

Conflicten met fietsers en voetgangers op gemeentelijke VRI-kruispunten

Analyse bij verschillende verkeerslichtenregeling en oversteeklengte

R-2024-8

SWOV



Auteurs



Dr. ir. R.J. Jansen



Ing. G. Schermers



Ir. J.W.H. van Petegem



Ir. W.J.R. Louwerse



Z.J.A. Hettema, BSc

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

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2024-8
Titel:	Conflicten met fietsers en voetgangers op gemeentelijke VRI-kruispunten
Ondertitel:	Analyse bij verschillende verkeerslichtenregeling en oversteeklengte
Auteur(s):	Dr. ir. R.J. Jansen, ing. G. Schermers, ir. J.W.H. van Petegem, ir. W.J.R. Louwerse, & Z.J.A. Hettema, BSc
Projectleider:	Ing. G. Schermers
Projectnummer SWOV:	S24.04.C
Projectinhoud:	Kruispunten met verkeerslichten horen tot de onveiligste kruispunten in Nederland. Er is echter relatief weinig kennis over hoe de de verschillende ontwerp- en inrichtingskenmerken van deze kruispunten de veiligheid beïnvloeden. Dit rapport is het tweede in een reeks onderzoeken naar de verkeersveiligheid bij VRI-kruispunten. Hierin zijn de veiligheidseffecten van verschillende oversteeklengte en verkeerslichtenregeling binnen de bebouwde kom onderzocht.
Aantal pagina's:	88
Fotografen:	Paul Voorham (omslag) – Peter de Graaff (portretten)
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2024 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

Henri Faasdreef 312, 2492 JP 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

Uit dit onderzoek:

- Op kruispunten waar de verkeerslichtenregeling ‘deelconflicten’ mogelijk maakt, komen meer conflicten voor tussen rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers en voetgangers, dan op kruispunten waar de verkeerslichten ‘conflictvrij’ zijn geregeld.
- Toch komt dit soort conflicten ook bij een ‘conflictvrije’ regeling voor: ongeveer 20% van de conflicten met rechtdoor gaande fietsers en 25% van die met rechtdoor gaande voetgangers gebeurden op een kruispunttak met conflictvrije regeling. Door rood fietsen of lopen, of helemaal aan het eind van de groenfase oversteken, speelt hier een rol.
- Een kortere oversteeklengte geeft meer conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en overstekende voetgangers. Dit geldt zowel bij een conflictvrije regeling als bij een regeling met deelconflicten.
- Enkele aanbevelingen om het aantal conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers en voetgangers te verminderen:
 - Regel de verkeerslichten conflictvrij.
 - Ontmoedig roodlichtovertredingen van rechtdoor gaande fietsers en voetgangers, vooral bij korte oversteeklengtes, bijvoorbeeld door gerichte handhaving.
 - Breng daar waar deelconflicten zijn toegestaan, (extra) bebording aan om de voorrangssituatie te verduidelijken.
 - Buig fietspaden langs gebiedsontsluitingswegen ter hoogte van kruispunten met 2 tot 5 meter uit.
 - Zorg voor voldoende opstelruimte voor fietsers en voetgangers ter hoogte van oversteekplaatsen.
 - Regel op kruispunten ook de voorrang tussen fietsers onderling.

Kruispunten met verkeerslichten – een verkeersregelinstallatie of VRI – horen tot de onveiligste kruispunten in Nederland. Dit komt door de relatief hoge verkeersintensiteiten en complexe verkeerssituaties waarin verkeersstromen met grote verschillen in massa, snelheid en richting moeten worden afgewikkeld. Hoewel VRI-kruispunten een onlosmakelijk deel van ons verkeerssysteem vormen, is er in Nederland relatief weinig kennis over de veiligheid van deze kruispunten en hoe deze samenhangt met de verschillende ontwerpkenmerken ervan. Kortom, er is nog steeds niet voldoende bekend om VRI-kruispunten in Nederland zo aan te leggen en in te richten dat maximale veiligheid wordt bereikt, en voor zover die kennis er wel is – en ook vertaald is naar ontwerprichtlijnen – schiet de toepassing ervan in de huidige praktijk vaak tekort. SWOV heeft daarom besloten om, in samenwerking met gemeenten, onderzoek te doen naar de veiligheid op VRI-kruispunten.

Dit onderzoek is gericht op VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom en specifiek op het effect van twee kenmerken op de veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers: 1) de verkeerslichtenregeling ('conflictvrij' of niet), en 2) de oversteeklengte voor fietsers en voetgangers (kort of lang). Bij een conflictvrije regeling hebben verkeersdeelnemers met kruisende trajecten nooit tegelijk groen licht; ze zijn gescheiden in de tijd. Wanneer overstekende fietsers en/of voetgangers tegelijkertijd groen hebben met afslaande motorvoertuigen, zijn er zogezegd 'deelconflicten' mogelijk.

Gekeken is naar kruispunten die verschillen op de twee kenmerken (verkeerslichtenregeling en oversteeklengte), maar die verder zo veel mogelijk op elkaar lijken. Aangezien het niet mogelijk is om de veiligheid van de verschillende kruispunten te vergelijken op basis van ongevallencijfers,¹ is het aantal 'conflicten' als veiligheidsindicator gebruikt, ofwel het aantal interacties tussen verkeersdeelnemers die zouden kunnen leiden tot een aanrijding.

De specifieke onderzoeksvragen zijn:

1. Is er een verschil te zien in de frequentie van conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers bij een conflictvrije regeling in plaats van een regeling met deelconflicten?
2. Is er een verschil te zien in de frequentie van conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers bij een korte oversteeklengte (bijv. 1 rijstrook) versus een lange oversteeklengte (bijv. 2 en meer rijstroken)?
3. Welke aanvullende of nieuwe maatregelen zijn – gezien de huidige toepassing van richtlijnen – gewenst om de veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten te verbeteren?

Het onderzoek is uitgevoerd in een aantal verschillende stappen. Ten eerste hebben wij met behulp van een internationale literatuurverkenning de relatie bestudeerd tussen verkeersveiligheid enerzijds en de verkeerslichtenregeling en de oversteeklengte anderzijds. Daarbij is ook nadrukkelijk onderzocht welke 'conflictmaat' gebruikelijk is in onderzoek waar conflicten als veiligheidsindicator zijn beschouwd. Bij interacties tussen afslaand gemotoriseerd verkeer en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers – zoals in dit onderzoek – blijkt doorgaans de '*post-encroachment time*' (PET) als conflictmaat te worden gebruikt. Deze PET-waarde is eenvoudig gezegd het **tijdsverschil tussen twee kruisende verkeersdeelnemers**. Bij een PET-waarde van '0 s' is er sprake van een aanrijding. Als de PET-waarde erg laag is, dan hebben de verkeersdeelnemers elkaar *nét* gemist en een bijna-aanrijding gehad. Bij welke PET-waarde men (niet meer) van een 'conflict' of 'onveilige' interactie kan spreken, blijkt uit het literatuuronderzoek echter niet eenduidig: de 'PET-drempelwaarden' die men in eerdere studies heeft gehanteerd, lopen uiteen.

Parallel aan het literatuuronderzoek, zijn in de tweede stap gemeenten benaderd om geschikte VRI-kruispunten aan te leveren voor het onderzoek. Eisen aan deze kruispunten waren onder andere dat ze met VRI geregeld zijn (conflictvrij of met deelconflicten), dat ze oversteekvoorzieningen met ook relatief veel voetgangers en fietsers hebben, en dat de takken vrijliggende fietspaden hebben. Zes deelnemende gemeenten hebben in totaal 37 kruispunten aangeleverd. Deze zijn door SWOV beoordeeld, waarna 18 kruispunttakken (op 10 verschillende kruispunten) zijn uitgekozen voor conflictobservaties. De helft van deze kruispunttakken heeft een verkeerslichtenregeling met deelconflicten en de andere helft heeft een conflictvrije regeling. Beide sets hebben een variatie aan kortere en langere oversteeklengtes.



1. Zinnige analyses op basis van ongevallencijfers zijn niet mogelijk omdat het jaarlijkse aantal ongevallen per kruispunttype te gering is, en – als er meerdere jaren worden beschouwd – omdat de verkeerssituatie over die periode kan zijn veranderd.

In de derde stap zijn op elk van de 18 VRI-kruispunttakken videobeelden vastgelegd gedurende één week in de maand juli, september of oktober 2023. Met automatische beeldanalyse (uitgevoerd door het Canadese Transoft Solutions) kon vervolgens de afgelegde weg van de verschillende weggebruikers worden beschreven. Deze gegevens vormden de basis voor verdere conflictanalyse. Parallel aan de videobeeldopnamen zijn bij alle geselecteerde kruispunten verkeersveiligheidsbeoordelingen op locatie uitgevoerd, en zijn niet-openbare verslagen opgesteld voor de deelnemende gemeenten. Hieruit bleek dat bij nagenoeg alle kruispunten de limieten te hoog waren, namelijk 50 of 70 km/uur, terwijl de ‘veilige snelheid’ op dit soort kruispunten hooguit 30 km/uur is. Ook is opgemerkt dat er vaak geen snelheidsremmers aanwezig zijn, dat de fietspaden vaak onvoldoende zijn uitgebogen en/of dat er onvoldoende ruimte is voor fietsers om zich veilig op te stellen.

De vierde stap betrof de conflictanalyses op basis van de videogegevens, waarbij om te beginnen een PET-drempelwaarde van 1,5 s is gehanteerd. Met andere woorden: interacties zijn als conflict aangemerkt wanneer het tijdsverschil tussen de twee kruisende verkeersdeelnemers 1,5 s of minder was. Vervolgens is – voor fietsers en voetgangers apart – onderzocht hoe het aantal gemeten conflicten op alle kruispunttakken (kwantitatief) samenhangt met de verkeerslichtenregeling (deelconflicten of niet) en oversteeklengte, en met de aantallen afslaande motorvoertuigen en overstekende fietsers/voetgangers (intensiteiten). Dit is gedaan met behulp van regressiemodellen.

Aangezien er in verschillende vakliteratuur zoals gezegd voor verschillende PET-drempelwaarden is gekozen, hebben wij aanvullend onderzocht hoe gevoelig de analyse-uitkomst voor die keuze was. Er is verkend of en hoe de samenhang tussen conflictaantallen enerzijds en de verkeerslichtenregeling, oversteeklengte en intensiteiten anderzijds verandert, wanneer er voor ‘conflicten’ een strenger criterium (lagere PET-drempelwaarde) of een minder streng criterium (hogere PET-drempelwaarde) wordt gehanteerd. Voor deze gevoeligheidsanalyse is de PET-drempelwaarde systematisch gemanipuleerd tussen 0,5 s en 5,0 s met stappen van 0,1 s.

Verkeerslichtenregeling met deelconflicten gaat gepaard met meer conflicten

Een verkeerslichtenregeling met deelconflicten bleek gepaard te gaan met significant méér conflicten, zowel bij *fietsers* als bij *voetgangers*, dan een conflictvrije verkeerslichtenregeling, ongeacht de oversteeklengte. Uit de gevoeligheidsanalyse bleek dat dit verband sterk afhankelijk was van de gekozen PET-drempelwaarde, dat wil zeggen van het tijdsverschil tussen de kruisende weggebruikers waarbij we de interactie als conflict aanmerkten. Bij conflicten tussen fietsers en motorvoertuigen werden er, afhankelijk van deze keuze, tussen de 2,4 en 4,0 keer zoveel conflicten gevonden bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Bij conflicten tussen voetgangers en motorvoertuigen liep deze factor uiteen van 1,7 tot 2,9 keer zoveel conflicten. Deze bevinding ligt in lijn met internationaal onderzoek op basis van ongevallen, waaruit blijkt dat een verkeerslichtenregeling die deelconflicten mogelijk maakt gepaard gaat met meer ongevallen met fietsers en voetgangers dan een conflictvrije verkeerslichtenregeling.

Hoewel er bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten méér conflicten zijn gevonden dan bij een conflictvrije regeling, komen er ook bij deze laatstgenoemde regeling conflicten voor. Gemiddeld gebeurde ongeveer een vijfde van de conflicten met rechtdoor gaande fietsers, en een kwart van de conflicten met rechtdoor gaande voetgangers op kruispunttakken waar de verkeerslichten conflictvrij waren geregeld. Fietsers en voetgangers zijn namelijk geneigd door rood te fietsen of te lopen of helemaal aan het eind van de groenfase over te steken.

Grotere oversteeklengte gaat gepaard met minder conflicten

Voor het aantal conflicten tussen *voetgangers* en motorvoertuigen is er een significante samenhang gevonden met de oversteeklengte, waarbij een langere oversteek gepaard ging met minder conflicten, ongeacht welke verkeerslichtenregeling er gold. Dit wordt voor een deel verklaard doordat er bij een conflictvrije regeling door rood wordt gelopen. Deze verklaring is in lijn met internationaal onderzoek, waar een *negatieve* relatie tussen oversteeklengte en roodlichtnegatie is gevonden (hoe langer de oversteek, hoe minder men door rood oversteekt). Het is aannemelijk dat mensen het risico op incidenten hoger inschatten – en dus minder vaak zullen oversteken – naarmate de oversteek langer is. Internationaal onderzoek geeft echter ook aan dat er voor kruispunten in het algemeen een *positieve* relatie is tussen ongevallen en oversteeklengte bij kruispunten (hoe langer, hoe meer ongevallen). Dit lijkt óók aannemelijk, als we bedenken dat een toenemende lengte gepaard gaat met een hogere expositie (bij gelijke snelheid heb je langer nodig om over te steken). Mogelijk leidt een toename van de oversteeklengte tot minder mensen die (door rood) oversteken, maar evenwel een hoger ongevalsrisico lopen. Hoe oversteeklengte, roodlichtnegatie, ongevallen en conflicten zich precies tot elkaar verhouden, verdient nader onderzoek.

Uit de gevoeligheidsanalyse bleek ook deze relatie – tussen oversteeklengte en conflicten met *voetgangers* – sterk afhankelijk te zijn van de gekozen PET-drempelwaarde, met andere woorden van wat we als conflict beschouwden. Een toename van de oversteeklengte met 1 m resulteerde, afhankelijk van die keuze, in een factor 0,47 (meer dan een halvering) tot 0,83 voor het aantal conflicten. Ook bleek dat het aantal conflicten tussen *fietzers* en motorvoertuigen alleen bij lagere PET-drempelwaarden ($< 1,0$ s), dus bij ‘krappere’ passages, significant samenhang met de oversteeklengte (factor 0,66 tot 0,85 bij 1 m toename in oversteeklengte).

Discussie

Al met al lijken er op VRI-kruispunten ‘robuuste effecten’ te zijn van de *verkeerslichtenregeling* op het aantal conflicten tussen rechtdoor gaande fietsers en voetgangers en rechts afslaande motorvoertuigen. Ook lijkt er een robuust effect te zijn van *oversteeklengte* op conflicten met rechtdoor gaande voetgangers. Hoe groot deze effecten zijn blijkt echter af te hangen van de gekozen PET-drempelwaarde, m.a.w. van de keuze welke interacties tussen kruisende verkeersdeelnemers meegeteld worden als conflict. Een uniform gebruikte PET-drempelwaarde zou helpen om bevindingen uit verschillende studies met elkaar te kunnen vergelijken.

Sowieso blijkt de keuze van de PET-drempelwaarde een grotere rol te spelen dan bij aanvang van dit onderzoek gedacht. Het verband tussen het aantal conflicten en de verkeerslichtenregeling en oversteeklengte bleek bij bepaalde drempelwaarden zo sterk te veranderen dat er sprake lijkt van verschillende conflicttypen. Mogelijk hebben deze typen conflicten verschillende onderliggende mechanismen, maar welke mechanismen dat zijn, en hoe die conflicten eruitzien is op basis van dit onderzoek niet te achterhalen. Wel lijken ze samen te hangen met de aankomstvolgorde van de betrokkenen bij een conflict. De sterkte en significantie van de relaties bleken sterk te verschillen voor conflicten waarbij het motorvoertuig als eerste arriveerde en conflicten waarbij juist de kwetsbare verkeersdeelnemer als eerste aankwam. Ook het percentage kwetsbare verkeersdeelnemers dat als eerste op een conflict arriveerde bleek sterk te variëren met de PET-waarde. Bij conflicten met hogere PET-waarden (bij hoger gekozen drempelwaarden) waren het vooral de kwetsbare verkeersdeelnemers die als eerste waren gearriveerd (het motorvoertuig kruiste achterlangs). In conflicten met lagere PET-waarden arriveerden de motorvoertuigen over het algemeen vaker als eerste, met andere woorden kruisten ze *nét* voorlangs de voetganger of fietser. Vervolgonderzoek naar conflicten tussen kwetsbare verkeersdeelnemers en motorvoertuigen lijkt dus gebaat te zijn bij een opsplitsing in twee groepen, op basis van aankomstvolgorde.

Aanbevelingen

Dit onderzoek heeft geleid tot twee aanbevelingen voor **beleid**:

- Wij raden gemeentelijke beleidsmakers aan om verkeerslichtenregeling met deelconflicten niet toe te staan. Deze aanbeveling kan bij het ontwerpen van nieuwe kruispunten worden overgenomen, maar kan ook op bestaande VRI-geregelde kruispunten worden geïmplementeerd door de VRI-regeling opnieuw af te stellen. Aan de basis van deze aanbeveling ligt de aanname dat we bij een toename van conflicten ook een toename van ongevallen mogen verwachten.
- Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat raden wij aan om via het Kennisnetwerk SPV (of een vergelijkbare instantie) bij het in kaart brengen van risico-kruispunten nadrukkelijk aandacht te besteden aan de inrichting van fietsvoorzieningen, te hoge snelheidslimieten, en mogelijke deelconflicten door de verkeerslichtenregeling. Het landelijk in kaart brengen van dergelijke kruispuntelementen zou tevens kunnen helpen bij het identificeren van geschikte kruispunten voor vervolgonderzoek.

Daarnaast biedt dit onderzoek voor de **praktijk** een aantal concrete handvatten voor het terugdringen van het aantal conflicten tussen fietsers en voetgangers met gemotoriseerd verkeer dat rechts afslaait bij VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom. De belangrijkste zijn:

- VRI-regelingen met deelconflicten tussen rechtdoor gaand fiets- en voetgangersverkeer en rechts afslaande motorvoertuigen worden afgeraden, omdat deze zorgen voor veel onveilige situaties tussen gemotoriseerd en kwetsbaar verkeer.
- Ongeacht de verkeerslichtenregeling, wordt er (te) vaak door rood gefietst en gelopen. Korte oversteeklengtes moedigen dit gedrag aan en wegbeheerders dienen maatregelen te nemen om dit gedrag te ontmoedigen. Denk daarbij aan gerichte handhavingsacties of programma's om fietsers en voetgangers aan te spreken op hun gedrag.
- Daar waar deelconflicten zijn toegestaan, en voor zover niet al gedaan, wordt aangeraden (extra) bebording aan te brengen om de voorrangssituatie explicieter aan te duiden.
- Zorg dat fietspaden langs gebiedsontsluitingswegen met 2 tot 5 m zijn uitgebogen ter hoogte van kruispunten.
- Zorg ter hoogte van de oversteekplaatsen voor voldoende opstelruimte voor wachtende fietsers en voetgangers.
- Regel op kruisingen tussen de fietspaden ook de voorrang tussen fietsers onderling.

Tot slot biedt dit rapport meerdere aanknopingspunten voor toekomstig **onderzoek**:

- Er is (aanvullende) validatie nodig van de relatie tussen conflicten en werkelijke ongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers en motorvoertuigen.
- Zolang er geen uniforme PET-drempelwaarde is afgesproken, is het aan te bevelen dat onderzoekers een gevoeligheidsanalyse rapporteren om op z'n minst inzicht te geven in de robuustheid van de gevonden effecten.
- Vervolgonderzoek dient onderscheid te maken naar conflicten met een verschillende aankomstvolgorde van kwetsbare verkeersdeelnemers en motorvoertuigen. Onderzoek waarin bijvoorbeeld ook roodlichtnegatie en rem- en acceleratiegedrag worden meegenomen, kan een beter inzicht geven in mechanismen die ten grondslag liggen aan deze twee groepen conflicten, en in de verschillen in het effect van bepaalde kruispuntkenmerken.
- Een grotere steekproef van kruispunten biedt de mogelijkheid voor het onderzoeken van het effect van aanvullende kruispuntelementen op conflicten.

Summary

Conflicts with cyclists and pedestrians at municipal signalised intersections;
Analysis at signalised intersections with different types of traffic signal phasing and different crossing lengths

Highlights:

- At intersections with permissive traffic signal phasing, more conflicts occur between right-turning motor vehicles and cyclists and pedestrians going straight ahead than at signalised intersections with protected signal phasing.
- Nevertheless, these types of conflicts also occur at signalised intersections with protected phasing: approximately 20% of the conflicts with cyclists continuing straight ahead and 25% of those with pedestrians continuing straight ahead occurred at legs of intersections with protected signal phasing. Red light running by cyclists or pedestrians, or crossing at the very end of the green phase, plays a role here.
- A shorter crossing length produces more conflicts between right-turning motor vehicles and crossing pedestrians. This is true both at protected phasing intersections and at permissive phasing intersections
- Some recommendations to reduce the number of conflicts between right-turning motor vehicles and cyclists and pedestrians continuing straight ahead:
 - Adjust traffic signal phasing to prohibit conflicts (i.e., protective signal phasing).
 - Discourage red light violations of cyclists and pedestrians continuing straight ahead, especially when crossing lengths are short, for example by targeted enforcement.
 - Where conflicts are allowed (i.e., permissive signal phasing), install (additional) signs to clarify who has right of way.
 - Ensure that bicycle tracks along distributor roads feature a lateral offset of 2 to 5 metres at intersections.
 - At crossings, provide a large enough lining-up area for cyclists and pedestrians.
 - At intersections, also regulate priority between cyclists.

Intersections with traffic lights are among the least safe intersections in the Netherlands. This is due to the relatively high traffic volumes and complex traffic situations in which traffic flows with large differences in mass, speed and direction must be handled. Although signalised intersections are an inextricable part of our traffic system, there is relatively little knowledge in the Netherlands about the safety of these intersections and how safety is related to the various design features. In short, there is still not enough knowledge to construct and design signalised intersections in the Netherlands so that maximum safety is achieved, and insofar as this knowledge does exist - and has been translated into design guidelines - its application in current practice often falls short.

SWOV therefore decided, in cooperation with municipalities, to research safety at signalised intersections.

This study focuses on signalised intersections in urban areas and specifically on the effect of two features on the safety of vulnerable road users: 1) traffic signal phasing (protected or permissive), and 2) the crossing length for cyclists and pedestrians (short or long). At protected phasing intersections, road users whose trajectories cross never have a green light at the same time; they are separated in time. At permissive phasing intersections, conflicts are possible because crossing cyclists and/or pedestrians have green at the same time as turning motor vehicles.

We looked for intersections that differ on the two features (traffic signal phasing and crossing length), but are otherwise as similar as possible. Since it is not possible to compare the safety of the different intersections based on crash rates,² the number of 'conflicts' was used as a safety indicator, or the number of road user interactions that could lead to a crash.

The specific research questions are:

1. Does comparison of intersections with protected traffic signal phasing to intersections with permissive traffic signal phasing yield a discernible difference in the frequency of conflicts between right-turning motor vehicles and cyclists or pedestrians going straight ahead?
2. Does comparison of intersections with a short crossing length (e.g., 1 lane) to intersections with a long crossing length (e.g., 2 and more lanes) yield a discernible difference in the frequency of conflicts between right-turning motor vehicles and cyclists or pedestrians going straight ahead?
3. What additional or new measures - given the currently applied guidelines - are desirable to improve the safety of vulnerable road users at signalised intersections?

The research was conducted in different steps. First, using an international literature review, we studied the relationship between road safety on the one hand and traffic signal phasing and crossing length on the other. This included an explicit examination of which 'surrogate measure of safety' is common in research where conflicts are considered as safety indicators. In interactions between turning motor vehicles and cyclists or pedestrians going straight ahead – as in this study – the 'post-encroachment time' (**PET**) appears to be commonly used as a surrogate measure of safety. In simple terms, this PET value is the **time difference between two crossing road users**. A PET value of '0 s' indicates a crash. If the PET value is very low, then the road users just missed each other and had a near crash. However, at what PET value one can (no longer) speak of a 'conflict' or 'unsafe' interaction, the literature review does not show unequivocally: the 'PET threshold values' used in earlier studies vary.

Parallel to the literature review, in the second step municipalities were approached to suggest suitable signalised intersections for the study. Requirements for these intersections included that they be signalised (protected phasing or permissive phasing), that they have crossing facilities with also relatively high numbers of pedestrians and cyclists, and that the intersection legs have separate bicycle tracks. Six participating municipalities suggested a total of 37 intersections. These were assessed by SWOV, after which 18 intersection legs (at 10 different intersections) were selected for conflict observations. Half of these intersection legs have permissive traffic signal phasing and the other half have a protected traffic signal phasing. Both sets have a variation of shorter and longer crossing lengths.



2. Meaningful analyses based on crash figures are not possible because the annual number of crashes per intersection type is too small, and - if several years are considered - because traffic conditions may have changed over that period.

During the third step, video images were captured at each of the 18 signalised intersection legs for one week in the month of July, September or October 2023. Automatic image analysis (performed by the Canadian company Transoft Solutions) then allowed description of the route travelled by the different road users. These data were input for further conflict analysis. Parallel to the video image recordings, on-site road safety assessments were conducted at all selected intersections, and non-public reports were prepared for the participating municipalities. These showed that at almost all intersections the speed limits were too high, namely 50 or 70 km/h, while the 'safe speed' at these types of intersections is 30 km/h at most. It was also noted that there are often no speed reduction measures present, the bicycle tracks often do not feature adequate lateral offset and/or there is insufficient space for cyclists to line up safely.

The fourth step involved conflict analyses based on the video data, starting with a PET threshold value of 1.5 s. In other words, interactions were classified as conflicts when the time difference between the two intersecting road users was 1.5 s or less. Next, it was examined - for cyclists and pedestrians separately - how the number of measured conflicts on all intersection legs was related (quantitatively) to traffic signal phasing (permissive or protected) and to crossing length, and to the numbers of turning motor vehicles and crossing cyclists/pedestrians (volumes). This was done using regression models.

Since, as mentioned above, different PET thresholds were chosen in different studies, we additionally investigated how sensitive the analysis outcome was to that choice. It was explored whether and how the relationship between conflict numbers on the one hand and traffic signal phasing, crossing length and volumes on the other, changes when a more stringent criterion (lower PET threshold value) or a less stringent criterion (higher PET threshold value) is used for identifying 'conflicts'. For this sensitivity analysis, the PET threshold value was systematically manipulated between 0.5 s and 5.0 s with 0.1 s increments.

Permissive traffic signal phasing is associated with more conflicts

Permissive traffic signal phasing was found to be associated with significantly more conflicts, both for *cyclists* and *pedestrians*, than protected traffic signal phasing, regardless of crossing length. The sensitivity analysis showed that this relationship was strongly dependent on the PET threshold value chosen, i.e., the time difference between the intersecting road users whose interaction we classified as a conflict. For conflicts between cyclists and motor vehicles, depending on this choice, between 2.4 and 4.0 times more conflicts were found under permissive traffic signal phasing. For conflicts between pedestrians and motor vehicles, this factor ranged from 1.7 to 2.9 times as many conflicts. This finding is in line with international research on crashes, which shows that permissive traffic signal phasing is associated with more crashes involving cyclists and pedestrians than a protected traffic signal phasing.

Although more conflicts were found at intersections with permissive traffic signal phasing than at those with protected traffic signal phasing, conflicts also occur at the latter. On average, about one-fifth of the conflicts with cyclists and one-quarter of the conflicts with pedestrians, both going straight ahead, occurred at intersection legs where traffic signal phasing was protected. Conflicts at intersections with protected signal phasing occur due to the fact that cyclists and pedestrians are inclined to red light running or cross at the very end of the green phase.

