zijn wel vaker in aangepaste vorm toegepast in Nederland. Tot slot volgt op basis van deze beoordeling een samenvatting en een lijstje met – mogelijk ‘kritische’ – ontwerpelementen van VRI-kruispunten waarover we in grootschaliger onderzoek meer te weten willen komen (*Paragraaf 4.3*).

De meeste infrastructuur wordt vooral aangelegd met als doel om het verkeer zo doeltreffend mogelijk te verwerken. Richtlijnen bieden daarom vooral houvast bij het ontwerpen van infrastructuur met voldoende capaciteit en mogelijkheden om te manoeuvreren. Een randvoorwaarde is vaak wel dat verplaatsingen zo veilig mogelijk zijn.

Ontwerprichtlijnen nemen echter niet consequent de bevindingen uit (wetenschappelijk) verkeersveiligheidsonderzoek mee, waardoor de onderbouwing van bepaalde ontwerpkeuzes soms ontbreekt (Duivenvoorden, 2021; Schermers et al., 2013). Ook zijn de consequenties van bepaalde ontwerpkeuzes voor de verkeersveiligheid vaak niet duidelijk omschreven, en kunnen deze daarom niet meegewogen worden door de ontwerpers. Om dit op te vangen zijn procedures als de verkeersveiligheidsaudit in het leven geroepen. In een verkeersveiligheidsaudit wordt het ontwerp van nieuwe – of de reconstructie van bestaande – infrastructuur getoetst op verkeersveiligheid. Maar ook verkeersveiligheidsaudits hebben beperkingen: ze zijn niet verplicht, en als ze worden uitgevoerd, zijn de bevindingen daarvan vrijblijvend.

De richtlijnen zijn bijvoorbeeld niet expliciet over het uitbuigen van een fietspad bij kruispunten, terwijl uit onderzoek inmiddels bekend is dat uitbuigen veiliger is. Ontwerpers worden er door de richtlijnen echter niet expliciet op gewezen en kunnen er makkelijk voor kiezen om fietspaden niet uit te buigen.

Een ander voorbeeld is snelheid, die een zeer belangrijke rol speelt bij het ontstaan van ongevallen en vooral bij de afloop daarvan (Elvik et al., 2019; ITF & OECD, 2018). Het toepassen van het concept veilige snelheden (VS) en geloofwaardige snelheidslimieten (GS) (Aarts et al., 2014; Aarts & Van Nes, 2007; Van Schagen, Wegman & Roszbach, 2004) bij vooral kruispunten buiten de bebouwde is onderbelicht in de richtlijnen (Aarts & Van Nes, 2007). Sinds 2007 is VSGS wel opgenomen in bijvoorbeeld CROW-publicatie 315, *Basiskenmerken Wegontwerp* (CROW, 2012b) maar deze is nog steeds geen integraal onderdeel van alle relevante richtlijnen. Het gevolg is dat er veel gelijkvloerse kruispunten in Nederland liggen waar de maximumsnelheid hoger ligt dan de volgens Duurzaam Veilig aanbevolen 30 km/uur, gegeven het medegebruik van voetgangers en fietsers (Dijkstra, Eenink & Wegman, 2007; SWOV, 2018).

Overigens zijn richtlijnen niet verplicht, dus ook als bepaalde ontwerpkeuzes in de richtlijnen ‘evidence-based’ zijn, kan men ervoor kiezen om daarvan af te wijken. Wanneer in de richtlijnen de verkeersveiligheidsconsequenties van een dergelijke afweging niet goed inzichtelijk worden gemaakt, en worden benoemd, is een dergelijke ‘onveilige keuze’ sneller gemaakt. Het *Handboek Wegontwerp* (CROW, 2013) maakt bijvoorbeeld duidelijk dat VRI-kruispunten buiten de bebouwde kom een conflictvrije regeling moeten hebben voor fietsers en voetgangers, maar maakt niet duidelijk wat de verkeersveiligheidsconsequenties kunnen zijn als daarvan wordt afgeweken. Dit illustreert dat ondanks evidence-based onderzoek, richtlijnen niet altijd de nieuwste verkeersveiligheidskennis bevatten of overnemen. Dit wordt in de volgende paragrafen verder besproken voor VRI-kruispunten.

4.1 (VRI-)kruispuntkenmerken in Nederlandse richtlijnen

In deze paragraaf beschouwen we in hoeverre de huidige Nederlandse richtlijnen rekening houden met de kruispuntinrichting en -kenmerken die relevant zijn voor de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten (zie *Hoofdstuk 3*). We controleren of de richtlijnen deze voorzieningen en kenmerken benoemen als onderdeel van het ontwerp. Daarna controleren wij of er ook een relatie wordt gelegd met verkeersveiligheid en of deze relatie wordt onderbouwd, in kwalitatieve of kwantitatieve zin. Dit is in *Paragraaf 4.1.1* gedaan door de kenmerken uit de huidige richtlijnen naast de relevante kenmerken uit de literatuurstudie te leggen. Aanvullend is dit ook gedaan voor de zogeheten INTERSAFE-kenmerken voor kruispunten, die zijn voortgekomen uit eerder onderzoek (*Paragraaf 4.1.2*). Aan de hand hiervan is in kaart gebracht wat er op het gebied van kruispuntveiligheid ontbreekt in de ontwerprichtlijnen en over welke ‘kritische’ ontwerpelementen we in grootschaliger onderzoek meer te weten willen komen (*Paragraaf 4.1.3*).

4.1.1 Aanwezigheid kruispuntkenmerken literatuurstudie

Voor beoordeling van de Nederlandse richtlijnen is een scan gedaan van de relevante handboeken. Met behulp van de CROW online kennisbank (<https://www.crow.nl/online-kennis-tools>) zijn de volgende handboeken beoordeeld: het *Handboek Wegontwerp* (HWO) (CROW, 2013) voor kruispunten buiten de bebouwde kom, *Aanbevelingen voor Verkeersvoorzieningen Binnen de Bebouwde Kom* (ASVV) (CROW, 2021) voor kruispunten binnen de bebouwde kom, de *Ontwerpwijzer fietsverkeer* (OF) (CROW, 2016) en *Aanbevelingen fiets- en kantstroken* (AFK) (Fietsberaad, 2015) voor fietsvoorzieningen, en het *Handboek verkeerslichtenregelingen 2022* (CROW, 2022).

Tabel 4.1 bevat de relevante kruispuntkenmerken die genoemd staan in bovengenoemde handboeken. Als verkeersveiligheid ook expliciet in de richtlijn wordt benoemd, is dit in de tweede kolom aangegeven met een onderscheid tussen wel of niet onderbouwd met literatuur. De laatste kolom bevat de aanbevolen ontwerprichtlijn en/of de locatie waar die gevonden kan worden.

Tabel 4.1. Relevante kenmerken van VRI-kruispunten in de Nederlandse richtlijnen voor wegontwerp

| Kruispuntkenmerk | Veiligheid genoemd? | Bron, richtlijn en verwijzing naar de locatie in document |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Aantal takken | Ja, maar geen bewijs of literatuur | ASVV: 10.2.2.5 Voorrangskruispunten Ga terughoudend om met kruispunten waar vijf of meer takken op uitkomen. Deze zijn voor weggebruikers te ingewikkeld of onoverzichtelijk. De voorkeur is dan om een rotonde te realiseren of mogelijk een aantal takken af te sluiten. Compacte en simpele kruispunten zijn over het algemeen verkeersveiliger dan complexe kruispunten. |
| Aansluithoek takken | Nee | HWO: 6.4.1 Aansluithoek Aansluitingshoeken tussen de 80 en 120 graden zijn nog acceptabel. Als de hoek tussen takken van het kruispunt kleiner is dan 80 graden of groter dan 120 graden, moet de wegas zodanig worden bijgedraaid dat de hoek tussen de wegassen binnen de aangegeven grenzen valt. |
| Kanaliserings-eiland | Nee | Handboek verkeerslichtenregelingen 2022: 14.2.2.10 Friezack en banaan |
| Middengeleider/ kanalisatie | Nee | ASVV: 11.2.27 Middengeleider; 4.3.1 Kruispunt met middengeleider; 11.2.26 Middengeleider; 12.3.4 Verhoging kruispunt HWO: 6.2.7 Middengeleiders |
| Verkeerslicht voor fietsers | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: 6.3.3.2 Verkeerslichten: Vanuit het fietsbelang kunnen verkeerslichten worden overwogen met het oog op de veiligheid en de doorstroming van het fietsverkeer. Veiligheid speelt met name op kruispunten en oversteekplaatsen: als de omvang en/of snelheid van de te kruisen verkeersstroom zodanig groot is dat fietsers daardoor in de knel komen, kunnen verkeerslichten worden overwogen OF: Tabel 6-4. Combinatiemogelijkheden van fietsvriendelijke maatregelen bij verkeerslichten OF: V46 Toelaten van deelconflicten OF: V49 Gunstige wachtstand voor fietsers |
| Fietsvoorzieningen | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: Tabel 6-1. 'Veilige' conflicten tussen verkeerssoorten naar snelheid |
| Afstand fietspad van de weg | Ja, maar geen bewijs of literatuur | ASVV: 6.4.2 Dimensionering fietsvoorzieningen HWO: 6.4.4 Parallelvoorzieningen |
| Fietsbewegwijzering | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: 7.4.2 Specifieke fietsbewegwijzering; V62; V63 Fietsbewegwijzering, mits uniform en continu wat betreft de uitvoering, kan helpen om bestaande fietsvoorzieningen aan elkaar te knopen. Daarbij moeten de lokale en interlokale fietsbewegwijzering logisch in elkaar overvloeien en moeten de fietsers zo veel mogelijk worden geleid over de snelste, veiligste, meest comfortabele en meest aantrekkelijke routes. |
| Fiets vrij rechtsaf door rood | Nee | OF: Tabel 6-4. Combinatiemogelijkheden van fietsvriendelijke maatregelen bij verkeerslichten |
| Fietsopstelstrook (linksaf) | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: V38 Opstelgelegenheid voor linksaf slaande fietsers bij verkeersregelinstantie |
| Breedte fietsvoorziening | Ja, maar geen bewijs of literatuur | AFK: Binnen de kom: Minimum 170 cm, aanbevolen: 290 cm Tabel 1 Kwaliteitsniveau fietsvoorziening en benodigde breedte AFK: Buiten de kom: Alleen toepasbaar op erftoegangswegen met een verhardingsbreedte tussen 580 en 840 cm Op smalle wegen (< 580 cm) met een belangrijke functie voor het fietsverkeer kan ook buiten de kom gekozen worden voor een fietsstraatrichting |
| Opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS) | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: bij OFOS voor twee rijstroken: subjectief onveilig (rechts inhalen door auto's tijdens fietsbeweging linksaf) OF: V39 OFOS (opgeblazen fietsopstelstrook) Fietsverkeer \Ontwerpwijzer fietsverkeer |

| Kruispuntkenmerk | Veiligheid genoemd? | Bron, richtlijn en verwijzing naar de locatie in document |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| Uitbuigen fietspad | Nee | HWO: 6.3.4 Voorrangskruispunten ASVV: 14.2.11 Licht uitbuigen fietspad nabij kruispunt; 14.2.12 Ver uitbuigen fietspad |
| Snelheidsremmende maatregelen | Nee | ASVV: 11.2.19 Plateau; 11.3.2 Kruispuntplateau; 17.3.5 Rammelhoeken; 13.1.6 Komgrens |
| Lokale snelheidslimieten | Ja, maar geen bewijs of literatuur | ASVV: Tabel 6-1. 'Veilige' conflicten tussen verkeerssoorten naar snelheid |
| (Opstel)stroken linksaf | Nee | HWO: 6.5.6 Wegontwerp kruispunt met verkeersregelininstallatie |
| (Opstel)stroken rechtsaf | Nee | HWO: 6.5.6 Wegontwerp kruispunt met verkeersregelininstallatie |
| Parkeerplekken op kruispunttakken | Ja, maar geen bewijs of literatuur | HWO: 5.5.3 Fietsstroken |
| Zichtafstand | Nee | HWO: 6.4.2 Zichtafstanden |
| Verlichting | Ja, maar geen bewijs of literatuur | OF: Tabel 6-2 Kruispunten zijn voldoende zichtbaar, ook tijdens duisternis. Daartoe moet het verlichtingsniveau voldoende zijn, maar ook het contrast tussen discontinuïteiten. OF: 7.3 Verlichting |
| Herkenbaarheid | Ja, maar geen bewijs of literatuur | ASVV: 10.2.2 Uitwerking basiskennmerken wegontwerp Per wegcategorie worden verschillende basiskennmerken toegepast zodat de onderlinge verschillen tussen de wegcategorieën duidelijk herkenbaar zijn. Elk basiskennmerk dient de herkenbaarheid of het veilig functioneren. HWO: 5.1 Standaard dwarsprofiel Bij het samenstellen van het dwarsprofiel zijn de volgende overwegingen van belang: <ul style="list-style-type: none"> > de herkenbaarheid van de wegcategorie; > het wegtype; > de eventuele doelgroepstroken; > het beheer en onderhoud. |
| Complexiteit | Nee | OF: Tabel 2-1. Kenmerken van fiets, fietser en fietsen Het aantal taken dat een verkeersdeelnemer kan uitvoeren en de complexiteit daarvan, zijn aan grenzen gebonden. De kans op fouten neemt toe als het ontwerp niet past in het verwachtingspatroon van weggebruikers. De ontwerper moet deze grenzen respecteren, daarbij rekening houdend met langzame (minder ervaren en minder capabele) fietsers en met snelle fietsers. OF: 4.3.3 Veiligheid Elke ontmoeting met een kruisende verkeersstroom is een potentieel conflict. Het risico van die ontmoetingen is afhankelijk van de intensiteit, de snelheid en de massa van het kruisende verkeer, en de complexiteit van het kruispunt. OF: 6.3.7.2 Trambaan Wat de situaties rond trambanen uitzonderlijk kan maken, is dat de trambaan vaak tussen of naast de rijbanen voor het gemotoriseerd verkeer ligt en er soms ook trams uit richtingen kunnen komen die voor het overige verkeer niet zijn toegestaan. Dit leidt ertoe dat het ontwerp voor een kruising al gauw complex wordt en niet meer aansluit op het verwachtingspatroon van weggebruikers. In dergelijke complexe situaties is extra beveiliging van de oversteek gewenst. |

De meeste kenmerken uit het literatuuronderzoek (*Hoofdstuk 3*) blijken ook in de Nederlandse richtlijnen voor te komen (*Tabel 4.1*). Overigens wil dit niet zeggen dat de richtlijnen daarmee compleet zijn; er zijn immers ook relevante ontwerpkenmerken die niet of nauwelijks zijn onderzocht (zie ook *Paragraaf 4.1.2* hierna). Bij ongeveer de helft van de relevante kenmerken uit *Tabel 4.1* wordt verkeersveiligheid expliciet in de richtlijnen genoemd, maar bij geen daarvan wordt ingegaan de verkeersveiligheidseffecten van de aanbevolen ontwerpkeuzes, of van afwijkingen daarvan. Het valt aan te bevelen om daar waar er uit wetenschappelijk onderzoek

relaties bekend zijn tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid, deze ook expliciet te benoemen in de richtlijnen. Voor een ontwerper is dan ook duidelijker te zien wat de mogelijke verkeersveiligheidseffecten zijn als ervoor wordt gekozen om af te wijken van een aanbevolen maat. De richtlijnen zouden bijvoorbeeld bij het kenmerk ‘Aantal takken’ kunnen benoemen dat een viertakskruispunt, met vergelijkbare verkeersintensiteiten, tot 61% meer ongevallen kan opleveren dan een drietakskruispunt. Of dat opstelstroken voor linksaf het aantal ongevallen met 27% kan doen afnemen.

Ter illustratie: in de Amerikaanse richtlijnen worden consequent tabellen opgenomen met daarin het veiligheidseffect (in de vorm van ‘Crash Modification Factors’ of CMF’s) van afwijkingen ten opzichte van de voorkeursvariant. *Tabel 4.2* laat een voorbeeld daarvan zien voor middenbermbreedte van een 2x2-weg buiten de bebouwde kom: het effect van verbreding van de middenberm is aangegeven met CMF’s. De verkeersveiligheid zou erbij gebaat zijn als ook in de Nederlandse richtlijnen dergelijke effecten bij vooral de kritische ontwerpelementen benoemd zouden worden.

Tabel 4.2. Voorbeeld van manier om inzicht te krijgen in verkeersveiligheidseffecten van ontwerpkeuzes: CMF’s voor middenbermverbreding uit de Verenigde Staten (Schermers & Van Petegem, 2013)

| Breedte middenberm (m) | 2x2 bubeko-weg met geslotenverklaring en zonder erfaansluiting | | 2x2 bubeko-weg zonder geslotenverklaring en met erfaansluiting | |
|------------------------|--|---------------|--|---------------|
| | Alle ongevallen | Doorsteekong. | Alle ongevallen | Doorsteekong. |
| 3 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 6 | 0,96 | 0,86 | 0,95 | 0,84 |
| 9 | 0,93 | 0,74 | 0,91 | 0,71 |
| 12 | 0,90 | 0,63 | 0,87 | 0,60 |
| 15 | 0,87 | 0,54 | 0,83 | 0,51 |
| 18 | 0,84 | 0,46 | 0,79 | 0,43 |
| 21 | 0,81 | 0,40 | 0,76 | 0,36 |
| 24 | 0,78 | 0,34 | 0,72 | 0,31 |
| 27 | 0,75 | 0,29 | 0,69 | 0,26 |
| 30 | 0,73 | 0,25 | 0,66 | 0,22 |

Noot: Doorsteekongevallen ('cross median') zijn ongevallen waarbij voertuigen de middenberm doorkruisen, typisch tussen voertuigen in tegengestelde richting ofwel frontale botsingen.

Tabel 3.6. Crash modification factors voor verschillende middenbermbreedtes op 2x2-wegen buiten de kom (Srinivasan et al., 2009).

4.1.2 Aanwezigheid kruispuntkenmerken INTERSAFE

In deze paragraaf presenteren we de resultaten uit een eerder onderzoek uit 2013 (Schermers et al., 2013) naar ontwerpkenmerken die belangrijk zijn voor de verkeersveiligheid en of en hoe die genoemd worden in de richtlijnen. Dat onderzoek was gericht op een meer algemene beoordeling van verkeersveiligheid in richtlijnen en nam alle wegen en kruispunten in beschouwing. Er was geen nadrukkelijke aandacht voor fietsers en voetgangers, maar toch zijn de resultaten wat betreft kruispunten op wegen binnen en buiten de bebouwde kom (op GOW en ETW) relevant voor onderhavig onderzoek. De meest relevante resultaten worden hier besproken; meer details staan in het oorspronkelijk onderzoek (Schermers et al., 2013).

In het onderzoek van Schermers et al. (2013) is gekeken of de verschillende ontwerpelementen uit de Europese INTERSAFE-studie (ERSF, 1996) in de richtlijnen worden genoemd, of daarbij de verkeersveiligheid wordt benoemd, en of de veiligheidseffecten inzichtelijk worden gemaakt. De

86 ontwerpkenmerken uit de studie *INTERSAFE – Technical Guide on Road Safety for Interurban Roads* (ERSF, 1996) zijn ingedeeld in vier ontwerpcategorieën:

1. basiscriteria (25 items);
2. alignement (19 items);
3. dwarsprofiel (21 items);
4. kruispunten (21 items).³

Dit rapport richt zich uiteraard alleen op de 21 kruispunt-items en de vraag van Schermers et al. (2013) of en hoe deze in 2013 waren opgenomen in de ASVV (CROW, 2012a) en het HWO (CROW, 2013). Ook is in de studie van Schermers et al. (2013) aan deskundigen binnen en buiten SWOV een ‘waardeoordeel’ gevraagd over 1) het veronderstelde effect van de kenmerken op de veiligheid, 2) de gewenste mate van onderbouwing in de richtlijnen, en 3) de mogelijkheden om het kenmerk nader te onderzoeken (de ‘onderzoekbaarheid’) als de kennis niet compleet is.

In *Bijlage A* zijn voor alle 21 kruispunt-items de opname in de ASVV en het HWO en de expertbeoordeling vermeld. Deze resultaten zijn hier samengevat in vier tabellen (*Tabel 4.3 t/m Tabel 4.6*). Niet alle 21 items die INTERSAFE onder kruispunten noemt zijn relevant voor alle kruispunttypen: sjablonen (‘design templates’) en ontwerpprincipes (‘design principles’) zijn bijvoorbeeld concepten die niet direct terug zijn te zien op gelijkvloerse kruispunten. Om deze reden kijken de ASVV- en HWO-totalen in de tabellen af van de 21 INTERSAFE-kenmerken.

Tabel 4.3 laat zien dat nagenoeg alle kruispuntkenmerken zoals gehanteerd door INTERSAFE ook in de ASVV en het HWO voorkomen. Wat opvalt, is dat de verkeersveiligheid daarbij altijd wordt genoemd. De ASVV legt bij het grootste aandeel hiervan ook een kwantitatief verband met verkeersveiligheid, terwijl het HWO bij het grootste deel alleen de verkeersveiligheid benoemt maar geen kwantitatieve relatie legt met veiligheid.

Tabel 4.3. Kruispunt-ontwerpkenmerken uit INTERSAFE genoemd in de onderzochte richtlijnen (Schermers et al., 2013)

| Richtlijn | Items | Verkeersveiligheid genoemd | Verkeersveiligheid zonder effect | Verkeersveiligheid genoemd mét effect | Item niet genoemd | Totaal (21)* |
|-----------|------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------|
| ASVV | aantal | 4 | | 13 | 3 | 20 |
| | percentage | 19,0% | | 61,9% | 14,3% | 95,2% |
| HWO | aantal | 13 | | 2 | 2 | 17 |
| | percentage | 61,9% | | 9,5% | 9,5% | 80,9% |



* De totalen tellen niet op tot 21 omdat niet alle INTERSAFE kenmerken relevant zijn voor gelijkvloerse kruispunten

De experts hebben in Schermers et al. (2013) ingeschat dat het verkeersveiligheidseffect van de meeste van INTERSAFE-kruispuntkenmerken groot is (*Tabel 4.4*).

Tabel 4.4. Expert-inschatting van verkeersveiligheidseffecten van de 21 kruispunt-items uit INTERSAFE (Schermers et al., 2013)

| Richtlijn | Items | Verkeersveiligheidseffect | | | Totaal (21) |
|-----------|------------|---------------------------|-----------|-------|-------------|
| | | klein | gemiddeld | groot | |
| ASVV | aantal | 4 | 4 | 13 | 21 |
| | percentage | 19,0% | 19,0% | 61,9% | 100% |
| HWO | aantal | 1 | 3 | 17 | 21 |
| | percentage | 4,8% | 14,3% | 89,9% | 100% |



3. De kruispuntkenmerken uit de INTERSAFE-studie zijn andere dan de kenmerken uit de onderzoeksliteratuur die zijn besproken in *Paragraaf 3.1*.

Als we kijken naar de gewenste mate van onderbouwing van de relatie tussen de kenmerken en verkeersveiligheid (Tabel 4.5), dan blijkt dat de experts hebben ingeschat dat minder dan de helft van de kenmerken een kwantitatieve onderbouwing behoeft, en 10 tot 24% van de kenmerken kwalitatief mag worden beschreven (Schermers et al., 2013).

Tabel 4.5. Gewenste mate van onderbouwing van de 21 kruispunt-items uit INTERSAFE in de onderzochte richtlijnen (Schermers et al., 2013)

| Richtlijn | Items | Gewenste onderbouwing | | | Totaal (21) |
|-----------|------------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|
| | | kwalitatief | gedeeltelijk | kwantitatief | |
| ASVV | aantal | 2 | 12 | 7 | 21 |
| | percentage | 9,5% | 57,1% | 33,3% | 100% |
| HWO | aantal | 5 | 7 | 9 | 21 |
| | percentage | 23,8% | 33,3% | 42,9% | 100% |

Volgens de inschatting van experts uit Schermers et al. (2013), zijn de verkeersveiligheidseffecten bij slechts een relatief klein aandeel (10-52%) van de kruispuntkenmerken volledig te onderzoeken (Tabel 4.6). Aangezien bij veel kenmerken wordt ingeschat dat dergelijk onderzoek moeilijk zal zijn, is het niet verrassend dat in de huidige ASVV en HWO de relatie van kenmerken met de verkeersveiligheid zo weinig (kwantitatief) is onderbouwd. Een derde van de INTERSAFE-kruispuntkenmerken wordt niet in de ASVV genoemd of wordt genoemd zonder een kwantitatieve relatie te leggen met verkeersveiligheid. Bij het HWO is dat bij 71% van de kenmerken het geval (zie Tabel 4.3).