Greater crossing length is associated with fewer conflicts

For the number of conflicts between pedestrians and motor vehicles, a significant correlation was found with crossing length, where a longer crossing length was associated with fewer conflicts regardless of which kind of traffic signal phasing was in place. This finding is partly explained by red-light negation of pedestrians and cyclists at intersections with protected signal phasing. This explanation is in line with international research, where a *negative* relationship between crossing length and red-light negation has been found (the longer the crossing, the fewer red-light violations). It is plausible that people rate the risk of incidents higher - and are thus less likely to cross - the longer the crossing length. However, international research also indicates that for intersections in general there is a positive relationship between crashes and crossing length at intersections (the longer, the more crashes). This also seems plausible, considering that increasing length is associated with higher exposure (at the same speed, it takes longer to cross). Possibly an increase in crossing length leads to fewer people crossing (at a red light), but a higher crash rate. Exactly how crossing length, red light negation, crashes and conflicts relate to each other deserves further investigation.

The sensitivity analysis also showed that this relationship - between crossing length and conflicts with *pedestrians* - was strongly dependent on the PET threshold value chosen, in other words on what we consider to be a conflict. Depending on that choice, an increase in crossing length by 1 m resulted in a factor of 0.47 (less than half) to 0.83 for the number of conflicts. It was also found that the number of conflicts between *cyclists* and motor vehicles was significantly correlated with crossing length, but only at lower PET thresholds (< 1.0 s), i.e. at 'tighter' time differences (factor of 0.66 to 0.85 for 1 m increase in crossing length).

Discussion

All in all, there appear to be 'robust effects' of traffic signal phasing at signalised intersections on the number of conflicts between cyclists and pedestrians going straight ahead and motor vehicles turning right. There also appears to be a robust effect of *crossing length* on conflicts with pedestrians going straight ahead. However, the magnitude of these effects appears to depend on the PET threshold value chosen, i.e., on the choice of which interactions between intersecting road users are counted as conflicts. A uniformly used PET threshold value would help to compare findings from different studies.

The choice of PET threshold value appears to play a larger role than was initially thought. At certain threshold values, the relationship between the number of conflicts and traffic signal phasing and crossing length was found to change to such a degree that there appear to be different conflict types. It is possible that these conflict types have different underlying mechanisms, but which mechanisms they are, and what those conflicts look like cannot be determined based on this study. However, they do seem to be related to the order of arrival of those involved in a conflict. The strength and significance of the relationships appeared to differ significantly for conflicts in which the motor vehicle arrived first and conflicts in which the vulnerable road user arrived first. The percentage of vulnerable road users who first arrived at a conflict was also found to vary significantly with PET value. In conflicts with higher PET values (at higher threshold values) it was mainly the vulnerable road users who arrived first (the motor vehicle crossed behind). In conflicts with lower PET values, the motor vehicles more often arrived first, in other words they crossed just in front of the pedestrian or cyclist. Follow-up research on conflicts between vulnerable road users and motor vehicles would thus seem to benefit from a split into two groups, based on arrival order.

Recommendations

The present study resulted in two **policy** recommendations:

- We recommend municipal policy makers not to allow permissive traffic signal phasing. This recommendation can be adopted when designing new intersections, but can also be implemented at existing signalised intersections by recalibrating traffic signal phasing. Underlying this recommendation is the assumption that when conflicts increase, we may also expect an increase in crashes.
- We recommend that, when mapping high-risk intersections, the Ministry of Infrastructure and Water Management, through the SPV Knowledge Network (or a similar body), pay explicit attention to the design of bicycle facilities, excessive speed limits, and possible conflicts due to traffic signal phasing. Nationwide mapping of such intersection elements could also help identify suitable intersections for follow-up research.

In addition, this study provides **practical** tools for reducing the number of conflicts between cyclists and pedestrians with motor vehicles turning right at signalised intersections in urban areas. The most important are:

- Permissive traffic signal phasing, allowing conflicts between cyclists and pedestrians going straight ahead with motor vehicles turning right, is not recommended, as this creates many unsafe situations between motor vehicles and vulnerable road users.
- Regardless of traffic signal phasing, red light running by cyclists and pedestrians is (too) common. Short crossing lengths encourage this behaviour, and road authorities should take measures to discourage it. Examples are targeted enforcement actions or programs to address cyclist and pedestrian behaviour.
- Where conflicts are allowed, and insofar this has not already been done, it is recommended that (additional) signage be installed to more explicitly indicate who has right of way.
- Ensure that bicycle tracks along distributor roads feature a lateral offset of 2 to 5 metres at intersections.
- At crossings, provide sufficient space for waiting cyclists and pedestrians to line up.
- At intersections between bicycle tracks, also regulate priority between cyclists.

Finally, this report offers several starting points for future **research**:

- (Additional) validation of the relationship between conflicts and actual crashes involving vulnerable road users and motor vehicles is needed.
- Until a uniform PET threshold value is agreed upon, it is recommended that researchers present a sensitivity analysis to at least provide insight into the robustness of the effects found.
- Follow-up research should distinguish between conflicts with different arrival sequences of vulnerable road users and motor vehicles. Research that also includes, for example, red light negation and braking and acceleration behaviour can provide a better understanding of mechanisms underlying these two groups of conflicts, and differences in the effect of certain intersection features.
- A larger sample of intersections provides an opportunity to examine the effect of additional intersection features on conflicts.

Inhoud

Voorwoord	16
1 Inleiding	17
1.1 VRI-kruispunten	17
1.2 Dit onderzoek	18
1.3 Leeswijzer	19
2 Achtergrond	20
2.1 Eerder SWOV-onderzoek	20
2.1.1 SWOV-onderzoeksagenda Infrastructuur	20
2.1.2 SWOV-onderzoeksprogramma 2021-2024: Veiligheid van VRI-kruispunten	21
2.2 Verkeerslichtenregeling	22
2.3 Oversteeklengte	24
2.3.1 Voetgangersoversteek	24
2.3.2 Fietsoversteek	27
2.4 Overige kruispuntfactoren	27
2.5 Conflictobservatie	28
2.5.1 Identificeren van conflicten	28
2.5.2 PET-drempelwaarden	29
2.5.3 Leerpunten pilotstudie	30
3 Methode	31
3.1 Kruispuntselectie	31
3.2 Dataverzameling	33
3.2.1 Verkeersdata	34
3.2.2 Conflictdata	34
3.2.3 Vaststelling van oversteeklengte	34
3.2.4 Verkeersveiligheidsbeoordelingen	35
3.3 Analyse	36
3.3.1 Kwaliteitscontrole	36
3.3.2 Conflictanalyse	36
3.3.3 Gevoeligheidsanalyse	38
4 Resultaten	39
4.1 Verkeersveiligheidsbeoordeling	39
4.2 Fiets-motorvoertuig-conflicten	40
4.2.1 Overzicht van conflictaantallen	40
4.2.2 Overzicht van conflictsnelheden	44
4.2.3 Analyse geaggregeerd op kwartierniveau	45
4.2.4 Gevoeligheidsanalyse	46

4.3	Voetganger-motorvoertuig-conflicten	50
4.3.1	Overzicht van conflictaantallen	50
4.3.2	Overzicht van conflictsnelheden	53
4.3.3	Analyse geaggregeerd op kwartierniveau	53
4.3.4	Gevoeligheidsanalyse	54
5	Conclusies, discussie en aanbevelingen	58
5.1	Verkeersveiligheidsbeoordeling	58
5.2	Effecten kruispuntinrichting op conflictfrequentie	58
5.2.1	Verkeerslichtenregeling met deelconflicten gaat gepaard met meer conflicten	59
5.2.2	Grotere oversteeklengte gaat gepaard met minder conflicten	61
5.2.3	Verschillende conflicttypen afhankelijk van aankomstvolgorde	62
5.2.4	Proportionaliteit verkeersvolume en conflictaantallen	62
5.3	Aanbevelingen	63
5.3.1	Beleid	63
5.3.2	Praktijk	63
5.3.3	Onderzoek	64
	Literatuur	66
	Bijlage A Beschrijving kruispunttakken	71
	Bijlage B Totstandkoming expositiemaat	82
	Bijlage C Conflictaantallen als functie van oversteekrichting	86

Voorwoord

We willen de volgende gemeenten uitdrukkelijk bedanken voor hun ondersteuning van dit onderzoek naar de veiligheid van kruispunten met een verkeersregelinstallatie: Amsterdam, Assen, Den Haag, Eindhoven, Rotterdam, en Zaanstad.

1 Inleiding

Kruispunten met verkeerslichten (VRI-kruispunten) horen vanwege hun complexiteit en hoge verkeersbelasting tot de onveiligste kruispunten in Nederland (SWOV, 2022). De kans op conflicten wordt op VRI-kruispunten in theorie geminimaliseerd door de verkeerslichtenregeling die conflicterende verkeersstromen zo veel mogelijk in de tijd probeert te scheiden. Een VRI-kruispunt is echter nog steeds niet Duurzaam Veilig omdat ontmoetingen tussen verkeer met grote verschillen in massa, snelheid en richting nog steeds mogelijk zijn, bijvoorbeeld doordat mensen (bewust of onbewust) door rood rijden, lopen of fietsen, of doordat de verkeerslichten tegelijk op groen staan voor rechtdoor gaande fietsers en voetgangers en rechts afslaande auto's. De veiligheid kan worden verbeterd door bijvoorbeeld middengeleiders aan te leggen, het kruispunt overzichtelijker te maken, de snelheid te remmen en een conflictvrije regeling toe te passen.

Gezien de toename van het aantal (dodelijke) ongevallen op kruispunten en van het aantal ongevallen met fietsers en voetgangers, is verkeersveiligheid op kruispunten een van de speerpunten van het SPV (Ministerie van IenW et al., 2018). In 2021 is SWOV een grootschalig, meerjarig onderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten gestart. Dit had als doel om de belangrijkste veiligheidskenmerken van VRI-kruispunten te identificeren en nieuwe, empirische kennis te leveren voor toekomstige herzieningen van de ontwerprichtlijnen voor kruispunten. Dit rapport is het tweede in een reeks onderzoeken gericht op de verkeersveiligheid bij VRI-kruispunten. Hierin worden de effecten van de inrichting en verkeerslichtenregeling op de verkeersveiligheid van VRI-kruispunten **binnen de bebouwde kom** onderzocht.

1.1 VRI-kruispunten

In de periode 2015 t/m 2019 vielen in Nederland gemiddeld 31% van alle verkeersdoden en 54% van de fietsdoden op kruisingen (zowel op kruispunten als kruisingen) (SWOV, 2022). Binnen de bebouwde kom valt nagenoeg de helft van alle verkeersdoden op kruispunten. Ruim de helft hiervan zijn fietsers en voetgangers. Buiten de bebouwde kom is het aandeel verkeersdoden bij ongevallen op kruispunten minder dan een kwart. Ongeveer 40% hiervan zijn fietsers en voetgangers. Uit onderzoek is gebleken dat VRI-kruispunten tot de onveiligste kruispunten van Nederland horen (SWOV, 2022). Het risico (dus gecorrigeerd voor verkeersintensiteit) op ongevallen met ernstig letsel is hoger bij VRI-kruispunten dan bij rotondes of andere kruispunten. Dat wil niet zeggen dat VRI-kruispunten geen plaats hebben in het verkeerssysteem, integendeel, ze zijn noodzakelijk voor het verwerken van hoge intensiteiten verkeer en het bevorderen van de doorstroming. VRI-kruispunten hebben een hogere capaciteit dan andere kruispuntvormen en zijn een onmisbaar onderdeel van ons wegennetwerk. De verkeersveiligheid van VRI-kruispunten laat echter te wensen over. Dit heeft ermee te maken dat verkeer met grote verschillen in massa, snelheid en richting hier samenkomt.

Op VRI-kruispunten zorgt de verkeerslichtenregeling ervoor dat de meeste kruisende verkeersstromen in de tijd worden gescheiden. Wanneer de regeling *alle* verkeersstromen probeert te scheiden, wordt deze 'conflictvrij' genoemd. Wanneer de verkeerslichtenregeling sommige kruisende verkeersstromen nog mogelijk maakt, heet dat voor die verkeersstromen een 'regeling

met deelconflicten'. De verkeerslichtenregeling – ook als die 'conflictvrij' is – sluit ongevallen en conflicten echter niet uit. Het is namelijk een gegeven dat mensen (bewust en onbewust) door rood kunnen rijden of lopen en ernstige ongevallen kunnen veroorzaken.

Door hun aard zijn VRI-kruispunten vaak kruisingen tussen wegen met hogere verkeersbelasting: gebiedsontsluitingswegen (GOW's) onderling of GOW's met een aansluiting naar (regionale) stroomwegen. Dit zijn dan ook wegen met hogere snelheidslimieten (50, 70 en 80 km/uur) en (vaak) vrijliggende fietspaden. Binnen de bebouwde kom, maar soms ook buiten de kom, maken ook fietsers en voetgangers gebruik van de kruispunten. Om de ernst van conflicten met deze kwetsbare verkeersdeelnemers te beperken, zal de snelheid op deze kruispunten vaak lager moeten liggen dan de limieten van de kruisende wegen: waar voetgangers en fietsers gebruik maken van een kruispunt is de 'veilige snelheid' van al het deelnemende verkeer maximaal 30 km/uur (Aarts et al., 2009; Van der Kint et al., 2022).

De veiligheid van verkeersdeelnemers bij VRI-kruispunten kan worden vergroot door bijvoorbeeld de volgende maatregelen (SWOV, 2022):

- het zicht op het kruisingsvlak en op de diverse conflictpunten optimaliseren;
- lagere snelheden op het conflictvlak afdwingen;
- middeneilanden aanbrengen om oversteken in etappes te ondersteunen (oversteeklengte voor kwetsbare verkeersdeelnemers beperken);
- fietspaden uitbuigen om zicht op overstekende fietsers te verbeteren;
- een conflictvrije regeling toepassen;
- de afstand tussen de oversteek en de stoplijn voor rechts afslaande voertuigen vergroten (offset); en
- zorgen voor voldoende opstelruimte voor fietsers en voetgangers, zodat fietsers de kruisingen van fietspaden niet blokkeren of met het voorwiel op de rijbaan gaan staan.

Bovengenoemde maatregelen zijn nog niet allemaal opgenomen in de richtlijnen. Waar dat wel zo is, worden de verkeersveiligheidseffecten ervan niet altijd inzichtelijk gemaakt. Bovendien worden de richtlijnen in de huidige praktijk meestal niet op de aanbevolen manier toegepast.

1.2 Dit onderzoek

Nederlandse wegontwerprichtlijnen zijn relatief slecht onderbouwd met kennis over verkeersveiligheid, zo is aangetoond in eerder onderzoek (Schermers et al., 2013). Ook is beoordeeld dat voor een betere onderbouwing meer kennis nodig was – en is – over een aantal belangrijke infrastructuuronderwerpen. Voor kruispunten binnen de bebouwde kom is dit vooral **kennis over veilige kenmerken van voorzieningen voor fietsers en voetgangers**. Dit onderzoeksonderwerp is vervolgens opgenomen in het meerjarige onderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten in het SWOV-onderzoeksprogramma 2021-2024. Het eerste onderzoek in dit kader (2021-2022) bestond uit een haalbaarheidsstudie met een geautomatiseerde observatie- en analysemethode van conflicten bij kruispunten (Nabavi Niaki et al., 2022).

Voor het tweede – het huidige – onderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom is ervoor gekozen om in 2023-2024 twee kenmerken van fiets- en voetgangersvoorzieningen te onderzoeken: 1) de verkeerslichtenregeling: een conflictvrije regeling vergeleken met een regeling met deelconflicten, en 2) de oversteeklengte (kort of lang) van kwetsbare verkeersdeelnemers:

1. **Verkeerslichtenregeling:** bij een conflictvrije regeling hebben verkeersdeelnemers met kruisende trajecten nooit tegelijk groen licht; ze zijn gescheiden in de tijd. Bij een regeling met deelconflicten hebben overstekende fietsers en/of voetgangers tegelijkertijd groen met afslaande motorvoertuigen. Deze (meestal rechts maar soms ook links) afslaande voertuigen moeten voorrang verlenen aan de rechtdoor gaande fietsers en voetgangers.

2. **Oversteeklengte:** de afstand die een fietser of voetganger moet afleggen om een kruispunttak over te steken. Uit onderzoek is bekend dat fietsers het vaakst in de flank worden aangereden, en dan vooral aan de linkerkant (Reurings et al., 2012). Deze situatie doet zich voor op kruispunten waar fietsers rechtdoor oversteken en voertuigen rechts afslaan, meestal op de helft van de ‘afrijtak’ waar het gemotoriseerd verkeer in de ‘afrijrichting’ het kruispunt verlaat.

De relatie van deze twee kenmerken met veiligheid is onderzocht door te kijken naar kruispunten die verschillen in verkeerslichtenregeling en oversteeklengte, maar die verder zo veel mogelijk op elkaar lijken. Als veiligheidsindicator van de verschillende kruispunten is het aantal conflicten³ (bijna-ongevallen) tussen verschillende verkeersdeelnemers gebruikt. Alleen de conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en overstekende fietsers/voetgangers zijn daarbij geanalyseerd.

De specifieke onderzoeksvragen zijn:

1. Is er een verschil te zien in de frequentie van conflicten tussen **rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers** bij een conflictvrije regeling in plaats van een regeling met deelconflicten?
2. Is er een verschil te zien in de frequentie van conflicten tussen **rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers** bij een korte oversteeklengte (bijv. 1 rijstrook) versus een lange oversteeklengte (bijv. 2 of meer rijstroken)?
3. Welke aanvullende of nieuwe maatregelen zijn – gezien de huidige toepassing van richtlijnen – gewenst om de veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten te verbeteren?

1.3 Leeswijzer

Dit rapport is ingedeeld in vijf hoofdstukken waarvan dit inleidende hoofdstuk het eerste is. *Hoofdstuk 2* geeft uitgebreidere achtergrondinformatie over het SWOV-onderzoek naar de veiligheid bij VRI-kruispunten, en wat er bekend is over de relatie van verkeersveiligheid met verkeerslichtenregeling, oversteeklengte en aantallen conflicten. In *Hoofdstuk 3* bespreken wij de methode die is gevolgd voor de kruispuntselectie en voor de dataverzameling en -analyse. De resultaten worden gepresenteerd in *Hoofdstuk 4* en in *Hoofdstuk 5* sluiten wij het rapport af met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.



3. Een conflict, of ‘bijna-ongeval’, wordt gedefinieerd als een situatie waarbij twee weggebruikers in botsing zouden zijn gekomen als de snelheid en rijrichting ongewijzigd was gebleven ((Amundsen & Hyden, 1977)). Of een interactie als een conflict wordt geteld wordt bepaald op basis van twee tijdsgebonden indicatoren: time-to-collision (TTC) en post-encroachment time (PET).

2 Achtergrond

In dit hoofdstuk bespreken we achtergrondinformatie voor het uitgevoerde onderzoek naar de veiligheid van VRI-kruispunten. *Paragraaf 2.1* schetst het onderzoekstraject dat tot dit onderzoek en de diverse keuzes daarbinnen heeft geleid, zoals de keuze voor de kenmerken verkeerslichtenregeling en oversteeklengte. Aan de hand van een literatuuronderzoek gaan we nader in op wat er al bekend is over de relatie van verkeerslichtenregeling (*Paragraaf 2.2*) en oversteeklengte (*Paragraaf 2.3*) met de verkeersveiligheid. In *Paragraaf 2.4* bespreken wij een aantal andere belangrijke ontwerpaspecten voor de verkeersveiligheid. Tot slot geven we in *Paragraaf 2.5* inzicht in conflicten als ‘surrogaatmaat’ voor ongevallen en bespreken we de SWOV-ervaringen met het meten van conflicten in een eerder pilotproject.

2.1 Eerder SWOV-onderzoek

2.1.1 SWOV-onderzoeksagenda Infrastructuur

Aan de basis van een onderzoeksagenda ‘Infrastructuur’ liggen vragen zoals welke infrastructuurkenmerken belangrijk zijn voor de verkeersveiligheid, in hoeverre daarmee rekening wordt gehouden in de ontwerprichtlijnen, en welke verkeersveiligheidskennis er over de belangrijkste kenmerken nog nodig is om richtlijnen mee te onderbouwen.

Uit de Europese INTERSAFE-studie (ERSF, 1996) is een lijst infrastructuurkenmerken naar voren gekomen die belangrijk werden geacht voor de verkeersveiligheid. Aan de hand van deze belangrijke kenmerken heeft SWOV in onderzoek uit 2013 (Schermers et al., 2013) vervolgens de belangrijkste Nederlandse wegontwerprichtlijnen onder de loep genomen. Bepaald is in welke mate er in de richtlijnen aandacht is voor deze kenmerken en of daarbij een relatie wordt gelegd met verkeersveiligheid. Ook is met de inbreng van externe experts beoordeeld over welke van die kenmerken er meer kennis nodig is om de richtlijnen beter mee te onderbouwen. Experts is 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. Het uiteindelijke doel was om een onderzoeksagenda op te zetten.

Voor de veiligheid van **kruispunten** benoemde de INTERSAFE-studie 21 belangrijke kruispuntkenmerken, variërend van het aantal takken en de verkeerslichtenregeling tot ongelijkvloerse voorzieningen. Ook deze kenmerken zijn in de SWOV-studie uit 2013 (Schermers et al., 2013) naast de ontwerprichtlijnen voor kruispunten gelegd en beoordeeld zoals hierboven beschreven. Dit heeft een aantal onderzoeksonderwerpen op het gebied van kruispunten opgeleverd, waarbinnen een prioritering is aangebracht. Voor kruispunten binnen de bebouwde kom zijn twee belangrijke onderwerpen voor vervolgonderzoek geïdentificeerd: 1) risicocijfers voor verschillende kruispunttypen, en 2) **veiligere voorzieningen voor kwetsbare verkeersdeelnemers**

(Schermers et al., 2013). Bij het tweede punt kwamen de volgende twee onderzoeksvragen naar voren:

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

Deze vragen zijn vrij breed en kunnen op verschillende manieren worden benaderd, bijvoorbeeld met een onderzoek gericht op één kruispunttype (bijv. rotonde of VRI-kruispunt), tussen verschillende kruispunttypen, maar ook met variaties in de voorziening zelf. De keuze om te beginnen met onderzoek naar VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom ligt voor de hand om redenen die in het inleidende hoofdstuk zijn beschreven: zowel de hoge verkeersintensiteiten en menging van verkeer met grote verschillen in massa, snelheid en richting, alsook de relatief complexe verkeerssituaties en kans op conflicten (zie *Hoofdstuk 1*). Omdat dit nog steeds veel mogelijkheden laat voor onderzoek, zijn er voor het onderzoeksprogramma 2021-2024 verdere keuzes gemaakt wat betreft de onderzoeksopzet en de te onderzoeken kenmerken van de voorzieningen.

2.1.2 SWOV-onderzoeksprogramma 2021-2024: Veiligheid van VRI-kruispunten

Onderzoek naar de verkeersveiligheid op kruispunten is niet eenvoudig, omdat het absoluut aantal ongevallen op lokaal niveau, zoals op een kruispunt, op jaarbasis laag is. Verder is het bekend dat de registratie in BRON niet compleet is, vooral als het gaat om ongevallen met licht letsel en (enkelvoudige) ongevallen waarbij fietsers betrokken zijn (SWOV, 2023a; 2024). Door de lage dichtheid van ongevallen op lokaal niveau zijn statistisch betrouwbare analyses vaak niet mogelijk of zinvol. en daarom wordt gebruik gemaakt van ‘surrogaatmaten’, oftewel vervangende veiligheidsindicatoren zoals conflicten of bijna-ongevallen.

Het besluit om onderzoek naar kruispuntveiligheid op te nemen in het SWOV-onderzoeksprogramma werd voorafgegaan door een extern gefinancierd onderzoek uit 2020, waarin op een aantal VRI-kruispunten in Den Haag videobeeldopnamen zijn gemaakt op basis waarvan conflictanalyses zijn uitgevoerd (Wijlhuizen, Nabavi Niaki & Dijkstra, 2021). In 2021-2022 is vervolgens een pilotstudie uitgevoerd met als doel om de haalbaarheid te toetsen van onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van nieuwe videotechnologie die het optreden van conflicten (‘bijna-ongevallen’) tussen verkeersdeelnemers automatisch in beeld brengt en analyseert (Nabavi Niaki, Schermers & Gebhard, 2023; Nabavi Niaki et al., 2022).

Het haalbaarheidsonderzoek heeft laten zien dat de methode met automatische beeldanalyse van conflicten beter geschikt is dan traditionele ongevallenanalyse, puur al vanwege de aantallen: er zijn meer conflicten dan ongevallen om te analyseren. De automatische beeldanalyses leveren veel meer bruikbare data op, ook al waren niet alle analyses 100% nauwkeurig in het detecteren van de verschillende soorten verkeersdeelnemers en hun intensiteiten, en deden zich ook andere problemen voor als gevolg van bijvoorbeeld afscherming van het zicht op kwetsbare verkeersdeelnemers door hoge motorvoertuigen. De leerpunten uit het haalbaarheidsonderzoek worden in meer detail besproken in *Paragraaf 2.5.3*

Zoals gezegd zijn VRI-kruispunten complex met veel verschillende ontwerpkenmerken en verkeersinteracties die bijdragen aan een relatief hoge mate van onveiligheid. Deze complexiteit maakt het onderzoek lastig en dwingt tot gerichte keuzes als we inzicht willen krijgen in de kenmerken die zorgen voor de grootste verkeersveiligheidsproblemen. Bij stedelijke VRI-kruispunten zijn ongevallen tussen kwetsbaar (voetgangers en fietsers) en gemotoriseerd verkeer een blijvend en groot probleem. Daarnaast was al geconstateerd dat er in de ontwerprichtlijnen verkeersveiligheidsonderbouwing en -kennis ontbreekt als het gaat over de kenmerken van voetgangers- en fietsvoorzieningen en de verkeersveiligheid (Schermers et al., 2013). In vervolg op het verkennend onderzoek uit 2022 (Nabavi Niaki et al., 2022), heeft SWOV er daarom voor

gekozen om inzicht te verwerven in conflicten tussen rechts afslaand gemotoriseerd verkeer en rechtdoor gaand (overstekend) kwetsbaar verkeer. Hierbij spelen factoren als oversteeklengte (in meter of aantal rijstroken), de aanwezigheid van een middenberm, de oversteekvoorziening en ook de regeling van de verkeerslichten een rol.

In 2023 is vervolgens gericht onderzoek uitgevoerd – het onderhavige onderzoek – naar de relatie tussen de veiligheid, de oversteeklengte en de verkeerslichtenregeling op stedelijke VRI-kruispunten. De veiligheid is daarbij gemeten als het aantal conflicten met rechtdoor gaande kwetsbare verkeersdeelnemers en afslaande motorvoertuigen. De oversteeklengte is onderscheiden naar kort of lang, en bij de regeling van verkeerslichten is gekeken naar de scheiding van verkeerssoorten in de tijd: conflictvrij of niet (zie verder *Hoofdstuk 3* voor de onderzoeksmethode).

Het onderzoeksprogramma eindigt eind 2024. Het project over kruispunten sluit af met een vergelijkbaar onderzoek als besproken in dit rapport, maar dan met de focus op VRI-kruispunten buiten de bebouwde kom.

2.2 Verkeerslichtenregeling

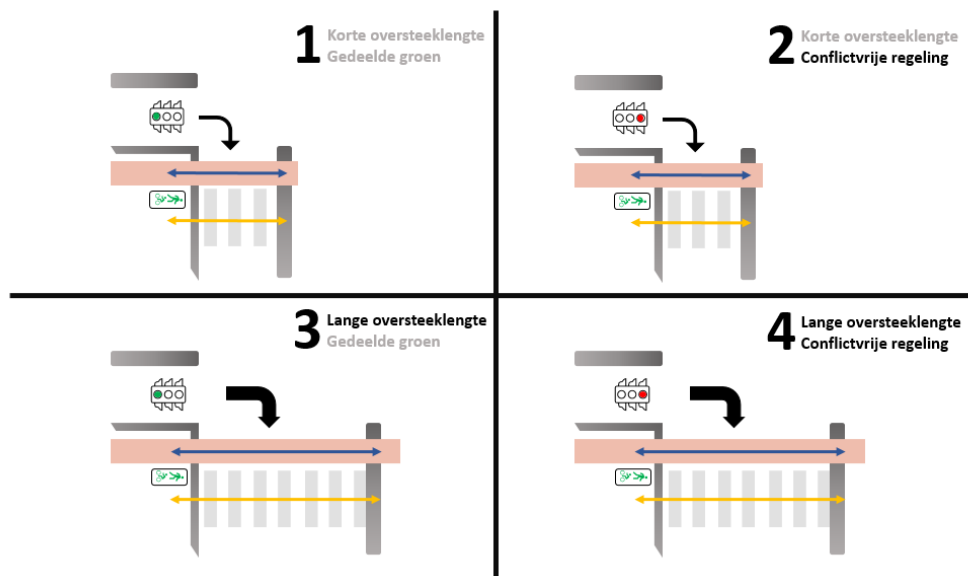
Verkeersregelininstallaties (VRI) worden toegepast op kruispunten waar veel verkeer verwerkt moet worden. Een VRI heeft als doel zoveel mogelijk conflicterende verkeersstromen in tijd te scheiden. Omdat in Nederland het vrij gebruikelijk is om op wegen met hogere limieten het snel en langzaam (en vooral kwetsbaar) verkeer in de ruimte te scheiden (gemotoriseerd en langzaam verkeer worden op een eigen rijbaan afgewikkeld), levert dit op kruispunten vrij complexe situaties met veel verschillende verkeersstromen en conflictpunten op. Een VRI probeert hier orde in te scheppen met een cyclus van achtereenvolgende groenfasen voor verschillende verkeersstromen. Om de doorlooptijd van de cyclus en de resulterende wachttijden voor het verkeer te beperken, worden zo veel mogelijk niet-conflicterende verkeersbewegingen binnen één tijdsinterval (fase) van de VRI-cyclus afgewikkeld. Een voorbeeld hiervan is het tegelijkertijd afwikkelen van (gemotoriseerd) verkeer dat rechtdoor rijdt op de tegenovergestelde takken van dezelfde weg. Een ander voorbeeld is het tegelijk afwikkelen van links afslaande voertuigen van de hoofdweg en rechts afslaande voertuigen vanaf de zijweg.

Een VRI-regeling waar alle kruisende verkeersstromen in de tijd zijn gescheiden heet een conflictvrije regeling. Een conflictvrije regeling zorgt ervoor dat overstekend verkeer niet hoeft te wachten op een voldoende groot en veilig hiaat in een kruisende verkeersstroom om over te kunnen steken. Dit neemt veel onzekerheid en risico weg. Het is ook bekend dat het risico toeneemt naarmate de wachttijd toeneemt: hoe langer er wordt gewacht, hoe kleiner het hiaat dat wordt geaccepteerd en hoe hoger het risico op een conflict of erger, een ongeval (Kittelson & Vandehey, 1991; Tang, Di & Li, 2015).

Een VRI-regeling waarbij wel kruisende verkeersstromen in hetzelfde tijdsinterval worden afgewikkeld, heet voor die verkeersstromen een regeling met deelconflicten en wordt in *Afbeelding 2.1* geïllustreerd. Een situatie met deelconflicten is vanuit veiligheidsoverweging uiteraard minder gewenst, maar wordt genoodzaakt door de vraag naar meer doorstroming en kortere wachttijden. De conflicten die worden gedeeld worden bewust gekozen om de consequenties voor de verkeersveiligheid te beperken.

In *Afbeelding 2.1* is in de linkerhelft de situatie met een deelconflict te zien waar rechts afslaand verkeer en kruisend fiets- en voetgangersverkeer dezelfde groenfase delen (situaties 1 en 3). In de rechterhelft (situaties 2 en 4) is te zien waar dit conflictvrij is geregeld, dus overstekende fietsers en voetgangers groen krijgen terwijl gemotoriseerd verkeer moet wachten (en andersom maar dit is niet afgebeeld).

Afbeelding 2.1. Schematische weergave van een verkeersregelininstallatie met deelconflicten (linker paneel) en zonder deelconflicten (rechter paneel).



Zoals in de inleiding genoemd, is een VRI-geregeld kruispunt per definitie geen Duurzaam Veilige oplossing. Duurzaam Veilig gaat ervan uit dat mensen fouten maken in het verkeer. Bij een VRI-kruispunt is de veronderstelling dat mensen zich altijd volgens de regels gedragen en dus altijd voor een rood licht zullen stoppen. Echter, de praktijk leert dat dit vaak niet het geval is en er nog steeds (bijna-)ongevallen plaatsvinden doordat het rode licht wordt genegeerd. Het blijkt niet voldoende om te zorgen voor voldoende ontruimingstijd of tijd om veilig te kunnen stoppen wanneer een licht overslaat naar geel, en vervolgens rood; het komt nog te vaak voor dat men door rood rijdt of loopt en bij een (bijna-)ongeval betrokken raakt. Kortom: een scheiding van verkeersstromen in de tijd blijft afhankelijk van mensen die zich altijd volgens de regels gedragen, en dat is niet de praktijk.

Uit internationaal onderzoek is bekend dat VRI's met een regeling waarbij bepaalde verkeersstromen in de tijd zijn gescheiden (conflictvrij of gedeeltelijk conflictvrij), wel veiliger zijn voor het verkeer dan VRI's met deelconflicten. Het gaat dan om regelingen voor links afslaand verkeer, waarbij 'gedeeltelijk conflictvrij' inhoudt dat het eerste deel van de groenfase voor links afslaand verkeer conflictvrij is, maar dat er in het tweede deel van die groenfase ook andere verkeersstromen op gang komen waaraan het links afslaand verkeer voorrang moet verlenen. In het Engels is deze regeling bekend als 'protected/permissive left-turn signal phasing'. Onderzoek in België (Polders et al., 2015) laat zien dat VRI-kruispunten met een conflictvrije regeling voor verkeer dat links afslaat, leidt tot minder kop-staart- en frontale ongevallen maar ook tot minder ongevallen met kwetsbare verkeerdeelnemers. Wanneer de regeling gedeeltelijk conflictvrij is (protected/permissive), komen kop-staartongevallen weer vaker voor dan wanneer de gehele fase conflictvrij is (protected). Onderzoek uit Australië laat zien dat bij 3- en 4-taks kruispunten met een conflictvrije regeling voor verkeer dat rechts afslaat (in Europa is dat linksaf), respectievelijk 87% en 91% minder flankongevallen plaatsvinden dan in situaties waar er een deelconflict is (Howlader et al., 2023).

Er is relatief weinig onderzoek naar het effect van een conflictvrije regeling op specifiek de veiligheid van voetgangers en fietsers. Onderzoek in België heeft aangetoond dat het aanbrengen van VRI's met een conflictvrije (protected) en deels conflictvrije regeling (protected/permissive) het aantal ongevallen waarbij kwetsbare verkeerdeelnemers betrokken zijn, significant kan verminderen (Polders et al., 2015). Een onderzoek uit de VS en Canada vond juist geen significant effect op het aantal voetganger-motorvoertuigongevallen bij het aanbrengen van een conflictvrije of een gedeeltelijk conflictvrije regeling (protected/permissive, met onder andere overstekende

voetgangers) op 215 VRI-kruispunten (Goughnour et al., 2018). Op het eerste gezicht is dit resultaat wat verassend, maar een verklaring kan zijn dat slechts 12 van de 215 kruispunten volledig conflictvrij (dus 100% van de groentijd voor de linksaf-fase) waren. In een vervolgonderzoek (Goughnour et al., 2021) is gekeken naar het effect van een zogenaamde 'leading pedestrian interval': een regeling waarbij voetgangers een paar seconden voor het afslaand verkeer groen krijgen, waarna deze overgaat tot een regeling met deelconflicten. Bij de 105 kruispunten waar deze regeling is geïntroduceerd, is een significant positief (gunstig) effect gevonden, zowel op alle ongevallen als op ongevallen met voetgangers (respectievelijk 14% en 13% minder ongevallen).

Onderzoek naar ongevallen tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer bij VRI-kruispunten is vooral in Canada en de VS gedaan, bijvoorbeeld door Hurwitz et al. (2015), Zangenehpour et al. (2016), en Mansell et al. (2024). Het onderzoek van Zangenehpour et al. (2016) laat bijvoorbeeld zien dat situaties bij VRI-kruispunten met aparte fietspaden (cycle tracks) veiliger zijn dan situaties met fietsers op de gewone rijbaan. Ook toont dit onderzoek duidelijk aan dat er meer ongevallen met fietsers gebeuren naarmate de intensiteit van het rechts afslaand verkeer toeneemt. De overige studies naar ongevallen tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer bij VRI-kruispunten zoals Hurwitz et al. (2015) en Mansell et al. (2024), betreffen echter vrijwel altijd situaties waar fietsers de rijbaan delen met gemotoriseerd verkeer of hooguit een (aanliggende) fietsstrook gebruiken, terwijl in Nederland meestal vrijliggende fietspaden langs de kruisende wegen liggen. Daarnaast is de verkeerslichtenregeling er vaak/vrijwel altijd een met deelconflicten. Hoewel op een klein deel van de VRI-kruispunten in Nederland de combinatie van fietsstroken en deelconflicten wél voorkomt, is dit niet de situatie waar het onderhavig onderzoek zich op richt, en worden de studies hiernaar dus ook niet verder besproken.

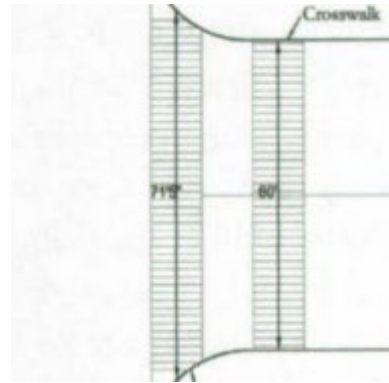
Het onderzoek in België (Polders et al., 2015) heeft ook laten zien dat het ontwerp en de inrichting van VRI-kruispunten een effect hebben op ongevallen. Zo zijn hebben kruispunten met opstelstroken voor verkeer dat (links en ook soms rechts) afslaat over het algemeen minder letselongevallen. VRI-kruispunten met drie rijstroken hebben meer kop-staartongevallen, en meer ongevallen waarbij kwetsbare verkeersdeelnemers betrokken zijn, dan kruispunten met twee rijstroken. En kruispunten met een middengeleider hebben minder ongevallen dan kruispunten zonder middengeleider.

2.3 Oversteeklengte

2.3.1 Voetgangersoversteek

De lengte van de oversteek kan worden beïnvloed door de ligging van de oversteek ten opzichte van het kruisingsvlak. Door de oversteek wat verder terug te plaatsen op de tak kan de oversteeklengte worden verkleind (zie *Afbeelding 2.2*). Dit heeft het extra voordeel dat voetgangers die zich opstellen om over te steken niet in gevaar komen wanneer grotere voertuigen die rechts afslaan de bocht afsnijden, en ook zijn ze beter in zicht bij oversteken (ze bevinden zich meer naar het midden van het blikveld).

Afbeelding 2.2.
Een teruggeplaatste
voetgangersoversteek (rechts)
levert een kortere
oversteeklengte op.



In de literatuur wordt niet altijd de lengte van een voetgangersoversteek gebruikt om het verband met veiligheid aan te tonen, maar ook bijvoorbeeld het aantal rijstroken (Stipancic et al., 2021). Allereerst blijkt het aantal rijstroken significant bij te dragen aan het aantal ongevallen. In de VS hebben Torbic et al. (2010) gebruik gemaakt van ongevallendata op kruispunten tussen 1997 en 2005 (Torbic et al., 2010). Zij vonden dat het totaal aantal rijstroken dat een voetganger moet oversteken een significante voorspeller is van ongevallenfrequentie: hoe meer rijstroken, hoe hoger de ongevallenfrequentie. Het aantal te passeren rijstroken (minimum: 2, maximum: 9) wordt onderbroken bij de eventuele aanwezigheid van middengeleiders. Er is niet gerapporteerd bij welk aantal rijstroken middengeleiders doorgaans wel of niet aanwezig waren. Polders et al. (2015) onderzochten voor kruispunten in België onder andere de relatie tussen het aantal over te steken rijstroken en ongevallenfrequentie. Hoewel de auteurs concluderen dat een toename van het aantal rijstroken gepaard gaat met een toename van de ongevallenfrequentie, blijkt uit de onderliggende data een ander beeld. Er zijn kruispunten onderzocht waar 1, 2, 3, of 4 rijstroken overgestoken moesten worden. In de analyses zijn takken met 4 rijstroken als referentie gebruikt (in sommige gevallen met middengeleider). Ten opzichte van takken met 4 rijstroken bleken takken met 2 rijstroken (inderdaad) gepaard te gaan met een significant afname in ongevallenfrequentie. Takken met 3 rijstroken gingen echter gepaard met een significante *toename* in ongevallenfrequentie. Takken met 1 rijstrook toonden geen significant verschil met de referentietakken. Op basis van deze onderzoeksdata lijkt er geen eenduidig verband te bestaan tussen het aantal rijstroken en ongevallenfrequentie. Wel dient opgemerkt te worden dat er niet gecorrigeerd kon worden voor eventuele effecten als gevolg van de intensiteit van kwetsbare verkeersdeelnemers, omdat deze variabele niet beschikbaar was. Bovendien zijn er geen toetsen uitgevoerd die verschillen tussen takken met 1 rijstrook en takken met 2 rijstroken.

Bij korte oversteeklengtes lijkt de stand van het verkeerslicht (rood/groen) weinig invloed te hebben op het oversteekgedrag van voetgangers: er wordt bijna net zo vaak door rood als door groen gelopen, liet onderzoek van Ma, Lu & Zhang (2020) zien. Bij rood is er de neiging om kort te wachten en dan snel over te steken. Hetzelfde onderzoek liet zien dat voetgangers ook bij lange oversteken het rode licht negeren wanneer de voertuigintensiteit afneemt. Men steekt ook aan het eind van de groenfase over en door mogelijk (te) korte ontruimingstijden, wordt een deel van de overstekende beweging door rood gelopen.

Meerdere studies vonden een verband tussen roodlichtnegatie en de lengte van een oversteek (Afshari, Ayati & Barakchi, 2021; Yang & Sun, 2013). Zij vonden dat voetgangers minder vaak door rood liepen wanneer de oversteeklengte toenam. Afshari et al. (2021) onderzochten 10 kruispunttakken op in totaal 6 kruispunten, met oversteeklengtes tussen 8,0 en 15,7 meter ($M = 12,18$ m); de helft van deze kruispunttakken had geen middengeleider. Afshari et al. vonden dat voor elke extra meter in lengte van de voetgangersoversteek, de waarschijnlijkheid dat iemand door rood zou lopen, afnam met 13,9%. Dit lijkt een tegenstelling met de resultaten van Torbic et al. (2010) en ook van Polders et al. (2015), die een positieve relatie vonden tussen ongevallen en oversteeklengte. In deze onderzoeken wordt echter niet ingegaan op de samenhang tussen onder andere

de oversteeklengte, de verkeerslichtenregeling en door rood lopen. Zo suggereert het onderzoek van Polders et al. dat het aantal ongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers toeneemt met toenemende oversteeklengte, maar afneemt als er een conflictvrije regeling is (Polders et al., 2015). Al deze relaties van oversteeklengte (een negatieve met roodlichtnegatie en een positieve met ongevallen) en van conflictvrije regeling (met een afname van ongevallen) zijn plausibel. Hoe langer de oversteek, hoe groter de kans op een aanrijding en hoe kleiner de kans dat er door rood wordt overgestoken. In het geval waar er gedeeld groen is, neemt de kans op ongevallen toe met toenemende oversteeklengte; deze neemt vervolgens af als er een conflictvrije regeling is. De kans op een ongeval als gevolg van door rood lopen neemt toe naarmate de oversteek langer is (grotere expositie) en dus zullen mensen minder vaak dat risico nemen dan wanneer de oversteek korter is. Dit zijn allemaal aannemelijke samenhangen, maar de relatie bij een combinatie van deze kenmerken (regeling en oversteeklengte) is niet gerapporteerd.

Onderzoek in Japan heeft aangetoond dat voetgangers niet altijd met constante snelheid oversteken en dit maakt het moeilijk voor conflicterend verkeer dat rechts afslaat om de beschikbare hiaten in de voetgangersstroom goed in te schatten (Alhajyaseen & Iryo-Asano, 2017). Voetgangers neigen sneller te gaan lopen als zij de oversteek oplopen en de conflictzone betreden. Ook is er een neiging om sneller te gaan lopen naarmate de groenfase verstrijkt. De loopsnelheid neemt ook toe naarmate de oversteeklengte toeneemt. Voor autobestuurders kan deze plotselinge verandering van snelheid als een verrassing komen, en eventueel tot gevaarlijke situaties leiden.

Onderzoek naar het kijkgedrag van automobilisten bij voetgangersoversteken heeft laten zien dat bestuurders in eerste instantie gefocust zijn op het centrale gebied van het blikveld, dus als ze rechts afslaan kijken ze vooral recht voor zich uit en kijken niet echt naar rechts of links (Hurwitz et al., 2023). Voetgangers die de oversteek willen betreden worden dus niet goed gezien en dat geldt ook voor voetgangers die de rijstrook bijna zijn overgestoken.

Uit een onderzoek in Canada lijkt het gebruik van een middenberm in combinatie met een voetgangersoversteek bij VRI-kruispunten te zorgen voor een toename van oversteekovertredingen onder voetgangers (Cambon de Lavalette et al., 2009). Het onderzoek geeft niet duidelijk aan wat als een overtreding wordt gezien, maar wij gaan hier uit van mensen die oversteken door een rood licht. In sommige gevallen is dat van of een verkeerslicht voor voetgangers en, waar er geen verkeerslicht voor voetgangers is, het verkeerslicht voor doorgaand verkeer. Het Canadese onderzoek richt zich op oversteekgedrag over de volle breedte van de tak. Er zijn vergelijkingen gemaakt tussen oversteekplaatsen met en zonder voetgangersverkeerslichten, met en zonder middenberm en met enkele of meerdere rijstroken per rijrichting. Het is niet opmerkelijk dat situaties met een middenberm lijken te zorgen voor een hoger aandeel overtredingen; de middenberm verkort immers de oversteeklengte en maakt het mogelijk in etappes over te steken. Ook het aantal rijstroken (dus lengte van de oversteek) en de aanwezigheid van een verkeerslicht voor voetgangers lijken een invloed te hebben op het oversteekgedrag. Het aandeel oversteek-overtredingen nam af als er een verkeerslicht was, zowel bij locaties met 1 rijstrook per richting als bij locaties met 2 rijstroken per richting. Het aandeel overtreders in situaties zonder aparte verkeerslichten voor voetgangers was echter vergelijkbaar met het aandeel overtreders waar er wél aparte verkeerslichten voor voetgangers waren. De combinatie middengeleider en oversteek heeft wel een positief (gunstig) effect, in die zin dat voetgangers genegen zijn in etappes over te gaan steken in plaats van in een keer over de volle breedte. Volgens de onderzoekers Cambon de Lavalette et al. (2009) zijn mensen bezig met een (loop)rit van A naar B en zullen ze oversteken als de situatie het toelaat, ongeacht of het (voetgangers)verkeerslicht rood is of niet, een middenberm maakt het besluit door rood te lopen makkelijker en geeft een mate van bescherming door de mogelijkheid om halverwege te wachten. Onder andere Stipanic et al. (2020) vonden dat de aanwezigheid van een middengeleider het aantal ongevallen verminderde.

2.3.2 Fietsoversteek

Net als bij voetgangers, lijkt ook bij fietsers de oversteeklengte op VRI-kruispunten te correleren met ongevallen tussen motorvoertuigen en fietsers; hoe langer de oversteek, hoe meer ongevallen (Hamann & Peek-Asa, 2013). In dit Amerikaanse onderzoek neemt bij een toename van 3,05 m (10 voet) aan oversteeklengte (gemeten tussen de stoepranden, met een gemiddelde van $M = 13,93$ m) de kans op ongevallen tussen fietsers en motorvoertuigen toe met een factor 1,48 (95%CI = 1,15–1,91). Het onderzoek citeert een studie uit Nederland (Schepers et al., 2011) en bevestigt dat vrijliggende fietspaden veiliger zijn dan fietsstroken. Het onderzoek plaatst daarbij wel de kanttekening dat er grote verschillen bestaan tussen de situatie in Nederland en de VS, vooral in het ontwerp van (fiets)infrastructuur, wat het wederzijds overnemen van effecten moeilijk maakt.

Een meer recente publicatie uit Canada (Milligan, Passmore & Pushka, 2022) laat ook zien dat er een relatie is tussen de afstand dat rechtdoor gaand fietsverkeer moet afleggen terwijl het in conflict is met rechts afslaand verkeer en het aantal conflicten. Naarmate de afstand afneemt, neemt het aantal conflicten ook af (met 13% voor elke 3 m minder afstand die gekruist moet worden). Echter zijn dit situaties die in Nederland vergelijkbaar zijn met fietsstroken langs GOW's en dus minder vergelijkbaar met wat in dit onderzoek wordt onderzocht (kruispunten met vrijliggende fietspaden).

2.4 Overige kruispuntfactoren

Naast de verkeerslichtenregeling en oversteeklengte, heeft ook de afstand tussen de kant van de rechterrijstrook op de hoofdweg en de fiets- en voetgangersoversteek op de zijtak (in het Engels, 'setback' of '**offset** distance') een relatie met de verkeersveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers. Deze afstand hangt nauw samen met de grootte van de **boogstraal** die wordt toegepast om de zijtakken te verbinden met de hoofdtakken van het kruispunt. Simulatie-onderzoek in China (Chen, Zeng & Yu, 2019) heeft laten zien dat de ernst van conflicten toeneemt naarmate de boogstraal en de afstand tot de oversteek groter worden. Dit heeft vooral te maken met de hogere snelheden die mogelijk zijn door grotere boogstralen en langere afstand tot de oversteek.

In Nederland is het aanbevolen om fietspaden ter hoogte van kruispunten met 2 tot 5 m uit te buigen; dit om het zicht op overstekende fietsers te vergroten en de kans op ongevallen te verkleinen (SWOV, 2020; 2023b). Onderzoek in Canada (Mansell et al., 2024) heeft laten zien dat het vergroten van de uitbuiging van fietspaden ('increasing the lateral offset') gepaard gaat met minder conflicten tussen overstekende fietsers en rechts afslaande motorvoertuigen.

Een aantal internationale studies vond een sterke relatie tussen het aantal (en ernst van) conflicten en de gereden snelheid van voertuigen die rechts afslaan (Chen, Zeng & Yu, 2019; Hurwitz et al., 2023; Mansell et al., 2024). Omdat zowel de boogstraal als de afstand tot de oversteekvoorziening bepalend zijn voor hoe snel een voertuig kan optrekken, is het belangrijk dat het ontwerp hier rekening mee houdt. Snelheden van boven de 15 km/uur lijken sterk te correleren met meer ernstige conflicten.

2.5 Conflictobservatie

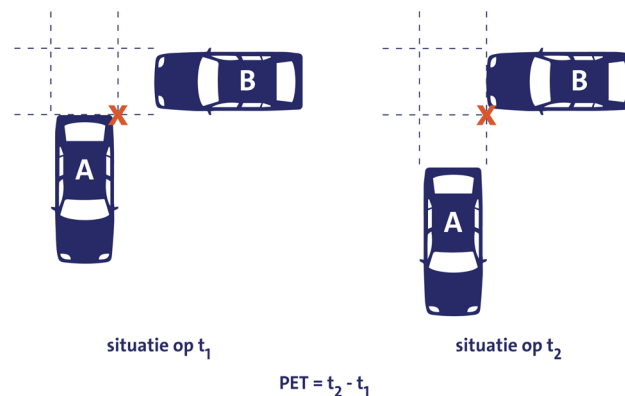
Traditioneel worden ongevallen gebruikt als basis voor ongevallenanalyses en verkeersveiligheidsonderzoek. Vaak is de ongevallendichtheid (aantal ongevallen per eenheid lengte of per kruispunttype) echter dermate laag, dat op lokaal niveau geen zinvolle analyse mogelijk is. Het statistische probleem van kleine aantallen kan worden opgelost door meerdere jaren aan data in de analyse mee te nemen, maar dat heeft als beperking dat de verkeerssituatie in die periode ook kan zijn veranderd. Tegenwoordig is het gebruikelijk om surrogaatmaten (de zogenoemde Surrogate Measures of Safety - SMOs) te gebruiken als alternatief voor slachtoffer- en ongevalgegevens (Guo et al., 2010; Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018; Nabavi Niaki, Schermers & Gebhard, 2023). Dit zijn maten gerelateerd aan bijna-ongevallen of 'conflicten' tussen verkeersdeelnemers, die sterk verband houden met de verkeersveiligheid. Amundsen & Hyden (1977) definiëren een conflict als een situatie waarbij twee weggebruikers in botsing zouden zijn gekomen als de snelheid en rijrichting ongewijzigd waren gebleven. Het kan ook voorkomen dat twee weggebruikers elkaar op geringe afstand passeren zonder waarneembare wijziging in de snelheid of rijrichting. Een kleine verstoring in de snelheid of rijrichting had dan tot een botsing kunnen leiden. Kraay et al. (1986) rekenen ook deze situaties tot een conflict.

2.5.1 Identificeren van conflicten

Een veel voorkomend conflict is de situatie die we in deze studie onderzoeken, waarbij een motorvoertuig rechts afslaat en een kwetsbare verkeersdeelnemers rechtdoor oversteekt. Er zijn verschillende mogelijke oorzaken van dit soort conflicten: de bestuurder van het motorvoertuig kan de kwetsbare verkeersdeelnemer hebben gemist omdat deze zich in een dode hoek bevond (Jansen & Varotto, 2022), een of beide verkeersdeelnemers negeerden een rood verkeerslicht, of de kennis ontbrak over wie er voorrang had.

Conflicten kunnen ter plekke door waarnemers worden geobserveerd, of aan de hand van video-opnamen worden geanalyseerd. Hoewel er methodes bestaan voor handmatige observatie, zoals de Nederlandse DOCTOR-methode (Van der Horst, 1990; Kraay, Van der Horst & Oppe, 1986; Kraay & Van der Horst, 1988) of de Zweedse 'traffic conflict technique' (Amundsen & Hyden, 1977; Hydén, 1987), hangt de nauwkeurigheid van deze methodes sterk af van de alertheid en beoordeling van de waarnemers. Uit onderzoek is gebleken dat er tussen waarnemers verschillen kunnen bestaan in het identificeren van conflicten (Ambros, Turek & Paukrt, 2014; Archer, 2001; Shinar, 1984). Dergelijke subjectiviteit kan worden voorkomen door gebruik te maken van automatische beeldherkenningstechniek. Met software worden verschillende typen verkeersdeelnemers geïdentificeerd, worden hun afgelegde trajecten bepaald, en kunnen er op basis hiervan zogeheten 'Surrogate Measures of Safety' (SMoS) worden berekend. Een systematische review van Arun et al. beschrijft diverse voorbeelden van SMOs, en in welke situaties deze in eerdere studies gebruikt zijn (Arun et al., 2021). In het geval van conflicten op kruispunten tussen afslaand gemotoriseerd verkeer en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers wordt doorgaans de 'post-encroachment time' (PET) als veiligheidsindicator gebruikt. De PET wordt bij kruisende trajecten berekend als het tijdsinterval tussen het moment dat de achterkant van de eerst arriverende verkeersdeelnemer het conflictvlak verlaat, en het moment dat de voorkant van de tweede verkeersdeelnemer het conflictvlak binnenkomt (zie *Afbeelding 2.3*). Bij een PET-waarde van '0' is er sprake van een aanrijding. Als de PET-waarde erg laag is, dan hebben de verkeersdeelnemers (ook wel 'conflictpartners' genoemd) elkaar nét gemist en een bijna-aanrijding gehad. Bij een hoge PET-waarde is er niet langer sprake van een conflict. Wat een juiste drempelwaarde is, m.a.w. bij welke PET-waarde (en lager) men van een conflict kan spreken, is echter nog niet zo duidelijk.