Tabel 4.6. Onderzoekbaarheid van de 21 kruispunt-items uit INTERSAFE (Schermers et al., 2013)

| Richtlijn | Items | Onderzoekbaarheid | | | Totaal (21) |
|-----------|------------|-------------------|--------------|----------|-------------|
| | | niet | gedeeltelijk | volledig | |
| ASVV | aantal | 1 | 18 | 2 | 21 |
| | percentage | 4,8% | 85,7% | 9,5% | 100% |
| HWO | aantal | 1 | 8 | 11 | 20 |
| | percentage | 4,8% | 38,1% | 52,4% | 95,2% |

In 2022 is het werk uit 2013 intern door SWOV geactualiseerd (dus zonder inbreng van externe experts). Op basis daarvan is een (interne SWOV-)kennisagenda voor geloofwaardig en veilig wegontwerp opgesteld (voor kruispunten: zie Paragraaf 4.1.3.2). De werkwijze was nagenoeg identiek aan die uit 2013 met, per kruispunt-item, een beschouwing van:

- > de relevantie voor de verkeersveiligheid;
- > item wel of niet genoemd in de richtlijn;
- > veiligheid wel of niet genoemd bij item;
- > mate van onderbouwing effect;
- > onderzoekbaarheid.

4.1.3 Belangrijkste onderzoeksonderwerpen en -vragen voor kruispunten

Aan de hand van de resultaten van de hiervoor genoemde richtlijn- en expertbeoordelingen zijn de belangrijkste onderwerpen voor onderzoek naar kruispuntkenmerken geïdentificeerd. Dit is zowel gedaan in de studie uit 2013 als bij de actualisatie in 2022.

4.1.3.1 Uit Schermers et al. (2013)

Om te komen tot een prioritering van onderzoeksonderwerpen pasten Schermers et al. (2013) een weging toe. Het hoofddoel van deze prioritering was – ook in 2013 – om de belangrijkste onderwerpen voor onderzoek aan te bevelen en om uiteindelijk met de resultaten daarvan

verkeersveiligheid beter in te bedden in de Nederlandse richtlijnen. Voor zowel ASVV als HWO werd een aantal onderzoeksthema's benoemd waarvan de volgende direct betrekking hadden op kruispunten binnen en buiten de bebouwde kom (geciteerd uit Schermers et al, 2013). Een aantal hiervan kunnen ook relevant zijn voor dit (onderhavig) onderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten voor met name kwetsbare verkeersdeelnemers:

Kruispunten binnen de kom

1. Ongevallengegevens per kruispunttype (Traffic safety records for intersection types)

De ongevallengegevens en verkeersveiligheid per kruispunttype zijn in de afgelopen decennia bepaald. Of deze nog actueel en toepasbaar zijn is niet bekend. Daarnaast zijn verschillende nieuwe kruispunttypen geïntroduceerd zoals het voorrangskruispunt 'Langzaam Rijden Gaat Sneller' (LaRGaS), en de turborotonde (in vele verschillende verschijningsvormen en voorrang voor fietsers).

Onderzoeksvraag:

Wat is het huidige risicoprofiel van verschillende soorten kruispunten binnen de bebouwde kom en zijn daarin aanbevelingen te doen voor de verschijningsvorm en voorrang? Zijn Accident Prediction Models en/of Safety Performance Functions (SPF) te ontwikkelen per kruispunttype en wat is hiervoor nodig?

2. Voorzieningen voor voetgangers en fietsers (Bicycle and pedestrian facilities)

In ASVV zijn vele typen voorzieningen voor fietsers en voetgangers op kruispunten opgenomen. Voorbeelden zijn het al dan niet meelopen van voorrang voor fietsers bij voorrangskruispunten inclusief LaRGaS, (turbo) rotondes en het toepassen van zebra's of alleen kanalisatiestrepen. De daadwerkelijke bijdrage van deze voorzieningen aan de verkeersveiligheid is onbekend. Het is zinvol om na te gaan wat de impact is van fietsers in-uit de voorrang op bepaalde kruispunttypen en voetgangersvoorzieningen.

Onderzoeksvragen:

Wat is het effect van verschillende fietsvoorzieningen op verschillende kruispunttypen waarbij fietsers in-uit de voorrang rijden? Wat is het effect van verschillende voetgangersvoorzieningen op verschillende kruispunttypen?

Kruispunten buiten de bebouwde kom

3. Maatregelen om conflicten te vermijden voor motorvoertuigen (Traffic conflict countermeasures for motor vehicles)

Diverse voorzieningen zorgen ervoor dat motorvoertuigen op kruispunten bijv. veilig linksaf kunnen slaan vanaf de gebiedsontsluitingsweg naar de zijweg. Voorbeelden van deze voorzieningen zijn linksaf-vakken, een middeneiland (in verf of verhoogd) of passeerstroken. Oprijdende motorvoertuigen vanuit de zijweg moeten ook veilig kunnen oprijden. Een druppel of wachtplek in het midden van de gebiedsontsluitingsweg verhogen de veiligheid. In beide situaties spelen de intensiteit van verkeer op de gebiedsontsluitingsweg, de hiaten in de verkeersstroom en de voorrangsregeling een rol. Er zijn wel ideeën over mogelijk veilige oplossingen, maar die moeten verder worden onderbouwd met ongevallenonderzoek en gedragsonderzoek. Hierbij kunnen ook de voorzieningen voor langzaam verkeer betrokken worden (zoals type fietsoversteek).

Onderzoeksvraag:

Welke fysieke voorzieningen voor gemotoriseerd verkeer en langzaam verkeer op voorrangskruispunten op gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom, zorgen voor de meest veilige situatie?

4. Regelingstype (Traffic control mode)

De verschillende voorrangsregelingen (van rechts gaat voor tot voorrangskruispunt via rotonde tot verkeerslichten) op kruispunten hebben een verschillende veiligheid. De ongevallengegevens en verkeersveiligheid per kruispunttype zijn in de afgelopen decennia bepaald. Het is niet bekend of deze nog actueel en toepasbaar zijn. Daarnaast is ook een nieuw kruispunttype geïntroduceerd: de turborotonde (in vele verschillende verschijningsvormen).

Onderzoeksvraag:

Wat is de huidige verkeersveiligheid op de te onderscheiden kruispunttypen buiten de bebouwde kom en zijn daarin aanbevelingen te doen voor de verschijningsvorm en voorrang?

5. *Maatregelen om conflicten te vermijden voor langzaam verkeer* (Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users)

De veiligheid van langzaam verkeer is ermee gediend als conflicten met gemotoriseerd verkeer kunnen worden vermeden op wegen met een limiet van 80 km/uur of hoger. Conflicten op gelijkvloerse kruispunten tussen langzaam en gemotoriseerd verkeer zijn alleen veilig als de onderlinge snelheidsverschillen niet hoger zijn dan 30 km/uur. Er is alleen aan deze eis te voldoen door strikte randvoorwaarden aan het ontwerp.

Onderzoeksvraag:

Kan het ontwerp zorgen voor een situatie waarin conflicten op kruispunten tussen langzaam verkeer en gemotoriseerd verkeer plaatsvinden bij snelheidsverschillen van maximaal 30 km/uur?

6. *Zichtdriehoeken, zichtafstanden* (Sight requirements)

Bij kruispunten zijn stopzicht en oprijzicht van belang voor een veilige afwikkeling. In de huidige richtlijnen gebruikt men waarden voor de zichtafstanden die nog stammen uit de jaren van de RONA. Een actualisatie van aannames en parameters is gewenst.

Onderzoeksvraag:

Zijn de aannames en de parameters in de formules voor de berekening van zichtafstanden nog relevant voor het huidige wegverkeer en de huidige wegdekeigenschappen (stroefheid)?

7. *Fietspad* (Cycle lane)

In aanvulling op andere onderzoeksvragen, bleek uit de gesprekken met wegbeheerders (zie Schermers et al, 2013) dat wegontwerpers meer inzicht zouden willen in de fietsveiligheid op kruispunten waarbij een fietsvoorziening een zijweg kruist.

Onderzoeksvraag:

Welke invloed hebben de belijning en breedte van de fietsvoorziening in combinatie met de fietsintensiteit op een twee-richtingen fietspad en kruisingsvlakken van fietspaden met zijwegen?

4.1.3.2 Actualisatie 2022

Met dezelfde aanpak en lijst van kruispuntkenmerken als in 2013 zijn ook in 2022 de belangrijkste onderwerpen voor onderzoek geïdentificeerd. Daarbij is wel extra gelet op relevantie voor verkeersveiligheid. Omdat sommige kruispuntelementen een kleiner effect op veiligheid hebben dan andere, is bij deze actualisatie in 2022 ook beoordeeld hoe cruciaal maatregelen voor de verkeersveiligheid zijn. Voorzieningen/inrichtingselementen van de INTERSAFE-lijst zijn als cruciaal voor verkeersveiligheid beschouwd als deze:

- conflicten met ernstige afloop (ongevallen met letsel) vermijden, en/of
- een aanzienlijke ongevallenreductie opleveren.

Op deze manier is een aangepaste prioriteitenlijst voor onderzoek ontstaan. Het gaat om kenmerken binnen de volgende onderwerpen (in alfabetische volgorde):

- > Aantal kruispunttakken
- > Fietspaden
- > Ongevallencijfers voor kruispunttypen
- > Voorzieningen om conflicten op kruispunten te vermijden, ook voor langzaam verkeer
- > Voorzieningen voor fietsers en voetgangers

Het is niet verrassend dat dit lijstje voor een groot deel overeenkomt met de hiervoor genoemde lijst met zeven kruispuntonderwerpen uit 2013 (*Paragraaf 4.1.3.1*). Deze actuele lijst bevat het aantal kruispunttakken als extra kruispuntkenmerk, maar bevat niet meer de kenmerken

‘regelingstype’ en ‘zicht’ (nr. 4 resp. 6 in de 2013-lijst), omdat deze ontwerpelementen als minder cruciaal zijn gescoord.

Voor de onderwerpen die ook voorkomen in de lijst uit 2013, zijn de onderzoeksvragen in de betreffende paragraaf (*Paragraaf 4.1.3.1*) geformuleerd. De onderzoeksvraag voor het extra kenmerk ‘aantal kruispunttakken’ is als volgt uitgewerkt:

➤ *Aantal kruispunttakken*

Het aantal kruispunttakken is gewoonlijk vier. Meestal wordt aanbevolen niet meer dan drie takken per kruispunt aan te brengen. De veiligheid van kruispunten met drie of vier takken is vaak onderzocht. Toch is niet in alle gevallen duidelijk wat de voorkeur heeft. Er zou een onderscheid in de hoeveelheid verkeer per tak en eventueel in de soorten verkeer moeten worden gehanteerd.

Onderzoeksvragen:

- a. Wat is de relatie tussen het aantal kruispunttakken en verkeersongevallen?
- b. Zijn drietakskruispunten veiliger dan kruispunten met vier (of meer) takken?
- c. Wat zijn dominante ongevalstypen bij drie- en viertakskruispunten?
- d. Zijn Crash Prediction Models te ontwikkelen voor de verschillende soorten drie- en viertakskruispunten?

4.2 VRI-kenmerken in Duitse richtlijnen

Er is voor gekozen om ook informatie uit de Duitse richtlijnen te halen. De Duitse richtlijnen zijn ook voor Nederland relevant, omdat de wegen in beide landen veel overeenkomsten hebben. Ook ligt er aan de Duitse richtlijnen veel onderzoek ten grondslag, vermoedelijk meer dan aan de Nederlandse richtlijnen. In het verleden zijn de Duitse richtlijnen gebruikt als input voor de Nederlandse richtlijnen op het gebied van wegen buiten de bebouwde kom.

Wat het kruispuntontwerp in Duitsland betreft zijn er drie richtlijnen relevant: RAL, RAS_t en ERA: dit zijn respectievelijk de richtlijnen voor wegen buiten de bebouwde kom (*Richtlinien für die Anlage von Landstraßen*), de richtlijnen voor straten binnen de bebouwde kom (*Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*) en de aanbevelingen voor fietsvoorzieningen (*Empfehlungen für Radverkehrsanlagen*). Deze laatste wordt hier niet uitgebreid besproken omdat relevante VRI-voorzieningen voor fietsers ook in de RAL en RAS_t worden behandeld.

4.2.1 Richtlijn voor wegen buiten de bebouwde kom (RAL)

In deze richtlijn zijn vier wegcategorieën gedefinieerd (LS I tot en met LS IV); zie het omkaderd deel van de kolom ‘Landstraßen’ in *Tabel 4.7*. Kenmerkende punten in deze richtlijn zijn:

- Elke wegcategorie (LS I t/m IV) is een-op-een vertaald naar een ontwerptype (EKL 1 t/m 4).
- De RAL behandelt geen verkeerspleinen.
- Er staan *geen* rotondes met VRI beschreven in de RAL.
- De RAL beschrijft een trompetaansluiting; de Nederlandse richtlijnen ontraden dit type aansluiting.

Tabel 4.7. Wegcategorieën buiten de bebouwde kom (geen autosnelwegen)

Tabelle 1: Straßenkategorien nach den RIN und Geltungsbereich der RAL (fett umrandet)

| Kategoriengruppe | | Autobahnen | Landstraßen | anbaufreie Hauptverkehrsstraßen | angebaute Hauptverkehrsstraßen | Erschließungsstraßen |
|------------------|-----|------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| | | AS | LS | VS | HS | ES |
| kontinental | 0 | AS 0 | | - | - | - |
| großräumig | I | AS I | LS I | | - | - |
| überregional | II | AS II | LS II | VS II | | - |
| regional | III | - | LS III | VS III | HS III | |
| nahräumig | IV | - | LS IV | - | HS IV | ES IV |
| kleinräumig | V | - | LS V * | - | - | ES V |

| | |
|-------------|--|
| LS I | unproblematisch, Bezeichnung der Kategorie |
| | problematisch |
| - | nicht vertretbar oder nicht vorkommend |

* Planung gegebenenfalls in Anlehnung an die RAL.

De indeling van de kruispunttypen is gekoppeld aan de vier genoemde ontwerptypen (Tabel 4.8).

Tabel 4.8. Indeling van drietaks en viertakskruispunten gekoppeld aan kruising van de verschillende ontwerptypen

Tabelle 21: Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vierarmigen Knotenpunkten

| übergeordnete Straße / untergeordnete Straße | EKL 1 | EKL 2 | EKL 3 | EKL 4 |
|--|--------------------|----------------------|-------|-------|
| EKL 1 | | | | |
| EKL 2 | | | | |
| EKL 3 | | | | |
| EKL 4 | nicht zu vertreten | nicht zu empfehlen * | | |

Legende:
 Lichtsignalanlage mit Linksabbiegerschutz
 Einsatz der Lichtsignalanlage prüfen
 Die übergeordnete Straße ist senkrecht dargestellt. Die vorfahrtsberechtigige Straße ist als Breitstrich dargestellt.
 weitere Einsatzbereiche der Knotenpunktarten siehe Abschnitt 6.3.3

Tabelle 22: Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten bei dreiarmligen Knotenpunkten

| übergeordnete Straße / untergeordnete Straße | EKL 1 | EKL 2 | EKL 3 | EKL 4 |
|--|--------------------|----------------------|-------|-------|
| EKL 1 | | | | |
| EKL 2 | | | | |
| EKL 3 | | | | |
| EKL 4 | nicht zu vertreten | nicht zu empfehlen * | | |

Legende:
 Lichtsignalanlage mit Linksabbiegerschutz
 Einsatz der Lichtsignalanlage prüfen
 Die übergeordnete Straße ist senkrecht dargestellt. Die vorfahrtsberechtigige Straße ist als Breitstrich dargestellt.
 weitere Einsatzbereiche der Knotenpunktarten siehe Abschnitt 6.3.3

*) Wenn in zu begründenden Ausnahmefällen eine Straße der EKL 4 angeschlossen werden muss, ist der Anschluss wie der einer Straße der EKL 3 auszubilden.

De RAL hanteert een systematische behandeling van voorzieningen voor rechts en links afslaan.

Rechts afslaan vanaf een hoofdweg

Typen rechts afslaan RA1 en RA2 zijn voor kruispunten met VRI (Tabel 4.9).

Tabel 4.9. Vormgeving van voorzieningen om rechts af te slaan vanaf een hoofdweg

Tabelle 29: Rechtsabbiegetypen

| Rechts-abbiegetyp | Skizze | zugeordneter Zufahrttyp |
|-------------------|--------|-------------------------|
| RA1 | | KE1/KE2 |
| RA2 | | KE1/KE2 |
| RA3 | | KE3 |
| RA4 | | KE4 |
| RA5* | | KE5* |
| RA6* | | KE6* |

*) Wenn nach Abschnitt 6.4.5 das Linksabbiegen ohne bauliche Veränderung möglich ist, kann der kleine Tropfen entfallen, falls die Erkennbarkeit der Wartepflicht durch Verkehrszeichen und/oder Bepflanzung sichergestellt ist.



* G/R = voet-/fietspad

Rechts afslaan vanaf een zijweg

Voor het rechts afslaan vanaf een zijweg, hebben kruispunttypen KE1 en KE2 een VRI (Tabel 4.10).

Tabel 4.10. Vormgeving van voorzieningen om rechts af te slaan vanaf een zijweg

Tabelle 31: Zufahrtstypen für Kreuzen und Einbiegen

| Zufahrtstyp | Skizze | zugeordneter Rechtsabbiegetyp |
|-------------|--------|-------------------------------|
| KE1* | | RA1/RA2 |
| KE2* | | RA1/RA2 |
| KE3 | | RA3 |
| KE4 | | RA4 |
| KE5 | | RA5 |
| KE6 | | RA6** |

*) Ausbildung bei Kombination mit RA2 und kleinem Tropfen

***) Wenn nach Abschnitt 6.4.5 das Linksabbiegen ohne bauliche Veränderung möglich ist, kann der kleine Tropfen entfallen, wenn die Erkennbarkeit der Wartepflicht durch Verkehrszeichen und/oder Bepflanzung sichergestellt ist.



* G/R = voet-/fietspad

Links afslaan op een drietakskruispunt
Kruispunttype LA1 uit *Tabel 4.11* heeft een VRI.

Tabel 4.11. Vormgeving van voorzieningen om links af te slaan op een drietakskruispunt

Tabelle 27: Linksabbiagetypen

| Linksabbiagetyp | Skizze |
|-----------------|--------|
| LA1 | |
| LA2 | |
| LA3 | |
| LA4 | |

Systemskizze

4.2.2 Richtlijn voor straten binnen de bebouwde kom (RASt)

Er zijn drie groepen stadsstraten, VS, HS en ES; elke groep bevat twee categorieën: zie omkaderd deel van *Tabel 4.12*.

Tabel 4.12. Indeling van stadsstraten naar verbindingfunctie en categoriegroep

| Kategoriengroep | | Autobahnen | Landstrassen | anbaufreie Hauptverkehrsstraßen | angebaute Hauptverkehrsstraßen | Erschließungsstraßen |
|-----------------|-----|------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| | | AS | LS | VS | HS | ES |
| kontinental | 0 | AS 0 | | - | - | - |
| großräumig | I | AS I | LS I | | - | - |
| überregional | II | AS II | LS II | VS II | | - |
| regional | III | - | LS III | VS III | HS III | |
| nähräumig | IV | - | LS IV | - | HS IV | ES IV |
| kleinräumig | V | - | LS V | - | - | ES V |

AS I voorkomend, Bezeichnung der Kategorie
 problematisch
 - nicht vorkommend oder nicht vertretbar

RASt

Bild 1: Geltungsbereich der RASt für die Straßenkategorien der RIN

Meestal worden de groepen stadsstraten vereenvoudigd tot Hauptverkehrsstraßen (HV = VS + HS)) en Erschließungsstraßen (ES).

De richtlijn beveelt aan op welke manier de verschillende kruispunten van wegen moeten worden geregeld. Er zijn drie soorten kruispunten, afhankelijk van de kruisende wegcategorieën: Hauptverkehrsstraßen onderling, Erschließungsstraßen onderling, en aansluitingen van HV op ES;

zie Tabel 4.13. De regelingen kunnen zijn: rechts voorrang ('ongeregeld'), voorrangsregeling of VRI. Bij kruispunten met een Hauptverkehrsstraße is een VRI de aangewezen regeling.

Tabel 4.13. Kruispunttypen naar kruisende wegcategorieën en naar aard van verkeersregeling.

Tabelle 6: Eignung von Knotenpunktarten

| | Einmündungen/Kreuzungen | | | Kreisverkehre | | | Teilplanfreie Lösung |
|---|-----------------------------|--|---------|------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | mit Rechtsvorlinks-Regelung | mit vorkahrt-regelnden Verkehrszeichen | mit LSA | Minikreisverkehr | Kleiner Kreisverkehr | Großer Kreisverkehr mit LSA | |
| Knotenpunkte von Erschließungsstraßen | | | | | | | |
| gleichrangige Erschließungsstraßen | +*) | ○*) | - | +*) | +*) | - | - |
| Erschließungsstraßen unterschiedlichen Rangs | ○ | + | ○ | + | +*) | - | - |
| Anschlussknotenpunkte | | | | | | | |
| Erschließungsstraße/Hauptverkehrsstraße mit 2 durchgehenden Fahrstreifen | - | + | + | ○ | + | - | - |
| Erschließungsstraße/Hauptverkehrsstraße mit 4 oder mehr durchgehenden Fahrstreifen | - | ○**) | + | - | - | - | - |
| Knotenpunkte von Hauptverkehrsstraßen | | | | | | | |
| Hauptverkehrsstraße mit 2 durchgehenden Fahrstreifen/Hauptverkehrsstraße mit 2 durchgehenden Fahrstreifen | - | ○ | + | ○ | + | - | - |
| Hauptverkehrsstraße mit 2 durchgehenden Fahrstreifen/Hauptverkehrsstraße mit 4 oder mehr durchgehenden Fahrstreifen | - | - | + | - | ○ | + | ○ |
| Hauptverkehrsstraße mit 4 oder mehr durchgehenden Fahrstreifen/Hauptverkehrsstraße mit 4 oder mehr durchgehenden Fahrstreifen | - | - | + | - | - | + | ○ |
| Hauptverkehrsstraße/Rampen Stadtautobahn | - | - | + | - | + | + | ○ |

*) Knotenpunktfolge abstimmen, Gebietscharakter wahren

***) gegebenenfalls geeignet bei Knotenpunkten von Ortsdurchfahrten klassifizierter Straßen mit mittleren und geringen Verkehrsstärken

+ geeignet

○ bedingt geeignet, gegebenenfalls mit ergänzenden Maßnahmen

- nicht geeignet

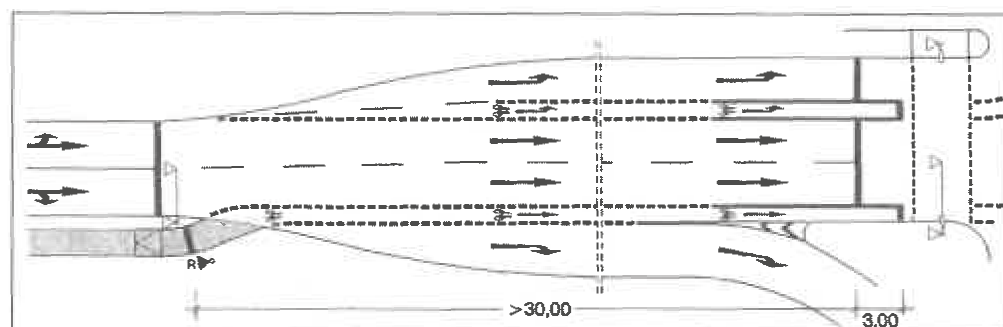


* Kreisverkehr = rotonde; mit LSA = met VRI

Specifieke fietsvoorzieningen bij VRI

Anders dan in Nederland, staat in de Duitse richtlijn RASt een voorziening die het conflict tussen recht doorgaande fietsers en rechts afslaan motorvoertuigen reguleert. Bij kruispunten met VRI is er namelijk een apart geregelde overstek voor fietsers (die rechtdoor willen rijden) bij het begin van de opstelstrook voor motorvoertuigen die naar rechts afslaan; zie Afbeelding 4.1.

Afbeelding 4.1. Vormgeving van fietsoversteek bij VRI-kruispunt: bij de beëindiging van het vrijliggende fietspad is een verkeerslicht aangebracht.



De RASt hanteert een zogeheten fietswissel als er een opstelstrook voor rechtsaf begint; zie Afbeelding 4.2.

Afbeelding 4.2. Fietswissel



4.2.3 Beoordeling van de Duitse richtlijnen RAL en RAST

De hiervoor besproken onderdelen van de RAL en de RAST zijn beoordeeld aan de hand van de 21 INTERSAFE-kruispuntkenmerken zoals ook bij de Nederlandse richtlijnen is gedaan (Paragraaf 4.1.2). Hierbij is nagegaan of die items 1) in de richtlijnen worden genoemd, 2) of daarbij de verkeersveiligheid wordt benoemd, en 3) of de verkeersveiligheidsconsequenties worden besproken en de effecten inzichtelijk worden gemaakt.

Anders dan bij de beoordeling van de Nederlandse richtlijnen door Schermers et al. (2013), is vervolgens geen expertoordeel uitgesproken over zaken als het veronderstelde effect op veiligheid, de gewenste mate van onderbouwing of in hoeverre onderzoek naar de relatie tussen het kenmerk en verkeersveiligheid uit te voeren is. Een dergelijke beoordeling heeft enkel zin als deze wordt uitgevoerd door Duitse experts, ofschoon niet wordt verwacht dat de uitkomst veel anders zal zijn dan die van de Nederlandse experts (zie Tabel 4.4 t/m Tabel 4.6).