Afbeelding 2.3. 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).



2.5.2 PET-drempelwaarden

Welke PET-waarde men in eerdere studies als drempelwaarde heeft gehanteerd, loopt uiteen. Arun et al. (2021) rapporteren in hun review van diverse internationale studies een bereik van 0,8 s tot 6 s ($M = 3,1$ s, $Mdn = 3,8$ s) voor kruispunten met verkeerslichtenregeling. Er waren dus studies waarin men een interactie al als conflict beschouwde als er een tijdsverschil van 5 à 6 seconden tussen de kruisende verkeersdeelnemers zat, maar ook studies die het pas een conflict noemden als de verschillende verkeersdeelnemers elkaar op minder dan een seconde kruisten. Arun et al. hebben echter geen onderscheid gemaakt tussen studies naar conflicten tussen twee motorvoertuigen en naar conflicten tussen motorvoertuigen en kwetsbare verkeersdeelnemers. Op dit laatste conflicttype, dat wij in het huidige onderzoek bestuderen, heeft zich maar een beperkt aantal eerdere studies gericht.

Zangenehpour et al. (2016) bestudeerden interacties tussen fietsers en afslaande motorvoertuigen op VRI-kruispunten en maakten daarbij onder meer onderscheid tussen wat zij noemden 'gevaarlijke' en 'zeer gevaarlijke' interacties. Voor gevaarlijke interacties hielden ze een PET-waarde tussen 1,5 en 3 s aan, voor zeer gevaarlijke interacties een PET-waarde $\leq 1,5$ s. De keuze voor deze PET-drempelwaarden noemden ze 'arbitrair'. Niettemin geven de auteurs aan dat er een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd waarbij verschillende PET-drempelwaarden zijn getest, en dat hieruit zou zijn gebleken dat kleine veranderingen van de PET-drempelwaarden de resultaten niet significant beïnvloedden. Verdere details omtrent deze gevoeligheidsanalyse zijn niet gerapporteerd. Mansell et al. (2024) gebruikten een aan PET gelieerde maat met drempelwaarden van 2 s, 2,5 s en 3 s, waarbij de auteurs opmerkten dat de drempelwaarden nog gevalideerd dienen te worden door deze te relateren aan werkelijke ongevalldata. Een voorbeeld van zo'n validatie voor fiets-motorvoertuigconflicten is uitgevoerd in het InDev-project (Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018). Voor dit project zijn in verschillende Europese landen van een aantal kruispunten ongevallenstatistieken, passages en daaruit voortvloeiende interacties verzameld. Voorts is met Poisson-regressiemodellen het aantal conflicten (als functie van verschillende PET-drempelwaardes tussen 1 s en 5 s) geschat op basis van het aantal interacties tussen kwetsbare verkeersdeelnemers en motorvoertuigen (om te corrigeren voor expositie), waarbij per land een aparte regressiecoëfficiënt is geschat. Bij PET-drempelwaarden boven 2 s waren van veel landen de regressiecoëfficiënten niet significant, terwijl men op basis van een inventarisatie van werkelijke ongevallen juist significante (en verschillende) regressiecoëfficiënten per land had verwacht. Alleen bij PET-drempelwaarden van 1,5 s of lager beschouwden de auteurs van de InDev-rapportage het onderscheid tussen de land-specifieke regressiecoëfficiënten als betekenisvol. Bij hogere PET-drempelwaarden lijkt het aantal conflicten lineair te verlopen met het aantal interacties, waarmee er geen zinvol onderscheid tussen landen meer kon worden gemaakt. Op basis hiervan bevelen de auteurs aan om geen conflicten op basis van een drempelwaarde van 2 s of hoger te gebruiken.

2.5.3 Leerpunten pilotstudie

De pilotstudie uit 2022 (Nabavi Niaki et al., 2022) heeft laten zien dat er bij verkeers- en conflictanalyses door middel van video-observatie enkele beperkingen zijn om rekening mee te houden. Dit niet alleen voor betrouwbaardere onderzoeksuitkomsten, maar ook om vertraging en extra inspanning tijdens het onderzoek te beperken. Volgens Nabavi Niaki et al. (2022) verdienen de volgende punten extra aandacht tijdens het plannen en uitvoeren van (dit) onderzoek met automatische videobeeld- en conflictanalyse:

- *Positionering van de camera's*
Hoewel samen met Transoft⁴ 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 in de pilot veel te wensen over. Dit bleek uit een vergelijking van de resultaten met handmatige tellingen van verkeer, uitgesplitst naar soort weggebruiker. Vooral bij aantallen voetgangers en fietsers week de geautomatiseerde methode te veel af van de handmatige telling. Behalve aan de camerapositionering (zie hierboven) lag dit ook aan de verwerking door de analysesoftware.
- *Optimaliseren cameraposities en data-inwinning met video*
De pilot-ervaring met de automatische verkeerstellingen leerde 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 (boven 95% over alle tijden van de dag en nacht). Ook is aan te bevelen om tijdens de opnamen telkens een 15 minuut-periode te gebruiken om de nauwkeurigheid van de geautomatiseerde tellingen te valideren. Eventueel zullen er aanvullende intensiteitstellingen op de takken van kruispunten moeten worden uitgevoerd.
- *Uploaden en downloaden van data*
Er werden in de pilot ongeveer 880 GB aan videodata geüpload, wat veel tijd heeft gekost. Dit lag onder andere aan problemen met het data-uploadplatform. In dit onderzoek zal dit anders moeten.



4. Transoft Solutions, Inc. heeft in opdracht van SWOV ruw videomateriaal, verzameld op kruispunten, vertaald naar tellingen van passages en conflicten met bijbehorende eigenschappen.

3 Methode

Dit onderzoek heeft als doel inzicht te krijgen in de verkeersveiligheidseffecten van VRI-kruispunten met en zonder een deelconflictregeling en met verschillende oversteeklengtes. Voor dit doel zijn gemeenten benaderd om deel te nemen aan het onderzoek en om kandidaat-kruispunten aan te leveren. Aan de hand van een aantal eisen heeft SWOV de uiteindelijke kruispunten voor dit onderzoek geselecteerd. Bij de geselecteerde kruispunten zijn videobeelden vastgelegd, en zijn conflictanalyses en verkeersveiligheidsbeoordelingen uitgevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft de methode die is gevolgd voor de kruispuntselectie (*Paragraaf 3.1*), de dataverzameling (*Paragraaf 3.2*) en de data-analyse (*Paragraaf 3.3*).

3.1 Kruispuntselectie

De vier grote gemeenten en ook een aantal middelgrote gemeenten verdeeld over de twaalf provincies van Nederland, zijn benaderd met de vraag of zij VRI-kruispunten in beheer hadden die mogelijk voor het SWOV-onderzoek relevant zouden zijn. Gemeenten zijn gevraagd of zij de kosten voor de video-opnames en -analyses voor hun rekening konden nemen. Dit heeft het mogelijk gemaakt om een grootschaliger onderzoek op te zetten dan wanneer SWOV dit zelf had gedaan. Als tegenprestatie voor de cofinanciering, kregen de deelnemende gemeenten een kort rapport met inzicht in lokale problemen bij de geselecteerde kruispunten en, indien gewenst, toegang tot het TrafXSafe-dashboard van Transoft Solutions, dat data voor dit onderzoek heeft verzameld.

De kruispunten voor onderzoek moesten aan de volgende eisen voldoen:

- Het kruispunt is met VRI geregeld en is conflictvrij of heeft deelconflicten (gedeeld groen voor rechtsaf en rechtdoor gaande voetgangers/fietsers).
- Het kruispunt heeft relatief veel voetgangers en fietsers.
- Het kruispunt heeft vrijliggende fietspaden.
- Het kruispunt heeft oversteekvoorzieningen voor fietsers en voetgangers.

In eerste instantie is gekozen voor een onderzoeksdesign gebaseerd op een 2x2-matrix zoals in *Afbeelding 2.1*, met op de ene as de conflictregeling (met of zonder deelconflict) en op de andere as de oversteeklengte (kort of lang). De kandidaat-kruispunten die de gemeenten aanleverden zijn beoordeeld aan de hand van bovengenoemde eisen en de mogelijkheden voor het plaatsen van camera's. Bij de selectie van de kruispunten is getracht om een zo gelijk mogelijke verdeling over de vier kwadranten van de matrix te krijgen.

De deelnemende gemeenten Rotterdam, Zaanstad, Den Haag, Amsterdam, Eindhoven en Assen hebben in totaal 37 kruispunten aangeleverd voor beoordeling. Achttien van deze kruispunten hebben een VRI-regeling, waarvan ruim de helft van de takken deelconflicten heeft. Van de 18 kruispunten zijn er uiteindelijk 10 geselecteerd waarvan minimaal 1 tak van het kruispunt in één van de vier kwadranten van de onderzoeksmatrix paste. Een aantal kruispunten had verschillende regelingen of oversteekvoorzieningen op de takken, en daarom zijn soms meerdere takken

geselecteerd voor de video-opname. In totaal zijn 18 kruispunttakken meegenomen in het onderzoek (zie *Bijlage A*). Alle takken bevatten een middengeleider, op één tak na. In dit laatste geval was er sprake van éénrichtingsverkeer en wordt er effectief dus, net als bij de andere takken één rijrichting overgestoken. Het is daarom niet mogelijk om eventuele effecten van de aanwezigheid van een middengeleider te onderzoeken.

Een onderverdeling tussen korte en lange oversteeklengtes zou *in theorie* gemaakt kunnen worden op basis van de oversteeklengte uitgedrukt in meters, of op basis van het aantal rijstroken dat overgestoken moet worden. Hierbij ligt het in de lijn der verwachting dat de afstand in meters toeneemt met een groter aantal rijstroken. Tot aan de middengeleider wordt in de *praktijk* bij in totaal 7 van de geselecteerde kruispunttakken 1 rijstrook overgestoken, bij 10 van de takken 2 rijstroken, en bij 1 tak worden 3 rijstroken overgestoken, zie *Tabel 3.1*. De gemiddelde oversteeklengte (zie *Paragraaf 3.2.3* voor de manier waarop deze is bepaald) neemt toe met het aantal rijstroken, wat zich uit in een positieve correlatie tussen deze variabelen. Het verband is echter niet significant (Pearson's $r(16) = 0,43$, $p = 0,079$). Opvallend is dat de maximale oversteeklengte bij 2 rijstroken gelijk is aan die van 1 rijstrook (conflictvrij), of zelfs kleiner is (deelconflicten). Met andere woorden, er komen takken met één rijstrook voor, waarvan de rijstrook breder is dan de totale breedte van takken met twee rijstroken. In sommige gevallen lijkt dit te komen door een beperkte uitbuiging van het fietspad bij de tak met één rijstrook en/of een grotere uitbuiging van het fietspad bij takken met meerdere rijstroken. Vanwege deze constatering lijkt oversteeklengte uitgedrukt in meters een eenduidiger beeld te geven van de af te leggen afstand dan het aantal rijstroken.

Tabel 3.1. Oversteeklengte als functie van verkeerslichtenregeling (conflictvrij, deelconflicten) en het aantal rijstroken. ‘-’ = Niet van toepassing.

Aantal rijstroken	Conflictvrij					Deelconflicten				
	N	Oversteeklengte				N	Oversteeklengte			
		Min	Max	M	SD		Min	Max	M	SD
1 rijstrook	4	4,70	9,55	6,71	2,04	3	5,45	8,85	7,57	1,85
2 rijstroken	4	7,25	9,55	7,88	1,12	6	6,60	8,05	7,26	0,57
3 rijstroken	1	10,95	10,95	10,95	-	0	-	-	-	-
Totaal	9	4,70	10,95	7,70	1,96	9	5,45	8,85	7,36	1,04

In internationaal onderzoek wordt het aantal rijstroken dat door fietsers en/of voetgangers overgestoken moet worden, gebruikt als indicatie voor de complexiteit van een kruispunt (meer rijstroken betekenen meer potentiële conflictpunten). In het huidige onderzoek is er bij 17 van de 18 kruispunttakken van waaruit rechts afgeslagen wordt één rijstrook die rechts afslaan mogelijk maakt (uitzondering is tak #9 met 2 rijstroken; zie *Bijlage A.1.8*). In combinatie met het gegeven dat de VRI-regeling eventuele deelconflicten hoofdzakelijk mogelijk maakt met rechts afslaand verkeer (en niet met verkeer uit andere richtingen), betekent dit dat rechtdoor overstekende fietsers en voetgangers op veruit de meeste takken met slechts één stroom motorvoertuigen in conflict kunnen komen, óók op takken waarbij ze meer dan één rijstrook moeten oversteken. Hierdoor valt het argument weg dat het aantal rijstroken in het huidige onderzoek als indicator van complexiteit gebruikt zou kunnen worden. Oversteeklengte zal daarom in meters uitgedrukt worden.

Nu ervoor gekozen is om de oversteeklengte in meters uit te drukken, is er geen voor de hand liggend onderscheid tussen een 'korte oversteek' en een 'lange oversteek', waarmee we het onderzoeksdesign volgens de oorspronkelijk beoogde 2x2-matrix hebben laten varen. De oversteeklengte in meters is immers een continue variabele. Een t-test tussen de oversteeklengte (uitgedrukt in meters) en de verkeerslichtenregeling van de 18 kruispunttakken in dit onderzoek laat geen significant effect zien ($t(12,17) = 0,46, p = 0,66$). Met andere woorden, de spreiding van oversteeklengtes is vergelijkbaar tussen conflictvrije takken en takken met deelconflicten.

Tot slot blijkt uit het overzicht van kruispunten in *Bijlage A* dat er enige spreiding is in de mate van uitbuiging van het fietspad. In theorie mag worden verwacht dat er bij een grotere uitbuiging een kortere oversteeklengte geldt (zie de 'terugplaatsing' in *Afbeelding 2.2*), wat zou overeenkomen met een negatieve correlatie tussen deze variabelen. Dit zien we echter niet terug in de huidige selectie van kruispunttakken: er is sprake van een niet-significante, kleine *positieve* correlatie tussen de mate van uitbuiging en de oversteeklengte, beide uitgedrukt in meters (Spearman $r(16) = 0,019, p = 0,94$). Wanneer we enkel kijken naar takken met één rijstrook, dan is er wel een negatieve correlatie tussen uitbuiging en oversteeklengte, al is deze wederom niet significant (Spearman $r(5) = -0,33, p = 0,47$). Kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling hebben gemiddeld een iets grotere uitbuiging ($M = 7,40$ m, $SD = 2,88$) dan kruispunttakken met deelconflicten ($M = 6,31, SD = 3,53$), maar dit verschil is niet significant, $t(12,17) = 0,46, p = 0,66$. Dit betekent dat het effect van verkeerslichtenregeling los van eventuele effecten van uitbuiging kan worden onderzocht. Uitbuiging zelf was geen onderdeel van de onderzoeksvragen en is in het huidige onderzoek daarom niet als variabele meegenomen.⁵

3.2 Dataverzameling

SWOV heeft Transoft Solutions, in samenwerking met Connection Systems, gecontracteerd om de video-opnamen en videobeeldanalyses uit te voeren. In verband met dataveiligheid, verwerking van eventuele persoonsgegevens, en andere ethische aspecten zijn verwerkings- en vertrouwelijkheidsovereenkomsten afgesloten met de uitvoerende partijen. Bij elk van de tien kruispunten zijn videobeelden gedurende een meetperiode van zeven aaneengesloten dagen (168 uur) vastgelegd; deze tien meetweken waren in juli, september of oktober 2023.⁶ Camera's zijn geïnstalleerd en gericht op de conflictvakken (voor rechts afslaande motorvoertuigen en kruisend, kwetsbaar verkeer) van de geselecteerde takken. De installatie en afstelling van de camera's zijn op locatie met SWOV afgestemd en daarna is de meetperiode gestart. Beelden zijn vastgelegd met een resolutie van 1920 x 1080 px, een snelheid van 25 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 of nauwelijks herkenbaar, maar deze kenmerken worden in ieder geval niet betrokken bij de verdere analyse en worden ook niet vrijgegeven voor publiek gebruik. De videogegevens werden evenwel vertrouwelijk behandeld, en waren alleen toegankelijk voor de onderzoekers binnen dit project, de deelnemende gemeenten en het data-analysebedrijf. Ook voor gebruik van deze data in eventueel later verkeers- en verkeersveiligheidsonderzoek geldt dat de dataverwerking altijd volgens de vigerende regelgeving rondom data en persoonsgegevens zal gebeuren.



5. Er is evenwel een verkenning uitgevoerd, waarin ieder model beschreven in *Paragraaf 3.3.2* is aangevuld met de mate van uitbuiging. Deze aangevulde modellen leverden géén betere fit op en kunnen daarom worden verworpen.
6. Vanwege een storm op 7 juli 2023 is op sommige kruispunten uit voorzorg een extra dag aan data verzameld. Inspectie van verkeersintensiteiten en conflictaantallen toonde geen duidelijke afwijking van de data verzameld op 7 juli ten opzichte van overige weekdagen. Om die reden is de extra verzamelde dag niet meegenomen, waarmee de analyses bij alle kruispunten gebaseerd zijn op eenzelfde aaneengesloten periode van 7 dagen (168 uur).

3.2.1 Verkeersdata

Het TrafXSafe-platform van Transoft maakt het mogelijk om 14 verschillende soorten verkeersdeelnemers (van voetgangers tot gelede vrachtauto's en tractoren) te onderscheiden. Vanuit de camerabeelden worden weggebruiker-identiteiten (road user ID) aangemaakt voor iedere verkeersdeelnemer die in beeld komt. De verkeersdeelnemer wordt gevolgd vanaf het moment dat deze in beeld komt tot het moment dat hij uit beeld verdwijnt. Met deze beelden wordt het traject dat wordt afgelegd nauwkeurig vastgelegd en kunnen de volgende verkeersdata worden afgeleid, die als ruwe data aan SWOV zijn verstrekt:

- Intensiteit naar soort verkeersdeelnemer, beweging (linksaf, rechtsaf, rechtdoor, oversteken van Noord-Zuid, enz.) en per gewenste tijdseenheid (geaggregeerd naar gewenste tijdseenheid, per 15 minuten, uur, etmaal, enz.);
- Snelheden (gemiddeld, mediaan) per voertuig, voertuigtype en tijdseenheid.

3.2.2 Conflictdata

Het TrafXSafe-platform van Transoft kan conflicten identificeren op basis van de post-encroachment time (PET) of time-to-collision (TTC). Voor situaties waarbij voetgangers/fietsers in conflict komen met kruisend gemotoriseerd verkeer, zoals in onderhavig onderzoek, is PET de juiste conflictmaat (zie *Paragraaf 2.5*). De software gebruikt de videobeelden om de conflictzones (de gebieden waarbinnen conflicterende verkeersstromen elkaar kruisen, convergeren of divergeren), het gevolgde traject van iedere verkeersdeelnemer, de fysieke ruimte rondom iedere verkeersdeelnemer, de snelheid, enz. te bepalen; daarmee kan worden vastgesteld wanneer twee verkeersdeelnemers zich, binnen een bepaald tijdsbestek, in elkaars fysieke ruimte bevinden (zie ook *Paragraaf 2.5.2*). Op deze manier kunnen alle conflicten op het betreffende conflictvlak in beeld worden gebracht en kunnen deze in het dashboard worden gevisualiseerd in zogenoemde 'conflict heatmaps'. Net als de verkeersdata zijn ook de ruwe conflictdata aan SWOV verstrekt. In deze dataset bevond zich onder andere de variabele 'aankomstvolgorde in een conflict' (motorvoertuig als eerste, of de voetganger/fietser als eerste). Deze variabele bleek van belang te zijn in de uiteindelijke analyse.

Om een interactie tussen twee kruisende weggebruikers als 'conflict' aan te merken, dient een PET-drempelwaarde te worden gekozen, maar zoals eerder gezegd, geeft de literatuur geen eenduidig beeld van de meest geschikte drempelwaarde voor het beschouwde conflicttype (zie ook *Paragraaf 2.5.2*). Uit de validatie van PET-drempelwaarden binnen het InDEV-onderzoek (Johnsson et al., 2018; Kasnatscheew et al., 2018) lijkt een drempelwaarde van 1,5 s echter wel een redelijke keus voor het huidige onderzoek. Met andere woorden: de beschouwde interactie wordt als conflict aangemerkt wanneer de ene verkeersdeelnemer binnen 1,5 s het punt bereikt waar de andere verkeersdeelnemer net nog was. Of eenvoudiger gezegd: interacties met een tijdsverschil van 1,5 s of minder tussen de kruisende verkeersdeelnemers zijn als conflict geteld.

Omdat de PET-waarde van 1,5 s vooral tot stand is gekomen uit validatieonderzoek door vergelijking tussen verschillende landen, is niet bekend of deze gegeneraliseerd kan worden naar onderscheid tussen kruispunten binnen één land. Voor het identificeren van conflicten is daarom in eerste instantie gebruik gemaakt van een PET-drempelwaarde van 1,5 s, maar is ook een gevoeligheidsanalyse m.b.t. deze PET-drempelwaarde uitgevoerd (zie *Paragraaf 3.3.3*).

3.2.3 Vaststelling van oversteeklengte

Bij de vaststelling van de oversteeklengte richten wij ons op de afrijrichting van de afrijtak, dus tot aan de meestal aanwezige middengeleider, of de overkant van de tak bij eenrichtingsverkeer. Van elke fietsoversteekvoorziening (FOV) waarvan camerabeelden zijn gemaakt, zijn drie maten opgemeten (zie *Afbeelding 3.1*):

1. de lengte in het midden: L_{mid} , gemeten over de asmarkering (indien aanwezig),
2. de langste afstand: L_{max} , i.c. de linkerzijde van de FOV, gemeten over de blokmarkering/kanalisatiestrepen, en

3. de kortste afstand: $L_{\min}$, i.c. de rechterzijde van de FOV, gemeten over de blokmarkering/kanalisatiestrepen.

Om een beeld te krijgen over welke lengte fietsers kunnen worden aangereden bij het oversteken zijn deze afstanden (L_{mid} , L_{max} en L_{min}) gemeten van trottoirband (=stoeprand) van de middengeleider tot aan de 'rijcurve' aan de overzijde. Deze rijcurve is bijvoorbeeld af te lezen aan sporen op het asfalt en die afstand is doorgaans groter dan de afstand tussen de kantstrepen (=belijning). Zie *Afbeelding 3.1*, waar de meetmarkeerpunten zijn getekend buiten de kantstrepen. Bij grote boogstralen en/of een fietsvoorziening die dicht langs de hoofdrijbaan ligt, kan het verschil tussen deze maten (binnen en buiten de kantstrepen) oplopen tot wel 2 m.

Uit L_{max} en L_{min} is het gemiddelde L_{gem} berekend, die over het algemeen dicht in de buurt van L_{mid} blijkt te liggen. Voor de analyse in dit rapport is vervolgens L_{gem} gebruikt als maat voor de oversteeklengte, zowel voor fietsers als voor voetgangers.

Afbeelding 3.1. Per FOV zijn drie maten opgemeten: het midden ($L_{\text{mid}} = 8,5$ m; over asmarkering indien aanwezig), de langste afstand ($L_{\text{max}} = 9,2$ m) en de kortste afstand ($L_{\text{min}} = 7,6$ m). Het gemiddelde van de laatste twee is $8,4$ m, wat nagenoeg overeenkomt met L_{mid} . (voorbeeld locatie #10-2: Assen Europaweg-Zuid & Beilerstraat).



3.2.4 Verkeersveiligheidsbeoordelingen

Bij alle geselecteerde VRI-kruispunten is een verkeersveiligheidsbeoordeling uitgevoerd. Deze beoordeling is vergelijkbaar met een verkeersveiligheidsinspectie (Cardoso et al., 2007; Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2011), met als belangrijkste verschil dat het kruispunt niet fysiek wordt opgemeten. Voor de beoordeling is een inspectieformulier opgesteld, is een werkprotocol vastgesteld en zijn SWOV-medewerkers met ervaring op het gebied van verkeersveiligheid en infrastructuur, opgeleid door een gecertificeerd verkeersveiligheidsauditor.

De inspecties zijn voorbereid door een oriëntatie-inspectie uit te voeren met behulp van Cyclomedia/Google Streetview. Daarna is een bezoek afgelegd bij elke locatie. Tijdens het locatiebezoek is het kruispunt onafhankelijk beoordeeld door twee SWOV-medewerkers, waarbij specifiek is gekeken naar het ontwerp van het kruispunt (zichtlengtes en -lijnen, ligging van de eilanden, aantal rijstroken en configuratie, het wegdek, markering en bebording enz.), het (rij)gedrag van alle weggebruikers (of daar gevaarlijke situaties optraden en waar dat mogelijk aan lag), voorzieningen in de buurt, en andere zaken die verkeersveiligheidsproblemen kunnen veroorzaken. Bij dit laatste gaat het om aspecten die kunnen leiden tot onveilige situaties, zoals onvoldoende ruimte om te staan als voetganger, uit balans raken als fietser door slecht wegdek en foute inschattingen van automobilisten als gevolg van onduidelijke markering. Vanuit het oogpunt van de verschillende weggebruikers is systematisch beoordeeld of het ontwerp en de inrichting, gegeven de verkeerssituatie op dat moment, voldoet aan de gewenste verkeers-

veiligheidseisen. Na afloop zijn de beoordelingen van de twee SWOV-experts geconsolideerd en vastgelegd in één intern beoordelingsverslag.

Na de beoordelingen is voor elk kruispunt een kort verslag gemaakt voor de deelnemende gemeente. Dit verslag bevat een selectie van de resultaten die via het TrafXSafe-portal van Transsoft te ontsluiten zijn, plus een samenvatting van de verkeersveiligheidsbeoordeling. Voor elk kruispunt is aan de gemeente een aantal aanbevelingen gedaan om de verkeersveiligheid bij het kruispunt te verbeteren.

3.3 Analyse

3.3.1 Kwaliteitscontrole

Een belangrijk onderdeel bij het verwerken van de data is de kwaliteitscontrole. De controles zijn gericht op het correct classificeren van de eerder genoemde veertien verkeersoorten en vervolgens het afleiden van verkeerstellingen, snelheden en conflicten. Het algoritme dat voertuigen identificeert en indeelt in klassen is echter nog niet perfect en het komt nog vaak voor dat bijvoorbeeld personenauto's en bestelbusjes, of gelede en ongelede vrachtauto's, door elkaar worden gehaald. Ook is controle nodig om te bepalen hoe veel van het geobserveerde verkeer niet wordt herkend en in een restcategorie belandt. De uitkomsten uit TrafXSafe zijn daarom steekproefsgewijs gevalideerd. Hiertoe zijn handmatige controles uitgevoerd om te bepalen of verkeersoorten redelijk zijn ingedeeld in de juiste klasse en of de intensiteiten uit de TrafXSafe-analyses overeenkomen met intensiteiten die SWOV-medewerkers in de videobeelden hebben waargenomen. Per tak zijn vier willekeurig gekozen kwartieren overdag gecontroleerd. Als eis is een 90% nauwkeurigheid aangehouden, en aan deze eis werd voldaan. Vanwege inconsistenties in de indeling naar voertuigtypen is een aantal clusters aangebracht: personenauto's (personenauto's, bestelauto's, pick-uptrucks), vrachtauto's (gelede en ongelede vrachtauto's), fietsers (fietsers, snorfietzers).