Bijlage B geeft voor alle 21 kruispunt-items aan of ze in de RAL en RAST worden genoemd, en of en hoe verkeersveiligheid wordt benoemd. De samenvatting in Tabel 4.14 laat zien dat de meeste van deze items genoemd worden in de RAL en de RAST. Bij de beoordeling viel op dat de Duitse richtlijnen verkeersveiligheid benoemen als belangrijk voor de meeste ontwerpelementen maar nooit een koppeling maken naar de verkeersveiligheidseffecten. Deze worden expliciet niet benoemd en dat is wezenlijk anders dan in de Nederlandse richtlijnen (zie Tabel 4.3).

In de RAL zijn twee items niet genoemd: ongevallencijfers en fietsvoorzieningen bij rotondes.

In de RAST zijn vijf items niet genoemd: aantal kruispunttakken, ongevallencijfers, onderscheid drietaks- en viertakskruispunten, rijbaansplitsing zijweg, en plaatselijke snelheidslimieten.

Tabel 4.14. Genoemd effect van 21 items in de onderzochte Duitse richtlijnen

| Richtlijn | Items | Verkeersveiligheid genoemd | Verkeersveiligheid zonder effect | Verkeersveiligheid genoemd mét effect | Item niet genoemd | Totaal (21) |
|-----------|------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------|
| RAL | aantal | 19 | - | 2 | 21 | |
| | percentage | 90,5% | - | 9,5% | 100,0% | |
| RASt | aantal | 16 | - | 5 | 21 | |
| | percentage | 76,2% | - | 23,8% | 100,0% | |

4.3 Onderzoeksonderwerpen op basis van beoordeling richtlijnen

Uit dit hoofdstuk is af te leiden dat er duidelijke raakvlakken en overlappen zijn tussen de Duitse en Nederlandse richtlijnen, als we deze beoordelen aan de hand van de kruispuntonderwerpen volgens de INTERSAFE-indeling. Er zijn echter ook grote verschillen. De belangrijkste zijn:

1. In de Nederlandse richtlijnen worden meer INTERSAFE-kenmerken benoemd en behandeld dan in de Duitse.
2. De Duitse richtlijnen leggen vaker en nadrukkelijker dan de Nederlandse richtlijnen een relatie tussen de kenmerken en verkeersveiligheid, maar zonder daarbij de effecten te kwantificeren.

Als we de Nederlandse richtlijnen willen verbeteren, en daar waar mogelijk willen leren van de Duitse, dan pleit dat ervoor om vaker de relatie te leggen tussen het kenmerk en verkeersveiligheid, en deze relaties ook beter te onderbouwen.

Voor een betere onderbouwing van kruispuntkenmerken in de Nederlandse richtlijnen is op grond van de beoordelingen in *Paragraaf 4.1* behoefte aan onderzoek op het gebied van:

- > Aantal kruispunttakken
- > Fietspaden
- > Ongevallencijfers voor kruispunttypen
- > Voorzieningen om conflicten op kruispunten te vermijden, ook voor langzaam verkeer
- > Voorzieningen voor fietsers en voetgangers

Hoewel de relatie tussen het aantal kruispunttakken en verkeersveiligheid slecht is onderbouwd in de Nederlandse richtlijnen en hoog scoort op de onderzoeksagenda, is dit een kenmerk waar in de praktijk relatief weinig aan gedaan kan worden. Te beredeneren is dat kruispunten met minder takken veiliger zijn dan met meer takken, maar in de praktijk is het nagenoeg onmogelijk om alleen drietakskruispunten toe te passen; de wegenstructuur is daarin bepalend. Voor apart onderzoek is dit eerste onderwerp dan ook minder interessant; het zal daarom alleen als onderdeel van een meer integraal onderzoek naar veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op kruispunten worden meegenomen.

DEEL 2

5 Opzet pilotstudie

Om te onderzoeken of geautomatiseerde conflictanalyse met behulp van video-opnames een geschikte methode is voor grootschalig kruispuntonderzoek, is een pilotstudie opgezet. Voor de pilotstudie zijn op drie kruispunten in Zuid-Holland videobeelden gemaakt en geanalyseerd. Bij de analyses is gebruikgemaakt van software die in staat is om beelden automatisch te analyseren, dus om verschillende weggebruikers te identificeren en te tellen, en daarnaast ook conflicten te detecteren en te classificeren. Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van deze pilotstudie.

De pilot heeft als eerste doel om te bepalen of de gekozen observatie- en analysemethode voldoende betrouwbaar en bruikbaar is om kruispuntveiligheid in beeld te brengen. Als het daarnaast ook haalbaar is om deze methode op te schalen, dan kan deze gebruikt worden voor grootschalig onderzoek naar relaties tussen kruispuntkenmerken en verkeersveiligheid. Een tweede doel van deze pilot is om (alvast) te kijken naar de *complexiteit* van de pilot-kruispunten, die mogelijk (ook) een relatie met veiligheid vertoont.

Bij het uitvoeren van de pilot zijn de volgende stappen gevolgd:

3. Selectie van onderzoekslocaties (*Paragraaf 5.1*)
4. Inventarisatie, beoordeling en selectie van bedrijven die systemen voor geautomatiseerde video-opname en -analyse van verkeersdata aanbieden (*Paragraaf 5.2*)
5. Vastleggen en uploaden van videobeelden (*Paragraaf 5.3 en 5.4*)
6. Videobeeldanalyse: kalibratie van software, automatische videoanalyse, beoordeling van de automatische waarnemingen (*Paragrafen 5.5 t/m 5.7*)
7. Samenvatting van de resultaten
8. Evaluatie

De eerste vier stappen worden in dit hoofdstuk besproken. De andere volgen in *Hoofdstuk 6* resp. *7*.

5.1 Selectie onderzoekslocaties

Aanvankelijk is besloten om VRI-kruispunten voor de pilots te selecteren aan de hand van de volgende criteria:

1. relatief hoog aantal ongevallen
2. complexiteit (van eenvoudig tot complex)
3. omgeving (zowel binnen als buiten de bebouwde kom)
4. verkeerslichtregeling (zowel conflictvrij als deels/niet conflictvrij)
5. snelheidslimiet/wegtype (zowel GOW50 als GOW80)

Met behulp van bestaande SWOV-bestanden (met kenmerken van vooral locaties in Noord- en Zuid-Holland (Hermens et al., 2021; Wijlhuizen et al., 2021)), Cyclomedia Streetview/Google Maps, en BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland), zijn bij een eerste screening 21 kruispunten geselecteerd. Deze locaties zijn vervolgens door vier infrastructuurspecialisten

van SWOV beoordeeld op complexiteit, waarna de tien meest geschikte locaties zijn geselecteerd. Bij nader onderzoek bleek dat er bij twee daarvan werk in uitvoering was gepland. Drie van de andere kruispunten waren te omvangrijk om ze in hun geheel in beeld te brengen, gegeven de huidige techniek en het beschikbare budget. Om die reden is besloten om de video-opnames in twee tranches uit te voeren. In de eerste tranche zijn beelden vastgelegd en geanalyseerd op drie pilotlocaties. Indien dat onvoldoende resultaat zou opleveren, zouden bij de overige twee locaties in een tweede tranche ook beelden worden vastgelegd en geanalyseerd. *Afbeelding 5.1*, *Afbeelding 5.2* en *Afbeelding 5.3* laten de drie geselecteerde kruispunten zien.

Afbeelding 5.1.
'Mauritskade': kruispunt van de Mauritskade (GOW50) met de Denneweg (ETW30)



Afbeelding 5.2.
'Calandstraat': kruispunt van de Calandstraat (GOW50) met de Waldorpstraat (GOW50)



Afbeelding 5.3.
'Eerste Tochtweg': kruispunt van de Eerste Tochtweg (GOW80) met de Zuidelijke Dwarsweg (GOW80)



Bij alle drie locaties zijn tussen 2010 en 2020 ongevallen geregistreerd, waarvan binnen de bebouwde kom een relatief groot aandeel met letsel (*Tabel 5.1*). Bij de twee stedelijke kruispunten zijn fietsers vaker betrokken bij ongevallen.

*Tabel 5.1. In BRON geregistreerde ongevallen (periode 2010-2020) met betreffend kruispunt als geregistreerde locatie.
* UMS = uitsluitend materiële schade*

| | Alle ongevallen (alle ernst) | Betrokkenheid bij ongeval | | Ernst van afloop | | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------|------------|------------------|--------|------|
| | | Fietser | Voetganger | Dodelijk | Gewond | UMS* |
| Mauritskade | 11 | 4 | 1 | 0 | 6 | 5 |
| Calandstraat | 34 | 10 | 0 | 0 | 9 | 25 |
| Eerste Tochtweg | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 |

5.2 Selectie bedrijven voor video-opname en -beeldanalyse

Er zijn veel bedrijven actief op het gebied van video-opnames van het verkeer. SWOV heeft drie bedrijven benaderd om inzicht te krijgen in de camera's (soort en kwaliteit), de werkwijze, de beschikbaarheid en de kosten om de geplande video-opnames uit te voeren. Mede vanwege positieve ervaringen in een vorige studie, met video-opnames in Den Haag (Nabavi Niaki, Dijkstra & Wijlhuizen, 2021), is uiteindelijk gekozen voor Connection Systems voor het vastleggen van beelden bij de drie pilotlocaties.

Het selecteren van een bedrijf voor het automatisch analyseren van de videobeelden was minder eenvoudig. Om een keuze te kunnen maken is, behalve naar de kosten, ook gekeken naar de geschiktheid van beschikbare softwaresystemen voor conflictanalyses. *Tabel 5.2* geeft een overzicht van de beoordeling van elk bedrijf. Deze inventarisatie en beoordeling van bedrijven is uitgebreider dan voor de hierboven genoemde eerdere studie in Den Haag is uitgevoerd (Nabavi Niaki, Dijkstra & Wijlhuizen, 2021). Niettemin is uiteindelijk voor de huidige studie weer voor dezelfde leverancier gekozen, Transoft Solutions, omdat ze gedetailleerde informatie kunnen verstrekken over weggebruikers, snelheden, trajecten en vooral conflicten en de ernst ervan.

Tabel 5.2. Beoordeling geschiktheid van leveranciers van software voor videobeeldanalyse

| | Intensiteit | Voertuigtype | Verkeersveiligheids-analyse (PET/TTC) | Opmerkingen |
|--------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|---|
| Microtraffic | ✓ | ✓ | ✓ | Optie |
| Transoft Solutions | ✓ | ✓ | ✓ | Optie |
| Miovision | ✓ | ✓ | ✓ | Niet overtuigd over verkeersveiligheidsanalyses |
| Viscando | ✓ | ✓ | ✓ | Alleen PET |
| Blue City | ✓ | ✓ | ✓ | Lidar-systeem, relatief duur |
| Scannera Traffic | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |
| Cyclope | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |
| Softengi | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |
| Telegra | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |
| IntuVision Traffic | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |
| Good Vision | ✓ | ✓ | x | Geen vv-analyse |

5.3 Vastleggen videobeelden

Voor het vastleggen van de videobeelden zijn overeenkomsten afgesloten met Connection Systems, in verband met dataveiligheid, verwerking van eventuele persoonsgegevens, en andere ethische aspecten. In de week van 6 juni 2022 zijn twee camera's per kruispunt geïnstalleerd. Video-opnames zijn gedurende 7 dagen, in de periode 13 t/m 19 juni uitgevoerd en per camera zijn 168 uur data opgenomen. Beelden zijn vastgelegd met een resolutie van 1920 x 1080 px, een snelheid van 15 beelden per seconde, en opgeslagen als losse, aansluitende filmfragmenten (mp4-bestanden) van steeds 15 minuten. Vanwege de hoge positie, de hoek en de resolutie van de camera zijn gezichten van mensen en kentekenplaten van auto's niet herkenbaar. De videogegevens werden evenwel veilig behandeld, en waren alleen toegankelijk voor de leden van dit project en het data-analysebedrijf dat een vertrouwelijkheidsovereenkomst had ondertekend.

Afbeelding 5.4 toont de drie kruispunten en de plaatsing van de twee camera's met in het geel en blauw het zichtveld van elke camera. De foto's in de tweede rij laten het beeld van de camera met het geel gearceerde gebied zien en de onderste rij, van de camera met het blauw gearceerde gebied.

Afbeelding 5.4. Camerazicht op elk kruispunt.

Boven: beide camera's,

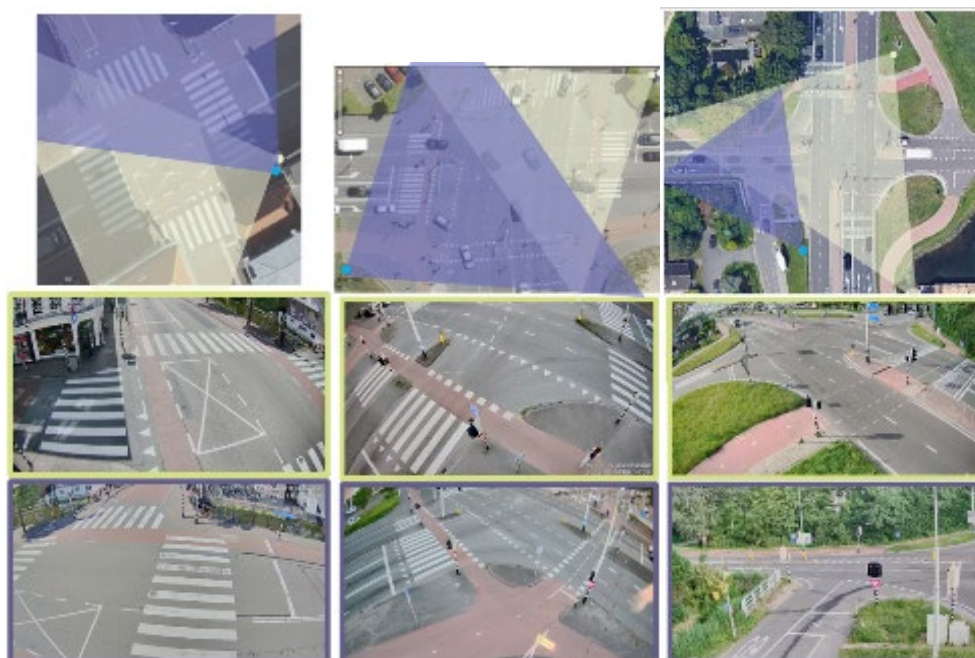
Midden: beeld 'gele' camera,

Onder: beeld 'blauwe' camera.

Links: Mauritskade,

Midden: Calandstraat, en

Rechts: Eerste Tochtweg



5.4 Data-upload

Nadat is vastgesteld dat er aan alle eisen met betrekking tot databeveiliging en privacy is voldaan, zijn de videobeelden geüpload naar de beveiligde servers van Transoft Solutions. Het uploaden van de gegevens verliep niet zonder problemen en had uiteindelijk een doorlooptijd van ruim zes weken, en zelfs daarin was het niet mogelijk om alle beelden te uploaden voor analyse (zie *Tabel 5.3*). Het uploaden van de videobeelden naar het Transoft-platform (website) werd meerdere keren onderbroken zonder dat daar een duidelijke verklaring voor was. Omwille van de tijd is besloten om de onderbroken uploads voor lief te nemen en de verdere analyse uit te voeren aan de hand van het deel van de beelden dat wel succesvol is geüpload, zoals in *Tabel 5.3* is weergegeven. Hoewel de problemen met het uploaden van data een technische oorzaak hebben, is niet te garanderen dat deze in de toekomst kunnen worden voorkómen. In onze planning van vervolgonderzoek zullen we daarom rekening houden met dergelijke vertragingen en mogelijk dataverlies.

Tabel 5.3. Videodata per camera geüpload voor analyse (aantal uur en aandeel van het totaal dat is vastgelegd).

| Kruispunt | Camera | Aantal uur data geüpload | Aandeel geüpload(%) |
|-----------------|----------|--------------------------|---------------------|
| Mauritskade | Camera A | 168 | 100% |
| | Camera B | 158 | 94% |
| Calandstraat | Camera A | 168 | 100% |
| | Camera B | 88 | 52% |
| Eerste Tochtweg | Camera A | 106 | 64% |
| | Camera B | 155 | 92% |

5.5 Kalibratie videocamerabeelden

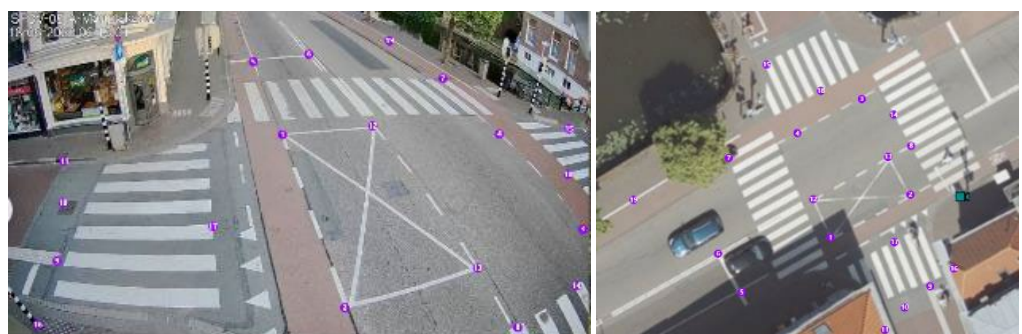
Voordat de videobeelden automatisch konden worden geanalyseerd is de software eerst gekalibreerd. De software is daarbij (eenmalig) zodanig ingesteld dat de werkelijke maten van het kruispunten op schaal zijn, de beelden goed zijn afgesteld om verschillende trajecten en verkeerssoorten te herkennen, enz. Het kalibratieproces is uitgevoerd door SWOV en houdt het volgende in:

1. Een beeld van de locatie is geüpload.
2. Een screenshot van een videobeeld is geüpload.
3. De beelden zijn voorzien van een schaal om de (loop- en rij)trajecten op te projecteren.
4. De cameraposities zijn vastgelegd op een plattegrond.
5. Gecorrigeerd is voor het zogenaamde fisheye-effect door aan te geven waar rechte lijnen voorkomen die in het beeld als bocht worden gezien (zie *Afbeelding 5.5*).
6. Punten zijn vastgelegd om het plotten van (loop- en rij)trajecten mogelijk te maken (*Afbeelding 5.6*).
7. De gebieden waar de verkeersanalyse wordt uitgevoerd zijn vastgelegd (*Afbeelding 5.7*).
8. De herkomst- en bestemmingsruimtes voor de verschillende verkeersbewegingen en -soorten zijn gedefinieerd (*Afbeelding 5.8*).

Afbeelding 5.5. Correctie voor het fisheye-effect



Afbeelding 5.6. Puntselectie voor trajecten



Afbeelding 5.7. Selectie verkeersgebied



Afbeelding 5.8. Vastleggen herkomst-bestemmingsruimtes



5.6 Geautomatiseerde analyse van videodata

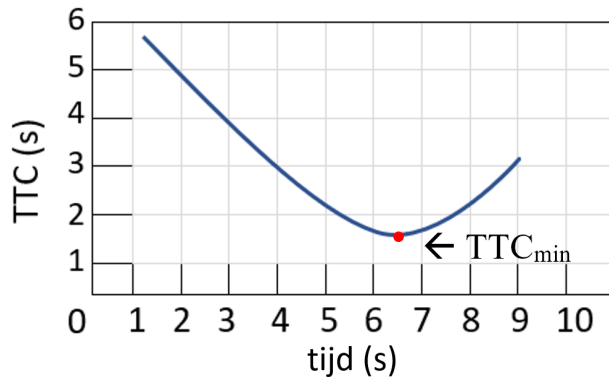
De videobeelden van de zes camera's op de drie kruispunten zijn met behulp van de automatische beeldanalysesoftware van Transoft Solutions geanalyseerd. Transoft Solutions heeft SWOV-medewerkers een trainingssessie gegeven om te leren hoe de genoemde camerakalibratiestappen (*Paragraaf 5.5*) moesten worden geüpload en uitgevoerd.

Na deze kalibratie zijn de verkeersbeelden automatisch geanalyseerd. Door middel van een objectdetectie-algoritme zijn daarbij de verschillende soorten weggebruiker gedetecteerd en geclassificeerd. De weggebruikers zijn onderverdeeld in fietsers, voetgangers, motorvoertuigen en motorfietsen.

In ieder beeld is de locatie van de verschillende weggebruikers vastgelegd en is de gereden/gelopen route vervolgens geplot door de beelden aan elkaar te hechten. Met deze data is het mogelijk om te bepalen welke specifieke beweging de weggebruiker uitvoert, met welke snelheid dat gebeurt en ook of er zich een conflict voordoet.

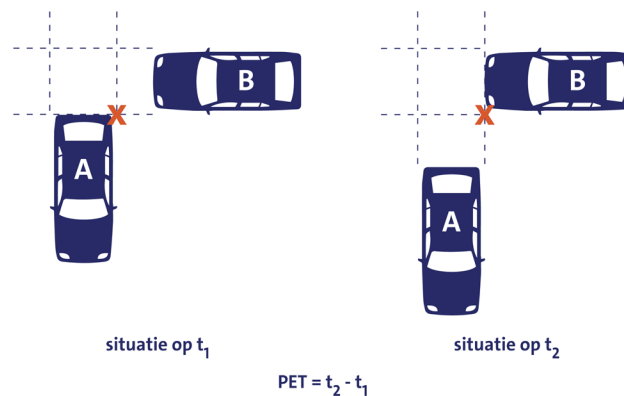
Als conflictmaat zijn door de software continu de veiligheidsindicatoren TTC en PET berekend (zie *Paragraaf 2.1.2*). De TTC – time-to-collision – is de tijd die twee verkeersdeelnemers nodig hebben om met elkaar in botsing te komen als hun beweging en snelheid ongewijzigd zouden blijven. *Afbeelding 5.9* laat zien hoe de TTC-waarde gedurende de ontmoeting tussen twee weggebruikers verloopt. De TTC-waarde neemt bij de ontmoeting eerst af (vóór het TTC_{\min} -punt), totdat een weggebruiker het gedrag verandert om een conflict te vermijden (na het TTC_{\min} -punt). Deze minimale TTC-waarde is gekozen als veiligheidsindicator.

Afbeelding 5.9: Illustratie van de time-to-collision (TTC) tussen twee verkeersdeelnemers



De PET – post-encroachment time – is de tijd die een verkeersdeelnemer nodig heeft om het conflictpunt te verlaten en de tweede verkeersdeelnemer om aan te komen. De PET kent geen verloop gedurende de ontmoeting tussen twee verkeersdeelnemers, maar heeft één waarde. Afbeelding 5.10 illustreert dit, waarbij de verkeersdeelnemers worden aangegeven als A en B, en het conflictpunt als X.

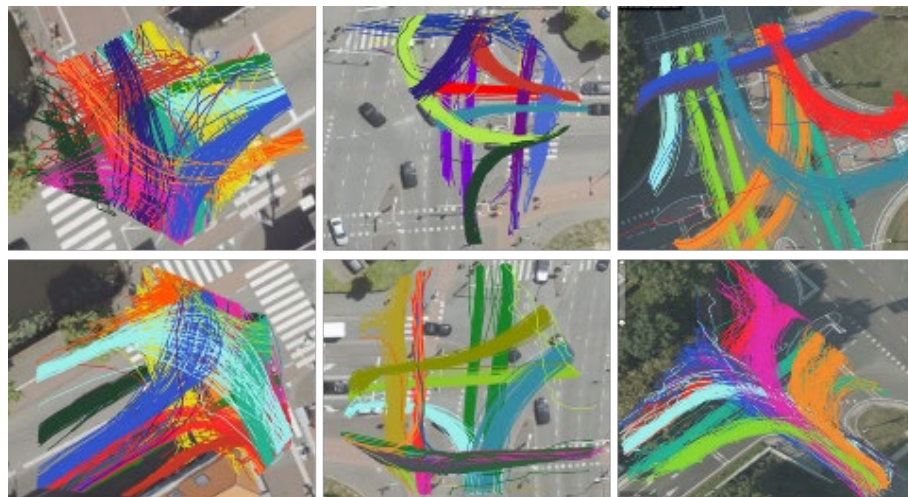
Afbeelding 5.10: Illustratie van de post-encroachment time (PET): het aantal seconden tussen het moment dat weggebruiker 'A' de baan van weggebruiker 'B' verlaat (t_1 , links) en het moment waarop 'B' de baan van 'A' bereikt (t_2 , rechts) (Kraay & Van der Horst 1988).



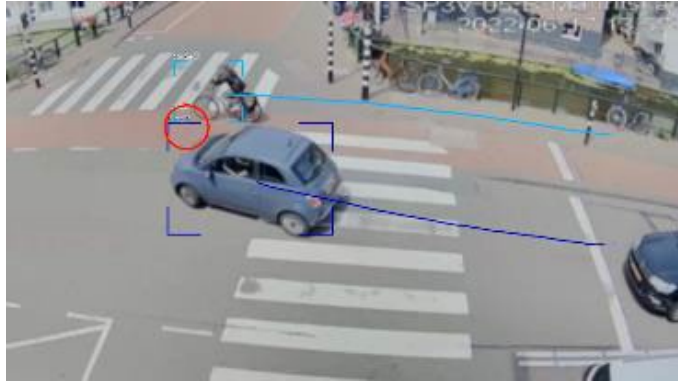
Hoe dichterbij nul de TTC en PET liggen, hoe ernstiger het conflict is. Om een conflict als 'ernstig' aan te wijzen, is in deze analyse voor zowel de TTC als de PET een aanbevolen drempelwaarde van 1,5 seconde gehanteerd (Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018).