Behalve op soort verkeersdeelnemer en intensiteit, zijn ook controles uitgevoerd op berekende snelheden en conflicten uit TrafXsafe. Hiertoe zijn onder meer histogrammen opgesteld om de snelheidsverdeling van verschillende weggebruikers bij conflicten visueel te inspecteren en zijn video's bekeken van de laagste en hoogste snelheden in de verdeling van het histogram. Tot slot is er een 'vier-ogen-principe' toegepast op de door SWOV ontwikkelde programmatuur voor analyse (i.e., R-scripts): ieder script is gecontroleerd door een projectmedewerker die oorspronkelijk niet betrokken was bij het schrijven van het script. De scripts die de uiteindelijke analyseresultaten opbrachten zijn onder versiebeheer (GitHub) geplaatst om eventuele toekomstige analyses te faciliteren.

3.3.2 Conflictanalyse

Een tijdsinterval van een kwartier is een gebruikelijke periode om een indruk te krijgen van de verkeersdruk op een bepaald moment. Een dag bestaat uit 96 kwartieren en met een meetperiode van 7 dagen komt elk kwartier 7 keer voor. Voor elke kruispunttak is per kwartier de som van het aantal conflicten berekend voor fietser-motorvoertuig-conflicten en voetganger-motorvoertuig-conflicten. Het aantal conflicten per kwartier is voor fietsers en voetgangers apart geschat met 'generalized linear mixed model' (GLMM) regressiemodellen (R-functie 'glmer') met een Poisson-verdeling.⁷ Hierbij is gebruik gemaakt van de generieke vorm beschreven in de formule hieronder. Het ligt voor de hand dat er een sterke relatie is tussen de mate (hier hoeveelheid) van expositie en aantallen conflicten tussen de verschillende verkeersstromen. De vorm van deze relatie is echter minder evident. Om die reden is vooraf, in een aparte analyse bepaald



7. Onderbouwing voor de keuze van het GLMM Poisson-model is beschreven in *Bijlage B*.

welke vorm van fietser-, voetganger- en motorvoertuigexpositie de beste fit op de data levert (zie *Bijlage B*).

$$Conflicten_{tijdinterval\ i, conflictlocatie\ j} = c * MVT_i^{\beta_1} * Oversteker_i^{\beta_2} * e^{\beta_3 * Predictor_{1,i} + \dots} * re_j$$

Waarbij:

- $Conflicten_{tijdinterval\ i}$: Het aantal conflicten tussen overstekende fietsers of voetgangers en motorvoertuigen in een tijdvak van kwartier i , gegeven een PET-drempelwaarde van 1,5 s;
- Constante c : Constante op basis van de intercept;
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$: Schattingen van coëfficiënten in het regressiemodel;
- MVT : Het aantal motorvoertuigen (MVT) in kwartier i .
- $Oversteker$: Het aantal overstekende fietsers of voetgangers in kwartier i ;
- $Predictor_{1,i}, \dots$: Overige onafhankelijke variabelen in het regressiemodel, in dit geval verkeerslichtenregeling en oversteeklengte; en
- Random effect re_j : een 'random effect' per conflictlocatie.

Kwartieren zonder voertuigen of voetgangers of fietsers (intensiteit van één van de vervoerswijzen is 0) zijn buiten beschouwing gelaten, omdat het model hier niet mee om kan gaan. Kwartieren met 0 observaties van conflicten maar intensiteiten > 0 zijn wel meegenomen.

De volgende regressiemodellen zijn verkend:

- **Model 0**: Intercept. Het aantal conflicten per kwartier wordt geschat zonder 'fixed effect' predictoren en enkel met conflictlocatie als 'random effect'.
- **Model 1**: Expositie. Het aantal conflicten wordt geschat a.d.h.v. het aantal overstekende verkeersdeelnemers (fietsers of voetgangers) en motorvoertuigen per kwartier.
- **Model 2a**: Verkeerslichtenregeling. De predictor 'verkeerslichtenregeling' wordt toegevoegd aan de expositie-predictoren van Model 1. Hierbij geldt dat verkeerslichtenregeling een waarde '0' heeft bij een conflictvrije regeling en een waarde '1' voor een regeling met deelconflicten.
- **Model 2b**: Oversteeklengte. De predictor 'oversteeklengte' (continu, uitgedrukt in meter) wordt toegevoegd aan de expositie-predictoren van Model 1.
- **Model 3**: Hoofdeffecten. Zowel verkeerslichtenregeling als oversteeklengte (beide enkel als hoofdeffect) worden toegevoegd aan de expositie-predictoren van Model 1.
- **Model 4**: Interactie-effecten: Als model 3, waarbij tevens de interactie tussen verkeerslichtenregeling en oversteeklengte is inbegrepen.

Om te onderzoeken hoe de relatie is tussen conflicten, intensiteiten en verkeerslichtenregeling en/of oversteeklengte, is gekeken welke van bovenstaande modellen het beste de data beschrijft. Welk model het beste is, is beoordeeld op basis van het *Akaike Information Criterion* (AIC). Het model met de beste fit op de data is het model dat de laagste waarde heeft op het AIC. Een absolute model-fitmaat is voor dit type modellen niet beschikbaar. Modellen worden daarom onderling met elkaar vergeleken aan de hand van de AIC-waarde. Ook kunnen we vaststellen of het model beter presteert dan uitgaan van gemiddelden (model 0). Effecten worden als significant beschouwd bij $p < 0,05$. Voorafgaand aan het opstellen van de modellen is nagegaan in hoeverre er sprake is van correlatie tussen de predictoren (via R-functie 'cor_mat'). Voor correlaties met verkeerslichtenregeling is gebruik gemaakt van de 'Spearman'-correlatie, aangezien verkeerslichtenregeling een categorische variabele betreft. Voor overige correlaties is de 'Pearson'-correlatie gebruikt. Daaruit zijn geen sterke significante correlaties ($|r| < 0,33$) naar voren gekomen die verstorend zouden zijn in de modellering.

3.3.3 Gevoeligheidsanalyse

Hoewel er redenen zijn om een PET-drempelwaarde van 1,5 s te gebruiken, lijkt er in de literatuur geen consensus te bestaan over deze keuze. Daarom is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te verkennen wat het effect op modelkeuze en bijbehorende regressiecoëfficiënten zou zijn wanneer er een andere PET-drempelwaarde dan 1,5 s gekozen zou zijn. Met andere woorden, verkend is of en hoe de (kwantitatieve) relatie tussen conflictaantallen enerzijds en intensiteiten, verkeerslichtenregeling en oversteeklengte anderzijds verandert wanneer er voor 'conflicten' een strenger criterium (lagere PET-drempelwaarde) of een minder streng criterium (hogere PET-drempelwaarde) wordt gehanteerd. Voor deze gevoeligheidsanalyse is de PET-drempelwaarde systematisch gemanipuleerd tussen 0,5 s en 5,0 s, met een stapsgewijze verhoging van 0,1 s. Dit is een bereik waarbinnen de drempelwaarden liggen die zijn gerapporteerd in eerdere studies (Mansell et al., 2024; Johnsson et al., 2018 ; Kasnatscheew et al., 2018; Zangenehpour et al., 2016). Voor elke PET-drempelwaarde is opnieuw een conflictanalyse uitgevoerd volgens de methode beschreven in de vorige paragraaf, en is o.b.v. het AIC geïnventariseerd welk model de beste fit levert en welke regressiecoëfficiënten β daarbij horen. Deze regressiecoëfficiënten zijn gevisualiseerd door ze uit te zetten tegen de betreffende PET-drempelwaarden. Het verloop geeft een indruk van de gevoeligheid van het gevonden verband voor de keuze van de PET-drempelwaarde.

4 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft allereerst de resultaten van de verkeersveiligheidsbeoordeling (*Paragraaf 4.1*) van de onderzoekskruispunten. Daarna worden voor fiets-motorvoertuig-conflicten (*Paragraaf 4.2*) en voetganger-motorvoertuig-conflicten (*Paragraaf 4.3*) overzichten van conflictaantallen en -snelheden beschreven. Deze overzichten worden gevolgd door statistische analyses waarin de relatie wordt verkend tussen conflictaantallen enerzijds en verkeersintensiteit, verkeerslichtenregeling en oversteeklengte anderzijds.

4.1 Verkeersveiligheidsbeoordeling

In het najaar van 2023 zijn alle geselecteerde kruispunten beoordeeld door twee SWOV-medewerkers. Elke beoordeling is vastgelegd in een intern rapport. Dit is gebruikt als input voor de samenvattende rapporten die zijn geleverd aan elke deelnemende gemeente. De belangrijkste resultaten van de beoordeling worden gegeven in *Tabel 4.1*.

Zoals eerder gezegd, is menging van kwetsbare verkeersdeelnemers en gemotoriseerd verkeer bij snelheden hoger dan 30 km/uur ongewenst (Aarts & Van Nes, 2007; Ivan, Garrick & Hanson, 2009; Van der Kint et al., 2022; Van Schagen & Aarts, 2020; Van Schagen, Wegman & Roszbach, 2004). Bij nagenoeg alle kruispunten in de selectie is opgemerkt dat de limieten van 50 km/uur, soms 70 km/uur, te hoog waren, gegeven de mogelijke conflicten op de kruispunten. Hieruit volgt dan ook dat het aanbrengen van snelheidsremmers of andere gepaste maatregelen gewenst is om de snelheden op het conflictvlak van de kruispunten omlaag te krijgen.

Bij een aantal kruispunten heeft de beoordeling uitgewezen dat de fietspaden onvoldoende zijn uitgebogen en/of dat er onvoldoende ruimte voor fietsers is om zich veilig op te stellen. Naast deze hoofdbevindingen is ook een aantal andere algemene punten opgemerkt die de verkeersveiligheid in het gedrang kunnen brengen, bijvoorbeeld:

- Een aantal kruispunten maakt gebruik van deelconflicten waarbij fietsers en rechts afslaaende voertuigen tegelijk groen hebben.
- De voorrang op kruisingen van de fietspaden onderling is niet altijd duidelijk geregeld.
- Door krappe opstelruimtes voor fietsers, stellen fietsers zich vaak op de kruisende fietspaden of trottoirs op.
- Zebra- en andere markeringen zijn fout aangebracht of zijn niet aangebracht waar het wel nodig is.
- Verkeersborden met snelheidslimieten en/of komgrensaanduiding ontbreken.
- Bushaltes bevinden zich direct naast fietspaden.
- Zicht en zichtafstanden zijn niet altijd optimaal.

Tabel 4.1: Verkeersveiligheidsbeoordeling van kruispunten in de SWOV-onderzoeksselectie.

Belangrijkste bevindingen	Aantal kruispunten waarvoor dit geldt
➤ Geen veilige snelheid bij menging van gemotoriseerd verkeer met fietsers en voetgangers ➤ Geen snelheidsremmers	5
➤ Geen veilige snelheid bij menging van gemotoriseerd verkeer met fietsers en voetgangers ➤ Onvoldoende uitgebogen (brom)fietspaden	1
➤ Onvoldoende uitgebogen fietspad op één tak ➤ Krappe opstelruimte voor fietsers	1
➤ Geen veilige snelheid bij menging van gemotoriseerd verkeer met fietsers en voetgangers ➤ Onvoldoende uitgebogen fietspad op één tak ➤ Krappe opstelruimte voor fietsers	1
➤ Geen veilige snelheid bij menging van gemotoriseerd verkeer met fietsers en voetgangers ➤ Onvoldoende uitgebogen fietspad op drie takken ➤ Krappe opstelruimte voor fietsers op één tak	1

De individuele beoordelingen hebben per kruispunt tussen de vier en tien aandachtspunten voor de verkeersveiligheid opgeleverd. Dit laat zien – passend bij een risicogestuurde aanpak (SWOV & CROW, 2020) (<https://www.kennisnetwerkspv.nl/Factsheets>) – dat relatief kleine inspanningen toekomstige problemen kunnen helpen voorkomen. Het illustreert daarnaast nog eens de waarde van procedures zoals verkeersveiligheidsaudits (VVA) die deze problemen tijdens het ontwerp, en in ieder geval voor de aanleg, mogelijk al hadden voorkomen. Door dit soort beoordelingen en audits structureel vooraf toe te passen, kan worden voorkomen dat infrastructuur met fouten wordt aangelegd en dat die fouten pas worden opgemerkt als er een ernstig ongeval plaatsvindt.

4.2 Fiets-motorvoertuig-conflicten

4.2.1 Overzicht van conflictaantallen

In totaal zijn er in 7 dagen 3.740 conflicten tussen fietsers en motorvoertuigen geteld, zie *Tabel 4.2*. Gemiddeld betrof het 89 conflicten ($SD = 88$) bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling en 327 conflicten ($SD = 499$) bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Bij het merendeel van de conflicten betrof de tegenpartij een personen- of bestelauto⁸ ($N = 3.409$; 91,1%). Overige conflictpartners betroffen motorfietsen ($N = 228$; 6,1%), vrachtauto's ($N = 97$; 2,6%) en bussen ($N = 6$; 0,2%). Gezien deze verhoudingen zal er in verdere analyses niet gestratificeerd worden naar motorvoertuigtype.

Fietsers kunnen een kruispunttak in twee richtingen oversteken. Daardoor kan een rechts afslaand motorvoertuig een fietser in dezelfde rijrichting of 'tegemoet' treffen. Voor fietsers is oversteken echter niet in twee richtingen toegestaan als de betreffende tak een fietsoversteekvoorziening (FOV) in één richting biedt. Een tegemoetkomende fietser bij een éénrichtings-FOV kan worden opgevat als een 'spookfietser'. In *Bijlage C* zijn de kruispunttakken onderverdeeld op basis van het aantal oversteekrichtingen van de FOV (één of twee) en zijn daarbinnen de fietsintensiteiten en conflictaantallen uitgesplitst naar de geobserveerde oversteekrichting



8. Het algoritme waarmee weggebruikers werden geclassificeerd maakte geen betrouwbaar onderscheid tussen personenauto's (m.n. station wagons en SUV's) en bestelauto's. Om die reden zijn personen- en bestelauto's in de verdere analyse als één groep beschouwd.

(totaal, tegemoet, achterop). Bij de 14 takken met een éénrichtings-FOV zien we dat 5,2% van de fietsers in de verkeerde richting (tegemoet) overstak. De kans op betrokkenheid bij een conflict, berekend als het aantal conflicten gedeeld door de intensiteit, was 2,7% voor fietsers die in de verkeerde richting overstaken. Voor fietsers die in de juiste richting overstaken was deze kans 1,5%. Dit betekent dat de kans om als spookfietser in conflict te komen met een motorvoertuig 1,8 keer zo hoog is als voor een fietser die in de juiste oversteekrichting oversteekt.

In totaal arriveerde bij 1.498 (40,1%) van de conflicten de fietser als eerste (i.e., het motorvoertuig passeerde áchter de fietser) en arriveerde bij 2.242 (59,9%) van de conflicten het motorvoertuig als eerste (i.e., de fietser passeerde áchter het motorvoertuig). In Assen zijn in totaal slechts drie conflicten gevonden, waarbij één kruispunttak géén conflicten vertoonde. Daarnaast was de fietsintensiteit relatief laag ten opzichte van alle andere kruispunttakken, en in het geval van tak 10-2 geldt dit ook voor de motorvoertuigintensiteit.⁹ Deze lage aantallen zouden te maken kunnen hebben met de landelijke omgeving van het kruispunt (i.e., het Asserbos), hoewel deze formeel binnen de bebouwde kom ligt, terwijl de overige kruispunten duidelijk in een stedelijke omgeving liggen. Gezien de relatief lage aantallen verkeersdeelnemers en de atypische ligging van het kruispunt zijn de verzamelde data van Assen niet betrokken in verdere analyses.



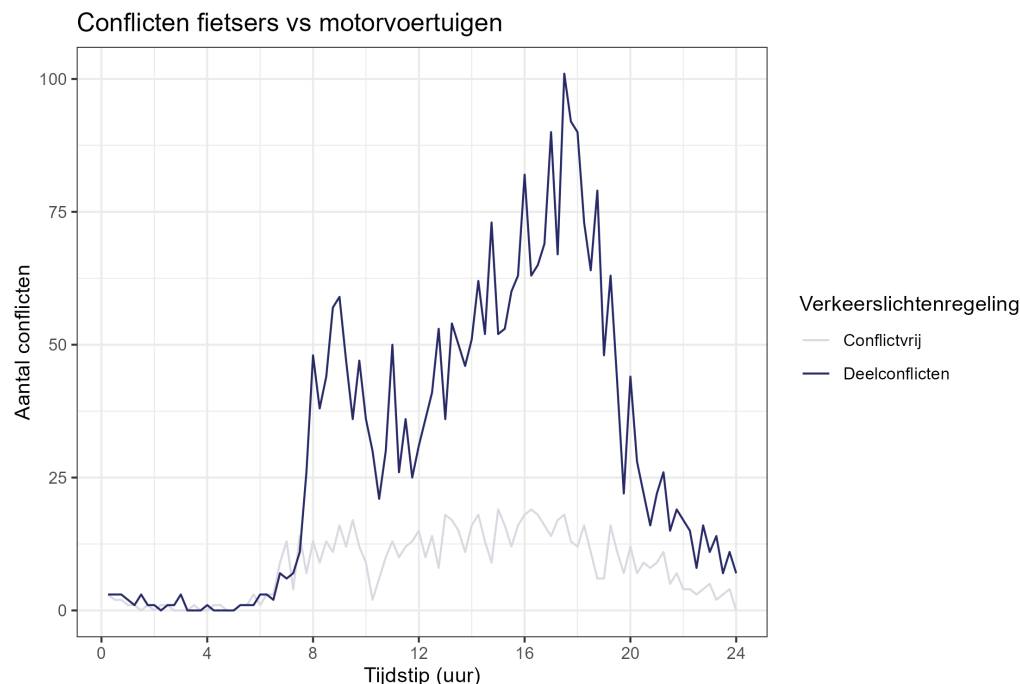
9. Handmatige controles van de videobeelden bevestigden de lage verkeersintensiteiten op de kruispunttakken in Assen.

Tabel 4.2. Aantal conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer o.b.v. 7 dagen waarneming. Tellingen voor fietsers omvatten tevens snorfietsen, bromfietsen en motorfietsen die via de fiets- of voetgangersoversteek oversteken. D = Deelconflicten, CV = Conflictvrij, MVT = Motorvoertuigen, '-' = Niet van toepassing.

Stad	Tak ID	Verkeers- lichten- regeling	Oversteek- lengte (m)	Intensiteiten		Fiets-MVT-conflicten		
				Fietsers	MVT	Alle	Fiets eerst	MVT eerst
Amsterdam	1	CV	10,95	5.686	2.665	17	2	15
Amsterdam	2-1	D	5,45	35.438	14.121	1.639	783	856
Amsterdam	2-2	D	8,05	33.432	1.763	238	88	150
Amsterdam	3-1	CV	7,25	12.001	18.577	250	7	243
Amsterdam	3-2	D	8,85	6.786	7.208	153	109	44
Den Haag	4-1	D	7,6	23.495	4.636	266	104	162
Den Haag	4-2	D	6,75	20.270	4.686	219	124	95
Den Haag	4-3	D	6,95	22.815	3.478	169	82	87
Den Haag	4-4	CV	7,45	16.980	24.168	189	8	181
Eindhoven	5-1	CV	7,25	18.170	4.835	149	53	96
Eindhoven	5-2	D	7,6	17.448	7.503	190	77	113
Eindhoven	5-3	CV	9,55	6.208	7.942	18	2	16
Eindhoven	6	D	6,6	9.204	2.634	69	39	30
Eindhoven	7	CV	6,4	6.957	18.504	77	6	71
Rotterdam	8	CV	6,2	12.913	11.667	63	11	52
Zaansstad	9	CV	9,55	14.712	35.047	31	1	30
Assen	10-1	CV	4,7	1.252	10.768	3	2	1
Assen	10-2	D	8,4	23	541	0	0	0
Totaal	-	-	-	263.790	180.743	3.740	1.498	2.242

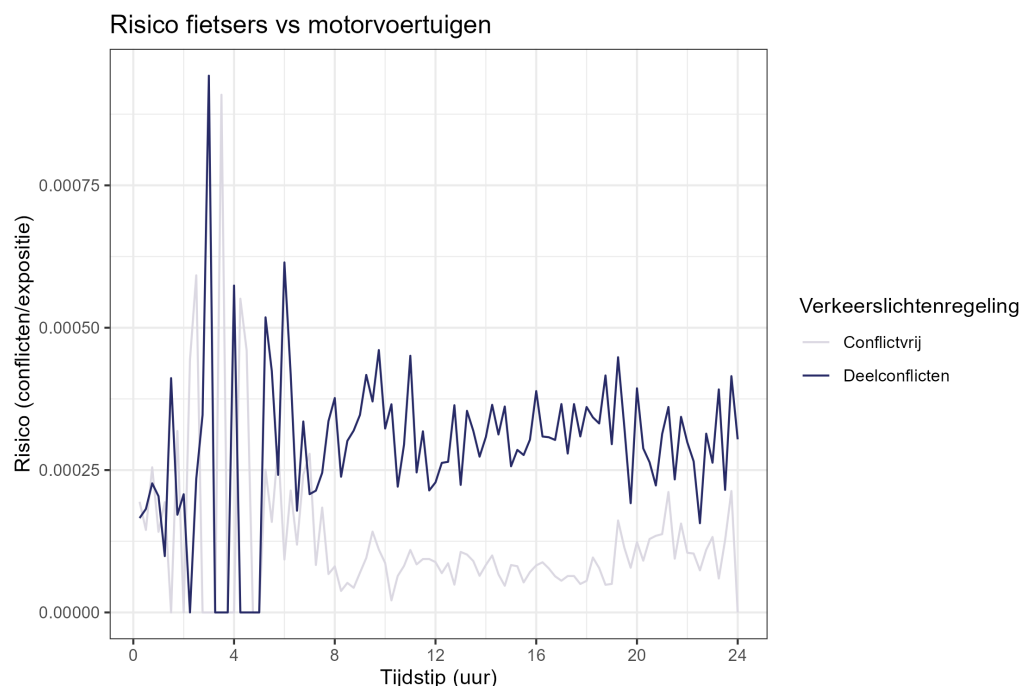
Verspreid over de dag vinden de meeste conflicten plaats tussen 8:00 en 20:00, zie *Afbeelding 4.1*. Met name bij kruispunttakken met deelconflicten is een eerste piek van conflicten in de ochtendspits te zien, gevolgd door een grotere piek in de avondspits. Tussen 0:00 en 6:00 zijn er kwartieren waarin géén conflict zijn waargenomen. In absolute zin zijn er meer conflicten bij kruispunttakken met deelconflicten ($N = 2.943$) gevonden dan bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($N = 797$). Daarbij moet aangetekend worden dat er bij kruispunttakken met deelconflicten in totaal ook meer fietsers passeerden ($N = 168.911$) dan bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($N = 94.879$), maar juist minder motorvoertuigen (respectievelijk $N = 46.570$ en $N = 134.173$).

Afbeelding 4.1. Aantal conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer bij verschillende verkeerslichtenregeling als functie van het tijdstip van de dag, berekend per kwartier. Aantallen zijn bepaald over de gehele dataset, m.u.v. Assen.



Om een indruk te krijgen van verschillen tussen conflictaantallen bij verschillende verkeerslichtenregeling is het nodig om te corrigeren voor expositie. Het 'conflictrisico' is daarom berekend als het aantal conflicten gedeeld door het product van het aantal fietsers en het aantal motorvoertuigen. Aan deze typen verkeersdeelnemers zijn machtsverheffingen met coëfficiënten '1' respectievelijk '0,62' toegekend, zoals die berekend zijn in *Bijlage B*. *Afbeelding 4.2* toont het verloop van het conflictrisico over de dag, apart berekend per verkeerslichtenregeling. Tussen 0:00 en 6:00 is er een hoge mate van fluctuatie in het conflictrisico te zien bij beide vormen van verkeerslichtenregeling. Zeer waarschijnlijk is dit het gevolg van het lage aantal conflicten en de lage verkeersvolumes in deze periode, waardoor een relatief kleine verandering in het aantal conflicten een relatief grote verandering in het berekende conflictrisico tot gevolg heeft. Op kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling lijkt het conflictrisico tussen 0:00 en 6:00 gemiddeld genomen iets hoger te liggen dan gedurende de rest van de dag, dichterbij het conflictrisico van kruispunttakken met deelconflicten. Als de verkeersregelininstallatie in deze periode (op sommige kruispunten) uit heeft gestaan, dan zou dit van een oorspronkelijk conflictvrije regeling de facto een 'regeling' met deelconflicten maken, en voornoemde verschuiving kunnen verklaren. Tussen 7:00 en 24:00 lijkt het conflictrisico hoger te liggen bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Of het verschil tussen een verkeerslichtenregeling met/zonder deelconflicten significant is, zal in *Paragraaf 4.2.3* worden getoetst.

Afbeelding 4.2. Risico op conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer bij verschillende verkeerslichtenregeling, als functie van het tijdstip van de dag. Het conflict risico is berekend over de gehele dataset, m.u.v. Assen. De expositiemaat in het risico is berekend op basis van Model 1b, zoals beschreven in Bijlage B.



4.2.2 Overzicht van conflictsnelheden

Tabel 4.3 toont een overzicht van conflictsnelheden bij conflicten met fietsers.¹⁰ Een significant effect van een Shapiro-Wilk test geeft aan dat deze snelheidsdata niet normaal verdeeld zijn. Daarom zijn de conflictsnelheden van verschillende groepen met non-parametrische tests vergeleken. De conflictsnelheid van motorvoertuigen lag bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten ($Mdn = 15,07$ km/uur) significant lager dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($Mdn = 22,06$ km/uur), $W = 1957785$, $p < 0,001$. Omgekeerd lag de conflictsnelheid van fietsers bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten ($Mdn = 16,86$ km/uur) significant hoger dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($Mdn = 12,33$ km/uur), $W = 676891$, $p < 0,001$. Mogelijk vallen deze effecten te verklaren vanuit het gegeven dat fietsers bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten voorrang hebben, terwijl motorvoertuigen bij een conflictvrije regeling geen fietsers aan horen te treffen en dus door zouden moeten kunnen rijden.

Over alle kruispunttakken – ongeacht verkeerslichtenregeling – was de conflictsnelheid van motorvoertuigen significant lager bij conflicten waar de fietser als eerste arriveerde ($Mdn = 15,06$ km/uur) dan bij conflicten waar het motorvoertuig als eerste arriveerde ($Mdn = 17,34$ km/uur), $W = 2094912$, $p < 0,001$. De conflictsnelheid van fietsers lag daarentegen significant hoger wanneer de fietser als eerste arriveerde ($Mdn = 17,65$ km/uur) ten opzichte van conflicten waar het motorvoertuig als eerste arriveerde ($Mdn = 14,84$ km/uur), $W = 1269863$, $p < 0,001$.



10. Uit een histogram met de conflictsnelheden van fietsers bleek dat een beperkt deel van de fietsers ten tijde van het conflict een snelheid van minder dan 1 km/uur zou hebben gehad. Inspectie van een steekproef van de video's toonde echter aan dat deze fietsers allemaal met een veel hogere snelheid dan 1 km/uur voortbewogen. De getoonde conflictsnelheden van fietsers betreffen daarom zeer waarschijnlijk een (geringe) onderschatting van de werkelijke conflictsnelheden.

Tabel 4.3. Conflictsnelheid bij conflicten met fietsers.
MVT = Motorvoertuig.