Afbeelding 5.11 toont voorbeelden van bewegingen die in een kort tijdsinterval (van bijvoorbeeld een half uur) zijn vastgelegd door de zes camera's. De verschillende kleuren van de uitgezette trajecten geven verschillende typen verkeersbeweging aan. Afbeelding 5.12 toont een voorbeeld van een gedetecteerd conflict tussen een doorrijdende fietser en een auto die rechts afslaat.

Afbeelding 5.11. Weggebruikerstrajecten op basis van beweging, vastgelegd door de zes verschillende camera's. Links: Mauritskade, Midden: Calandstraat, en Rechts: Eerste Tochtweg



Afbeelding 5.12. Gesignaleerd conflict tussen doorrijdende fietser en rechts afslaan auto op de Mauritskade



5.7 Validatie van de geautomatiseerde verkeerstelling

Om vast te stellen of we met de geautomatiseerde telling inderdaad meten wat we denken te meten, is het nodig om een steekproef van de automatische tellingen handmatig te controleren. Hiervoor zijn bij alle drie locaties en voor alle zes camera's willekeurige fragmenten van elk 15 minuten videobeeld uit de eerste dagen van de opnames geselecteerd, en zijn op basis daarvan handmatige verkeerstellingen uitgevoerd van auto's, fietsers en voetgangers. De handmatige tellingen zijn vervolgens vergeleken met de geautomatiseerde tellingen (*Tabel 5.4*). Onderzoek naar de meting van verkeersprestatie geeft aan dat afwijkingen van 15% 's nachts, en 10% overdag acceptabel zijn voor verdere verkeersanalyse (Buch, Velastin & Orwell, 2011; Jain et al., 2019; Sánchez et al., 2011). Afhankelijk van het precieze doel van het onderzoek, kan deze 'aanvaardbare' 10%-15% afwijking als basis worden gebruikt.

Een van de belangrijkste oorzaken van onnauwkeurigheid in verkeerstellingen – en van overschatting van de aantallen verkeersdeelnemers – zijn onderbroken trajecten. In die gevallen wordt het traject van één weggebruiker in twee delen herkend door de software, meestal voor en na een obstakel (bijv. een lantaarnpaal), en wordt het als twee aparte trajecten van twee aparte weggebruikers gezien. Dit geldt vooral voor voetgangers, omdat ze kleiner zijn en gemakkelijker in hun geheel achter een paal of object kunnen schuilgaan. Aangezien het hoofddoel van deze pilotstudie conflictdetectie is, zijn er voor dit onderzoek geen pogingen gedaan om onderbroken trajecten te verminderen of uit te filteren. Dus ook als één weggebruiker door een korte beeldonderbreking twee keer wordt geteld en gevolgd, is elk (deel van het) traject van een weggebruiker behouden, om niet het risico te lopen dat ook conflicten worden uitgefilterd. In dit onderzoek kan daarom een afwijking ten opzichte van de handmatige tellingen worden verwacht.

Tabel 5.4 laat inderdaad overwegend een overschatting door de geautomatiseerde tellingen zien. Deze is zoals verwacht het grootst bij voetgangers. Overigens is ook onderschatting door geautomatiseerde telling mogelijk, bijvoorbeeld doordat fietsers of andere verkeersdeelnemers worden afgeschermd door andere voertuigen. Volgens de telresultaten in *Tabel 5.4* is iets dergelijks aan de hand bij fietsers op het kruispunt Calandstraat; daarvan wordt het aantal door de geautomatiseerde telling flink onderschat. Het aantal auto's op dat kruispunt wordt daarentegen flink óverschát en – zoals gezegd – ook het aantal voetgangers. Op de andere twee locaties liggen de tellingen van vooral auto's dicht bij elkaar.

Tabel 5.4. Validatie van geautomatiseerde tellingen op basis van willekeurige fragmenten van 15 minuten van elk van de zes camera's

| Kruispunt | Soort weggebruiker | Handmatige telling | Geautomatiseerde telling | Nauwkeurigheid (%) |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| Mauritskade | Fiets | 56 | 57 | 101% |
| | Voetganger | 19 | 23 | 121% |
| | Auto | 30 | 31 | 103% |
| Calandstraat | Fiets | 137 | 113 | 82% |
| | Voetganger | 27 | 42 | 136% |
| | Auto | 93 | 107 | 115% |
| Eerste Tochtweg | Fiets | 11 | 12 | 109% |
| | Auto | 63 | 64 | 102% |

De hierboven besproken afwijkingen van de geautomatiseerde verkeerstellingen kunnen te maken hebben met de positionering van de camera's. Mogelijk waren de cameraposities op het kruispunt Calandstraat minder goed dan op de twee andere kruispunten, en op geen van de locaties binnen de bebouwde kom optimaal voor voetgangers.

In het vervolg zullen we de camera's beter moeten positioneren en een dergelijke validatie moeten uitvoeren voorafgaand aan de daadwerkelijke metingen. Dit is noodzakelijk om te weten te komen in hoeverre de met video geobserveerde intensiteiten van de verschillende typen weggebruikers de werkelijkheid benaderen. Ook is het belangrijk om te zien of de onder- of overschatting per groep weggebruikers constant is in de tijd, zodat wij voor alle soorten verkeer de gemeten intensiteiten eventueel kunnen corrigeren.

Voor een conflictanalyse als in deze pilot is nog redelijk te werken met de afwijkende fiets- en autotellingen, maar met name als de videobeelden gebruikt gaan worden voor een zo precies mogelijke schatting van (alleen) verkeersintensiteiten, is een juiste camerapositionering van belang.

6 Resultaten pilotstudie

In dit hoofdstuk worden per kruispunt de resultaten gepresenteerd van de in *Hoofdstuk 5* besproken videobeeldanalyse en een complexiteitsanalyse. Elk kruispunt staat eerst kort beschreven, onder andere met de gemeten intensiteiten uit de videobeeldanalyse. Daarna wordt de complexiteit van het kruispunt op twee manieren in beeld gebracht: het aantal conflictpunten en het aantal zichtbare kruispuntelementen (zie *Paragraaf 3.2*). Vervolgens wordt het aantal conflicten tussen verkeersdeelnemers gepresenteerd, zoals gemeten met de videobeeldanalyse.

De verkeersanalyses van de Transoft Solutions Software zijn aan de onderzoekers gepresenteerd via een dashboard met daarin per 15 minuten, en per tak, de intensiteiten naar verkeerssoort en naar bewegingsrichting (linksaf, rechtdoor en rechtsaf). Daarnaast wordt in dat dashboard per bewegingsrichting de gemiddelde snelheid, het aantal conflictpunten en aantal conflicten gepresenteerd. De resultaten worden voor elk kruispunt in de volgende paragrafen besproken.

Hoewel we in dit onderzoek dubbeltelling van voetgangers hebben geaccepteerd (*Paragraaf 5.7*), moet opgemerkt worden dat dit kan leiden tot vertekening in de risicoanalyse. Daarom hebben we besloten om in dit hoofdstuk voor voetgangers geen risicoresultaten (conflicten per aantal gepasseerde voetgangers) te presenteren.

Zoals reeds genoemd bij de opzet van deze pilotstudie (*Paragraaf 5.7*) zullen we de camera's in het vervolg beter moeten positioneren en voorafgaand aan de daadwerkelijke metingen een validatie uit moeten voeren. Deze blijkt noodzakelijk om te weten te komen in hoeverre de met video geobserveerde intensiteiten van de verschillende typen weggebruikers de werkelijkheid benaderen. Ook is het belangrijk om te zien of de onder- of overschatting per groep weggebruikers constant in de tijd, zodat wij voor alle soorten verkeer de gemeten intensiteiten kunnen inschatten door eventueel te corrigeren.

6.1 Mauritskade

Het kruispunt van de Mauritskade met de Denneweg is een atypische viertaks VRI- kruispunt met een maximumsnelheid van 50 km/uur (*Afbeelding 6.1*). Allebei de takken op de Denneweg zijn eenrichtingsverkeer voor gemotoriseerd verkeer en hebben een maximumsnelheid van 30 km/uur. Alle takken zijn voorzien van een voetgangersoversteek (zebra) en fietsstroken. Ondanks de wat ongebruikelijk verkeersregeling is het een relatief eenvoudig kruispunt met een minimaal aantal rijstroken.

Afbeelding 6.1. VRI-kruispunt
Mauritskade-Denneweg



6.1.1 Intensiteit

Naast intensiteitsschattingen per rijrichting, heeft Transoft ook etmaalintensiteiten naar verkeerssoort en richting geleverd. In *Afbeelding 6.2* worden de tien hoogste etmaalintensiteiten getoond. Op een gemiddelde dag gebruiken 31.872 weggebruikers dit kruispunt (excl. voetgangers vanwege de overschatting), waarvan meer dan een kwart (27%) fietser is.

Afbeelding 6.2.
Etmaalintensiteiten kruispunt
Mauritskade naar soort
weggebruiker en
bewegingsrichting

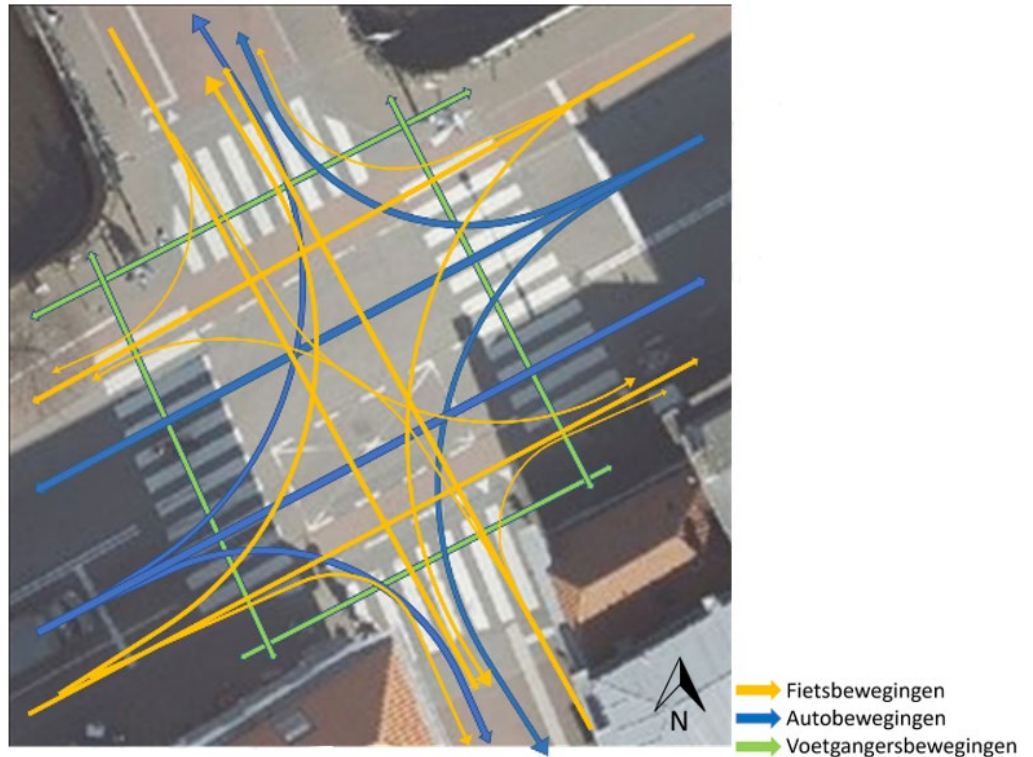
Top 10 Movements Ranked by TPM (from most to least busy)

| TYPE | NAME | AVERAGE ANNUAL DAILY TRAFFIC |
|------|---------------------------|------------------------------|
| ↑ | Westbound Through Car | 15.070 |
| ↑ | Eastbound Through Car | 4.662 |
| ↑ | Northbound Through Bike | 3.980 |
| ↑ | Eastbound Through 5B | 3.357 |
| ↑ | Southbound Through Bike | 2.462 |
| ↑ | Westside Crosswalk | 2.229 |
| ↑ | Eastside Crosswalk | 1.676 |
| ↑ | Eastbound Through Bike 5A | 1.307 |
| ↶ | Westbound Right Turn Car | 1.275 |
| ↑ | Southside Crosswalk | 1.149 |

6.1.2 Complexiteit: aantal conflictpunten

De verkeersbewegingen op het kruispunt Mauritskade worden in *Afbeelding 6.3* weergegeven. Bij elke kruising van bewegingen wordt een conflictpunt geteld. *Tabel 6.1* laat het aantal conflicten tussen de verschillende weggebruikers zien.

Afbeelding 6.3. Conflictpunten kruispunt Mauritskade



Tabel 6.1. Mauritskade: aantal conflictpunten van verschillende typen

| Locatie | # Auto-Auto | # Fiets-Fiets | # Auto-Fiets | # Voetganger-Auto/Fiets | Totaal # |
|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------|
| Mauritskade | 5 | 25 | 24 | 24 | 78 |

6.1.3 Complexiteit: aantal elementen

De visuele inrichtingselementen zijn handmatig geteld met behulp van Google Streetview. *Afbeelding 6.4* geeft voorbeelden van waargenomen elementen die daarbij zijn geïnventariseerd. Het rode gebied in de onderste foto geeft bijvoorbeeld vier verschillende borden aan.

Afbeelding 6.4. Mauritskade: voorbeelden van waargenomen inrichtingselementen die bijdragen aan de complexiteit.





De geïnventariseerde elementen zijn afgeleid uit de resultaten gepresenteerd in *Hoofdstuk 3*. *Tabel 6.2* laat per elementtype zien hoeveel er daarvan op de Mauritskade zijn waargenomen. Voor een klein kruispunt (relatief klein kruisingsvlak) heeft dit kruispunt in totaal 73 inrichtingselementen die het kruispunt mogelijk complex maken. Zo zijn er bijvoorbeeld naast de gebruikelijke signaalgevers voor gemotoriseerd verkeer, fietsers en voetgangers, ook veel verkeersborden en wegmarkeringen met extra informatie.

Tabel 6.2. Aantal waargenomen complexiteitselementen kruispunt Mauritskade

| Elementtype | Mauritskade |
|--|-------------|
| Middengeleider | 0 |
| Aantal takken | 4 |
| Totaal aantal rijstroken voor voertuigen | 6 |
| Totaal aantal fietspaden/-stroken | 4 |
| Aantal toegestane rechtsaf-bewegingen (auto's) | 2 |
| Aantal toegestane linksaf-bewegingen (auto's) | 2 |
| Aantal toegestane rechtsaf-fietsbewegingen | 4 |
| Aantal toegestane linksaf-fietsbewegingen | 4 |
| Soorten fietsvoorzieningen | 2 |
| OFOS | 0 |
| Aantal voetgangersoversteekplaatsen | 4 |
| Aantal fietsoversteken | 2 |
| Haaientanden op takken | 1 |
| Pijlen op de weg | 0 |
| Maximumsnelheid | 0 |
| Bushaltes | 0 |
| Tunnel | 0 |
| Deflectie-eiland | 0 |
| Wegverlichting | 2 |
| Totaal aantal signaalgevers | 12 |
| Linksaf-geleidestrepen | 0 |

| | |
|---|-----------|
| Totaal aantal informatieborden | 17 |
| Soorten weggebruikers | 3 |
| Snelheidsdrempel | 0 |
| Bomen/struiken die het zicht belemmeren | 0 |
| Parkeren langs de weg | 0 |
| Aantal bewegingen met belemmerd zicht | 1 |
| Verlegde stopstreep | 2 |
| Houd-kruispunt-open-markering | 1 |
| Erfaansluiting bij kruispunt | 0 |
| Totaal | 73 |

6.1.4 Gemeten aantal conflicten

Op de Mauritskade zijn in totaal 7.003 conflicten waargenomen (met een TTC of PET \leq 1,5 seconde); omgerekend zijn dat gemiddeld 43 conflicten per uur (*Tabel 6.3*), gebaseerd op de gemiddeld 163 uur geüploade en geanalyseerde gegevens op dit kruispunt (zie *Paragraaf 5.4*). De meerderheid hiervan zijn conflicten tussen auto's maar er is ook een groot aandeel conflicten tussen auto's en fietsers.

Tabel 6.3. Aantal automatisch waargenomen conflicten kruispunt Mauritskade.

| Interactietype | Totaal aantal conflicten | Conflicten per uur |
|------------------|--------------------------|--------------------|
| Auto-Auto | 2.611 | 16,0 |
| Fiets-Fiets | 1.834 | 11,3 |
| Fiets-Auto | 1.455 | 8,9 |
| Voetganger-Fiets | 810 | 5,0 |
| Voetganger-Auto | 293 | 1,8 |
| Totaal | 7.003 | 43,0 |

6.2 Calandstraat

Het VRI-kruispunt tussen de Calandstraat en Waldorpstraat is een vrij groot en complex viertakskruispunt met meerdere opstel- en rijstroken, en voorzieningen voor fietsers en voetgangers (*Afbeelding 6.5*). De maximumsnelheid op alle takken is 50 km/uur en er zijn middengeleiders op alle takken.

Afbeelding 6.5: VRI-kruispunt Calandstraat-Waldorpstraat



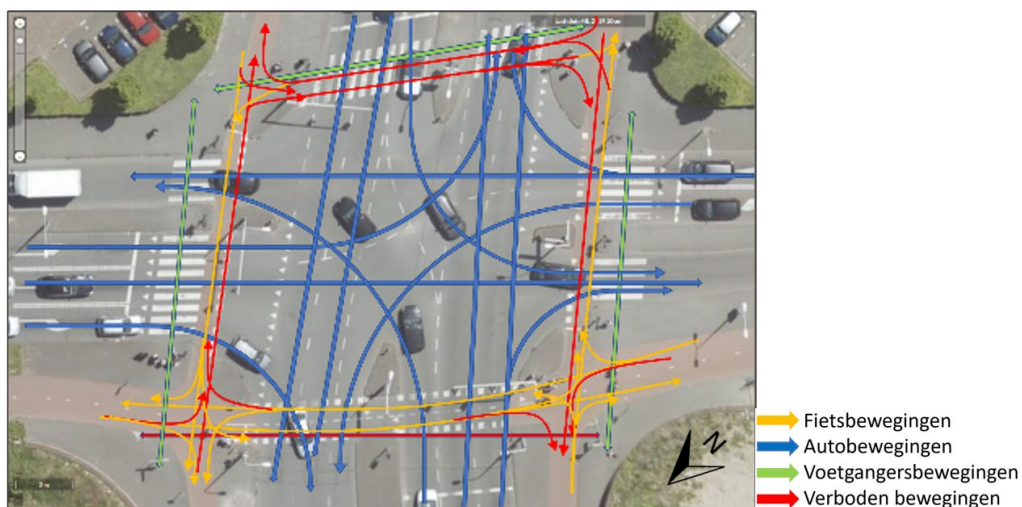
6.2.1 Intensiteit

Met de software van Transoft, is geschat dat er per dag gemiddeld 56.413 verkeersdeelnemers (excl. voetgangers) gebruikmaken van dit kruispunt; 10% hiervan is fietser.

6.2.2 Complexiteit: aantal conflictpunten

Afbeelding 6.6 laat de conflictpunten voor de verschillende weggebruikers van het kruispunt Calandstraat zien. Naast de toegestane verkeersbewegingen zijn voor fietsers in het rood ook niet-toegestane bewegingen aangegeven. Deze zijn meegenomen omdat deze illegale bewegingen ook veel plaatsvinden op dit kruispunt. Op basis hiervan is vastgesteld dat we op dit kruispunt in totaal 96 conflictpunten in beeld hebben (Afbeelding 6.6 en Tabel 6.4). Bij de bepaling van dit totaal aantal conflictpunten hebben we twee hoeken van dit kruispunt buiten beschouwing gelaten, aangezien deze twee hoeken in de video-opnames niet voldoende zichtbaar bleken voor een veiligheidsanalyse.

Afbeelding 6.6. Conflictpunten kruispunt Calandstraat



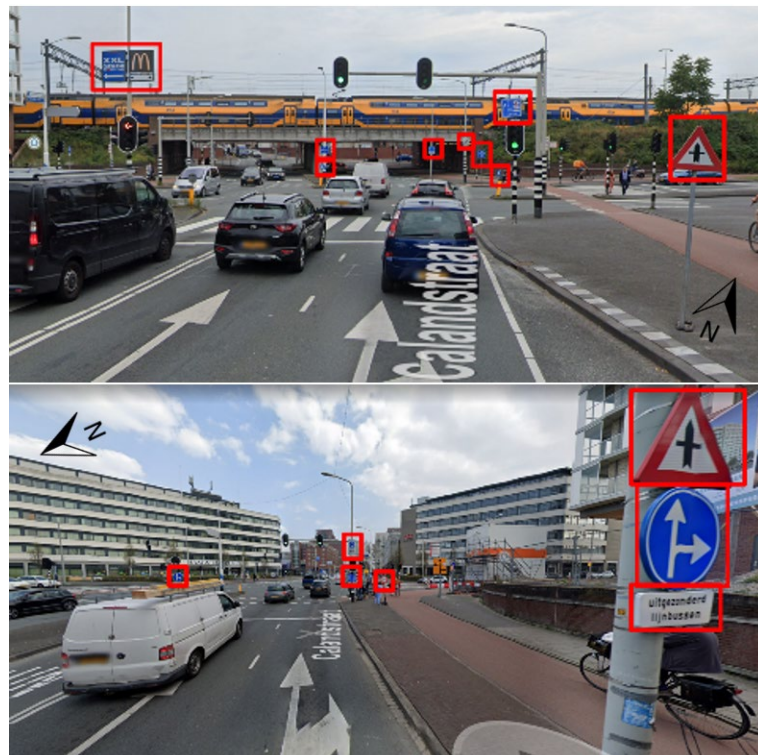
Tabel 6.4. Calandstraat: aantal conflictpunten van verschillende typen

| Locatie | # Auto-Auto | # Fiets-Fiets | # Auto-Fiets | # Voetganger-Auto/Fiets | Totaal # |
|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------|
| Calandstraat | 30 | 13 | 30 | 23 | 96 |

6.2.3 Complexiteit: aantal elementen

Net als eerder bij het Mauritskade-kruispunt zijn, met behulp van Google Streetview, de inrichtingselementen bij het kruispunt Calandstraat visueel geïnventariseerd en geteld (Afbeelding 6.7 en Tabel 6.5). Dit kruispunt is aanzienlijk groter dan de Mauritskade en heeft ook een groter aantal elementen die de complexiteit kunnen verhogen. Niet alleen is het aantal signaaldragers en informatieborden veel hoger, maar ook het aantal rijstroken en het aantal toegestane verkeersbewegingen.

Afbeelding 6.7. Calandstraat: voorbeelden van waargenomen inrichtingselementen die bijdragen aan de complexiteit



Tabel 6.5. Aantal waargenomen complexiteitselementen kruispunt Calandstraat

| Elementtype | Calandstraat |
|--|--------------|
| Middengeleiders | 4 |
| Aantal takken | 4 |
| Totaal aantal rijstroken voor voertuigen | 18 |
| Totaal aantal fietspaden/-stroken | 8 |
| Aantal toegestane rechtsaf-bewegingen (auto's) | 4 |
| Aantal toegestane linksaf-bewegingen (auto's) | 4 |
| Aantal toegestane rechtsaf-fietsbewegingen | 4 |
| Aantal toegestane linksaf-fietsbewegingen | 4 |
| Soorten fietsvoorzieningen | 1 |
| OFOS | 0 |
| Aantal voetgangersoversteekplaatsen | 3 |

| | |
|---|------------|
| Aantal fietsoversteken | 3 |
| Haaientanden op takken | 2 |
| Pijlen op de weg | 14 |
| Maximumsnelheid | 0 |
| Bushaltes | 2 |
| Tunnel | 1 |
| Deflectie-eiland | 2 |
| Wegverlichting | 10 |
| Totaal aantal signaalgevers | 27 |
| Linksaf geleide strepen | 4 |
| Totaal aantal informatieborden | 29 |
| Soorten weggebruikers | 3 |
| Snelheidsdrempel | 0 |
| Bomen/struiken die het zicht belemmeren | 0 |
| Parkeren langs de weg | 0 |
| Aantal bewegingen met belemmerd zicht | 0 |
| Verlegde stopstreep | 0 |
| Houd-kruispunt-open-markering | 0 |
| Erfaansluiting bij kruispunt | 2 |
| Totaal | 153 |

6.2.4 Gemeten aantal conflicten

Het aantal door de Transsoft software geconstateerde conflicten op deze locatie bedroeg 10.171 gemeten over de gemiddeld 128 uur aan geanalyseerde gegevens (zie *Paragraaf 5.4*). Dit zijn ongeveer 80 conflicten per uur. *Tabel 6.6* geeft de uitsplitsing van de conflictellingen per type weggebruiker.

Tabel 6.6. Aantal automatisch waargenomen conflicten kruispunt Calandstraat.