Verkeers- lichten- regeling	Aankomstvolgorde (eerste)	N	Snelheid MVT (km/uur)		Snelheid fietser (km/uur)	
			M	Mdn	M	Mdn
Deelconflicten	Fietser	1.406	15,37	14,93	17,63	17,28
	MVT	1.537	15,76	15,26	16,60	16,31
	Alle	2.943	15,58	15,07	17,09	16,86
Conflictvrij	Fietser	92	18,67	17,70	15,98	15,31
	MVT	705	22,07	22,42	13,01	11,67
	Alle	797	21,68	22,06	13,35	12,33

4.2.3 Analyse geaggregeerd op kwartierniveau

De resultaten van de geteste regressiemodellen (zie *Paragraaf 3.3.2*) zijn beschreven in *Tabel 4.4*. De regressiecoëfficiënten voor motorvoertuig-intensiteit (β_{MVT}) en fietser-intensiteit (β_{fiets}) zijn nagenoeg identiek in alle modellen. In Model 2b vertoont de predictor ‘oversteeklengte’ een significant effect ($\beta_{\text{OL}} = -0,30$, $SE = 0,14$, $p < 0,05$), wat wil zeggen dat volgens dit model het aantal conflicten significant lijkt af te hangen van de oversteeklengte. In het beter verklarende Model 3 (i.e. met een lagere AIC-waarde) zien we echter dat *oversteeklengte* niet langer een significante voorspeller is ($p = 0,095$). De predictor ‘verkeerslichtenregeling’ lijkt (een deel van) de variantie in de data dus beter te verklaren dan de predictor ‘oversteeklengte’. Nadere inspectie van Model 3 leert dat de regressiecoëfficiënt voor fietser-intensiteit niet significant afwijkt van de waarde ‘1’. Daarom is een variant opgesteld (Model 3_offset), waarbij deze regressiecoëfficiënt een vaste (offset) waarde van ‘1’ heeft gekregen. De AIC-waarde van Model 3_offset is lager dan die van het oorspronkelijke Model 3 en geeft dus de beste fit.

Uit significante effecten in Model 3_offset blijkt:

- Gecorrigeerd voor expositie, zijn er bij *verkeerslichtenregelingen* met deelconflicten significant meer conflicten gevonden dan bij *verkeerslichtenregelingen* met een conflictvrije regeling ($\beta_{\text{DC}} = 1,12$, $SE = 0,29$, $p < 0,001$), en wel een factor 3,08 meer.¹¹
- Een verdubbeling van het aantal overstekende fietsers leidt tot een verdubbeling van het aantal conflicten ($\beta_{\text{fiets}} = 1$).
- Een verdubbeling van het aantal rechts afslaande motorvoertuigen (i.e., een toename van 100%) leidt tot een 53,7% toename in het aantal conflicten ($\beta_{\text{MVT}} = 0,62$, $SE = 0,042$, $p < 0,001$).
- In alle gevallen gaat het hier om zogenaamde hoofdeffecten (interactie-effecten komen enkel voor in Model 4, waarvan de fit op de data minder goed was). Het gevonden effect voor *verkeerslichtenregeling* is dus van toepassing ongeacht de oversteeklengte.

Voor deze analyse zijn data (uit alle kwartieren) van 24 uur aan metingen gebruikt, terwijl eerder bleek dat de meeste conflicten overdag plaatsvinden (zie *Afbeelding 4.1*). In de geteste regressiemodellen bevatte 47% van alle kwartieren dan ook géén conflicten. Om te zien of dat invloed had op de gevonden relatie, is Model 3_offset opnieuw gefit met een dataset op het tijdsinterval 6:00-20:00, waardoor het aantal kwartieren zonder conflicten werd teruggedrongen tot 29%. De regressiecoëfficiënten en bijbehorende significantie veranderden echter niet noemenswaardig, zodat we konden blijven uitgaan van de 24-uursdata.



11. De regressiecoëfficiënt voor verkeerslichtenregeling is gemodelleerd in het logaritmische domein. Vertaald naar het lineaire domein komt dit erop neer dat er bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten, gecorrigeerd voor expositie, een factor 3,08 meer conflicten zijn gevonden.

Tabel 4.4. Generalized linear mixed models (GLMM's) uitgevoerd op fiets-motorvoertuig-conflicten. AIC = Akaike Information Criterion. Regressiecoëfficiënten: MVT = Intensiteit motorvoertuigen, Fiets = Intensiteit fietsers, DC = Verkeerslichtenregeling met deelconflicten (t.o.v. een conflictvrije regeling), OL = Oversteeklengte, - = n.v.t., * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.

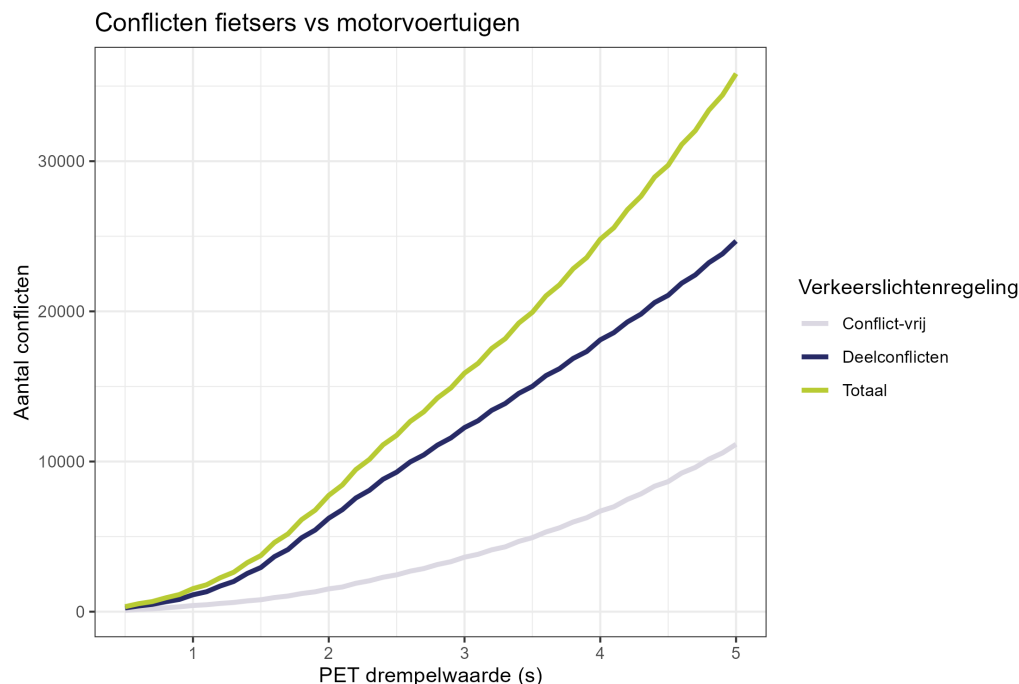
Model		AIC	β_{MVT}	β_{fiets}	β_{DC}	β_{OL}	$\beta_{\text{DC} \times \text{OL}}$
0	Intercept	6972,0	-	-	-	-	-
1	Expositie	3880,1	0,64***	0,97***	-	-	-
2a	Verkeerslichten-regeling	3869,8	0,66***	0,96***	1,32***	-	-
2b	Oversteeklengte	3878,2	0,64***	0,97***	-	-0,30*	-
3	Hoofdeffecten	3869,2	0,65***	0,96***	1,18***	-0,18	-
3_offset	Hoofdeffecten	3868,0	0,62***	1 (offset)	1,12***	-0,18	-
4	Interactie-effecten	3870,8	0,65***	0,96***	-0,062	-0,23	0,16

4.2.4 Gevoeligheidsanalyse

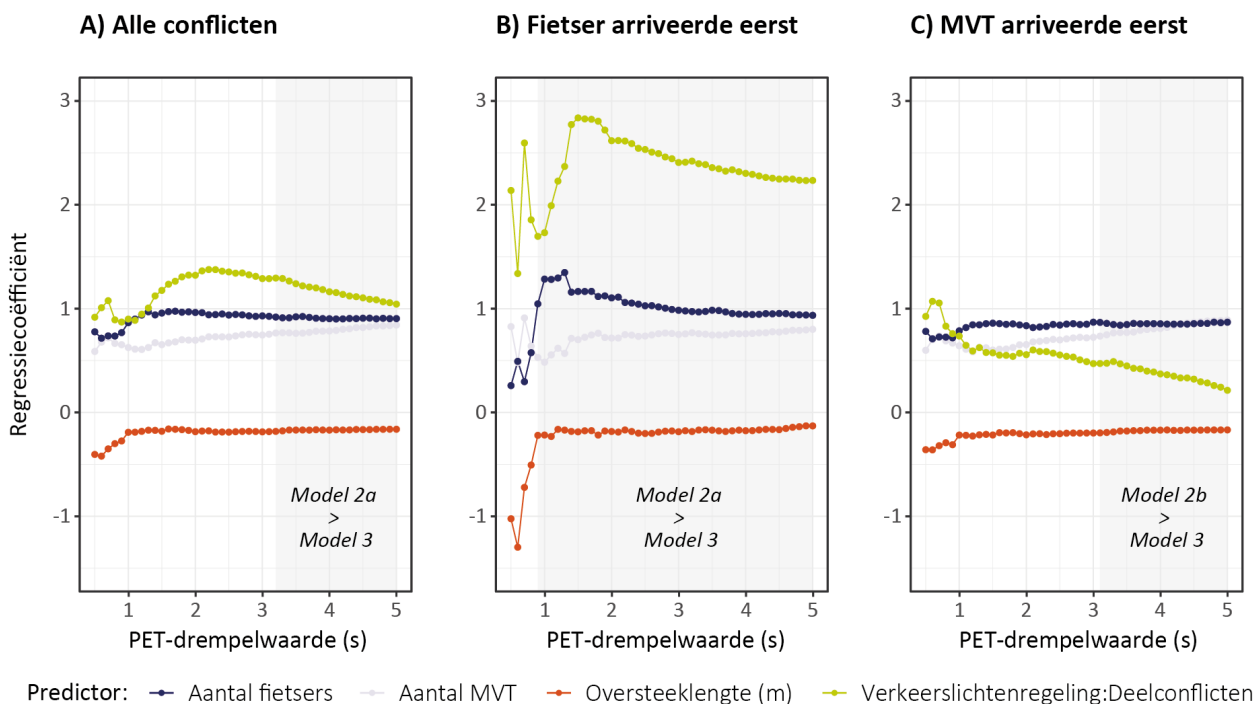
Wat we als 'conflict' beschouwen wordt bepaald door de gekozen drempelwaarde van de post-encroachment time (PET). In de voorgaande analyses was deze 1,5 s: fiets-motorvoertuig-interacties zijn als conflict geteld als een van deze kruisende verkeersdeelnemers in 1,5 s of minder het punt bereikte waar de eerst aangekomen verkeersdeelnemer net nog was.

In deze paragraaf verkennen we hoe gevoelig de gevonden relatie (zie *Paragraaf 4.2.3*) is voor de keuze van deze drempelwaarde. De PET-drempelwaarde is daartoe systematisch gemanipuleerd tussen 0,5 s en 5,0 s met een stapgrootte van 0,1 s. Door de PET-drempelwaarde te verhogen neemt het aantal geïdentificeerde conflicten logischerwijs toe. Zo omvat een PET-drempelwaarde van 2,0 s conflicten met een PET-waarde tot 1,5 s (i.e., de oorspronkelijke analyse) en daarbij óók conflicten met een PET-waarde tussen 1,5 s en 2,0 s. De cumulatieve distributie in *Afbeelding 4.3* laat zien dat er geen discontinuïteiten (e.g., plotselinge sprongen) zijn in de toename van het aantal conflicten als functie van de PET-drempelwaarde. Verder valt op dat deze toename exponentieel is voor kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling, en tot een PET-drempelwaarde van 2 s ook voor verkeerslichtenregelingen met deelconflicten. Dit betekent dat er bij hogere PET-drempelwaarden naar verhouding meer conflicten met een hoge PET-waarde zullen zijn dan conflicten met een lage PET-waarde.

Afbeelding 4.3. Toename van het aantal geïdentificeerde conflicten als functie van de keuze voor een PET-drempelwaarde (stapgrootte 0,1 s).



Voor PET-drempelwaarden tussen 0,5 s en 5,0 s is bekeken welk model het beste de data beschrijft, dus de laagste AIC-waarde heeft. Aangezien niet op voorhand zeker was hoe de regressiecoëfficiënten – ook niet die van het aantal fietsers – af zouden hangen van de PET-drempelwaarde, is ervoor gekozen om β_{fiets} niet ‘vast’ te zetten op waarde ‘1’ (zoals het geval was in Model 3_offset). Tussen een PET-drempelwaarde van 0,5 s en 3,1 s blijkt Model 3 de laagste AIC-waarde te hebben en tussen 3,2 en 5,0 was dit Model 2a (met Model 3 hier dichtbij). Over het algemeen lijkt Model 3 dus de beste fit op de data te leveren. De regressiecoëfficiënten van de 46 versies van Model 3 (één bij iedere PET-drempelwaarde) zijn weergegeven in **Paneel A** van Afbeelding 4.4.



Afbeelding 4.4. Effect van PET-drempelwaarde op de regressiecoëfficiënten van Model 3 voor alle conflicten (Paneel A) en conflicten waar de fietser of het motorvoertuig (MVT) het eerst arriveerde (Panelen B en C). Elk punt representeert een aparte fit van Model 3, uitgevoerd op de conflictdata bij de betreffende PET-drempelwaarde. Grijze vlakken geven aan waar een ander regressiemodel een betere fit leverde. In alle gevallen lag Model 3 hier qua fit dichtbij.

In *Paneel A* valt het volgende op:

- De regressiecoëfficiënten veranderen niet van teken (van positief naar negatief of vice versa), wat betekent dat de 'richting' van het effect (van *verkeerslichtenregeling*, *oversteeklengte*, *intensiteit*) gelijk blijft.
- De regressiecoëfficiënten veranderen wel van grootte, met andere woorden zijn in meer of mindere mate gevoelig voor de keuze van de PET-drempelwaarde.
- De regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* is significant¹² bij alle PET-drempelwaarden, behalve bij 0,5 s ($p = 0,070$). De regressiecoëfficiënten van *verkeerslichtenregeling* schommelen tussen 0,87 (factor 2,39) en 1,38 (factor 3,96). Er lijkt een 'lokaal minimum' te liggen bij een PET-drempelwaarde rondom 1 s: bij zowel een kleinere als een grotere PET-drempelwaarde neemt de regressiecoëfficiënt toe. Met andere woorden: wanneer fiets-motorvoertuig-interacties met een PET-waarde rondom 1 s en lager als conflict worden gezien, is het effect van de *verkeerslichtenregeling* minder groot (nl. een factor van ca. 2,4) dan wanneer de drempelwaarde strenger (minder conflicten) of juist minder streng wordt (meer conflicten). In die gevallen is het effect van de *verkeerslichtenregeling* groter.
- De regressiecoëfficiënt van *oversteeklengte* is significant bij PET-drempelwaarden kleiner dan 1,0 s. De regressiecoëfficiënt varieert tussen -0,42 en -0,16 (factor 0,66 tot 0,85 bij 1 m toename in lengte).
- De regressiecoëfficiënten van 'aantal fietsers' en 'aantal motorvoertuigen' zijn bij iedere PET-drempelwaarde significant.¹³
- De relatie tussen *verkeersintensiteit* en aantal conflicten lijkt afhankelijk te zijn van de PET-drempelwaarde. De regressiecoëfficiënt van het aantal motorvoertuigen fluctueert tussen 0,59 en 0,84; die van het aantal fietsers tussen 0,71 en 0,98. De beide curven lijken in *Paneel A* min of meer gespiegeld te zijn, wat zou inhouden dat een toename van de regressiecoëfficiënt van het aantal fietsers gepaard gaat met een afname van de regressiecoëfficiënt van het aantal motorvoertuigen, en vice versa. Met andere woorden: wanneer het aantal conflicten sterker samenhangt met het aantal fietsen, hangt het minder sterk samen met het aantal motorvoertuigen.

Discontinuïteiten en/of 'lokale minima' in coëfficiënten van regressiemodellen kunnen in theorie veroorzaakt worden doordat twee datasets van wezenlijk verschillende aard zijn gecombineerd. In een poging het lokale minimum in de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* (rond een PET-drempelwaarde van 1 s) te verklaren, is de conflictdataset opgesplitst. Er zijn twee sets conflicten onderscheiden: die waarbij de fietser als eerste op het conflictvlak arriveerde, en die waarbij het motorvoertuig het eerste was. Verkend is of bij de conflicten met verschillende aankomstvolgorde de regressiecoëfficiënten van Model 3 nu ook verschillend verlopen met de PET-drempelwaarde. Het resultaat van deze verkenning is te zien in **Panelen B en C** van *Afbeelding 4.4*, waarbij een aantal zaken opvalt:

- Wederom veranderen de regressiecoëfficiënten niet van teken. In *Paneel B* (de fietser arriveert eerst) zien we dat de regressiecoëfficiënt voor het aantal fietsers zowel hoger als lager is dan de waarde '1'. Dit is opvallend, aangezien uit ongevalstudies bekend is dat de regressiecoëfficiënt voor verkeersintensiteit doorgaans *lager* ligt dan de waarde '1' (Hesjevoll & Elvik, 2016).
- In *Paneel B* (fietser arriveerde eerst) geldt dat de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* overall significant¹⁰ is, behalve bij een PET-drempelwaarde van 0,6 s ($p = 0,086$). De regressiecoëfficiënt van *oversteeklengte* is significant tussen 0,5 en 0,8 s en niet daarbuiten.¹⁴



12. De significantie van regressiecoëfficiënten is niet af te lezen uit *Afbeelding 4.4*, maar volgt uit de modelfits die met de verschillende PET-drempelwaarden zijn gedaan.

13. Voor de regressiecoëfficiënten 'Aantal fietsers' en 'Aantal MVT' betekent een significant effect hier een significante afwijking t.o.v. waarde '0'.

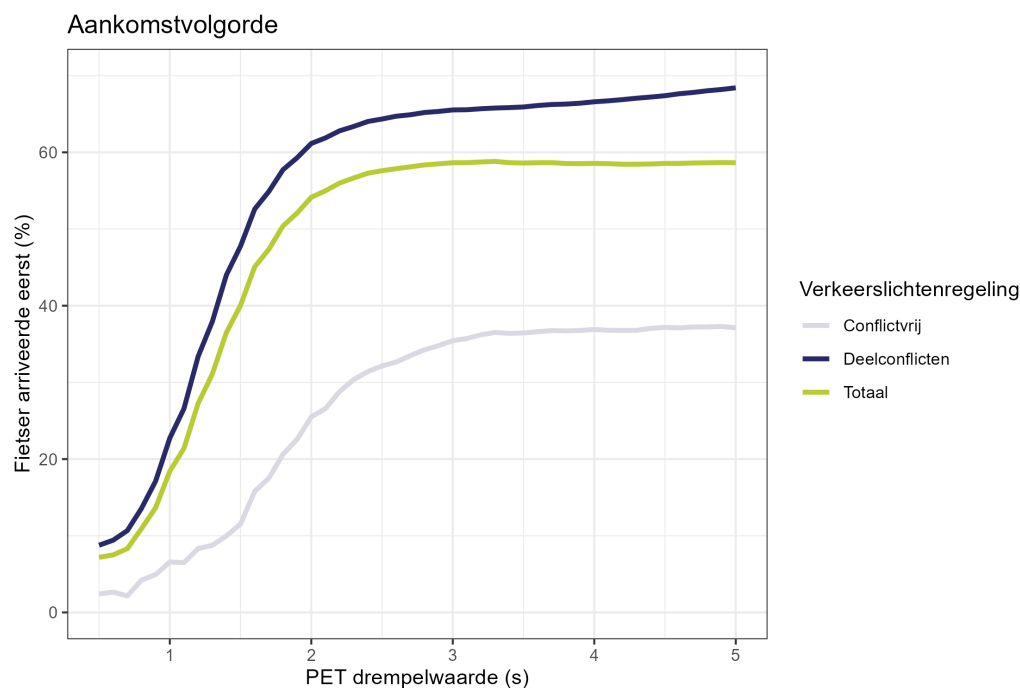
14. Dit verklaart waarom bij hogere PET-drempelwaarden Model 2a (zonder oversteeklengte) een betere fit geeft dan Model 3.

De regressiecoëfficiënten voor het aantal fietsers en motorvoertuigen zijn ook overal significant, behalve bij PET-drempelwaarden tussen 0,5 en 0,7 s (p veelal $> 0,1$).

- In *Paneel C* (motorvoertuig arriveerde eerst) zijn de regressiecoëfficiënten voor het aantal fietsers en motorvoertuigen bij alle PET-drempelwaarden significant. Die van *verkeerslichtenregeling* en *oversteeklengte* zijn tussen 0,5 s en 2,0 s per predictor soms wel significant ($p < 0,05$) en soms niet significant ($0,05 \leq p < 0,07$), afhankelijk van de PET-drempelwaarde. Deze bevinding suggereert dat kleine veranderingen in de gekozen PET-drempelwaarde een grote invloed kunnen hebben op de effecten die vervolgens worden gerapporteerd. Vanaf 2,4 s tot aan 5,0 s zijn beide regressiecoëfficiënten niet significant ($p > 0,1$).
- Bij conflicten waarbij de fietser als eerste arriveerde (*Paneel B*) is de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* beduidend hoger (β tussen 1,34 en 2,84, overeenkomend met een factor 3,81 tot 17,07) dan bij conflicten waar het motorvoertuig als eerste arriveerde (*Paneel C*) en ook hoger dan wanneer alle conflicten worden betrokken (*Paneel A*). Dit houdt in dat de conflicten waarbij de fietser als eerste arriveerde sterker samenhangen met *verkeerslichtenregeling* dan de andere conflicten.
- Wat de vorm van de curven betreft, vertoont het verloop van de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* als functie van de PET-drempelwaarde in *Paneel B* (fietser arriveerde eerst) overeenkomsten met die in *Paneel A*: een aanvankelijke daling, gevolgd door een sterke stijging, en boven de 2,0 s weer een daling. Daarentegen is in *Paneel C* (motorvoertuig arriveerde eerst) enkel een daling van deze regressiecoëfficiënt te zien, behalve bij de laagste PET-drempelwaarden.

De bevindingen op basis van *Afbeelding 4.4* zijn een indicatie dat er bij verschillende aankomstvolgordes sprake zou kunnen zijn van verschillende typen conflicten, met name wanneer het om het effect van *verkeerslichtenregeling* gaat: het ene type conflict hangt sterker samen met de verkeerslichtenregeling (hogere regressiecoëfficiënten) dan het andere. *Afbeelding 4.5* biedt een mogelijkheid voor verdere duiding. De lijnen in *Afbeelding 4.5* geven aan in hoeveel procent van de conflicten de fietser als eerste op het conflictvlak arriveerde, afhankelijk van wat als conflict wordt beschouwd op basis van de gekozen PET-drempelwaarde. De afbeelding toont verschillende lijnen voor takken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling en verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Ongeacht de PET-drempelwaarde lijken fietsers vaker als eerste bij het conflictpunt te arriveren (en dus voor een motorvoertuig uit te komen) wanneer de verkeerslichtenregeling deelconflicten mogelijk maakt (de donkerblauwe lijn ligt altijd boven de grijze lijn). Verder valt op te maken dat naarmate de PET-drempelwaarde kleiner wordt (en het dus gaat over conflicten waarbij de conflictpartners elkaar steeds dichter passeren), het aandeel fietsers dat als eerste arriveert ook afneemt. Met andere woorden, bij lage PET-waarden zijn het steeds vaker de motorvoertuigen die als eerste arriveren en (net) voor de fietser langs kruisen. Bij hogere PET-drempelwaarde (waarbij steeds meer interacties als conflict zijn geteld) lijkt er sprake te zijn van 'afvlakking': het aandeel fietsers dat eerste arriveerde hangt nauwelijks meer af van de PET-drempelwaarde.

Afbeelding 4.5. Percentage fietsers dat als eerste bij het conflictpunt arriveerde als functie van PET-drempelwaarde en verkeerslichtenregeling. Het totaal ligt dichterbij verkeerslichtenregeling met deelconflicten, omdat daar de meeste conflicten gevonden zijn.



4.3 Voetganger-motorvoertuig-conflicten

4.3.1 Overzicht van conflictaantallen

Over de week zijn er in totaal zijn 1.197 conflicten tussen voetgangers en motorvoertuigen geteld, zie *Tabel 4.5*. Gemiddeld betrof het 37 conflicten ($SD = 45$) bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling en 96 conflicten ($SD = 149$) bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten.

Net als bij conflicten met fietsers, was ook bij het merendeel van de conflicten met voetgangers de tegenpartij een personen- of bestelauto¹⁵ ($N = 1.092$; 91,2%). Overige conflictpartners waren motorfietsen ($N = 56$; 4,7%), vrachtauto's ($N = 35$; 2,9%) en bussen ($N = 14$; 1,2%). Deze percentages lijken sterk op die van fietser-motorvoertuig-conflicten. Gezien de verhoudingen zal er in verdere analyses niet gestratificeerd worden naar motorvoertuigtype.



15. Het algoritme waarmee weggebruikers werden geclassificeerd maakte geen betrouwbaar onderscheid tussen personenauto's (m.n. station wagons en SUV's) en bestelauto's. Om die reden zijn personen- en bestelauto's in de verdere analyse als één groep beschouwd.

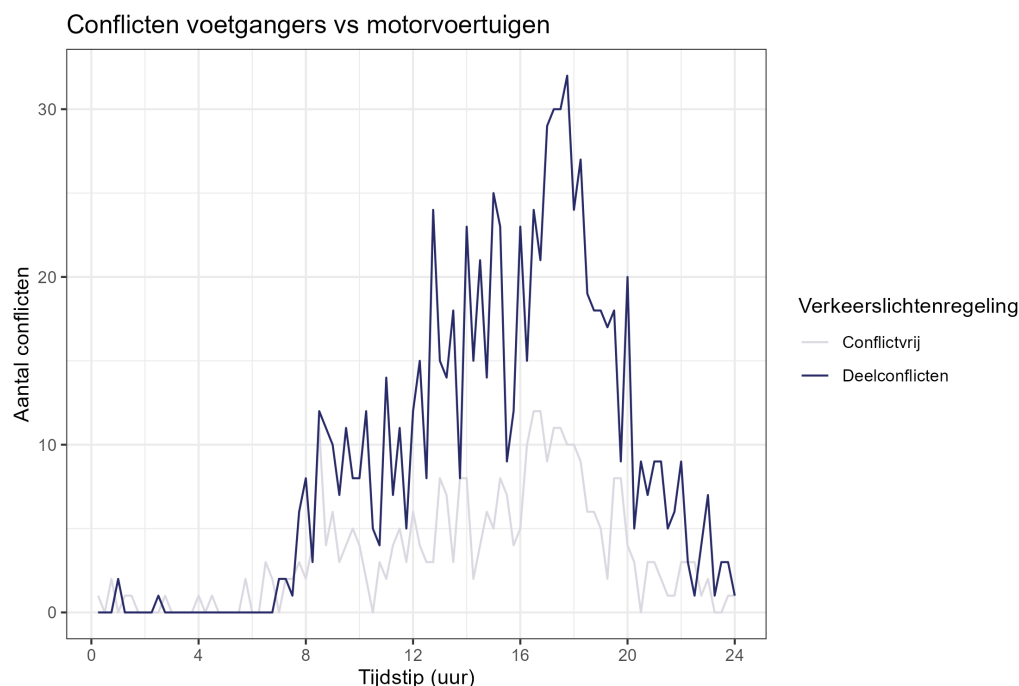
Tabel 4.5. Aantal conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer o.b.v. 7 dagen waarneming. D = Deelconflicten, CV = Conflictvrij, MVT = Motorvoertuigen, '-' = Niet van toepassing.