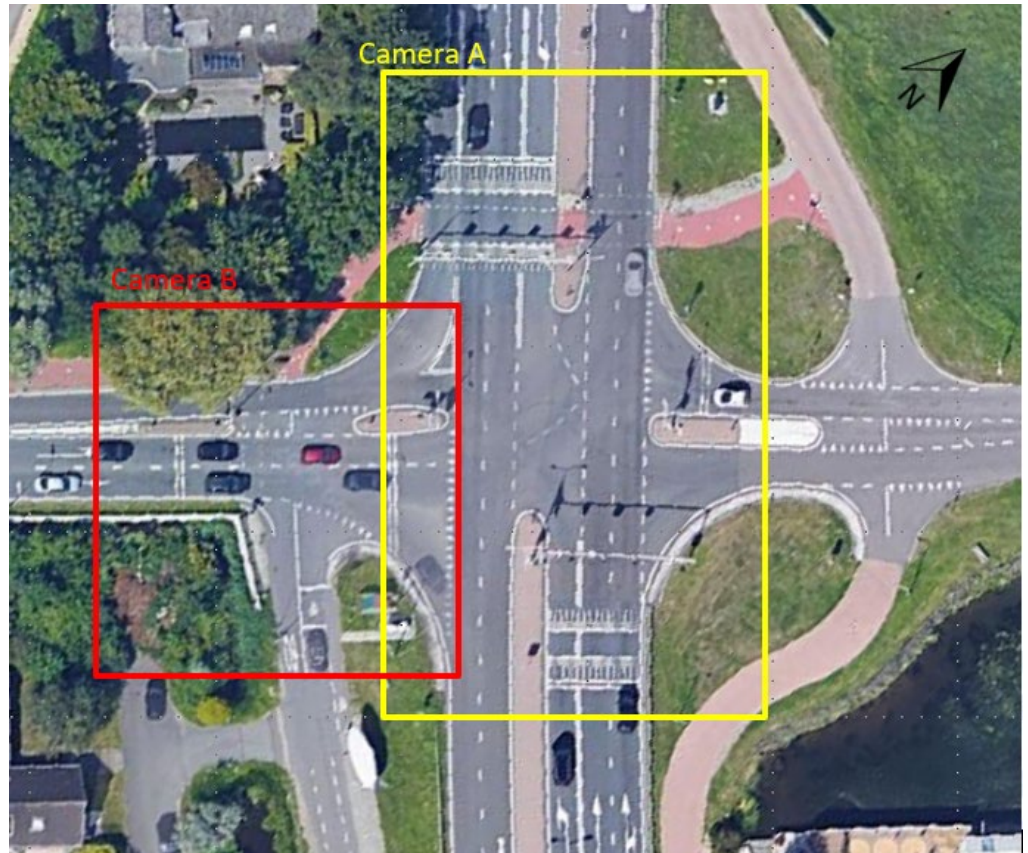
| Interactietype | Totaal aantal conflicten | Conflicten per uur |
|------------------|--------------------------|--------------------|
| Auto-Auto | 8.610 | 67,3 |
| Fiets-Fiets | 280 | 2,2 |
| Fiets-Auto | 561 | 4,4 |
| Voetganger-Fiets | 318 | 2,5 |
| Voetganger-Auto | 402 | 3,1 |
| Totaal | 10.171 | 79,5 |

6.3 Eerste Tochtweg

Het kruispunt tussen de Eerste Tochtweg en Zuidelijke Dwarsweg is een viertaks VRI-kruispunt, relatief groot maar typisch voor kruisingen tussen twee 80km/uur-GOW's (*Afbeelding 6.8*). De maximumsnelheid op het kruispunt is lokaal 50 km/uur en de hoofd takken, met meerdere rijstroken per rijrichting, zijn voorzien van plateaus. Er zijn fietsvoorzieningen aan een kant van de

Eerste Tochtweg. Er zijn oversteken voor fietsers en voetgangers op twee van de kruispunttakken.

Afbeelding 6.8: VRI-kruispunt
Eerste Tochtweg-Zuidelijke
Dwarsweg



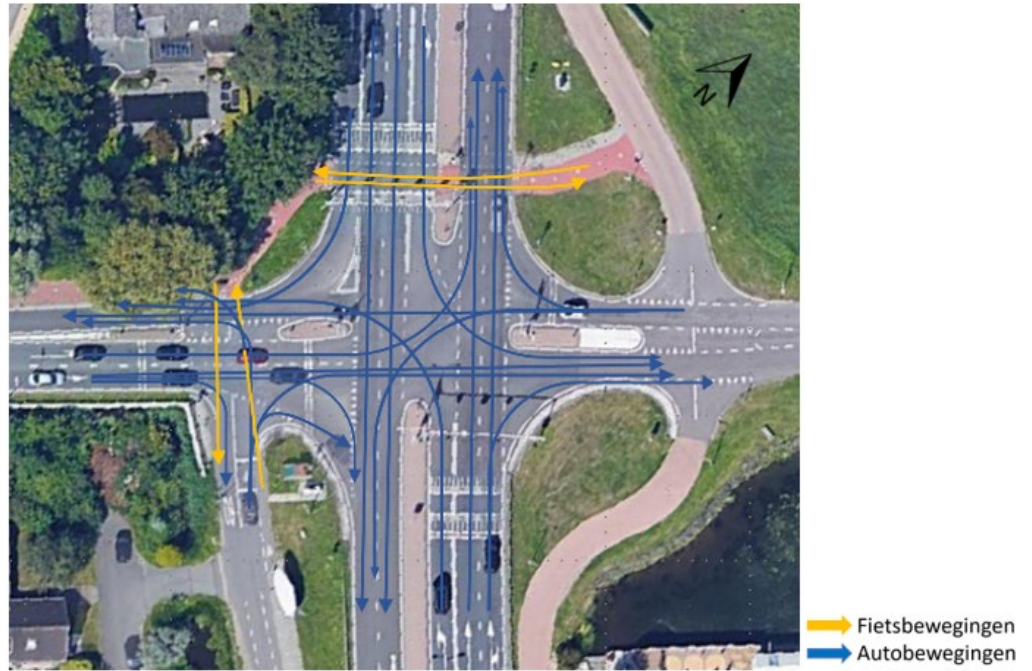
6.3.1 Intensiteit

Met de Transoft-software is geschat dat er op een gemiddelde dag 20.472 motorvoertuigen en fietsers gebruikmaken van dit kruispunt; slechts 2% hiervan is fietser.

6.3.2 Complexiteit: aantal conflictpunten

Net als bij de vorige locaties, is de telling van conflictpunten uitgevoerd aan de hand van de bewegingen van de weggebruikers (Afbeelding 6.9). Dit kruispunt ligt buiten de bebouwde kom en wordt niet gebruikt door voetgangers, waardoor er geen voetgangersvoorzieningen zijn aangetroffen. Ook de fietsvoorzieningen zijn minder uitvoerig dan de beide kruispunten binnen de bebouwde kom. Hierdoor komt het totale aantal conflictpunten op deze locatie op 70 (Tabel 6.7). Op een viertakskruispunt met twee rijstroken per tak (1 naar het kruispunt toe en 1 ervan af) zoals op het kruispunt Calandstraat (zie Paragraaf 6.2.2) zijn 32 conflicten mogelijk voor motorvoertuigen onderling (16 dwarsconflicten, 8 convergeerconflicten en 8 divergeerconflicten). Bij meerdere rijstroken neemt dit aantal toe, net als bij meerdere verkeersdeelnemers. Op de Eerste Tochtweg zijn er 42 conflicten tussen motorvoertuigen mogelijk en 26 tussen fietsers en motorvoertuigen.

Afbeelding 6.9: Conflictpunten kruispunt Eerste Tochtweg



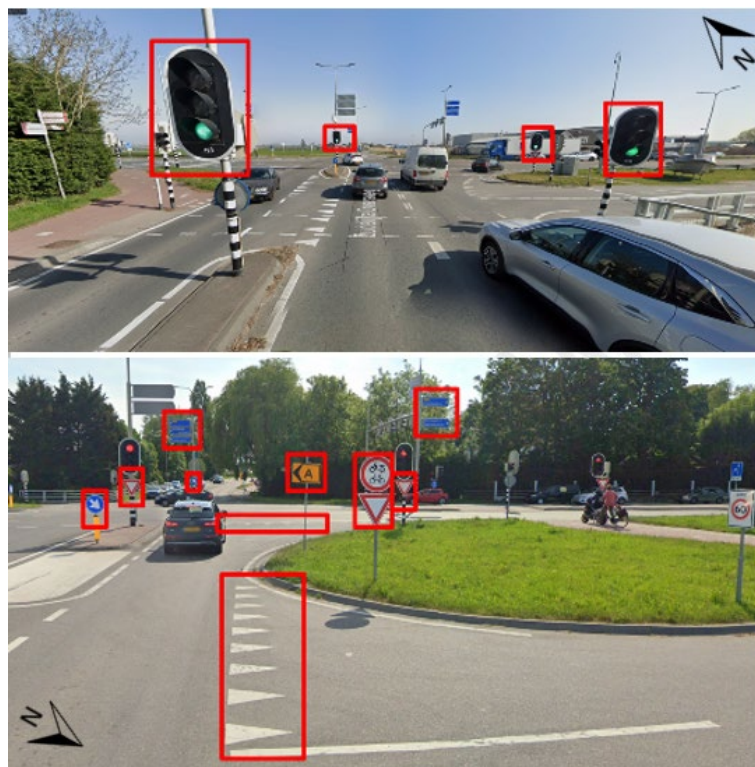
Tabel 6.7. Eerste Tochtweg: aantal conflictpunten van verschillende typen

| Locatie | # Auto-Auto | # Fiets-Fiets | # Auto-Fiets | # Voetganger-Auto/Fiets | Totaal # |
|-----------------|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------|
| Eerste Tochtweg | 42 | 2 | 26 | 0 | 70 |

6.3.3 Complexiteit: aantal elementen

Net als bij de andere kruispunten is ook op de Eerste Tochtweg het aantal elementen in beeld gebracht die de complexiteit kunnen verhogen (Afbeelding 6.10).

Afbeelding 6.10. Eerste Tochtweg: voorbeelden van waargenomen inrichtingselementen die bijdragen aan de complexiteit:



Het kruispunt heeft veel rijstroken voor het autoverkeer en een relatief groot kruisingsvlak. In totaal zijn er op dit kruispunt 166 elementen geteld die kunnen bijdragen aan de complexiteit (Tabel 6.8). Naast een groot aantal signaalgevers, vooral gezien de afwezigheid van voetgangers, is een bijzonder groot aantal verkeers- en informatieborden geteld.

Tabel 6.8. Aantal waargenomen complexiteitselementen kruispunt Eerste Tochtweg

| Elementtype | Eerste Tochtweg |
|--|-----------------|
| Middengeleiders | 5 |
| Aantal takken | 5 |
| Totaal aantal rijstroken voor voertuigen | 18 |
| Totaal aantal fietspaden/-stroken | 5 |
| Aantal toegestane rechtsaf-bewegingen (auto's) | 6 |
| Aantal toegestane linksaf-bewegingen (auto's) | 7 |
| Aantal toegestane rechtsaf-fietsbewegingen | 4 |
| Aantal toegestane linksaf-fietsbewegingen | 4 |
| Soorten fietsvoorzieningen | 2 |
| OFOS | 1 |
| Aantal voetgangersoversteekplaatsen | 0 |
| Aantal fietsoversteken | 2 |
| Haaientanden op takken | 9 |
| Pijlen op de weg | 8 |
| Maximumsnelheid | 1 |
| Bushaltes | 0 |
| Tunnel | 0 |
| Deflectie-eiland | 0 |
| Wegverlichting | 11 |
| Totaal aantal signaalgevers | 25 |
| Linksaf-geleidestrepen | 2 |
| Totaal aantal informatieborden | 41 |
| Soorten weggebruikers | 2 |
| Snelheidsdrempel | 2 |
| Bomen/struiken die het zicht belemmeren | 1 |
| Parkeren langs de weg | 0 |
| Aantal bewegingen met belemmerd zicht | 1 |
| Verlegde stopstreep | 0 |
| Houd kruispunt open markering | 0 |
| Erfaansluiting bij kruispunt | 4 |
| Totaal | 166 |

6.3.4 Gemeten aantal conflicten

De resultaten van de videoanalyse wezen op in totaal 14 ernstige conflicten op deze locatie; dat is ongeveer eens per tien uur (Tabel 6.9), op basis van circa 130 uur aan gegevens (zie Paragraaf 5.4). Vanwege de relatief lage intensiteit van fietsers en de afwezigheid van voetgangers, telt dit kruispunt aanzienlijk minder conflicten dan de twee andere kruispunten.

Tabel 6.9. Aantal automatisch waargenomen conflicten kruispunt Eerste Tochtweg

| Interactietype | Totaal aantal conflicten | Conflicten per uur |
|------------------|--------------------------|--------------------|
| Auto-Auto | 6 | 0,05 |
| Fiets-Fiets | 0 | 0 |
| Fiets-Auto | 7 | 0,05 |
| Voetganger-Fiets | 0 | 0 |
| Voetganger-Auto | 1 | 0 |
| Totaal | 14 | 0,11 |

6.4 Resultaten drie kruispunten samengevat

In deze paragraaf wordt het risico op een conflict vergeleken met de resultaten van de twee complexiteitsmaten. Om de drie VRI-kruispunten met elkaar te vergelijken is het aantal ontmoetingen als expositiemaat gebruikt. Tabel 6.10 geeft voor de drie kruispunten het totaal aantal ontmoetingen (en het gemiddelde per uur) tussen de typen verkeersdeelnemers.

Tabel 6.10. Totaal aantal ontmoetingen (en gemiddelde per uur) tussen bepaalde typen verkeersdeelnemers op de drie kruispunten

| Interactietype | Totaal aantal ontmoetingen (en per uur) | | |
|----------------|---|--------------|-----------------|
| | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
| Auto-Auto | 7.839 (48) | 19.714 (154) | 439 (3) |
| Fiets-Auto | 8.936 (55) | 5.202 (41) | 77 (1) |
| Fiets-Fiets | 8.025 (49) | 1.443 (11) | 0 (0) |

Het risico op een conflict is vervolgens uitgedrukt als het totaal aantal conflicten tussen bepaalde typen verkeersdeelnemers, gedeeld door het totaal aantal ontmoetingen tussen diezelfde typen verkeersdeelnemers. Dit noemen we in dit rapport de 'conflictfrequentie'. Tabellen 6.11, 6.12 en 6.13 vatten dit risico en de complexiteit samen voor achtereenvolgens auto-auto-interacties, auto-fiets-interacties en fiets-fiets-interacties.

Kijkend naar de auto-auto-interacties, laat Tabel 6.11 zien dat op de Mauritskade een conflictfrequentie van 0,33 is waargenomen, terwijl er slechts 5 auto-autoconflictpunten en 73 visuele inrichtingselementen aanwezig waren. Ter vergelijking: de Calandstraat, die de hoogste conflictfrequentie had voor auto-auto-interacties (0,44), heeft ook hogere aantallen auto-autoconflictpunten (30) en inrichtingselementen (153). Op het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, is de conflictfrequentie tussen auto's het laagst in vergelijking met de andere locaties. Interessant genoeg heeft deze locatie wel het hoogste aantal auto-autoconflictpunten (42) en de meeste inrichtingselementen (166).

Tabel 6.11. Frequentie auto-autoconflicten en de relevante complexiteitsmaten op de drie kruispunten

| | Auto-Auto | | |
|--|-------------|--------------|-----------------|
| | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |

| | | | |
|------------------------|------|-------------|------------|
| Conflictfrequentie | 0,33 | 0,44 | 0,01 |
| # Conflictpunten | 5 | 30 | 42 |
| # Inrichtingselementen | 73 | 153 | 166 |

Voor de auto-fietsinteracties, laat *Tabel 6.12* zien dat op de Mauritskade een conflictfrequentie van 0,16 is waargenomen. Dit is hoger dan op de andere locaties, terwijl dit kruispunt de minste auto-fietsconflictpunten (24) en het laagste aantal visuele inrichtingselementen telt. Het kruispunt Calandstraat heeft de op één na hoogste auto-fietsconflict frequentie van 0,11, en het hoogste aantal auto-fietsconflictpunten (30), terwijl het 153 inrichtingselementen heeft. Bij het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, is de conflictfrequentie tussen auto en fiets 0,09. Dit is niet heel veel lager dan die op de andere kruispunten, omdat er toch nog 7 auto-fietsconflicten waren, terwijl er gedurende de hele week slechts 77 auto-fiets-ontmoetingen plaatsvonden. Het kruispunt Eerste Tochtweg heeft 26 auto-fietsconflictpunten.

Tabel 6.12. Frequentie auto-fietsconflicten en de relevante complexiteitsmaten op de drie kruispunten

| | Auto-Fiets | | |
|------------------------|-------------|--------------|-----------------|
| | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
| Conflictfrequentie | 0,16 | 0,11 | 0,09 |
| # Conflictpunten | 24 | 30 | 26 |
| # Inrichtingselementen | 73 | 153 | 166 |

Tabel 6.13 geeft het risico op een conflict tussen fietsers onderling weer. Op de Mauritskade is voor dat type ontmoeting de hoogste conflictfrequentie van 0,23 waargenomen. Deze locatie heeft ook het hoogste aantal fiets-fietsconflictpunten (25) maar het laagste aantal visuele inrichtingselementen (73). De Calandstraat heeft een conflictfrequentie van 0,19, terwijl dit kruispunt 13 fiets-fietsconflictpunten en 153 inrichtingselementen telt. Bij het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, zijn geen fiets-fietsconflicten geteld en zijn er ook slechts twee conflictpunten.

Tabel 6.13. Frequentie fiets-fietsconflicten en de relevante complexiteitsmaten op de drie kruispunten

| | Fiets-Fiets | | |
|------------------------|-------------|--------------|-----------------|
| | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
| Conflictfrequentie | 0,23 | 0,19 | 0 |
| # Conflictpunten | 25 | 13 | 2 |
| # Inrichtingselementen | 73 | 153 | 166 |

Tabel 6.14 toont de conflictfrequentie samen met het aantal conflictpunten per interactie categorie. Hier zijn relaties moeilijk te leggen. Voor de auto-auto-interactie is de locatie met de meeste conflictpunten (Eerste Tochtweg) het veiligst, terwijl voor de auto-fiets-interacties de meeste conflictpunten worden waargenomen op een relatief onveilig kruispunt (Calandstraat). En als het gaat om fiets-fiets-interacties, heeft de Mauritskade het hoogste aantal conflictpunten en ook de hoogste conflictfrequentie.

Tabel 6.14. Conflictfrequenties en aantal conflictpunten per interactie categorie

| Interacties | | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
|-------------|--------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Auto-Auto | Conflictfrequentie | 0,33 | 0,44 | 0,01 |
| | # Conflictpunten | 5 | 30 | 42 |
| Auto-Fiets | Conflictfrequentie | 0,23 | 0,19 | 0 |

| | | | | |
|-------------|-------------------------|-------------|-----------|------|
| | # Conflictpunten | 24 | 30 | 26 |
| Fiets-Fiets | Conflictfrequentie | <u>0,16</u> | 0,11 | 0,09 |
| | # Conflictpunten | 25 | 13 | 2 |

In *Tabel 6.15* is de conflictfrequentie te zien, samen met het aantal inrichtingselementen. Een interessant resultaat is dat de Eerste Tochtweg, met het hoogste aantal visuele inrichtingselementen, ook het veiligste kruispunt van de twee is. Het op een na veiligste kruispunt is de Calandstraat, die ook het op een na hoogste aantal inrichtingselementen heeft. Tot slot heeft het kruispunt met het laagste aantal inrichtingselementen de laagste veiligheidsscore. Hoewel niet statistisch getest, kunnen deze resultaten erop wijzen dat – anders dan volgens sommige theorieën – een kruising ook veiliger kan zijn naarmate het aantal elementen groter is.

Tabel 6.15. Conflictfrequenties en aantal inrichtingselementen per interactie categorie

| Interacties | | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
|-------------|-------------------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Auto-Auto | Conflictfrequentie | 0,33 | <u>0,44</u> | 0,01 |
| Auto-Fiets | Conflictfrequentie | <u>0,23</u> | 0,19 | 0 |
| Fiets-Fiets | Conflictfrequentie | <u>0,16</u> | 0,11 | 0,09 |
| | # Inrichtingselementen | 73 | 153 | 166 |

Opgemerkt moet worden dat de kruispunten in deze casus intrinsiek verschillend – en dus ‘onvergelijkbaar’ – zijn, of het nu gaat om complexiteit, dichtheid en soort bebouwing, of binnen of buiten de kom. Daarom kan een onderlinge vergelijking geen zinnig resultaat opleveren. De drie zeer verschillende VRI-kruispunten waren vooral interessant om de geautomatiseerde opname- en analysemethode toe te passen en te toetsen, om de verschillende complexiteitselementen te identificeren en om uiteindelijk te bepalen of – en onder welke omstandigheden – opschalen zin heeft.

TOT SLOT

7 Samenvatting, discussie en conclusies

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de hoofdstukken uit Deel 1 en Deel 2 samengevat en besproken. Ook worden enkele beperkingen van deze studie, en leerpunten voor het vervolgonderzoek genoemd.

SWOV wil met dit onderzoek, en het vervolg daarvan, beter inzicht krijgen in de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten. Aan de hand van een literatuurstudie is beoordeeld welke ontwerpkenmerken belangrijk zijn en toegepast kunnen worden om deze kruispunten structureel veiliger te maken voor alle verkeersdeelnemers. Daarnaast is beoordeeld of er al aandacht wordt besteed aan de verschillende ontwerpkenmerken in de ontwerprichtlijnen. Met de literatuurstudie en beoordeling van de bestaande richtlijnen zijn de kennislacunes geïdentificeerd die nader onderzoek behoeven (*Paragraaf 7.1*).

Vervolgens is een pilotstudie uitgevoerd met geautomatiseerde video-opname en -analyse, om na te gaan of deze methode geschikt is om in vervolgonderzoek de veiligheid van VRI-kruispunten op grotere schaal te kunnen evalueren (*Paragraaf 7.2*).

In *Paragraaf 7.3* komen we terug op de onderliggende onderzoeksvragen en in *Paragraaf 7.4* komen leerpunten voor vervolgonderzoek aan bod.

7.1 Deel 1: Literatuurstudie en ontwerprichtlijnen

7.1.1 Resultaten

In het literatuuronderzoek zijn de onderstaande kenmerken geïdentificeerd als belangrijk voor de veiligheid van (kwetsbare) verkeersdeelnemers bij VRI-kruispunten (zie *Tabel 7.1*).

Tabel 7.1. Relevante ontwerpkenmerken uit de literatuurstudie voor verkeersveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten

| Kenmerken | Invloed op verkeersveiligheid | Referentie |
|---|---|--|
| Aantal takken | Hoe meer takken, hoe onveilig | Elvik (2006) |
| Middengeleiders en kanalisatie-eilanden | Verhogen de veiligheid. | Høye (2021); Osama, Sayed & Sacchi (2016); Sawalha & Sayed (2001); Schepers et al. (2011); Van Boggelen et al. (2011); Wout (2022); Zegeer et al. (2005) |
| Soort fietsvoorziening | De volgende fietsvoorzieningen verhogen de veiligheid in aflopende volgorde: 1. fietspad, 2. fietsstrook, 3. gedeelde rijstrook. Verkeerslichten voor fietsers, opgeblazen fietsopstelstroken (OFOS) en uitbuiging van het fietspad verbeteren de veiligheid. | Akar & Clifton (2009); Harwood et al. (2002); Kuiken & Schepers (2017); Madsen & Lahrmann (2017); Nabavi Niaki, Dijkstra & Wijlhuizen (2021); Schepers et al. (2010); Schepers et al. (2013); Schepers et al. (2017); SWOV (2020); Thomas & De Robertis (2013); Wall et al. (2016); Weigand (2008); Wout (2022); Zangenehpour, Miranda-Moreno & Saunier (2013); Ziakopoulos, Botteghi & Papadimitriou (2017) |
| Snelheidsremmers en snelheidsdisplays | Verbeteren de veiligheid door de snelheid van motorvoertuigen te verminderen. | Cruzado & Donnell (2009); Daniels & Focant (2017); Duivenvoorden (2021); Van der Dussen (2002); Elvik (2015); Fortuijn, Carton & Feddes (2005); Gehlert, Schulze & Schlag (2012); Hallmark, Hawkins & Smadi (2015); Harris et al. (2013); Jensen et al. (2021); Oxley et al. (2005); Summala et al. (1996); Sun et al. (2015); Van Petegem & Uijtdewilligen (2021) |
| Wegmarkeringen en zebrapaden | Wegmarkeringen zoals stoplijnen bij VRI's verbeteren de veiligheid, en zebrapaden hebben een gemengd effect, met in sommige studies een toename van het aantal ongevallen en in andere een vermindering van de letselerst. Voorrangsfietsoversteekplaats met rode kleur vermindert de veiligheid. | Haleem, Alluri & Gan (2015); Hanson, Noland & Brown (2013); Koepsell et al. (2002); Mooney et al. (2016); Schepers et al. (2011) |
| Bus-/tramhaltes en trambanen | Bus-/tramhaltes en tramlijnen verminderen de veiligheid van fietsers. | Dong et al. (2020); Gildea, Hall & Simms (2021); Hertach et al. (2018); Mitra & Bhowmick (2020); Zhu, Sze & Newnam (2022) |
| Parkeren op straat | Vermindert de veiligheid. | Deliali, Christofa & Knodler Jr (2021); Quistberg et al. (2015); Thomas et al. (2017); Van Petegem & Uijtdewilligen (2021) |

De belangrijkste Nederlandse richtlijnen op het gebied van kwetsbare verkeersdeelnemers – namelijk, het *Handboek Wegontwerp* (HWO) (CROW, 2013) voor kruispunten buiten de bebouwde kom, *Aanbevelingen voor Verkeersvoorzieningen Binnen de Bebouwde Kom* (ASVV) (CROW, 2021), de *Ontwerpwijzer fietsverkeer* (OF) (CROW, 2016) en *Aanbevelingen fiets- en kantstroken* (AFK) (Fietsberaad, 2015) voor fietsvoorzieningen, en het *Handboek verkeerslichten-regelingen 2022* (CROW, 2022) – zijn vervolgens nagelopen om te controleren in hoeverre er bij belangrijke kruispuntkenmerken een relatie wordt gelegd met verkeersveiligheid en of deze relatie wordt onderbouwd, in kwalitatieve of kwantitatieve zin. Aanvullend is dit ook gedaan voor de zogeheten INTERSAFE-kenmerken voor kruispunten, die zijn voortgekomen uit eerder onderzoek van Schermers et al. (2013; *Paragraaf 4.1.2*).

Het blijkt dat nagenoeg alle kruispuntkenmerken in een of meer van de richtlijnen worden genoemd. Echter, de relatie met verkeersveiligheid wordt meestal niet gelegd (zie Tabel 7.2). Daar waar die relatie wel wordt gelegd, wordt deze vooral kwalitatief beschreven en zelden kwantitatief. Daarmee constateren wij dat er voor kruispunten weinig empirisch onderbouwde verkeersveiligheidskennis is opgenomen in de richtlijnen.

Tabel 7.2. Belangrijke kruispuntkenmerken voor kwetsbare verkeersdeelnemers genoemd in de diverse richtlijnen, en de mate waarin er een relatie wordt gelegd met verkeersveiligheid.

| Kruispuntkenmerk | Veiligheid genoemd? | Onderbouwing van de relatie met verkeersveiligheid |
|---|---------------------|--|
| Regeling | Ja | Ja |
| Aantal takken | Ja | Nee |
| (Opstel)stroken linksaf | Nee | Nee |
| (Opstel)stroken rechtsaf | Nee | Nee |
| Uitbuigen fietspad | Nee | Nee |
| Kanaliserings-eiland | Nee | Nee |
| Zichtafstand | Nee | Nee |
| Fietsvoorzieningen | Ja | Nee |
| Opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS) | Ja | Nee |
| Fietsopstelstrook (linksaf) | Ja | Nee |
| Fiets vrij rechtsaf door rood | Nee | Nee |
| Breedte fietsvoorziening | Ja | Nee |
| Lokale snelheidslimieten | Nee | Nee |
| Verkeerslicht voor fietsers | Ja | Nee |
| Lokale snelheidslimieten | Ja | Nee |
| Kruispunttype | Ja | Nee |
| Verticaal alignement/ (on)gelijkvloers | Nee | Nee |
| Parkeerplekken | Ja | Nee |
| Complexiteit | Nee | Nee |
| Verlichting | Ja | Nee |
| Snelheidsremmende maatregelen | Nee | Nee |
| Middengeleider/kanalisatie | Nee | Nee |
| Afstand fietspad van de weg | Ja | Nee |
| Fietsbewegwijzering | Ja | Nee |
| Herkenbaarheid | Ja | Nee |
| Kruispunt-aansluithoek | Nee | Nee |

Dat de relatie met ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid niet altijd wordt gelegd wil niet zeggen dat er geen relatie is of dat deze onbelangrijk is. Een beoordeling van het belang voor een onderbouwing van de relatie tussen kruispuntkenmerken en verkeersveiligheid is in 2013 uitgevoerd door SWOV (en deze is in 2022 geactualiseerd). Deze beoordeling heeft laten zien dat er respectievelijk 81% en 71% van de eerdergenoemde INTERSAFE- kenmerken ook in het ASVV

en het HWO zijn benoemd; bij respectievelijk 62% en 9,5% wordt ook een relatie gelegd met verkeersveiligheid. Waar een relatie wordt gelegd is deze vooral kwalitatief.

In *Paragraaf 4.1.3* zijn de belangrijkste onderwerpen uit de beoordeling uit 2013 benoemd. Deze beoordeling is in 2022 geactualiseerd en geprioriteerd op basis van de mate van invloed op de verkeersveiligheid – sommige kruispuntkenmerken hebben immers een groter effect op veiligheid dan andere. Om te beoordelen hoe cruciaal maatregelen zijn voor de verkeersveiligheid is rekening gehouden met:

- conflicten met ernstige afloop (ongevallen met letsel) vermijden, en/of
- een aanzienlijke ongevallenreductie opleveren.

Rekening houdend met deze nieuwe eisen, bestaat de prioriteitenlijst uit de volgende, voor kruispunten belangrijkste, onderzoeksonderwerpen:

- Aantal kruispunttakken
- Fietspaden
- Ongevallencijfers voor kruispunttypen
- Voorzieningen om conflicten op kruispunten te vermijden, ook voor langzaam verkeer
- Voorzieningen voor fietsers en voetgangers

7.1.2 Discussie

We hebben gezien dat er in de richtlijnen niet consequent een relatie wordt gelegd tussen kruispuntkenmerken en de effecten op verkeersveiligheid, ook niet bij afwijking. Daar waar die relatie wel wordt gelegd, wordt deze vrij zwak onderbouwd. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de kennis voor de onderbouwing niet voorhanden is, of dat deze niet wordt gegeven in de richtlijnen. Dit is niet apart onderzocht, maar aannemelijk is dat de kennis er wel is – er is namelijk veel literatuur en wetenschappelijk onderzoek op dit gebied – maar dat deze niet is opgenomen in de richtlijn. Een reden hiervoor kan zijn dat de richtlijnen uitgaan van 100% navolging en dus van een optimaal en veilig ontwerp waarvoor geen extra veiligheidsinformatie nodig is. Richtlijnen zijn echter niet verplicht, en juist omdat afwijkingen van de richtlijn zijn toegestaan, schieten de richtlijnen tekort door de verkeersveiligheidseffecten van dergelijke afwijkingen zelden of nooit te benoemen. Bijvoorbeeld door aan te geven wat het veiligheids-effect is van het wel of niet toepassen van een kenmerk, of wat de veiligheidsconsequenties zijn als van (bijvoorbeeld de maatvoering van) een kenmerk wordt afgeweken.

Deze literatuurstudie en beoordeling van richtlijnen heeft de bovengenoemde prioriteitenlijst opgeleverd van vijf onderzoeksonderwerpen: vijf belangrijke (groepen) kruispuntkenmerken waarvan we de relatie met verkeersveiligheid goed willen kennen. De meeste van die kenmerken zijn relatief eenvoudig te onderzoeken. Alleen het aantal kruispunttakken is moeilijk te beïnvloeden in de praktijk: het is immers bijna onmogelijk om alleen (de veiligere) drietakskruispunten toe te passen. Dat onderwerp dan ook minder interessant voor apart onderzoek en zal alleen als onderdeel van een meer integraal onderzoek naar veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op kruispunten worden meegenomen.

Voor Nederland zou onderzoek naar de volgende, meer algemeen geformuleerde onderwerpen relevant zijn:

- Fietspaden bij kruispunten
- Risicocijfers voor verschillende typen kruispunten
- Maatregelen en voorzieningen ter voorkoming van ongevallen tussen motorvoertuigen onderling en met kwetsbare verkeersdeelnemers (bijv. verkeerseilanden, scheiding van het verkeer, verkorte oversteeklengtes, enz.)

De bovengenoemde onderwerpen kunnen als afzonderlijke onderzoeken worden opgezet of, als het haalbaar is, onderdeel vormen van een meer integraal onderzoek naar kruispuntveiligheid in

zijn geheel. Bij een meer integraal onderzoek kunnen ook de iets minder belangrijke onderzoeks-
onderwerpen uit *Paragraaf 4.1.3* worden meegenomen, bijvoorbeeld:

- > Verkeersregeling (o.a. VRI conflictvrij of niet)
- > Zicht
- > Aantal takken

7.2 Deel 2: Pilotstudie video- en complexiteitsanalyse

7.2.1 Resultaten

Op zoek naar een geschikte methode voor grootschalig kruispuntonderzoek, is een pilotstudie uitgevoerd op drie VRI-kruispunten. Hiervoor is een geautomatiseerde veiligheidsanalyse op basis van videobeelden beproefd, waarmee intensiteiten en conflicten van verschillende verkeersdeelnemers is gemeten. Daarnaast is ook ‘handmatig’ gekeken naar de complexiteit van de kruispunten, omdat deze ook kan samenhangen met veiligheid. Voor de kruispuntcomplexiteit zijn twee ‘complexiteitsmaten’ gebruikt, te weten:

1. het aantal conflictpunten: meer conflictpunten tussen kruisende trajecten van weggebruikers zou de complexiteit van een kruispunt kunnen verhogen;
2. het aantal elementen: het aantal ontwerp- en inrichtingselementen op een kruispunt zou de mentale belasting en daarom de complexiteit van het kruispunt kunnen vergroten.

De resultaten van de pilotstudie staan samengevat in *Tabel 7.3*. Deze bevat de gemeten conflictfrequentie (aantal conflicten gedeeld door het aantal ontmoetingen), het aantal getelde conflictpunten, en het aantal getelde inrichtingselementen, uitgesplitst naar specifieke interacties.

Tabel 7.3. Frequenties van verschillende conflicttypen op de drie pilotlocaties, evenals verschillende complexiteitsmaten: het aantal conflictpunten en het aantal kruispuntelementen

| Interacties: conflict x complexiteit | | Mauritskade | Calandstraat | Eerste Tochtweg |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------|--------------|-----------------|
| Auto-Auto | Conflictfrequentie | 0,33 | 0,44 | 0,01 |
| | # Conflictpunten | 5 | 30 | 42 |
| Auto-Fiets | Conflictfrequentie | 0,23 | 0,19 | 0 |
| | # Conflictpunten | 24 | 30 | 26 |
| Fiets-Fiets | Conflictfrequentie | 0,16 | 0,11 | 0,09 |
| | # Conflictpunten | 25 | 13 | 2 |
| # Inrichtingselementen | | 73 | 153 | 166 |

Uit de pilotstudie kunnen we een aantal dingen constateren. Ten eerste verschillen de drie kruispunten qua **complexiteit**:

- > Bij de kruispunten Calandstraat en Eerste Tochtweg is het totaal aantal elementen en het aantal auto-autoconflictpunten veel hoger dan bij het kruispunt Mauritskade. Dit komt onder andere doordat de Mauritskade minder rijstroken heeft en omdat de kruisende weg een eenrichtingsweg is voor het autoverkeer.
- > De Eerste Tochtweg, een groter kruispunt buiten de bebouwde kom, heeft het hoogste aantal kruispuntelementen, ook al zijn er geen voetgangers aanwezig op het kruispunt. Voor automobilisten heeft dit kruispunt ook het grootste aantal conflictpunten (42 auto-autoconflictpunten + 26 auto-fietsconflictpunten). Voor fietsers heeft dit kruispunt echter het minst aantal conflictpunten.
- > Het Calandstraat-kruispunt heeft een groot aantal elementen en ook een groot aantal conflictpunten, maar dit laatste aantal is voor auto's onderling lager dan bij de Eerste Tochtweg en voor fietsers onderling lager dan bij de Mauritskade.

- Bij het kruispunt Mauritskade zijn er weinig conflictpunten tussen automobilisten maar veel tussen fietsers onderling. Voor automobilisten hangt het aantal conflictpunten samen met het aantal rijstroken en daardoor ook met de grootte van het kruispunt. Voor fietsers heeft het aantal conflictpunten ook te maken met het aantal toegestane, en niet-toegestane maar wel mogelijke, bewegingen. Deze verschillen namelijk veel tussen de drie geselecteerde kruispunten.

Kijkend naar het aantal gemeten **conflicten**:

- De software detecteerde de volgende typen conflicten: auto-auto, auto-fiets en fiets-fiets. Ook conflicten met voetgangers werden (soms) gedetecteerd, maar deze resultaten (en de voetgangersintensiteiten) bleken onvoldoende betrouwbaar te zijn.
- De hoogste fietsconflict frequentie is gemeten op de Mauritskade, zowel voor conflicten tussen fietsers onderling (fiets-fiets) als met auto's (fiets-auto).
- Op de Eerste Tochtweg (buiten de bebouwde kom) zijn weinig conflicten met fietsers gemeten. In absolute zin (aantal conflicten) is dit te verwachten, gezien de lage fietsintensiteiten op dit kruispunt. Maar ook de conflict frequentie is op dit kruispunt veel lager. Dit heeft mogelijk te maken met het feit dat fietsers onderling en fietsers met auto's minder vaak in interactie komen bij lagere verkeersintensiteiten.

7.2.2 Discussie

De twee maten voor **complexiteit** (aantal conflictpunten of aantal elementen) komen niet consequent overeen met de gemeten **conflict frequenties**:

- Hoewel de Eerste Tochtweg het kruispunt is met de meeste *ontwerp- en inrichtings-elementen*, heeft het consequent de laagste conflict frequentie voor alle conflicttypen. Dit suggereert dat meer ontwerpelementen ook kunnen leiden tot meer veiligheid.
- Alleen bij de fiets-fietsconflicten komt de hoogste conflict frequentie overeen met het grootste aantal *conflictpunten* (Mauritskade).

Bij dit resultaat moet worden opgemerkt dat ook in de literatuur geen eenduidig verband is te zien tussen complexiteit – uitgedrukt in aantal kruispuntelementen – en ongevallen, terwijl er wel een positief verband is tussen complexiteit – uitgedrukt in aantal conflictpunten – en ongevallen.

Iets anders wat belangrijk is om op te merken, is dat de drie kruispunten in dit pilotonderzoek intrinsiek verschillend – en dus 'onvergelijkbaar' – zijn, of het nu gaat om complexiteit, dichtheid en soort bebouwing, of binnen of buiten de kom. Een onderlinge vergelijking kan daarom geen zinnig resultaat opleveren, en ook vormen de drie locaties geen geschikte steekproef om de relatie tussen verkeersveiligheid en kruispuntcomplexiteit te onderzoeken. De mogelijke – en indicatief al aanwezige – verbanden tussen complexiteit en conflicten zullen in grootschaliger vervolgonderzoek meer aandacht krijgen.

De drie VRI-kruispunten waren juist gekozen omdat ze zo verschillen (van klein en eenvoudig tot groot en complex) en daarom interessant zijn om de geautomatiseerde opname- en analyse-methode toe te passen en te toetsen. Zo kon de methode worden getest in sterk verschillende verkeerssituaties en kon de complexiteit van sterk verschillende kruispunten worden bepaald, om uiteindelijk te bepalen of opschalen zin heeft en onder welke omstandigheden.

7.2.3 Conclusies videoanalysemethode

Uit de video-opnames en -analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De camerahoogte en -hoek hadden een effect op de kwaliteit van het beeld en uiteindelijk ook op het resultaat van de analyses, vooral als het gaat om intensiteitsschattingen. De videocamera's hebben geen last gehad van zwak licht of weersomstandigheden en de beelden waren over de gehele meetperiode van hoge kwaliteit.
- De automatische herkenning van de verschillende soorten vervoerswijzen (auto, bus, voetganger enz.) was bij sommige vervoerswijzen redelijk nauwkeurig (maar geen 100%) en bij andere slecht. Het gebeurt nog relatief vaak dat weggebruikers worden afgeschermd (bijv. door voertuigen, mensen, objecten), fout worden geclassificeerd, niet worden waargenomen, enz., waardoor de telling van vooral fietsers, scooters en voetgangers vaak zijn over- of juist onderschat. Behalve voor voetgangers, liggen de afwijkingen echter binnen de geaccepteerde foutenmarges van 10-15% voor dit soort onderzoek (zie *Paragraaf 5.7*). Daarom concluderen wij dat de gebruikte methode voldoende inzicht biedt in de verkeersveiligheidsproblematiek, als het gaat om conflicten met fietsers en gemotoriseerde voertuigen.
- Voor een betere meting van verkeersintensiteiten met behulp van automatische beeldverwerking, is er extra aandacht nodig voor de plaatsing van de camera's tijdens kalibratie en validatie voorafgaand aan de daadwerkelijke metingen. Het is aan te bevelen om camera's recht boven het kruispunt te plaatsen. Waar dat niet mogelijk is, is aan te bevelen de camera's in ieder geval zo hoog mogelijk te plaatsen waardoor er zo weinig mogelijk kans is op afscherming van bepaalde soorten weggebruikers.
- Een andere optie is om deze methode te gebruiken voor onderzoek dat is toegespitst op bepaalde manoeuvres of delen van het kruispunt die wel volledig in beeld zijn te brengen.

7.3 Conclusies

De onderzoeksvragen die we ons aan het begin van deze studie hebben gesteld, kunnen nu als volgt worden beantwoord:

1. Verkennende studie van literatuur en richtlijnen

a. *Wat is een gepaste risicomaat voor VRI-kruispunten?*

De conflictmaten PET en TTC, gerelateerd aan verkeersintensiteit, zijn interessant als risicomaten voor onderzoek naar de veiligheid van (VRI-)kruispunten. Vergeleken met data over ongevallen – die minder frequent voorkomen dan conflicten en vaak minder gedetailleerde informatie bevatten – zijn PET en TTC voor dit onderzoek betere risicomaten.

b. *Welke methoden worden gebruikt voor veldonderzoek naar (VRI-) kruispuntveiligheid?*

Verkeerstellingen en conflictobservaties worden zowel handmatig uitgevoerd, handmatig gedaan op basis van videobeelden, of volledig geautomatiseerd uitgevoerd (video met beeldherkenningssoftware voor de analyses). Vanwege kosten en de beschikbaarheid van beelden om op terug te vallen voor verdere analyses gaat de voorkeur uit naar op video gebaseerde observaties.

c. *Wat zijn voor verkeersveiligheid in het algemeen, en voor kwetsbare verkeersdeelnemers specifiek, de belangrijkste ontwerp- en inrichtingseisen bij VRI-kruispunten?*

Voor kruispunten zijn er diverse ontworpelementen en inrichtingskenmerken van belang (zie *Paragraaf 3.1*). Het is moeilijk aan te tonen of er één het belangrijkste is, en welke dat zou moeten zijn. Het gaat om de combinatie van elementen, maar ook om welke uitgangspunten worden gehanteerd om deze te beoordelen. Bijvoorbeeld, gaan we uit van het principe veilige snelheden, dan zou het afdwingen van een maximale conflictsnelheid van 30 km/uur op alle gelijkvloerse VRI-kruispunten het belangrijkste zijn. Gaan we uit van een reductie van het aantal letselongevallen, dan is het scheiden van verkeerssoorten in ruimte, tijd en massa passend. In dit onderzoek hebben wij bepaald dat de volgende onderwerpen erg belangrijk zijn bij het ontwerp van VRI-kruispunten, maar dat de relatie met verkeersveiligheid en de effecten als gevolg van afwijking van de aanbevelingen in de

richtlijnen relatief slecht is onderbouwd. Het verdient aanbeveling om de volgende onderwerpen nader te onderzoeken en de nieuwe kennis op te nemen bij herziening van de richtlijnen:

- > Aantal kruispunttakken
- > Fietspaden
- > Ongevallencijfers voor kruispunttypen
- > Voorzieningen om conflicten op kruispunten te vermijden, ook voor langzaam verkeer
- > Voorzieningen voor fietsers en voetgangers

d. ***Welke verkeersveiligheidseisen worden in de richtlijnen gesteld aan VRI-kruispunten?***

De richtlijnen stellen geen specifieke eisen behalve dat conflicten in zowel tijd als ruimte (en indirect massa) moeten worden gescheiden. Er worden allerlei basiskenmerken voorgeschreven (bijv. aantal en breedte van rijstroken, maatvoering van midden- en bermgeleiders, breedte van fiets- en voetgangersoversteken, oversteeklengtes, enz.) maar niet bij al deze kenmerken wordt de relatie met verkeersveiligheid gelegd. Uitgangspunt van de richtlijnen is dat een optimaal veilig ontwerp wordt gerealiseerd als de richtlijnen worden nageleefd. Echter, de consequenties van afwijking van de richtlijnen worden daarin niet nadrukkelijk aan de orde gesteld.

2. Pilot praktijkonderzoek

a. ***Wat is het veiligheidsniveau voor alle weggebruikers op een aantal VRI-kruispunten van gevarieerde complexiteit, op basis van informatie over snelheid, conflicten en trajecten?***

De pilot liet zien dat een eenvoudig kruispunt binnen de bebouwde kom met relatief weinig kruispuntelementen en veel conflictpunten, meer conflicten heeft (dus minder veilig is) dan een groot kruispunt buiten de bebouwde kom met méér kruispuntelementen maar minder conflictpunten. Het aantal conflictpunten en ook het aantal kruispuntelementen hangen nauw samen met de verschillende soorten verkeersdeelnemers bij een kruispunt.

b. ***Is deze videoanalysemethode geschikt om de effecten van kritische ontwerpelementen op verkeersveiligheid, ook van fietsers en voetgangers, te onderzoeken?***

De methode die wij in de pilot hebben toegepast is geschikt voor vervolgonderzoek. Wel moeten wij nadrukkelijk aandacht schenken aan de positionering van camera's en ook aan het kalibreren en valideren van de analysesoftware.

c. ***Kan deze methode toegepast worden op zowel kleine/eenvoudige als grotere/complexere kruispunten?***

De methode kan op eenvoudige en complexe kruispunten worden toegepast. In de regel geldt, hoe groter (en complexer) het kruispunt, hoe meer camera's moeten worden ingezet.

7.4 Leerpunten voor het vervolg

Deze studie heeft laten zien dat er relatief veel onderzoek is gedaan naar de relatie tussen verkeersveiligheid en (elementen van) kruispuntontwerp. Ook is duidelijk dat de kruispuntelementen die genoemd zijn in de Nederlandse richtlijnen, niet altijd voldoende inzicht geven in de verkeersveiligheidsconsequenties van bepaalde ontwerpkeuzes. Er is behoefte aan een betere onderbouwing van de relatie tussen kruispuntkenmerken en verkeersveiligheid in de Nederlandse richtlijnen.

De pilot heeft laten zien dat er enkele beperkingen zijn bij verkeers- en conflictanalyses door middel van video-observatie. Voor toekomstig onderzoek is het belangrijk om hiermee rekening te houden, niet alleen voor betrouwbaardere onderzoeksuitkomsten, maar ook om vertraging en extra inspanning tijdens het onderzoek te beperken. De volgende punten verdienen extra aandacht tijdens het plannen en uitvoeren van het onderzoek:

- > *Positionering van de camera's*
Hoewel samen met Transoft veel aandacht is besteed aan positionering van camera's, heeft de pilot laten zien dat het steeds voorkomt dat er blinde vlekken zijn waar de software voor beeldanalyse niet goed mee omgaat. Een voorbeeld is een deel van het kruispunt (bijv. een hoek) dat niet goed in beeld is omdat het kruispunt te groot is. Dit kan resulteren in fouten in de verkeerstellingen.
Het heeft de voorkeur om of meerdere camera's te gebruiken of om vanaf grotere hoogte en direct boven het kruispunt de beelden vast te leggen.
- > *Nauwkeurigheid/betrouwbaarheid van videobeelden*
Als het gaat om verkeerstellingen, laat de geautomatiseerde methode met beeldanalyse veel te wensen over. Dit blijkt uit een vergelijking van de resultaten met handmatige tellingen van verkeer, uitgesplitst naar soort weggebruiker. Vooral bij aantallen voetgangers en fietsers wijkt de geautomatiseerde methode te veel af van de handmatige telling. Behalve aan de camerapositionering (zie hierboven) ligt dit ook aan de verwerking en door de analysesoftware.
- > *Optimaliseren cameraposities en data-inwinning met video*
De ervaring met de automatische verkeerstellingen leert ons dat voor goede intensiteitsmetingen (naar soort weggebruiker) een korte voormeting van minimaal 1 dag nodig is, om te verzekeren dat voldoende nauwkeurigheid wordt behaald, dat wil zeggen: van alle verkeersdeelnemers wordt minstens 95% goed geteld en geclassificeerd over alle tijden van de dag en nacht. Ook is aan te bevelen om de opnames te laten bestaan uit filmfragmenten van steeds 15 minuten, zodat het steeds mogelijk is om de nauwkeurigheid van de geautomatiseerde tellingen te valideren aan de hand van deze fragmenten. Eventueel zullen er aanvullende intensiteitstellingen op de takken van kruispunten moeten worden uitgevoerd.
- > *Uploaden en downloaden van data*
Er is ongeveer 880 GB aan videodata geüpload, wat veel tijd heeft gekost. Dit lag onder andere aan problemen met het data-uploadplatform. In de toekomst zal dit anders moeten.
- > *Verdere analyse*
Als gevolg van de vertragingen bij het uploaden van data, controles en aanpassingen tijdens de analyse, hebben wij met de data minder verkennende analyses kunnen doen dan gewenst. Zo zullen we in de toekomst willen kijken naar stratificatie van de verkeersdata (bijv. van het gemotoriseerde verkeer naar auto, bus, vrachtauto, enz.) om te zien of er voor verschillende verkeerstypen andere conflictverhoudingen te zien zijn.