Stad	Tak ID	Verkeers- lichten- regeling	Oversteek- lengte (m)	Intensiteiten		Voetganger-MVT-conflicten		
				Voetgangers	MVT	Alle	Voetg. eerst	MVT eerst
Amsterdam	1	CV	10,95	1.217	2.665	1	1	0
Amsterdam	2-1	D	5,45	19.756	14.121	474	106	368
Amsterdam	2-2	D	8,05	28.971	1.763	144	89	55
Amsterdam	3-1	CV	7,25	7.946	18.577	127	7	120
Amsterdam	3-2	D	8,85	2.395	7.208	16	5	11
Den Haag	4-1	D	7,6	8.824	4.636	39	19	20
Den Haag	4-2	D	6,75	2.830	4.686	20	3	17
Den Haag	4-3	D	6,95	2.771	3.478	14	8	6
Den Haag	4-4	CV	7,45	4.635	24.168	51	1	50
Eindhoven	5-1	CV	7,25	4.896	4.835	48	29	19
Eindhoven	5-2	D	7,6	6.109	7.503	91	53	38
Eindhoven	5-3	CV	9,55	1.279	7.942	2	0	2
Eindhoven	6	D	6,6	1.955	2.634	64	56	8
Eindhoven	7	CV	6,4	932	18.504	18	2	16
Rotterdam	8	CV	6,2	15.793	11.667	86	19	67
Zaandstad	9	CV	9,55	887	35.047	2	1	1
Assen	10-1	CV	4,7	682	10.768	0	0	0
Assen	10-2	D	8,4	32	541	0	0	0
Totaal	-	-	-	111.910	180.743	1.197	399	798

In totaal arriveerde bij 399 (33,3%) van de conflicten de voetganger als eerste (i.e., het motorvoertuig passeerde áchter de voetganger) en arriveerde bij 798 (66,7%) van de conflicten het motorvoertuig als eerste (i.e., de voetganger passeerde áchter het motorvoertuig). Een chi-kwadraattoets geeft aan dat deze verdeling in aankomstvolgorde significant verschilt van die bij fietser-motorvoertuig-conflicten ($X^2(1) = 17,03, p < 0,001$). Met andere woorden, fietsers gaan bij conflicten relatief vaker voor een motorvoertuig langs dan voetgangers. Op beide kruispunttakken in Assen zijn geen conflicten tussen voetgangers en motorvoertuigen gevonden en met name op tak 10-2 is het aantal voetgangers relatief laag. Gezien de lage aantallen en de atypische ligging (zie ook *Paragraaf 4.2.1*) zijn de betreffende kruispunttakken niet meegenomen in de verdere analyse.

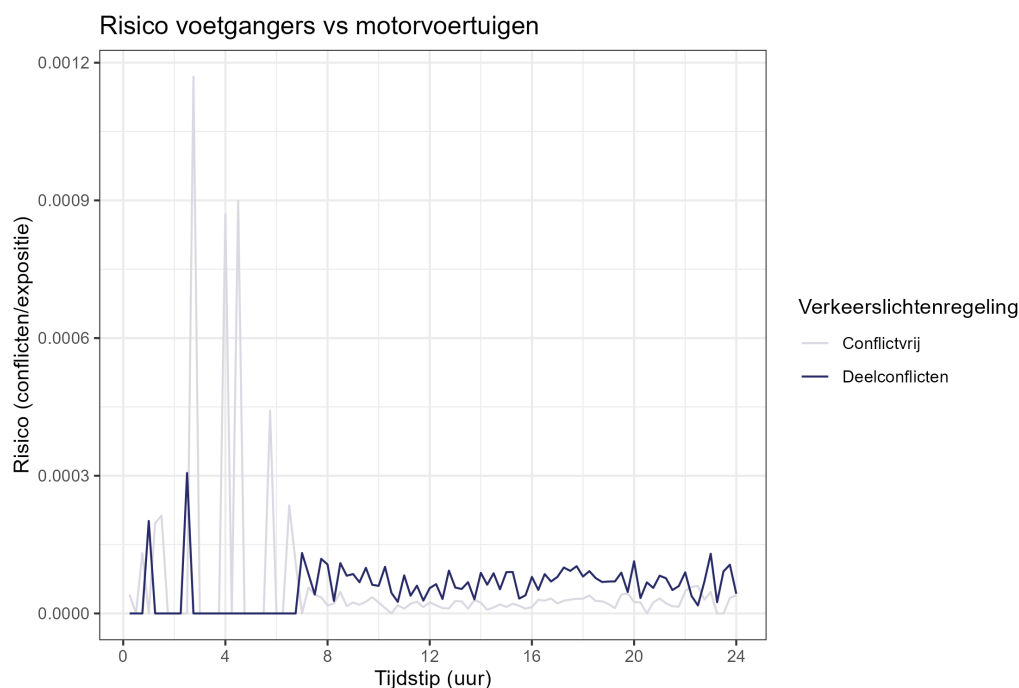
Verspreid over de dag vinden ook bij voetgangers de meeste conflicten tussen 8:00 en 20:00 plaats, zie *Afbeelding 4.6*. Bij kruispunttakken met deelconflicten is een duidelijke piek in de avondspits te zien. Bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling komt ook duidelijk een piek in de ochtendspits naar voren. In absolute zin zijn er meer conflicten bij kruispunttakken met deelconflicten ($N = 862$) dan bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($N = 335$), maar ook zijn er meer voetgangers (respectievelijk $N = 73.643$ en $N = 38.267$).

Afbeelding 4.6. Aantal conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer bij verschillende verkeerslichtenregeling als functie van het tijdstip van de dag, berekend per kwartier. Aantallen zijn bepaald over de gehele dataset, m.u.v. Assen.



Het ‘conflictrisico’ is berekend als het aantal conflicten gedeeld door het product van het aantal voetgangers en het aantal motorvoertuigen. Aan deze typen verkeersdeelnemers zijn machtsverheffingen met coëfficiënten ‘1’ respectievelijk ‘0,79’ toegekend zoals die berekend zijn in Bijlage B. Afbeelding 4.7 toont het verloop van het conflictrisico over de dag, apart berekend per verkeerslichtenregeling. Het verloop van conflictrisico over de dag is vergelijkbaar met dat van fietser-motorvoertuig-conflicten: tussen 0:00 en 6:00 is er veel fluctuatie (wederom verklaarbaar vanuit een laag aantal of zelfs het ontbreken van conflicten en lage intensiteiten) en tussen 7:00 en 24:00 lijkt het conflictrisico hoger te liggen bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Hierop zal in Paragraaf 4.3.3 een statistische toets worden uitgevoerd.

Afbeelding 4.7. Risico bij conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer bij verschillende verkeerslichtenregeling, als functie van het tijdstip van de dag. Het conflictrisico is berekend over de gehele dataset, m.u.v. Assen. De expositiemaat in het risico is berekend op basis van Model 1b, zoals beschreven in Bijlage B.



4.3.2 Overzicht van conflictsnelheden

Tabel 4.6 toont een overzicht van conflictsnelheden bij conflicten met voetgangers.¹⁶ Net als bij conflicten met fietsers blijken de data op basis van een Shapiro-Wilk test niet normaal verdeeld te zijn en is er gebruik gemaakt van non-parametrische tests. De conflictsnelheid van motorvoertuigen lag bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten ($Mdn = 13,86$ km/uur) significant lager dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling ($Mdn = 19,52$ km/uur), $W = 215256$, $p < 0,001$. Ook bij voetgangers was dit het geval (Mdn deelconflicten = $5,39$ km/uur, Mdn conflictvrij = $5,50$ km/uur), $W = 155745$, $p < 0,05$. Waar fietsers bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling dus langzamer oversteken, steken voetgangers juist sneller over t.o.v. een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Dit kan niet vanuit voorrangsaafhandeling worden verklaard zoals bij fietser-motorvoertuig-conflicten. Mogelijk steken voetgangers bij roodlichtnegatie (bij een conflictvrije regeling) sneller over.

Over alle kruispunttakken – ongeacht verkeerslichtenregeling – was de conflictsnelheid van het motorvoertuig vergelijkbaar bij conflicten waar de voetganger als eerste arriveerde ($Mdn = 15,44$ km/uur) en bij conflicten waar het motorvoertuig als eerste arriveerde ($Mdn = 15,54$ km/uur), $W = 169263$, $p = 0,0074$. Bij de conflictsnelheid van voetgangers is eveneens geen significant effect gevonden van aankomstvolgorde ($W = 153752$, $p = 0,33$).

De conflictsnelheid van motorvoertuigen verschilt significant tussen conflicten met fietsers ($Mdn = 16,18$ km/uur) en conflicten met voetgangers ($Mdn 15,52$ km/uur), $W = 2416740$, $p < 0,001$, eveneens over alle kruispunttakken gerekend, en ongeacht verkeerslichtenregeling. Het verschil ($0,66$ km/uur) is echter te klein om te spreken van een effect voor de verkeersveiligheid.

Tabel 4.6. Conflictsnelheid bij conflicten met voetgangers.
MVT = Motorvoertuig.

Verkeers- lichten- regeling	Aankomstvolgorde (eerste)	N	Snelheid MVT (km/uur)		Snelheid voetganger (km/uur)	
			M	Mdn	M	Mdn
Deelconflicten	Voetganger	339	15,70	15,47	5,41	5,42
	MVT	523	14,41	13,10	5,59	5,37
	Alle	862	14,92	13,86	5,52	5,39
Conflictvrij	Voetganger	60	15,72	15,29	6,21	6,08
	MVT	275	22,05	21,37	5,91	5,41
	Alle	335	20,92	19,52	5,97	5,50

4.3.3 Analyse geaggregeerd op kwartierniveau

De resultaten van de geteste regressiemodellen zijn beschreven Tabel 4.7. De regressiecoëfficiënten voor motorvoertuig-intensiteit (β_{MVT}) en voetganger-intensiteit (β_{VG}) zijn net als bij fietser-motorvoertuigconflicten vergelijkbaar tussen alle modellen. Model 3 heeft van de oorspronkelijk geteste modellen de laagste AIC-waarde en dus de beste fit op de data. De regressiecoëfficiënt voor voetganger-intensiteit blijkt niet significant af te wijken van de waarde '1'. Daarom is de variant Model_offset opgesteld met een vaste waarde (offset) voor deze regressiecoëfficiënt.



16. Uit een histogram van de conflictsnelheid van voetgangers bleek dat een beperkt deel van de voetgangers ten tijde van het conflict een snelheid van minder dan 1 km/uur zou hebben gehad. Inspectie van een steekproef van de video's toonde echter aan dat deze voetgangers allemaal met een (veel) hogere snelheid dan 1 km/uur voortbewogen. De getoonde conflictsnelheden van voetgangers betreffen daarom zeer waarschijnlijk een (geringe) onderschatting van de werkelijke conflictsnelheden.

Model 3_offset heeft algeheel de laagste AIC-waarde en geeft dus de beste fit. Uit Model 3_offset blijkt:

- Gecorrigeerd voor expositie zijn er bij *verkeerslichtenregelingen* met deelconflicten significant meer conflicten gevonden dan bij *verkeerslichtenregelingen* met een conflictvrije regeling ($\beta_{DC} = 0,95$, $SE = 0,37$, $p < 0,01$), en wel een factor 2,59 méér.¹⁷
- Een verdubbeling van het aantal overstekende voetgangers leidt tot een verdubbeling van het aantal conflicten ($\beta_{VG} = 1$).
- Een verdubbeling van het aantal rechts afslaande motorvoertuigen (i.e., een toename van 100%) leidt tot een 72,9% toename in het aantal conflicten ($\beta_{MVT} = 0,79$, $SE = 0,080$, $p < 0,001$).
- Wanneer de *oversteeklengte* 1 m toeneemt, neemt het aantal conflicten met een factor 0,66 af ($\beta_{OL} = -0,42$, $SE = 0,16$, $p < 0,01$).
- In alle gevallen gaat het hier om zogenaamde hoofdeffecten (interactie-effecten komen enkel voor in Model 4, waarvan de fit op de data minder goed was). Het gevonden effect voor *verkeerslichtenregeling* is dus van toepassing ongeacht de oversteeklengte, en het gevonden effect voor *oversteeklengte* is van toepassing ongeacht de *verkeerslichtenregeling*.

De dataset bestaat voor 69% uit kwartieren waarin geen conflicten zijn gevonden. Wanneer de dataset wordt gereduceerd tot het tijdsinterval 6:00-20:00, dan daalt het aantal kwartieren zonder conflicten naar 58%. Herberekening van Model 3_offset levert geen noemenswaardige verandering op in de significantie van de regressiecoëfficiënten en de grootte van de regressiecoëfficiënten verandert niet meer dan 10%. Daarom zal, net als voor fietser-motorvoertuig-conflicten, de volledige dataset van 24 uur gebruikt blijven worden.

Tabel 4.7. Generalised linear mixed models (GLMMs) uitgevoerd op voetganger-motorvoertuig-conflicten. AIC = Akaike Information Criterion. Regressiecoëfficiënten: MVT = Intensiteit motorvoertuigen, VG = Intensiteit voetgangers, DC = Verkeerslichtenregeling met deelconflicten (t.o.v. een conflictvrije regeling), OL = Oversteeklengte, - = n.v.t., * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.

Model		AIC	β_{MVT}	β_{VG}	β_{DC}	β_{OL}	$\beta_{DC \times OL}$
0	Intercept	3323,2	-	-	-	-	-
1	Expositie	2273,0	0,76***	1,06***	-	-	-
2a	Verkeerslichten-regeling	2268,4	0,81***	1,02***	1,17**	-	-
2b	Oversteeklengte	2267,3	0,74***	1,04***	-	-0,49**	-
3	Hoofdeffecten	2263,6	0,79***	1,00***	0,95*	-0,42**	-
3_offset	Hoofdeffecten	2261,6	0,79***	1 (offset)	0,95**	-0,42**	-
4	Interactie-effecten	2265,0	0,80***	0,99***	-0,87	-0,52*	0,25

4.3.4 Gevoeligheidsanalyse

Net als bij fietser-motorvoertuig-conflicten is de PET-drempelwaarde voor voetganger-motorvoertuig-conflicten gemanipuleerd tussen 0,5 s en 5,0 s met een stapgrootte van 0,1 s. Wat we als 'conflict' beschouwen wordt immers bepaald door deze drempelwaarde. In de voorgaande analyses was deze gesteld op 1,5 s, maar door het model te fitten bij steeds verschillende drempelwaarden, verkennen we hoe gevoelig de gevonden relatie (zie *Paragraaf 4.3.3*) is voor deze keuze.

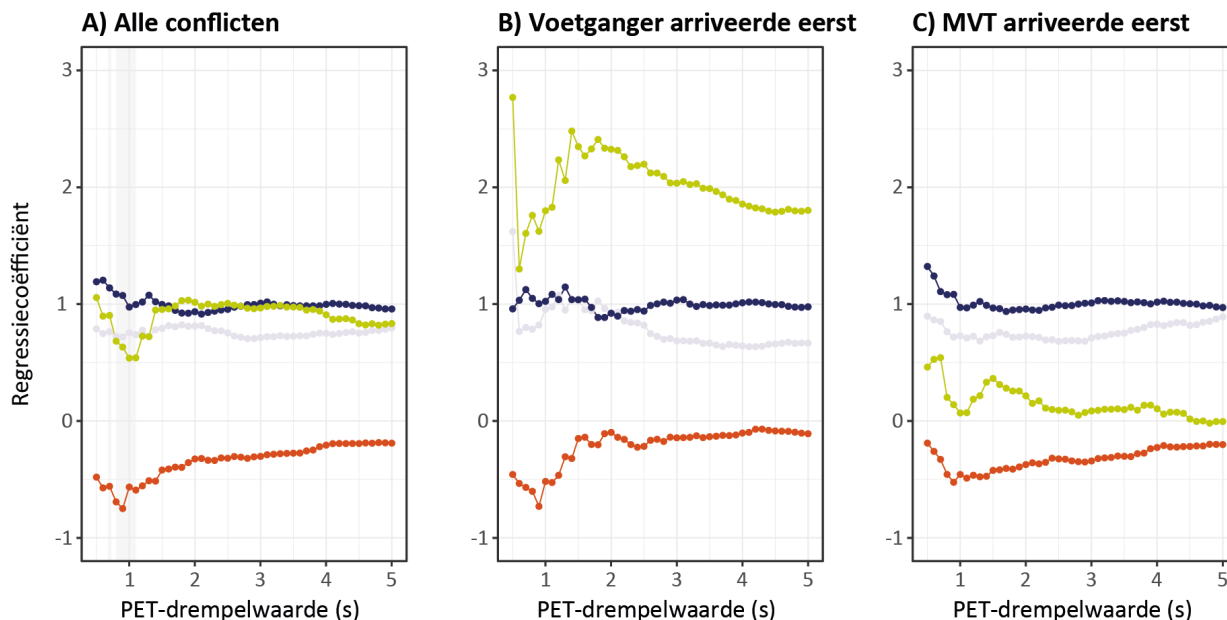


17. De regressiecoëfficiënt voor verkeerslichtenregeling is gemodelleerd in het logaritmische domein. Vertaald naar het lineaire domein komt dit erop neer dat er bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten, gecorrigeerd voor expositie, een factor 2,59 meer conflicten zijn gevonden.

De toename van het aantal conflicten als gevolg van een hogere PET-drempelwaarde vertoont eenzelfde verloop als die van fietser-motorvoertuig-conflicten in *Afbeelding 4.3*, en wordt hier daarom niet meer afgebeeld. Model 3 heeft de laagste AIC-waarde op de meeste PET-drempelwaarden. Model 2b (zonder *verkeerslichtenregeling*) geeft een betere fit voor PET-drempelwaarden 0,6 s en 0,8-1,1 s. Aangezien de AIC-waarde van model 3 hier zéér dicht op zat, en om vergelijkingen te faciliteren, is ervoor gekozen om model 3 aan te houden voor álle PET-drempelwaarden.

In de modellen van **Paneel A** in *Afbeelding 4.8* valt het volgende op:

- De regressiecoëfficiënten voor aantal voetgangers, aantal motorvoertuigen en *verkeerslichtenregeling* zijn bij iedere PET-drempelwaarde positief. De regressiecoëfficiënt voor *oversteeklengte* is bij iedere PET-drempelwaarde negatief. Er vinden dus geen tekenwisselingen plaats, met andere woorden: de 'richting' van het effect blijft gelijk bij alle PET-drempelwaarden.
- Bij PET-drempelwaarden van 1,4 s en hoger is *verkeerslichtenregeling* significant.¹⁸ *Oversteeklengte* is significant bij PET-drempelwaarden tussen 0,7 s en 4,1 s. Tussen 4,1 s en 5,0 s is het effect van *oversteeklengte* niet significant ($0,06 < p < 0,09$).
- De waarde van de regressiecoëfficiënten fluctueert, maar minder dan in de gevoeligheidsanalyse bij fietser-motorvoertuig-conflicten. Voor *verkeerslichtenregeling* schommelt de regressiecoëfficiënt tussen 0,54 en 1,06 (factor 1,71-2,88), en voor *oversteeklengte* tussen -0,75 en -0,19 (factor 0,47-0,83 bij 1 m toename in lengte).
- Het bij fietser-motorvoertuig-conflicten gevonden lokale minimum in de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* (rond 1 s) lijkt ook bij voetganger-motorvoertuig-conflicten voor te komen.
- De regressiecoëfficiënt van het aantal motorvoertuigen fluctueert tussen 0,70 en 0,82; die van het aantal voetgangers tussen 0,92 en 1,20.



Predictor: — Aantal voetgangers — Aantal MVT — Oversteeklengte (m) — Verkeerslichtenregeling: Deelconflicten

Afbeelding 4.8. Effect van PET-drempelwaarde op de regressiecoëfficiënten van Model 3. Elk punt representeert een aparte fit van Model 3, uitgevoerd op de conflictdata bij de betreffende PET-drempelwaarde. In Paneel A geeft het grijze vlak aan waar Model 2b (zonder verkeerslichtenregeling) een betere fit levert. In Paneel B is oversteeklengte niet-significant. Model 2a (zonder oversteeklengte) levert een betere fit. In Paneel C is verkeerslichtenregeling niet-significant. Model 2b (zonder verkeerslichtenregeling) levert een betere fit.



18. De significantie van regressiecoëfficiënten is niet af te lezen uit *Afbeelding 4.8*, maar volgt uit de modelfits die met de verschillende PET-drempelwaarden zijn gedaan.

Bij fiets-motorvoertuig-conflicten leken conflicten waarbij de fietser als eerste bij het conflictpunt arriveerde een ander verloop van regressiecoëfficiënten met de PET-drempelwaarde te hebben dan conflicten waarbij het motorvoertuig als eerste arriveerde. Eenzelfde onderscheid is voor voetganger-motorvoertuig-conflicten aangebracht in **Panelen B en C** van *Afbeelding 4.8*. In *Paneel B* is de regressiecoëfficiënt van *oversteeklengte* bij geen enkele PET-drempelwaarde significant.¹⁶ Dit valt terug te leiden op het gegeven dat Model 2a (zonder *oversteeklengte*) de beste fit op de data geeft. Op vergelijkbare manier is in *Paneel C* de regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* bij geen enkele PET-drempelwaarde significant. Voor deze dataset levert Model 2b (zonder *verkeerslichtenregeling*) de beste fit op de data. Om een vergelijking te kunnen maken met de data waarin alle conflicten voorkomen (*Paneel A*) is ervoor gekozen om toch de resultaten van Model 3 weer te geven. Verder vallen de volgende zaken op:

- De regressiecoëfficiënt van *verkeerslichtenregeling* vertoont qua verloop als functie van de PET-drempelwaarde een vergelijkbare vorm in *Panelen A en B*, maar in *Paneel B* ligt de regressiecoëfficiënt beduidend hoger, met een schommeling tussen 1,30 (factor 3,67) en 2,77 (factor 15,94). De regressiecoëfficiënt ligt in *Paneel C* nog weer lager en is niet significant. Dit houdt in dat het effect van *verkeerslichtenregeling* groter is op de conflicten waarbij de voetganger als eerste arriveerde dan op de andere conflicten.
- De regressiecoëfficiënt van *oversteeklengte* vertoont niet alleen een vergelijkbare vorm in *Panelen A en C*, maar heeft ook een vergelijkbare grootte.
- Met betrekking tot expositie vertoont de regressiecoëfficiënt van het aantal voetgangers een vergelijkbare grootte en verloop in *Panelen A, B en C*. De enige uitzondering hierop is bij een PET-drempelwaarde van 0,5 s in *Paneel B*, waar de regressiecoëfficiënten van het aantal motorvoertuigen een uitschieter naar boven vertoont.

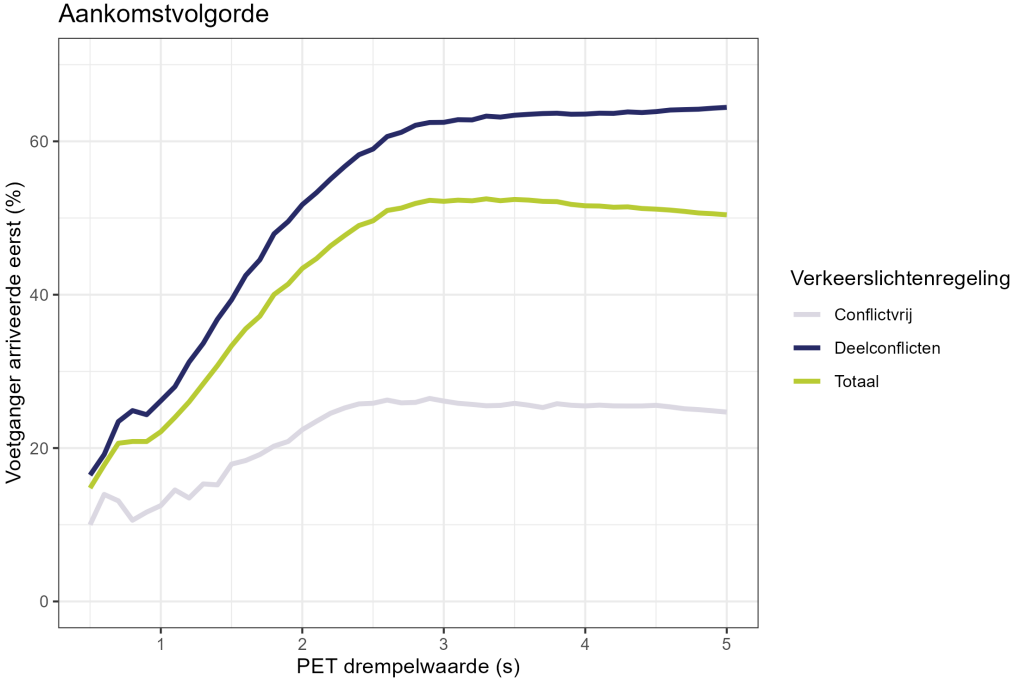
Het gegeven dat aankomstvolgorde invloed heeft op welk model de beste fit op de data levert én op de grootte van de overeenkomstige regressiecoëfficiënten, suggereert dat er ook bij voetganger-motorvoertuig-conflicten sprake is van verschillende typen conflicten. *Afbeelding 4.9* biedt verder zicht op de relatie tussen aankomstvolgorde en *verkeerslichtenregeling*, en hoe deze relatie afhangt van de gekozen PET-drempelwaarde.

De curves tonen overeenkomsten met die van fietser-motorvoertuig-conflicten in *Afbeelding 4.5*: bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten ligt het percentage conflicten waarbij de voetganger als eerste arriveerde structureel hoger, bij een kleinere PET-drempelwaarde neemt het percentage af, en bij hogere PET-drempelwaarden lijkt er sprake te zijn van afvlakking. Er zijn echter ook verschillen. Ten eerste werd in *Paragraaf 4.3.1* geconstateerd dat fietsers bij conflicten relatief vaker (40,1%) als eerste bij een conflict arriveren dan voetgangers (33,3%). Dit was bepaald voor alle conflicten (dus ongeacht aankomstvolgorde) en bij een PET-drempelwaarde van 1,5 s. Echter, wanneer we de zwarte lijnen (alle conflicten) in *Afbeelding 4.5* en *Afbeelding 4.9* beschouwen bij een PET-drempelwaarde kleiner dan 1,2 s, dan is het aandeel voetgangers dat als eerste bij een conflict arriveerde juist hoger dan fietsers.¹⁹ Kortom, voetgangers lijken relatief vaker *vlak voor* (met een kleine PET-waarde) een auto over te steken dan fietsers, ofwel motorvoertuigen kiezen (bewust of noodgedwongen) een kleinere passeerafstand achter voetgangers langs dan achter fietsers langs. Ten tweede lijkt de afvlakking in percentage bij conflictvrije verkeerslichtenregeling eerder in te zetten bij conflicten met voetgangers (rond een PET-drempelwaarde van 2,5 s) dan bij conflicten met fietsers (rond 3,5 s), waarna er bij conflicten met voetgangers een lager plateau (rond 22%) wordt bereikt dan bij conflicten met fietsers (rond 38%).



19. Voor verkeerslichtenregeling met deelconflicten geldt deze bevinding eveneens beneden een PET-drempelwaarde 1,2 s. Bij een conflictvrije regeling geldt deze bevinding beneden een PET-drempelwaarde van 1,8 s.

Afbeelding 4.9. Percentage voetgangers die als eerste bij het conflictpunt arriveerden als functie van PET-drempelwaarde en verkeerslichtenregeling. Het totaal ligt dichterbij verkeerslichtenregeling met deelconflicten, omdat hier het meeste conflicten gevonden zijn.



5 Conclusies, discussie en aanbevelingen

Dit hoofdstuk vat de belangrijkste bevindingen samen naar aanleiding van de verkeersveiligheidsbeoordeling (*Paragraaf 5.1*) en naar aanleiding van de conflictanalyse (*Paragraaf 5.2*). Op basis van deze conclusies worden aanbevelingen gedaan voor beleid, de praktijk, en onderzoek (*Paragraaf 5.3*).