8 Vervolgstappen en onderzoeksplan

Video-opname en -analyse van conflicten zijn relatief snel en betrouwbaar in vergelijking met traditionelere methoden van conflictobservatie en -analyse. Daarom is SWOV van plan het onderzoek op te schalen naar een volwaardig onderzoek, rekening houdend met de lessen die zijn geleerd tijdens de pilot (zie *Paragraaf 7.4*).

In het vervolgonderzoek zal SWOV vergelijkend onderzoek gaan uitvoeren bij VRI-kruispunten waar bepaalde 'kritische' kenmerken juist wel en niet aanwezig zijn. Voor dat onderzoek zullen wij ons richten op een betere detectie van typen weggebruikers, een efficiëntere data-upload, en duidelijker communicatie over de gewenste (kwaliteit van) data en analyses naar de organisaties die voor de beeldanalyse verantwoordelijk zijn. Dit willen wij realiseren door de omvang van de video-opnamen te beperken tot specifieke conflictsoorten en weggebruikers, specifieke kruispuntkenmerken en specifieke trajecten over het kruispunt, bijvoorbeeld doorgaande fietsers en voetgangers vs. links en rechts afslaande voertuigen op een tak van het kruispunt.

De onderzoekslocaties zullen worden geselecteerd aan de hand van de aan- en afwezigheid van kritische ontwerpkenmerken op de volgende onderwerpen (zie ook *Hoofdstuk 4* en *Paragraaf 7.1.2*)

- Maatregelen en voorzieningen ter voorkoming van ongevallen tussen motorvoertuigen onderling en met kwetsbare verkeersdeelnemers (bijv. verkeerseilanden, scheiding van het verkeer, verkorte oversteeklengtes, enz.)
- Fietspaden bij kruispunten (bijv. uitbuiging of niet, een- of tweerichtings, enz.)

Als het gaat om specifieke maatregelen ter voorkoming van ongevallen of ter beperking van de letselernst bij kruispunten, dan wordt snel gedacht aan snelheidsbeperking en fysieke scheiding van conflicten met grote richtings-, massa- en/of snelheidsverschillen. Voor voetgangers en fietsers zijn – naast lage snelheden en de eigen verkeersruimte (voetpad, fietspad en oversteekvoorziening) – voor veilig oversteken ook zaken belangrijk als niet te lange oversteekafstanden, goed zicht op conflicterend verkeer, conflictvrije regeling, voldoende oversteektijd, enz.

Het is de bedoeling om bewust onderzoekslocaties te kiezen waar bovengenoemde kenmerken juist wel en juist niet aanwezig zijn, terwijl de locaties voor de rest van de kenmerken vrij uniform zijn. Waar verschillen onvermijdbaar zijn, corrigeren we voor de verschillen tijdens de analyses door regressietechnieken toe te passen of door vergelijkbare en homogene groepen datasets samen te stellen.

Om te voorkomen dat het onderzoek te omvangrijk wordt, gegeven de beschikbare middelen, beperken wij ons tot kruispunten binnen de bebouwde kom, aangezien daar het probleem tussen kwetsbaar en gemotoriseerd verkeer het grootst is. Daarnaast beperken we ons het liefst tot één, hooguit twee, kruispuntkenmerken om te onderzoeken. Voorwaarde is wel dat het kenmerk bij alle kruispunten in de onderzoeksgroep aanwezig zijn, en afwezig zijn bij kruispunten in de controle-groep. We kiezen bewust voor vergelijkend onderzoek als onderzoeksmethode, dit omdat voor-na-onderzoek niet binnen de tijdsplanning van het onderzoeksprogramma mogelijk zal zijn.

De volgende activiteiten worden in 2023 uitgevoerd:

- *Selectie van kruispunten voor onderzoek naar kritische elementen voor verkeersveiligheid*
Gezocht worden max. vier complexe VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom met één of twee van de geselecteerde, kritische ontwerpelementen, en max. vier vergelijkbare VRI-kruispunten zonder deze kritische kenmerken. In totaal worden dus max. acht kruispunten geselecteerd, gericht op één of twee van de volgende kritische ontwerpelementen:
 1. VRI-regeling (conflictvrij vs. deels conflictvrij),
 2. oversteekafstanden voertuigen, fietsers en voetgangers,
 3. oppervlak van conflictzone, of
 4. aanwezigheid snelheidsremmende maatregelen.Om interactie-effecten van overige kenmerken te voorkomen zal heel gericht gezocht worden naar kruispunten die – met uitzondering van het kritische kenmerk – zo uniform mogelijk zijn ingericht om vergelijkingen tussen verschillende elementen mogelijk te maken.

- *Verkeersveiligheidsinspectie (VVI) en -beoordeling van geselecteerde kruispunten*
Deze beoordeling is in principe vergelijkbaar met een verkeersveiligheidsaudit (VVA) en stelt vast of de geselecteerde VRI-kruispunten voldoen aan minimale verkeersveiligheidseisen in de richtlijnen (beoordeling van ontwerp en inrichting) of dat het kruispunt daarvan afwijkt.

- *Conflictobservaties en verkeersonderzoek*
Bij de geselecteerde VRI-kruispunten worden video-observaties uitgevoerd, met als uitkomsten verkeerstellingen, snelheden, verkeersconflicten, en verkeersveiligheid uitgedrukt als conflicten en conflictfrequenties.

- *Conflictanalyses*
Op basis van de observaties op de geselecteerde VRI-kruispunten, worden statistische relaties gelegd tussen conflicten en de beschouwde, kritische ontwerpkenmerken. Daarbij wordt onder andere gecorrigeerd voor intensiteitseffecten (bijv. door te kijken naar conflictfrequentie).

- *Ongevallenanalyses*
Waar mogelijk worden ongevallenanalyses uitgevoerd aan de hand van ‘historische’ gegevens uit BRON.

- *Vergelijking van ongevallenanalyses met conflictanalyses*
De ongevallenanalyses worden vergeleken met de conflictanalyses met als doel de resultaten te gebruiken bij het formuleren van aanbevelingen voor CROW-richtlijnen.

- *Opzet van vervolgonderzoek 2024 naar andere, mogelijk kritische ontwerpelementen.*

Literatuur

- Aarts, L., Dijkstra, A. & Bax, C. (2014). *ProMeV: Proactief Meten van Verkeersveiligheid; Inzicht in onveiligheid vóórdát er slachtoffers vallen* R-2014-10. SWOV, Den Haag.
- Aarts, L.T., Kars, V., Dijkstra, A., Duivenvoorden, C.W.A.E., et al. (2014). *Proactief Meten van Verkeersveiligheid - ProMeV: Handleiding nr. 3: DV-meter en VSGS; Voor het prioriteren van problemen op wegvak- en kruispuntniveau*. H-2014-5. SWOV, Den Haag.
- Aarts, L.T. & Nes, C.N. van (2007). *Een helpende hand bij snelhedenbeleid gericht op veiligheid en geloofwaardigheid; Eerste aanzet voor een beslissingsondersteunend instrument voor veilige snelheden en geloofwaardige snelheidslimieten*. D-2007-2. SWOV, Leidschendam.
- Adriazola-Steil, C., Pérez-Barbosa, D., Batista, B., Luke, N., et al. (2021). *Safe Bicycle Lane Design Principles: Responding to Cycling Needs in Cities during COVID and Beyond*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Akar, G. & Clifton, K. (2009). *Influence of Individual Perceptions and Bicycle Infrastructure on Decision to Bike*. In: Transportation Research Record, vol. 2140, p. 165-172.
- Alsop, J. & Langley, J. (2001). *Under-reporting of motor vehicle traffic crash victims in New Zealand*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 33, nr. 3, p. 353-359.
- Amoros, E., Martin, J.L. & Laumon, B. (2006). *Under-reporting of road crash casualties in France*. In: Accident Analysis and Prevention, vol. 38, p. 627-635.
- Amundsen, F. & Hyden, C. (1977). *Definition of Traffic Conflict*. In: Proceedings of the First Workshop on Traffic Conflicts. Oslo, Norway, Institute of Transport Economics.
- Andriessse, R., Gurp, M. van & Hulshof, R. (2019). *Discussienotitie Fietsoversteken uit de voorrang*. CROW-Fietsberaad, Utrecht.
- Arun, A., Haque, M.M., Bhaskar, A., Washington, S., et al. (2021). *A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 153, p. 106016.
- Bahnsen, C. & Moeslund, T.B. (2015). *Detecting road user actions in traffic intersections using RGB and thermal video*. In: Proceedings of the 2015 12th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). 25-28 Aug. 2015, p. 1-6.
- Bax, C., Eenink, R., Commandeur, J. & Loenis, B. (2017). *ProMeV Light; Een invulling van risicogestuurde aanpak van weginfrastructuur* R-2017-7. SWOV, Den Haag.
- Belcher, M., Proctor, S. & Cook, P. (2008). *Practical road safety auditing*. 2nd edition ed. Thomas Telford, London, U.K.
- Bichicchi, A., Belaroussi, R., Simone, A., Vignali, V., et al. (2020). *Analysis of Road-User Interaction by Extraction of Driver Behavior Features Using Deep Learning*. In: IEEE, vol. 8, p. 19638-19645.

- Blackburn, L., Dunn, M., Martinson, R., Robie, P., et al. (2022). *Improving intersections for pedestrians and bicyclists: informational guide*. FHWA-SA-22-017. VHB, Raleigh, NC, U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Boele-Vos, M.J., Commandeur, J.J.F. & Twisk, D.A.M. (2017). *Effect of physical effort on mental workload of cyclists in real traffic in relation to age and use of pedelecs*. In: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 105, p. 84-94.
- Boggelen, O. van, Kroeze, P., Schepers, J.P. & Voet, M. van der (2011). *Samen werken aan een veilige fietsomgeving; Aanbevelingen voor wegbeheerders*. Publicatie 19. Fietsberaad, Utrecht.
- Bommer, L. (2022). *Complexity and crash frequency: An analysis of intersections in Amsterdam*. Master Thesis, TU Delft, Delft.
- Buch, N., Velastin, S.A. & Orwell, J. (2011). *A Review of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic*. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, nr. 3, p. 920-939.
- Cantisani, G., Moretti, L. & De Andrade Barbosa, Y. (2019). *Risk Analysis and Safer Layout Design: Solutions for Bicycles in Four-Leg Urban Intersections*. In: *Safety*, vol. 5, nr. 24.
- Chandler, B.E., Myers, C.M., Atkinson, J.E., Bryer, T.E., et al. (2013). *Signalized Intersections Informational Guide, Second Edition*. FHWA-SA-13-027. SAIC, Reston, VA, U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Chen, P. (2015). *Built environment factors in explaining the automobile-involved bicycle crash frequencies: A spatial statistic approach*. In: *Safety Science*, vol. 79, p. 336-343.
- Corben, B., Nes, N. van, Candappa, N., Logan, B.L., et al. (2010). *Development of the kinetic energy management model and safe intersection design principles*. Monash University Accident Research Centre MUARC, Melbourne.
- CROW (2012a). *ASVV 2012 - Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. Publicatie 723. CROW, Ede.
- CROW (2012b). *Basiskennmerken wegontwerp; Categorisering en inrichting van wegen*. Publicatie 315. CROW, Ede.
- CROW (2013). *Handboek wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen*. Publicatie 330. CROW, Ede.
- CROW (2016). *Ontwerpwijzer fietsverkeer*. Publicatie 351. CROW, Ede.
- CROW (2021). *ASVV 2021 - Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. Publicatie 740. CROW, Ede.
- CROW (2022). *Handboek verkeerslichtenregelingen 2022*. Geraadpleegd 1-12-2022 op <https://kennisbank.crow.nl/KennisModule/Detail/114318#114330>
- Cruzado, I. & Donnell, E.T. (2009). *Evaluating Effectiveness of Dynamic Speed Display Signs in Transition Zones of Two-Lane, Rural Highways in Pennsylvania*. In: *Transportation Research Record*, vol. 2122, nr. 1, p. 1-8.
- Dai, B. & Dadashova, B. (2021). *Review of contextual elements affecting bicyclist safety*. In: *Transport & Health*, vol. 20, nr. art. 101013.

Daniels, S. & Focant, N. (2017). *Dynamic Speed Display Signs*. In: European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. European Commission, Brussels.

Deliali, K., Christofa, E. & Knodler Jr, M. (2021). *The role of protected intersections in improving bicycle safety and driver right-turning behavior*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 159, nr. art. 106295.

Dienst Verkeer en Scheepvaart (2011). *Voorschrift verkeersveiligheidsaudits – Voorwaarden, proces en uitvoering*. DVS, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Delft.

Dijkstra, A. (2014a). *Enkele aspecten van kruispuntveiligheid; Rapportage voor het CROW-project Afwegingskader kruispunten*. R-2014-21A. SWOV, Den Haag.

Dijkstra, A. (2014b). *Naar meer veiligheid op kruispunten; Aanbevelingen voor kruispunten van 50-, 80- en 100km/uur-wegen*. R-2014-21. SWOV, Den Haag.

Dijkstra, A., Eenink, R. & Wegman, F. (2007). *Met een veilige snelheid over wegen; SWOV-visie op 'de grijze weg'*. In: Verkeerskunde, vol. 58, nr. 7, p. 48-52.

Distefano, N., Salvatore, L., Pulvirenti, G., Richard, R., et al. (2020). *Physiological and driving behaviour changes associated to different road intersections*. In: European Transport, vol. 77, nr. 4, p. 1-12.

Dong, N., Meng, F., Zhang, J., Wong, S.C., et al. (2020). *Towards activity-based exposure measures in spatial analysis of pedestrian–motor vehicle crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 148, nr. art. 105777.

Duivenvoorden, K. (2021). *Speed up to safe interactions; The effects of intersection design and road users' behaviour on the interaction between cyclists and car drivers*. Proefschrift Technische Universiteit Delft TUD. SWOV Dissertatiereeks. SWOV, Den Haag.

Dussen, P., van der (2002). *Beleidseffectrapportage verkeersveiligheid 1997- 1999: studie naar het effect en rendement van een zestal infrastructurale maatregelen*. Thesis, Afstudeerverslag. Nationale Hogeschool voor Toerisme en Verkeer NHTV, Breda.

Edquist, J., Rudin-Brown, C.M. & Lenné, M.G. (2012). *The effects of on-street parking and road environment visual complexity on travel speed and reaction time*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 45, p. 759-765.

Elvik, R. (2006). *Laws of accident causation*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 38, nr. 4, p. 742-747.

Elvik, R. (2015). *A statistical law in the perception of risks and physical quantities in traffic*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 82, p. 36-44.

Elvik, R., Vadeby, A., Hels, T. & Schagen, I. van (2019). *Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 123, p. 114-122.

ERSF (1996). *INTERSAFE: Technical guide on road safety for interurban roads*. European Road Safety Federation ERSF, Brussel.

European Commission (2008). *Directive 2008/96 of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management*. Geraadpleegd 1-12-2022 op <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/96/oj>.

European Commission (2018). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management*. COM(2018)274 final, Brussels.

Faure, G., Perreault, H., Bilodeau, G.-A. & Saunier, N. (2021). *PolyTrack: Tracking with Bounding Polygons*. In: arXiv:2111.01606v1. Geraadpleegd 1/7/2023 op <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.01606>

Fietsberaad (2015). *Aanbevelingen fiets- en kantstroken (AFK)* CROW-Fietsberaad, Utrecht.

Fortuijn, L.G.H., Carton, P.J. & Feddes, B.J. (2005). *Veiligheidseffect van kruispuntplateaus in gebiedsontsluitingswegen*. In: Proceedings of the Verkeerskundige Werkdagen, 1-2 juni 2005. Ede.

Fu, T., Miranda-Moreno, L. & Saunier, N. (2016). *Pedestrian Crosswalk Safety at Nonsignalized Crossings During Nighttime: Use of Thermal Video Data and Surrogate Safety Measures*. In: Transportation Research Record, vol. 2586, nr. 1, p. 90-99.

Gehlert, T., Schulze, C. & Schlag, B. (2012). *Evaluation of different types of dynamic speed display signs*. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 15, p. 667-675.

Gildea, K., Hall, D. & Simms, C. (2021). *Configurations of underreported cyclist-motorised vehicle and single cyclist collisions: Analysis of a self-reported survey*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 159, nr. art. 106264.

Haleem, K. & Abdel-Aty, M. (2010). *Examining traffic crash injury severity at unsignalized intersections*. In: Journal of Safety Research, vol. 41, nr. 4, p. 347-357.

Haleem, K., Alluri, P. & Gan, A. (2015). *Analyzing pedestrian crash injury severity at signalized and non-signalized locations*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 81, p. 14-23.

Hallmark, S., Hawkins, N. & Smadi, O. (2015). *Evaluation of Dynamic Speed Feedback Signs on Curves: A National Demonstration Project*. FHWA-HRT-14-020. Iowa State University, Center for Transportation Research and Education, Federal Highway Administration - Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA.

Hanson, C.S., Noland, R.B. & Brown, C. (2013). *The severity of pedestrian crashes: an analysis using Google Street View imagery*. In: Journal of Transport Geography, vol. 33, p. 42-53.

Harms, L. (1991). *Variation in drivers' cognitive load. Effects of driving through village areas and rural junctions*. In: Ergonomics, vol. 34, nr. 2.

Harris, M.A., Reynolds, C.C.O., Winters, M., Crompton, P.A., et al. (2013). *Comparing the effects of infrastructure on bicycling injury at intersections and non-intersections using a case-crossover design*. In: Injury Prevention, vol. 19, nr. 5, p. 303.

Harwood, D.W., Bauer, K.M., Potts, I.B., Torbic, D.J., et al. (2002). *Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes*. FHWA-RD-02-089. Midwest Research Institute, Kansas City, MO, Federal Highway Administration - Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA.

Heimes, F., Nagel, H.-H. & Frank, T. (1998). *Model-based tracking of complex innercity road intersections*. In: Mathematical and Computer Modeling, vol. 27, nr. 9-11, p. 189-203.

Hermens, F., Schermers, G., Dijkstra, A. & Schepers, J.P. (2021). *Verkeersveiligheidsmodel provinciale wegen van Noord-Holland ; Weg- en verkeerskenmerken gerelateerd aan verkeersveiligheidscijfers*. R-2021-10A. SWOV, Den Haag.

Hertach, P., Uhr, A., Niemann, S. & Cavegn, M. (2018). *Characteristics of single-vehicle crashes with e-bikes in Switzerland*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 117, p. 232-238.

Houtenbos, M. (2008). *Expecting the unexpected; A study of interactive driving behaviour at intersections*. Proefschrift Delft University of Technology TUD. SWOV Dissertatiereeks. SWOV, Leidschendam.

Houwing, S. (2003). *Praktijktest van de DV-meter: Gebruiksvriendelijkheid van een computerprogramma voor de analyse van DV-karakteristieken van een wegennet*. D-2003-7. SWOV, Leidschendam.

Høyve, A.K. (2021). *1.5 Kanalisering av kryss [Channelization of intersects]*. In: Høyve, A.K. & Elvik, R. (eds.), *Trafikksikkerhetshåndboken [The Handbook of Road Safety Measures]*. Norwegian online ed. Transportøkonomisk institutt TØI, Oslo, Norway.

Hyden, C. (1987). *The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: the Swedish Traffic Conflict Technique*. Bulletin 70, Lund University of Technology, Lund, Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

iRAP (2009). *Star Rating Roads for Safety: The iRAP Methodology*. iRAP504.04. International Road Assessment Programme iRAP, Basingstoke, UK.

iRAP (2013). *Road Attribute Risk Factors: Intersection Type*. International Road Assessment Programme iRAP.

ITF & OECD (2018). *Speed and Crash Risk*. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD / International Transport Forum ITF, Paris.

Jain, N., Yerragolla, S., Guha, T. & Mohana (2019). *Performance Analysis of Object Detection and Tracking Algorithms for Traffic Surveillance Applications using Neural Networks*. In: *Proceedings of the Third International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*. 12-14 December 2019, p. 690-696.

Jensen, M.L., Sørensen, M.W.J., Madsen, T.K.O. & Thomsen, S.D. (2021). *Trafikksikkerhed ved hævede krydsflader i vigepligtskryds: En før-efter ulykkesevaluering*. Aalborg Universitet, Via Trafik.

Johnsson, C., Laureshyn, A. & De Ceunynck, T. (2018). *In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators*. In: *Transport Reviews*, vol. 38, nr. 6, p. 765-785.

Kekez, D., Walton-Blane, A., Picen, T., Vinci, B., et al. (2022). *Simulator assessment of innovative intersection designs on driver speeds and trajectories*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 176, nr. art. 106798.

Kennisnetwerk SPV (2019). *Factsheet: Verkeersveiligheid bij kruispunten met verkeerslichten*. SPV-D5. Kennisnetwerk SPV, Utrecht.

Kircher, K. & Ahlström, C. (2020). *Attentional requirements on cyclists and drivers in urban intersections*. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 68, p. 105-117.

Koepsell, T., McCloskey, L., Wolf, M., Moudon, A.V., et al. (2002). *Crosswalk markings and the risk of pedestrian-motor vehicle collisions in older pedestrians*. In: *Jama*, vol. 288, nr. 17, p. 2136-2143.

Kooi, R.M. van der & Dijkstra, A. (2000). *Ontwikkeling van een 'DV-gehalte-meter' voor het meten van het gehalte duurzame veiligheid*. R-2000-14. SWOV, Leidschendam.

Koornstra, M.J., Lynam, D., Nilsson, G., Noordzij, P.C., et al. (2002). *SUNflower : a comparative study of the development of road safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands*. SWOV Institute for Road Safety Research, Transport Research Laboratory TRL, Swedish National Road and Transport Research Institute VTI,, Leidschendam.

Kuiken, M. & Schepers, P. (2017). *Aanpak veiligheid kruispunten met tweerichtingsfietspaden*. CROW-Fietsberaad, Utrecht.

Kullgren, A., Stigson, H., Ydenius, A., Axelsson, A., et al. (2019). *The potential of vehicle and road infrastructure interventions in fatal bicyclist accidents on Swedish roads—What can in-depth studies tell us?* In: *Traffic Injury Prevention*, vol. 20, nr. sup1, p. S7-S12.

Laureshyn, A. & Várhelyi, A. (2020). *The Swedish Traffic Conflict technique: Observer's manual*. Manual v. 1.1. Lund University, Lund.

Madsen, T.K.O. & Lahrmann, H. (2017). *Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies*. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 46, p. 438-450.

Mahmud, S.M.S., Ferreira, L., Hoque, M.S. & Tavassoli, A. (2019). *Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment*. In: *IATSS Research*, vol. 43, nr. 1, p. 27-36.

Maitre, E. (2017). *Safety problems and difficulties in using public spaces with modern tramways: the example of Marseilles*. In: *8th Young Researchers' Seminar 2017 - ECTRI-FEHL-FERSI*, Berlin, Germany.

Meuleners, L.B., Fraser, M., Johnson, M., Stevenson, M., et al. (2020). *Characteristics of the road infrastructure and injurious cyclist crashes resulting in a hospitalisation*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 136, nr. art. 105407.

Miah, M., Pepin, J., Saunier, N. & Bilodeau, G.-A. (2021). *An empirical analysis of visual features for multiple object tracking in urban scenes*. In: *Proceedings of the 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2020)*. 10-15 January 2021, p. 5595-5602.

Migletz, J., Glauz, W.D. & Bauer, K.M. (1985). *Relationships between traffic conflicts and accidents*. Tech Report. FHWA/RD-84/042. Midwest Research Institute, Kansas City, MO, Federal Highway Administration - Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA.

Mitra, S. & Bhowmick, D. (2020). *Status of signalized intersection safety-A case study of Kolkata*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 141, nr. art. 105525.

Montella, A., Aria, M., D'Ambrosio, A., Galante, F., et al. (2011). *Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, nr. 6, p. 2072-2084.

Mooney, S.J., DiMaggio, C.J., Lovasi, G.S., Neckerman, K.M., et al. (2016). *Use of Google Street View to Assess Environmental Contributions to Pedestrian Injury*. In: *American Journal of Public Health*, vol. 106, nr. 3, p. 462-469.

Nabavi Niaki, M., Dijkstra, A. & Wijnhuizen, G.J. (2021). *Bicycle safety before and after the redesign of intersections in The Hague ; Assessment using automated traffic analysis software*. R-2021-4A. SWOV, The Hague.

Nabavi Niaki, M., Wijlhuizen, G.J. & Dijkstra, A. (2021). *Safety enhancing features of cycling infrastructure: Review of evidence from Dutch and international literature*. R-2021-20. SWOV, The Hague.

Nightingale, E., Parvin, N., Seiberlich, C., Savolainen, P.T., et al. (2017). *Investigation of Skew Angle and Other Factors Influencing Crash Frequency at High-Speed Rural Intersections*. In: Transportation Research Record, vol. 2636, nr. 1, p. 9-14.

Osama, A., Sayed, T. & Sacchi, E. (2016). *Crash Modification Functions for Installation of Left-Turn Lanes at Signalized Intersection Approaches*. In: Transportation Research Record, vol. 2583, nr. 1, p. 42-49.

Oxley, J.A., Ihsen, E., Fildes, B.N., Charlton, J.L., et al. (2005). *Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 37, nr. 5, p. 962-971.

Peesapati, L., Hunter, M. & Rodgers, M. (2013). *Evaluation of Postencroachment Time as Surrogate for Opposing Left-Turn Crashes*. In: Transportation Research Record, vol. 2386, nr. 1, p. 42-51.

Perreault, H., Bilodeau, G.-A., Saunier, N. & Héritier, M. (2021). *FFAVOD: Feature fusion architecture for video object detection*. In: Pattern Recognition Letters, vol. 151, p. 294-301.

Petegem, J.W.H. van, Schepers, P. & Wijlhuizen, G.J. (2021). *The safety of physically separated cycletracks compared to marked cycle lanes and mixed traffic conditions in Amsterdam*. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research, vol. 21, nr. 3, p. 19-37.

Petegem, J.W.H. van & Uijtdewilligen, T. (2021). *Fietsongevallen door parkeervakken langs gebiedsontsluitingswegen; Analyse van risico op aanrijdingen met motorvoertuigen nabij kruispunten met erftoegangswegen*. R-2021-32. SWOV, Den Haag.

PIARC (2019). *Security of Road Infrastructure*. PIARC World Road Association, La Défense, Paris.

Preusser, D.F., Williams, A.F., Ferguson, S.A., Ulmer, R.G., et al. (1998). *Fatal crash risk for older drivers at intersections*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 30, nr. 2, p. 151-159.

Quistberg, D.A., Koepsell, T.D., Miranda, J.J., Boyle, L.N., et al. (2015). *The Walking Environment in Lima, Peru and Pedestrian–Motor Vehicle Collisions: An Exploratory Analysis*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 16, nr. 3, p. 314-321.

Reurings, M.C.B., Vlakveld, W.P., Twisk, D.A.M., Dijkstra, A., et al. (2012). *Van fietsongeval naar maatregelen: kennis en hiaten; Inventarisatie ten behoeve van de Nationale Onderzoeksagenda Fietsveiligheid (NOaF)*. R-2012-8. SWOV, Leidschendam.

Richard, C.M. & Lichty, M.G. (2013). *Driver Expectations When Navigating Complex Interchanges*. FHWA-HRT-13-048. Battelle Seattle Research Center, Seattle, Federal Highway Administration - Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA.

Rudin-Brown, C.M., Edquist, J. & Lenné, M.G. (2014). *Effects of driving experience and sensation-seeking on drivers' adaptation to road environment complexity*. In: Safety Science, vol. 62, p. 121-129.

Sánchez, A., Suárez, P.D., Conci, A. & É, N. (2011). *Video-Based Distance Traffic Analysis: Application to Vehicle Tracking and Counting*. In: Computing in Science & Engineering, vol. 13, nr. 3, p. 38-45.

Sawalha, Z. & Sayed, T. (2001). *Evaluating Safety of Urban Arterial Roadways*. In: Journal of Transportation Engineering, vol. 127, nr. 2, p. 151-158.

Schaap, N., Horst, A.R.A. van der, Arem, B. van & Brookhuis, K.A. (2013). *The relationship between driver distraction and mental workload*. In: Regan, M.A., Lee, J.D. & Victor, T.W. (red.), *Driver distraction and inattention: Advances in research and countermeasures*. Volume 1. CRC Press (Taylor & Francis), p. 63-82.

Schagen, I.N.L.G. van, Wegman, F.C.M. & Roszbach, R. (2004). *Veilige en geloofwaardige snelheidslimieten; Een strategische verkenning*. R-2004-12. SWOV, Leidschendam.

Schepers, J.P., Kroeze, P.A., Sweers, W. & Wüst, J.C. (2011). *Road factors and bicycle-motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 43, nr. 3, p. 853-861.

Schepers, J.P. & Voorham, J. (2010). *Oversteekongevallen met fietsers; Het effect van infrastructuurkenmerken op voorrangskruispunten*. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft.

Schepers, J.P., Waard, D. de, Sweers, W. & Kroeze, P. (2010). *Fietsers op tweerichtingsfietspaden; De keuze voor en uitvoering van tweerichtingsfietspaden*. Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft.

Schepers, P., Heinen, E., Methorst, R. & Wegman, F. (2013). *Road safety and bicycle usage impacts of unbundling vehicular and cycle traffic in Dutch urban networks*. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research, vol. 13, p. 221-238.

Schepers, P., Twisk, D., Fishman, E., Fyhri, A., et al. (2017). *The Dutch road to a high level of cycling safety*. In: Safety Science, vol. 92, p. 264-273.

Schermers, G., Dijkstra, A., Mesken, J. & De Baan, D. (2013). *Richtlijnen voor wegontwerp tegen het licht gehouden; De mate van onderbouwing van bestaande richtlijnen voor het ontwerp van gebiedsontsluitingswegen binnen en buiten de bebouwde kom en van stroomwegen*. D-2013-5. SWOV, Leidschendam.

Schermers, G. & Petegem, J.W.H. van (2013). *Veiligheidseisen aan het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met limiet 80 km/uur - Aanbevelingen voor de actualisatie van het Handboek Wegontwerp*. D-2013-2. SWOV, Leidschendam.

Stinchcombe, A. & Gagnon, S. (2010). *Driving in dangerous territory: Complexity and road characteristics influence attentional demand*. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 13, nr. 6, p. 388-396.

Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M. & Sievänen, J. (1996). *Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns*. In: Accident Analysis and Prevention, vol. 28, nr. 2, p. 147-153.

Sun, R., Zhuang, X., Wu, C., Zhao, G., et al. (2015). *The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment*. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 30, p. 97-106.

SWOV (2018). *30km/uur-gebieden*. SWOV-factsheet, mei 2018. SWOV, Den Haag.

SWOV (2020). *Infrastructuur voor voetgangers en fietsers*. SWOV-factsheet, november 2020. SWOV, Den Haag.

SWOV (2022a). *Elektrische fietsen en speed-pedelecs*. SWOV-factsheet, mei 2022. SWOV, Den Haag.

- SWOV (2022b). *Rotondes en andere kruispunten*. SWOV-factsheet, juni 2022. SWOV, Den Haag.
- Teasdale, N., Cantin, V., Blouin, J. & Simoneau, M. (2004). *Attentional demands while driving in a simulator: effects of driving straights on open roads, approaching intersections and doubling maneuvers*. In: *Advances in Transportation Studies*, vol. 12, p. 29-38.
- Theeuwes, J., Horst, R. van der & Kuiken, M. (2012). *Designing safe road systems; A human factors perspective*. Ashgate Publishing, Aldershot etc.
- Theuwissen, E. (2022). *Lateral steering behaviour of cyclists on narrow bidirectional bicycle paths*. Master Thesis, TU Delft.
- Thomas, B. & De Robertis, M. (2013). *The Safety of Urban Cycle Tracks: a Review of the Literature*. In: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 52, p. 219-227.
- Thomas, L., Lan, B., Sanders, R.L., Frackelton, A., et al. (2017). *Changing the Future?: Development and Application of Pedestrian Safety Performance Functions to Prioritize Locations in Seattle, Washington*. In: *Transportation Research Record*, vol. 2659, nr. 1, p. 212-223.
- Thompson, M., Kwon, O. & Park, M. (2009). *The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 1*. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Axiomatic Design ICAD2009*. 25-27 March 2009, Campus de Caparica, p. 121-127.
- Thompson, M., Park, M., Kwon, O., Ibragimova, E., et al. (2009). *The Application of Axiomatic Design Theory and Conflict Techniques for the Design of Intersections: Part 2*. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Axiomatic Design ICAD2009*. 25-27 March 2009, Campus de Caparica, p. 129-136.
- Vlakveld, W.P., Twisk, D., Christoph, M., Boele, M., et al. (2015). *Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations: A field experiment*. In: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 74, p. 97-106.
- Wall, S.P., Lee, D.C., Frangos, S.G., Sethi, M., et al. (2016). *The Effect of Sharrows, Painted Bicycle Lanes and Physically Protected Paths on the Severity of Bicycle Injuries Caused by Motor Vehicles*. In: *Safety*, vol. 2, nr. 4, p. 26.
- Wei, P., Cagle, L., Reza, T., Ball, J., et al. (2018). *LiDAR and camera detection fusion in a real-time industrial multi-sensor collision avoidance system*. In: *Electronics*, vol. 7, nr. 6, p. 84.
- Weigand, L. (2008). *A Review of Literature: Intersection Treatments to Improve Bicycle Access and Safety*. CUS-CTS-08-02. Portland State University, Portland, OR.
- Welleman, I.A.G. & Dijkstra, I.A. (1988). *Veiligheidsaspecten van stedelijke fietspaden; Bijdrage aan de werkgroep 'Bromfietsers op fietspaden?.'* van de Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek, C.R.O.W. R-88-20. SWOV, Leidschendam.
- Werneke, J. & Vollrath, M. (2012). *What does the driver look at? The influence of intersection characteristics on attention allocation and driving behavior*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 45, p. 610-619.
- Wijlhuizen, G.J., Nabavi Niaki, M. & Dijkstra, A. (2021). *Evaluatie fietsveiligheid bij herinrichting van kruispunten in Den Haag; Voor-nastudie met geautomatiseerde videoanalyse*. R-2021-4. SWOV.

Wijlhuizen, G.J., Petegem, J.W.H. van, Hermens, F., Schepers, J.P., et al. (2021). *Screening en diagnose van de veiligheid van infrastructuur in Zuid-Holland; Ontwikkeling en toepassing van een meetinstrument op provinciale wegen en fietspaden*. R-2021-12. SWOV, Den Haag.

Wout, R.F. (2022). *Development of a bikeability assessment tool for Dutch cities*. Master Thesis, Eindhoven University of Technology.

Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L.F. & Saunier, N. (2013). *Impact of bicycle boxes on safety of cyclists: A case study in Montreal*. In: Proceedings of the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. 13-17 January 2013, Washington D.C.

Zegeer, C.V., Stewart, J.R., Huang, H.H., Lagerwey, P.A., et al. (2005). *Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations; Final Report and Recommended Guidelines*. FHWA–HRT–04–100. University of North Carolina, Chapel Hill, Center, Federal Highway Administration - Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA.

Zhang, Z., Zheng, J., Xu, H. & Wang, X. (2019). *Vehicle Detection and Tracking in Complex Traffic Circumstances with Roadside LiDAR*. In: Transportation Research Record, vol. 2673, nr. 9, p. 62-71.

Zheng, L., Ismail, K. & Meng, X. (2014). *Traffic Conflict Techniques for Road Safety Analysis: Open Questions and Some Insights*. In: Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 41, p. 633-641.

Zhu, M., Sze, N.N. & Newnam, S. (2022). *Effect of urban street trees on pedestrian safety: A micro-level pedestrian casualty model using multivariate Bayesian spatial approach*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 176, nr. art. 106818.

Ziakopoulos, A., Botteghi, G. & Papadimitriou, E. (2017). *Traffic signal installation*. In: European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. European Commission, Brussels.

Bijlage A Beoordeling Nederlandse Richtlijnen

A.1 Items genoemd in ASVV (Uit Schermers et al., 2013)

| 4 | INTERSECTIONS | In ASVV? | Veiligheidseffect genoemd? Zo ja, hoe groot? | Wat is aangenomen of gekozen als waarde? | Zijn gevolgen voor veiligheid bij afwijking genoemd? | Aard onderbouwing |
|---------|--|----------|--|--|--|------------------------------|
| 4.1 | <i>Intersection types</i> | | | | | |
| 4.1.1 | Number of arms | Ja | Nee | | | |
| 4.1.2 | Traffic control mode | Ja | Ja, effect van rotonde is genoemd | Geen sterke voorkeur | Ja | Effect rotonde uit Publ. 126 |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles | Ja | Ja, - | Diverse | | |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users | Ja | Ja, - | Diverse | | |
| 4.2 | Use of design templates | Ja | Ja, - | Diverse | | |
| 4.3 | Design principles | Ja | Nee | | | |
| 4.4 | Traffic safety records for intersection types | Nee | --- | | | |
| 4.5 | <i>Class II intersections</i> | | | | | |
| 4.5.1 | 3- and 4-way | Ja | Ja, - | Lichte voorkeur drietaks | | |
| 4.5.2 | Priority control mode | Ja | Ja, - | Binnen verblijfsgebieden rechts voor links: Par. 10.3 | Nee | |
| 4.5.3 | Minor road channelization | Ja | Ja, - | Enkele ontwerpbladen voor middengeleiders | Diverse | Geen referentie |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes | Ja | Nee | Afb. 10.1.18 | Nee | |
| 4.5.5 | Right turn lanes | Ja | Ja, - | Afb. 10.1.19 | Afdekongevallen. Snelheidsverhoging | Geen referentie |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities | Ja | Ja, - | Diverse ontwerpbladen | Diverse | OwFv |
| 4.5.7 | Local speed limits | Nee | --- | | | |
| 4.5.8 | Crossing sight distance | Ja | Nee | Zie punt 1.7.1 | | |
| 4.6 | <i>Class I intersections</i> | | | | | |
| 4.6.1 | <i>Roundabouts</i> | | | | | |
| 4.6.1.1 | Use | Ja | Ja, effect van rotonde is genoemd | | | |
| 4.6.1.2 | Shape and layout | Ja | Ja, - | Diverse ontwerpbladen | Niet te veel afwijken van ontwerpbladen | Publ. 126 |
| 4.6.1.3 | Sight requirements | Nee | --- | | | |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities | Ja | Ja, - | Voorkeur voor geen fietsstrook op de rotonde; bij fietspaden de fietser in de voorrang | Diverse | Publ. 126 |
| 4.6.2 | Traffic signals | Ja | Ja, - | Diverse ontwerpbladen | Diverse | Geen referentie |
| 4.6.3 | Grade separation | Ja | Nee | Haarlemmermeer | Nee | Geen referentie |

A.2 Waardeoordeel van items al dan niet genoemd in ASVV (Schermers et al., 2013)

| 4 | INTERSECTIONS KRUISPUNTEN | A Verondersteld effect op veiligheid (klein tot groot: 1-3) | B Gewenste onderbouwing relatie met verkeersveiligheid (Kwalitatief/beschrij- vend tot cijfermatig: 1-3) | C Onderzoekba- arheid (niet tot volledig: 1-3) | D Prioriteit D=AxBxC Zeër laag tot zeer hoog |
|---------|--|--|---|--|--|
| 4.1 | <i>Intersection types</i> Kruispunttypen | | | | |
| 4.1.1 | Number of arms Aantal takken | 2 | 2 | 2 | 8 |
| 4.1.2 | Traffic control mode Regelingstype | 2 | 3 | 2 | 12 |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles Maatregelen om conflicten te vermijden voor motorvoertuigen | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users Idem voor langzaam verkeer | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.2 | Use of design templates Ontwerpvoorschriften | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 4.3 | Design principles Ontwerpprincipes | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.4 | Traffic safety records for intersection types Ongevallengegevens per kruispunttype | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.5 | <i>Class II intersections</i> Kruispunten GOW-ETW | | | | |
| 4.5.1 | 3- and 4-way Drie- en viertaks | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.5.2 | Priority control mode Voorrangsregeling | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.5.3 | Minor road channelization Rijbaansplitsing op zijweg | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes Linksafstroken op hoofdweg | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4.5.5 | Right turn lanes Rechtsafstroken | 2 | 2 | 2 | 8 |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities Voorzieningen voetgangers en fietsers | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.5.7 | Local speed limits Plaatselijke snelheidslimiet | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 4.5.8 | Crossing sight distance Zichtafstanden | 2 | 2 | 2 | 8 |
| 4.6 | <i>Class I intersections</i> Kruispunten GOW-GOW | | | | |
| 4.6.1 | <i>Roundabouts</i> Rotondes | | | | |
| 4.6.1.1 | Use Verwacht gebruik | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 4.6.1.2 | Shape and layout Vorm en ontwerp | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.6.1.3 | Sight requirements Zichtdriehoeken | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities Fietsvoorzieningen | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.6.2 | Traffic signals Verkeerslichten | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.6.3 | Grade separation Ongelijkvloers | 3 | 1 | 2 | 6 |

A.3 Items genoemd in HWO (Uit Schermers et al., 2013)

| 4 | INTERSECTIONS | In HWO? | Veiligheidseffect genoemd? Zo ja, hoe groot? | Wat is aangenomen of gekozen als waarde? | Zijn gevolgen voor veiligheid bij afwijking genoemd? | Aard onderbouwing |
|---------|--|---------|--|---|--|-------------------|
| 4.1 | <i>Intersection types</i> | | | SW Tabel B. 4-1 Principes bij ontmoetingen van wegen (regionale SW) GOW Par. 4.2 Basisvormen kruispunten ETW Par. D.8.1.2 Wijze van regeling | | |
| 4.1.1 | Number of arms | Ja | Nee | 3 of 4 | | |
| 4.1.2 | Traffic control mode | Ja | Nee | Uitgangspunten voor kruispunten met VRI Par. C. 11.3.2 Intensiteitscriterium van Slop | | |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles | Ja | | Conflictmethode voor de dimensionering van een VRI-kruispunt Par C. 11.5.2 | | |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users | Ja | Ja | Algemeen: Aandacht ontwerper voor karakteristieken weggebruikers Hfdst. A.4 Karakteristieken weggebruiker | | Kwalitatief |
| 4.5 | <i>Class II intersections</i> | | | | | |
| 4.5.2 | Priority control mode | Ja | | Voorrangkruispunten GOW Hfdst. C. 10 Kruispunten zonder verkeersregelinstallatie | | |
| 4.5.3 | Minor road channelization | Ja | | Verkeersdruppels Fig. C. 10-2 Fig. C. 10-3 Par. C. 10.4.3 | | |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes | Ja | | Zie punt 4.5.2 en 4.5.3 | Ja. Wenselijke oplossing | |
| 4.5.5 | Right turn lanes | Ja | | Zie punt 4.5.2 en 4.5.3 | Onwenselijk vanwege afdekongeval | |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities | Ja | | Fig. C. 10-9 Fietsvoorzieningen op een voorrangkruispunt | | |
| 4.5.7 | Local speed limits | Nee | | | | |
| 4.5.8 | Crossing sight distance | Ja | Nee | Zie punt 1.7.1 | | |
| 4.6 | <i>Class I intersections</i> | | | | | |
| 4.6.1 | <i>Roundabouts</i> | | | | | |
| 4.6.1.1 | Use | Ja | Ja | Par. C. 9.3.2. Vuistregel toepassing Capaciteitoverwegingen Par. C. 9.2 Effecten rotonde 50% effect van aanleg enkelstrooksrotonde | | |
| 4.6.1.2 | Shape and layout | Ja | | Par. C. 9.4 Ontwerp enkelstrooksrotonde | | |
| 4.6.1.3 | Sight requirements | Nee | | | | |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities | Ja | | Par. C 9.6.2.3 Fietspaden | | |
| 4.6.2 | Traffic signals | Ja | | Zie punt C4.1.2 | | |
| 4.6.3 | Grade separation | Ja | | Hfdst C. 4 | | |

A.4 Waardeoordeel van items al dan niet genoemd in HWO (Schermers et al., 2013)

| 4 | INTERSECTIONS KRUISPUNTEN | A Verondersteld effect op veiligheid (klein tot groot: 1-3) | B Gewenste onderbouwing relatie met verkeersveiligheid (Kwalitatief/beschrij- vend tot cijfermatig: 1-3) | C Onderzoek- baarheid (niet tot volledig: 1-3) | D Prioriteit D=AxBxC Zeer laag tot zeer hoog |
|---------|--|--|---|--|--|
| 4.1 | Intersection types Kruispunttypen | | | | |
| 4.1.1 | Number of arms Aantal takken | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.1.2 | Traffic control mode Regelingstype | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles Maatregelen om conflicten te vermijden voor motorvoertuigen | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users Idem voor langzaam verkeer | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.2 | Use of design templates Ontwerpvoorschriften | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.3 | Design principles Ontwerpprincipes | 3 | 3 | 2 | 18 |
| 4.4 | Traffic safety records for intersection types Ongevallengegevens per kruispunttype | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.5 | Class II intersections Kruispunten GOW-ETW | | | | |
| 4.5.1 | 3- and 4-way Drie- en viertaks | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 4.5.2 | Priority control mode Voorrangregeling | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 4.5.3 | Minor road channelization Rijbaansplitsing op zijweg | 3 | 1 | 2 | 6 |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes Linksafstroken op hoofdweg | 3 | 1 | 2 | 6 |
| 4.5.5 | Right turn lanes Rechtsafstroken | 2 | 2 | 3 | 12 |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities Voorzieningen voetgangers en fietsers | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.5.7 | Local speed limits Plaatselijke snelheidslimiet | 1 | 2 | 3 | 6 |
| 4.5.8 | Crossing sight distance Zichtafstanden | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 4.6 | Class I intersections Kruispunten GOW-GOW | | | | |
| 4.6.1 | Roundabouts Rotondes | | | | |
| 4.6.1.1 | Use Verwacht gebruik | 3 | 2 | 2 | 12 |
| 4.6.1.2 | Shape and layout Vorm en ontwerp | 3 | 2 | 3 | 18 |
| 4.6.1.3 | Sight requirements Zichtdriehoeken | 2 | 2 | 2 | 8 |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities Fietsvoorzieningen | 3 | 3 | 3 | 27 |
| 4.6.2 | Traffic signals Verkeerslichten | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 4.6.3 | Grade separation Ongelijkvloers | 3 | 3 | 1 | 9 |

Bijlage B Beoordeling Duitse richtlijnen RAL en RASt

B.1 Beoordeling RAL: Aanwezigheid item, veiligheidseffecten en aard onderbouwing

| 4 | INTERSECTIONS | In richtlijn? | Veiligheidseffect genoemd? Zo ja, hoe groot? | Wat is aangenomen of gekozen als waarde? | Zijn gevolgen voor veiligheid bij afwijking genoemd? | Aard onderbouwing |
|---------|--|---------------|--|--|--|-------------------|
| 4.1 | <i>Intersection types</i> | | | | | |
| 4.1.1 | Number of arms | + | - | | - | |
| 4.1.2 | Traffic control mode | + | - | | - | |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles | + | - | | - | |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users | + | - | | - | |
| 4.2 | Use of design templates | + | - | | - | |
| 4.3 | Design principles | + | - | | - | |
| 4.4 | Traffic safety records for intersection types | - | | | | |
| 4.5 | <i>Class II intersections</i> | | | | | |
| 4.5.1 | 3- and 4-way | + | - | | - | |
| 4.5.2 | Priority control mode | + | - | | - | |
| 4.5.3 | Minor road channelization | + | - | | - | |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes | + | - | | - | |
| 4.5.5 | Right turn lanes | + | - | | - | |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities | + | - | | - | |
| 4.5.7 | Local speed limits | + | | | | |
| 4.5.8 | Crossing sight distance | + | | | | |
| 4.6 | <i>Class I intersections</i> | | | | | |
| 4.6.1 | <i>Roundabouts</i> | | | | | |
| 4.6.1.1 | Use | + | - | | - | |
| 4.6.1.2 | Shape and layout | + | - | | - | |
| 4.6.1.3 | Sight requirements | + | - | | - | |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities | - | | | | |
| 4.6.2 | Traffic signals | + | - | | - | |
| 4.6.3 | Grade separation | + | - | | - | |

B.2 Beoordeling RAS: Aanwezigheid items, veiligheidseffecten en aard onderbouwing

| 4 | INTERSECTIONS | In richtlijn? | Veiligheids-effect genoemd? Zo ja, hoe groot? | Wat is aangenomen of gekozen als waarde? | Zijn gevolgen voor veiligheid bij afwijking genoemd? | Aard onderbouwing |
|---------|--|---------------|---|--|--|-------------------|
| 4.1 | <i>Intersection types</i> | | | | | |
| 4.1.1 | Number of arms | - | | | | |
| 4.1.2 | Traffic control mode | + | - | | + | |
| 4.1.3 | Traffic conflict countermeasures for motor vehicles | + | - | | | |
| 4.1.4 | Traffic conflict countermeasures for vulnerable road users | + | - | | + | |
| 4.2 | Use of design templates | + | - | | | |
| 4.3 | Design principles | + | - | | + | |
| 4.4 | Traffic safety records for intersection types | - | | | | |
| 4.5 | <i>Class II intersections</i> | | | | | |
| 4.5.1 | 3- and 4-way | - | | | | |
| 4.5.2 | Priority control mode | + | - | | | |
| 4.5.3 | Minor road channelization | - | | | | |
| 4.5.4 | Major road left turn lanes | + | - | | | |
| 4.5.5 | Right turn lanes | + | - | | | |
| 4.5.6 | Bicycle and pedestrian facilities | + | - | | | |
| 4.5.7 | Local speed limits | - | | | | |
| 4.5.8 | Crossing sight distance | + | - | | | |
| 4.6 | <i>Class I intersections</i> | | | | | |
| 4.6.1 | <i>Roundabouts</i> | | | | | |
| 4.6.1.1 | Use | + | - | | | |
| 4.6.1.2 | Shape and layout | + | - | | | |
| 4.6.1.3 | Sight requirements | + | - | | | |
| 4.6.1.4 | Bicycle facilities | + | - | | | |
| 4.6.2 | Traffic signals | + | - | | | |
| 4.6.3 | Grade separation | + | - | | | |

Ongevallen voorkomen Letsel beperken Levens redden

SWOV

Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Postbus 93113

2509 AC Den Haag

Bezuidenhoutseweg 62

070 – 317 33 33

info@swov.nl

www.swov.nl

 [@swov_nl](#) / [@swov](#)

 [linkedin.com/company/swov](https://www.linkedin.com/company/swov)