5.1 Verkeersveiligheidsbeoordeling

Bij nagenoeg alle kruispunten in de selectie is opgemerkt dat de limieten van 50 km/uur, soms 70 km/uur, te hoog waren gegeven het feit dat voetgangers en fietsers gebruik maken van de kruispunten. Vanuit de principes van een veilige snelheid volgt dat het aanbrengen van snelheidsremmers of het nemen van andere gepaste maatregelen gewenst is om de gereden snelheden op de conflictvlakken van de kruispunten (ongeacht aanrijrichting) omlaag te brengen tot hooguit 30 km/uur. Daar past ook een lagere snelheidslimiet bij.

Bij een aantal kruispunten heeft de beoordeling uitgewezen dat de fietspaden onvoldoende zijn uitgebogen en/of dat er onvoldoende ruimte is voor fietsers om zich veilig op te stellen. Naast deze hoofdbevindingen is ook een aantal andere algemene punten opgemerkt die de verkeersveiligheid in het gedrang kunnen brengen. De belangrijkste zijn: :

- Een aantal kruispunten maakt gebruik van deelconflicten waarbij fietsers en rechts afslaande voertuigen tegelijk groen hebben.
- De voorrang op kruisingen van de fietspaden onderling is niet altijd duidelijk geregeld.
- Door krappe opstelruimtes voor fietsers, stellen fietsers zich vaak op de kruisende fietspaden of trottoirs op.
- Zebra- en andere markeringen worden fout aangebracht of zijn niet aangebracht waar het wel nodig is.
- Verkeersborden met snelheidslimieten en/of komgrensaanduiding ontbreken.
- Bushaltes bevinden zich direct naast fietspaden.
- Zicht en zichtafstanden zijn niet altijd optimaal.

De beoordeling heeft aangetoond dat er bij alle kruispunten verbeteringen mogelijk zijn die de verkeersveiligheid ten goede komt.

5.2 Effecten kruispuntinrichting op conflictfrequentie

Twee onderzoeksvragen van dit project betreffen de effecten van 1) verkeerslichtenregeling en 2) oversteeklengte op de frequentie van conflicten tussen rechts afslaande motorvoertuigen en rechtdoor gaande fietsers of voetgangers. Om dit te onderzoeken zijn camera's geplaatst op kruispunten, waarmee bewegingen van verkeersdeelnemers zijn vastgelegd en conflicten zijn geïdentificeerd. Conflicten zijn met name geïdentificeerd tussen 8:00 en 20:00 en in het merendeel van de conflicten betrof het motorvoertuig een personenauto (91%). Op éénrichtings-fietspaden wordt door 5,2% van de fietsers in de verkeerde richting gefietst. De kans om als spookfietser in

conflict te komen met een motorvoertuig is 1,8 keer zo hoog als voor een fietser die in de juiste oversteekrichting oversteekt.

5.2.1 Verkeerslichtenregeling met deelconflicten gaat gepaard met meer conflicten

Van de oorspronkelijk aangeleverde VRI-kruispunten bevatte ruim de helft takken met deelconflicten. In de uiteindelijke selectie voor het onderzoek is gezorgd voor een 50-50-verdeling over de twee VRI-regelingen. Bij zowel conflicten met overstekende fietsers als met overstekende voetgangers hangt een **verkeerslichtenregeling met deelconflicten samen met significant hogere conflictfrequentie dan een conflictvrije verkeerslichtenregeling**. Algemeen wordt verwacht dat een hogere conflictfrequentie voorspellend is voor een hogere ongevalsfrequentie (Laureshyn et al., 2017). Onze bevinding ligt daarom in lijn met internationaal onderzoek op basis van ongevallen, waaruit blijkt dat een verkeerslichtenregeling die deelconflicten mogelijk maakt, gepaard gaat met meer ongevallen met fietsers en voetgangers dan een conflictvrije verkeerslichtenregeling.

Het effect van *verkeerslichtenregeling* is in eerste instantie vastgesteld bij een PET-drempelwaarde van 1,5 s, wat inhoudt dat interacties als 'conflict' zijn geteld wanneer het tijdsverschil tussen de kruisende verkeersdeelnemers 1,5 s of minder was. Bij fietsers en voetgangers kwam het effect van *verkeerslichtenregeling* overeen met respectievelijk 3,08 en 2,59 keer zoveel conflicten bij een regeling met deelconflicten als bij een conflictvrije regeling. Vanwege het ontbreken van consensus in de literatuur over de te kiezen PET-drempelwaarde, is vervolgens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de PET-drempelwaarde is gemanipuleerd tussen 0,5 s en 5,0 s. Met andere woorden, verkend is of en hoe het effect van *verkeerslichtenregeling* verandert wanneer er voor 'conflicten' een strenger criterium (lagere PET-drempelwaarde) of een minder strenge (hogere PET-drempelwaarde) wordt gehanteerd. De gevoeligheidsanalyse toont aan dat de grootte van het effect van *verkeerslichtenregeling* sterk afhangt van de gekozen PET-drempelwaarde (fietsers: factor 2,39-3,96; voetgangers: factor 1,71-2,88). Ook als er een drempelwaarde van 1,5 s of lager wordt gekozen (zoals aanbevolen in Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018), dan is er tussen 0,5 s en 1,5 s aanzienlijke variatie in de effectgrootte te vinden. Een algemene uitspraak over de grootte van het effect van *verkeerslichtenregeling* valt daarom niet te geven. Wel blijkt uit de gevoeligheidsanalyse dat het effect van *verkeerslichtenregeling* significant is, ongeacht de gekozen PET-drempelwaarde.

Dat er bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten méér conflicten zijn gevonden dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling, betekent niet dat er géén conflicten voorkomen bij een conflictvrije regeling. Integendeel: **gemiddeld is van de conflicten met afslaande motorvoertuigen ongeveer een vijfde (fietsers) tot een kwart (voetgangers) gevonden bij kruispunttakken met een conflictvrije verkeerslichtenregeling**. Of deze conflicten zijn ontstaan als gevolg van roodlichtnegatie of een door congestie vertraagde ontruimingstijd is niet systematisch onderzocht binnen het huidige project. Echter, als onderdeel van tussentijds uitgevoerde kwaliteitscontroles zijn videobeelden bekeken en bleek dat roodlichtnegatie geregeld voorkwam bij fietsers en voetgangers. De snelheid van het motorvoertuig ten tijde van het conflict lag significant hoger bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling dan bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten. Dit is logisch, aangezien motorvoertuigen in het eerste geval geen rechtdoor gaand verkeer aan horen te treffen en in het tweede geval daar voorrang aan moeten verlenen.²⁰ Als de gevonden conflicten een aanrijding waren geweest, dan zou de hogere conflictsnelheid tot een grotere kans op ernstig letsel hebben geleid (SWOV, 2021). De conflictsnelheid lag over het algemeen echter niet zo hoog dat deze tot een dodelijke afloop zou hebben geleid.



20. Het valt niet uit te sluiten dat de snelheid beïnvloed is door (variatie in) de afstand van het oversteekvlak ten opzichte van de kant van de kruisende weg, zie *Bijlage A*. Deze potentiële beïnvloeding is hier niet verder onderzocht.

De gevoeligheidsanalyse van zowel de fietser- als voetganger-motorvoertuig-conflicten resulteerde rond een PET-drempelwaarde van 1 s in een 'lokaal minimum' in het effect van *verkeerslichtenregeling*. In dit lokale minimum is het effect van een verkeerslichtenregeling met deelconflicten *ten opzichte van* een conflictvrije verkeerslichtenregeling dus het kleinste, terwijl dit effect groter is bij lagere, strengere PET-drempelwaarden (met minder conflicten) of juist hogere (minder strenge, met meer conflicten). Een mogelijke verklaring voor dit verloop van het effect zou kunnen zijn dat bij verschillende PET-drempelwaarden om verschillende typen conflicten gaat. Deze optie is verkend door de conflicten te onderscheiden op basis van aankomstvolgorde en daarvoor aparte gevoeligheidsanalyses uit te voeren. Conflicten waarbij het motorvoertuig als eerste arriveerde, toonden een ander verloop van het effect van *verkeerslichtenregeling* met de PET-drempelwaarde dan conflicten waarbij fietsers of voetgangers als eerste arriveerden. Wanneer beide aankomstvolgordes gelijktijdig worden beschouwd ('op één hoop gegooid'), zouden de onderliggende verschillen in dat verloop voor een lokaal minimum kunnen hebben gezorgd.

Naast verschillende typen conflicten met verschillende PET-waarden zijn er nog twee mogelijke verklaringen te bedenken, die beide nader onderzoek behoeven.

De eerste aanvullende verklaring is gerelateerd aan verschillen in groenfase en ontruimingstijden. Indien een kruispuntinrichting de mogelijkheid biedt voor conflicten met overstekende fietsers en voetgangers op een bepaalde tak, dan zal dit bij de onderzochte kruispunten in de regel alleen met *rechts afslaand* gemotoriseerd verkeer zijn. Kortom, tijdens de groenfase van rechtdoor gaand of links afslaand gemotoriseerd verkeer richting de betreffende kruispunttak zal het verkeerslicht voor rechts afslaand gemotoriseerd verkeer en fietsers/voetgangers op rood staan. Aangenomen dat deze verkeersdeelnemers bij de stopstreep wachten op hun groenfase, kunnen er bij aanvang van de groenfase verschillen ontstaan als functie van *verkeerslichtenregeling*. Bij een *conflictvrije verkeerslichtenregeling* zal doorgaans eerst het verkeerslicht voor de fietsers/voetgangers op groen gaan, gevolgd door een rood verkeerslicht, een ontruimingstijd, en daarna een groen verkeerslicht voor het rechts afslaande motorverkeer. Als wachtende motorvoertuigen direct gaan rijden bij een groen verkeerslicht, dan is het logisch als een bepaalde PET-waarde (tussen het eerste motorvoertuig in de wachtrij en de laatste fietsers die het kruisingsvlak verlaten) relatief vaak voorkomt. Als daarentegen de verkeerslichtenregeling *deelconflicten* mogelijk maakte, dan zullen motorvoertuigen en fietsers/voetgangers tegelijkertijd groen krijgen en op een vergelijkbaar moment beginnen met bewegen. Afhankelijk van de afstand tot het conflictpunt zal nu een andere PET-waarde (tussen de eerste motorvoertuig en fietsers/voetgangers in de betreffende wachtrijen) relatief vaak voorkomen. In nader onderzoek zou verkend moeten worden in hoeverre de logisch te verwachten, veel voorkomende PET-waarden overeenkomen met het lokale minimum rond 1 s.

Een tweede aanvullende verklaring is gestoeld op de mate van variatie in volgafstanden tussen opeenvolgende motorvoertuigen. Bij een *conflictvrije verkeerslichtenregeling* moeten fietsers en voetgangers die door rood gaan zoeken naar een hiaat in de motorvoertuigstroom. Motorvoertuigen kunnen in principe dus doorrijden en zullen hierbij een zekere volgafstand behouden tot een voorliggend motorvoertuig. Bij een *verkeerslichtenregeling met deelconflicten* is de situatie omgekeerd: bestuurders van motorvoertuigen moeten een hiaat zoeken in de stroom van kwetsbare verkeersdeelnemers (die ze voorrang moeten verlenen). Dit zal leiden tot relatief meer en harder remmen en optrekken, en daarmee naar alle waarschijnlijkheid tot meer variatie in de volgafstand tussen opeenvolgende motorvoertuigen voorafgaand aan het kruisingsvlak. Als de volgafstand constanter is bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling, dan is het logisch dat conflicten met fietsers of voetgangers relatief vaker optreden bij eenzelfde PET-waarde ten opzichte van een verkeerslichtenregeling die deelconflicten mogelijk maakt. Nader onderzoek zou uit moeten wijzen of deze PET-waarde overeenkomt met het gevonden lokale minimum rond 1 s.

5.2.2 Grotere oversteeklengte gaat gepaard met minder conflicten

Van de tweede onderzochte variabele, *oversteeklengte*, is een significant effect gevonden op het aantal conflicten tussen **voetgangers** en motorvoertuigen, waarbij een **toename in de oversteeklengte gepaard ging met een afname in aantal conflicten**. De grootte van dit effect bleek in de gevoeligheidsanalyse wederom te variëren, uiteenlopend van een factor 0,47 (i.e., meer dan een halvering) tot 0,83 bij een toename van de oversteeklengte met 1 m. Aangezien het bij deze analyses gaat om een ‘hoofdeffect’, is het effect van *oversteeklengte* van toepassing ongeacht de verkeerslichtenregeling. Met andere woorden, zowel bij conflictvrije verkeerslichtenregeling als bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten leidt een langere oversteeklengte tot minder conflicten.

Bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling zouden conflicten (onder andere) veroorzaakt kunnen zijn door roodlichtnegatie van de voetganger. Ook bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten kunnen conflicten tussen overstekende voetgangers en rechts afslaande motorvoertuigen voorkomen ten gevolge van roodlichtnegatie: de groenfase van voetgangers eindigt vaak eerder dan die van de afslaande motorvoertuigen.

Een tweede verklaring kan zijn dat mensen, ongeacht de verkeerslichtenregeling, de kans op een incident hoger inschatten naarmate de oversteeklengte toeneemt en dat ze dus minder vaak zullen oversteken.

Deze verklaringen zouden in lijn liggen met internationaal onderzoek, waar een *negatieve* associatie tussen oversteeklengte en roodlichtnegatie is gevonden (i.e., hoe langer, hoe minder roodlichtnegatie). Ander internationaal onderzoek laat echter een *positieve* associatie zien tussen oversteeklengte en ongevallen (i.e., hoe langer, hoe meer ongevallen). Als een toename in het aantal conflicten voorspellend is voor een toename in het aantal ongevallen, dan is de bevinding in het huidige onderzoek hiermee ogenschijnlijk in tegenspraak. Een vergelijking met het eerdere internationale onderzoek is echter lastig, omdat ze verschillen met het huidige onderzoek in de inrichting van de kruispunten die zijn onderzocht. Zo bevat het huidige onderzoek enkel kruispunten met een middengeleider, terwijl de aanwezigheid van middengeleiders in andere studies vaak onbekend was (e.g., Hamann & Peek-Asa, 2013), of onderdeel van een experimentele manipulatie (e.g., Afshari et al., 2021). Verder blijken de kruispunttakken in veel studies (Afshari et al., 2021; Hamann & Peek-Asa, 2013; Mansell et al., 2024) aanzienlijk breder te zijn ($M > 12,18$ m; inclusief takken zonder middengeleider) dan die van de huidige studie ($M = 7,65$ m), waarbij niet uitgesloten kan worden dat er andere methoden zijn gebruikt om de oversteeklengte te bepalen. Ook wanneer oversteeklengte wordt uitgedrukt in het aantal rijstroken, lijken eerdere studies veelal grotere kruispunttakken te beschrijven, waarbij niet altijd herleidbaar is of middengeleiders ook aanwezig zijn op takken met relatief weinig (1 à 2) rijstroken. Tot slot maken ook analyses waarbij de kruispunttak met het grootste aantal rijstroken als referentie is gebruikt (Polders et al., 2015) het niet mogelijk om een vergelijking te maken met takken van 1 of 2 rijstroken, zoals het geval was in het huidige onderzoek.

Precies hoe oversteeklengte, ongevallen en conflicten zich tot elkaar verhouden verdient nader onderzoek. Aannemelijk is dat, hoewel conflicten als gevolg van onder andere roodlichtnegatie afnemen bij toenemende oversteeklengte, de kans dat deze conflicten resulteren in (ernstige) ongevallen toeneemt. Ook dit verdient nader onderzoek.

Voor het aantal conflicten tussen **fietzers** en motorvoertuigen bleek het effect van *oversteeklengte* in eerste instantie niet significant (bij een PET-drempelwaarde van 1,5 s). Uit de gevoeligheidsanalyse bleek het effect van *oversteeklengte* echter wél significant voor conflicten met PET-waarden van 1,0 s of lager. Dit effect fluctueerde tussen een factor 0,66 en 0,85. Met andere woorden: bij ‘krappere’ fietser-motorvoertuig-conflicten maakte de oversteeklengte dus wel uit. De richting van dit effect (een negatieve associatie tussen *oversteeklengte* en aantal conflicten) lijkt in tegenspraak met eerdere studies. Aangezien in die studies geen kruispunten met vrijliggende fietspaden zijn onderzocht zoals hier, is een rechtstreekse vergelijking echter niet zinvol.

5.2.3 Verschillende conflicttypen afhankelijk van aankomstvolgorde

Er lijkt sprake te zijn van twee verschillende conflicttypen met mogelijk ook verschillende mechanismen, afhankelijk van de aankomstvolgorde (fietsers/voetganger eerst versus motorvoertuig eerst). Bij het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse (i.e., het effect van PET-drempelwaarden op de relatie tussen verkeerslichtenregeling, oversteeklengte en conflictaantallen) bleken de groottes en significantie van de verbanden sterk te veranderen wanneer de conflicten werden uitgesplitst naar aankomstvolgorde. Zo bleek dat het effect van *verkeerslichtenregeling* veel groter was voor conflicten waarbij de voetganger of fietser als eerste aankwam dan voor de gehele groep conflicten. Het eerste conflicttype kwam tot 16 resp. 17 keer vaker voor bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling. Voor de gehele groep conflicten waren deze factoren (afgerond) respectievelijk 3 en 4. Verder bleken bij het maken van onderscheid op basis van aankomstvolgorde verschillende regressiemodellen de beste fit op de data te geven. Voor het hiervoor besproken conflicttype, waarbij de kwetsbare verkeersdeelnemer als eerste arriveerde, gaf (bij bijna alle PET-drempelwaarden) het model zonder *oversteeklengte* de beste fit: alleen de *verkeerslichtenregeling* lijkt bij deze conflicten uit te maken. Voor conflicten waarbij het motorvoertuig juist als eerste arriveerde, gaf juist het model zonder *verkeerslichtenregeling* de beste fit, met name bij conflicten met voetgangers; daar leek alleen de *oversteeklengte* ertoe te doen.

Ook het aandeel van de conflicten waarbij de ene of de andere verkeersdeelnemer als eerste arriveerde leek sterk te variëren met de PET-waarde. Bij conflicten met hogere PET-waarden (bij hoger gekozen drempelwaarden) waren het vooral de kwetsbare verkeersdeelnemers die als eerste arriveerden. De motorvoertuigen arriveerden over het algemeen vaker als eerste in conflicten met lagere PET-waarden, met andere woorden wanneer er minder ruimte was t.o.v. de voetganger of fietser.²¹ Dit aandeel – van eerst arriverende fietsers of voetgangers – lag tevens structureel hoger bij een verkeerslichtenregeling met deelconflicten dan bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling.

Met betrekking tot conflictsnelheden bij fietser-motorvoertuig-conflicten is gevonden dat motorvoertuigen significant langzamer rijden wanneer de fietser als eerste bij een conflict arriveerde. Dit zou kunnen duiden op risico-mitigatie: de bestuurder van het motorvoertuig remde af om een aanrijding met de fietser te voorkomen. Van dodelijke en ernstige letselongevallen onder fietsers is bekend dat dit vaak dergelijke flankongevallen betreft (SWOV, 2012). De verzamelde data in dit onderzoek bevatten echter geen gegevens over remgedrag (e.g., deceleratie) van motorvoertuigen en daarom kan deze verklaring niet worden geverifieerd.

Wanneer het motorvoertuig als eerste arriveert, mag op basis van natuurkundige principes worden verwacht dat het voorwiel van een fietser sneller opzij wordt gedrukt naarmate het motorvoertuig een hogere snelheid heeft. Of dit echter tot een verhoogde kans op ernstig letsel leidt is onbekend. Er kunnen daarom geen uitspraken worden gedaan over de onveiligheid van een hogere conflictsnelheid wanneer het motorvoertuig als eerste arriveerde.

5.2.4 Proportionaliteit verkeersvolume en conflictaantallen

Uit onderzoek is bekend dat een toename in de hoeveelheid verkeer gepaard gaat met een toename in ongevallen (Hesjevoll & Elvik, 2016). De stijging in het aantal ongevallen lijkt daarbij niet evenredig te zijn aan de stijging in het aantal voertuigen: bij twee keer zoveel verkeer zijn er minder dan twee keer zoveel ongevallen. De relatie bleek in eerder onderzoek ook te gelden voor voetgangers (Torbic et al., 2010).



21. Aangezien het aantal conflicten quasi-exponentieel toeneemt met de PET-drempelwaarde, mogen we conflicten bij een hogere PET-drempelwaarde interpreteren als hoofdzakelijk conflicten met een hogere PET-waarde.

Hoewel er geen duidelijk kwantitatief verband bekend is tussen conflictaantallen en ongevallen, is duidelijk dat ook bij conflicten een grotere hoeveelheid verkeer gepaard gaat met een toename in het aantal conflicten. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de aard van deze toename sterk samenhangt met de gekozen PET-drempelwaarde. De regressiecoëfficiënt van het aantal motorvoertuigen varieerde bij fietser- en voetganger-motorvoertuig-conflicten tussen 0,59 en 0,84, overeenkomend met een niet-evenredige stijging. Bij fietser-motorvoertuig-conflicten benaderde de regressiecoëfficiënt van het aantal fietsers bij sommige PET-drempelwaarde echter de waarde '1', m.a.w. een evenredige stijging van het aantal conflicten met de hoeveelheid passerende fietsers. Bij voetganger-motorvoertuig-conflicten overschreed de regressiecoëfficiënt van het aantal voetgangers bij sommige PET-drempelwaarden zelfs de waarde '1' (variatie tussen 0,92 en 1,20). Dat zou betekenen dat een verdubbeling van het aantal voetgangers gepaard gaat met méér dan een verdubbeling in het aantal conflicten met die PET-drempelwaarde.

5.3 Aanbevelingen

5.3.1 Beleid

Uit de huidige studie blijkt dat een verkeerslichtenregeling die deelconflicten mogelijk maakt, gepaard gaat met significant meer conflicten (ongeacht de PET-drempelwaarde) dan een conflictvrije verkeerslichtenregeling. Deze bevinding ligt in lijn met internationaal onderzoek naar verkeerslichtenregeling op basis van ongevalldata. Onder de aanname dat men bij een toename van conflicten ook een toename van ongevallen mag verwachten, raden wij gemeentelijke beleidsmakers ten behoeve van de verkeersveiligheid aan om verkeerslichtenregeling met deelconflicten niet toe te staan. Deze aanbeveling kan bij het ontwerpen van nieuwe kruispunten worden overgenomen, maar kan ook in bestaande VRI-geregelde kruispunten worden geïmplementeerd door de VRI-regeling overeenkomstig af te stellen.

Op landelijk niveau helpt het Kennisnetwerk Strategisch Plan Verkeersveiligheid (SPV)²² om proactief verkeersveiligheidsrisico's in kaart te brengen, waaronder risico's op basis van de infrastructuur. Bij het beoordelen van de veiligheid van de infrastructuur worden onder andere scores toegekend aan de veiligheid van kruispunten. Op basis van zowel de uitgevoerde verkeersveiligheidsbeoordeling als de conflictanalyses raden wij aan om bij het scoren van kruispunten nadrukkelijk aandacht te besteden aan de inrichting van fietsvoorzieningen, te hoge snelheidslimieten, en of de verkeerslichtenregeling deelconflicten mogelijk maakt. Het landelijk in kaart brengen van dergelijke kruispuntelementen zou tevens kunnen helpen bij het identificeren van geschikte kruispunten voor vervolgonderzoek.

5.3.2 Praktijk

Ook voor de praktijk biedt dit onderzoek een aantal concrete handvatten voor het terugdringen van het aantal conflicten tussen fietsers en voetgangers met gemotoriseerd verkeer dat rechts afslaait bij VRI-kruispunten binnen de bebouwde kom. De belangrijkste zijn:

- VRI-regelingen met deelconflicten tussen rechtdoor gaand fiets- en voetgangersverkeer en rechts afslaande motorvoertuigen worden afgeraden, omdat deze zorgen voor veel onveilige situaties tussen gemotoriseerd en kwetsbaar verkeer.
- Ongeachte de verkeerslichtenregeling, wordt er (te) vaak door rood gefietst en gelopen. Korte oversteeklengtes moedigen dit gedrag aan en wegbeheerders dienen maatregelen te nemen om dit gedrag te ontmoedigen. Denk daarbij aan gerichte handhavingsacties of programma's om fietsers en voetgangers aan te spreken op hun gedrag. Misschien zijn wachttijdaftellers een optie, maar de effectiviteit van deze technologie zou eerst onderzocht moeten worden.



22. <https://www.kennisnetwerkspv.nl/>

- Daar waar deelconflicten zijn toegestaan, en voor zover niet al gedaan, (extra) bebording aanbrengen om de voorrangssituatie explicieter te duiden.
- Zorg dat fietspaden langs gebiedsontsluitingswegen met 2 tot 5 m zijn uitgebogen ter hoogte van kruispunten (SWOV, 2023b).
- Ter hoogte van de oversteekplaatsen, zorg voor voldoende opstelruimte voor wachtende fietsers en voetgangers.
- Regel de voorrang tussen fietsers onderling, op kruisingen tussen de fietspaden.

5.3.3 Onderzoek

Dit rapport biedt meerdere aanknopingspunten voor toekomstig onderzoek. Ten eerste is (aanvullende) validatie nodig van de relatie tussen conflicten en werkelijke ongevallen. In het InDev-project (Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018) is een validatie uitgevoerd waarbij is onderzocht bij welke PET-drempelwaarde er duidelijk onderscheid ontstond tussen landen met verschillende risico-indices (o.b.v. ongevallen). Het is echter onbekend in hoeverre deze bevindingen op basis van een vergelijking tussen landen zich vertaalt naar een vergelijking tussen kruispuntelementen binnen een land.

Ten tweede, en voortbordurend op de eerste aanbeveling, is de wetenschap gebaat bij een uniforme PET-drempelwaarde, m.a.w. voor wat we als ‘conflict’ beschouwen. In het InDev-project (Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018) werd de aanbeveling gedaan om een PET-drempelwaarde van 1,5 s of kleiner te gebruiken. Deze aanbeveling biedt nog altijd een scala aan mogelijke PET-drempelwaarden en de gevoeligheidsanalyse beschreven in dit rapport toont aan dat de grootte van regressiecoëfficiënten – en dus het gevonden effect van de verschillende variabelen op het aantal ‘conflicten’ – ook tussen PET-drempelwaarden van 0,5 s t/m 1,5 s sterk kunnen fluctueren. Wanneer verschillende onderzoeken verschillende PET-drempelwaarden gebruiken, is het daardoor de vraag of de bevindingen van deze onderzoeken rechtstreeks met elkaar vergeleken mogen worden. Zolang er geen uniforme PET-drempelwaarde is afgesproken, bevelen wij aan om in onderzoeksrapportages standaard inzicht te bieden in de gevoeligheid van gevonden effecten voor manipulatie van PET-drempelwaarden. Dergelijk inzicht biedt nog een extra mogelijkheid. Bij de gevoeligheidsanalyse werd een lokaal minimum in het effect van *verkeerslichtenregeling* geconstateerd. Potentiële verklaringen waren onder andere gerelateerd aan groenfasering, ontruimingstijd, en volgafstand. Deze verklaringen zouden mogelijk getoetst kunnen worden wanneer onderzoeksrapportages inzicht bieden in de gevoeligheid van gevonden effecten van voornoemde variabelen voor manipulatie van PET-drempelwaarden.

Ten derde komen uit de huidige studie sterke aanwijzingen naar voren dat er verschillende typen conflicten tussen motorvoertuigen en kwetsbare verkeersdeelnemers bestaan, die onderscheiden lijken te kunnen worden op basis van aankomstvolgorde. De groepen conflicten met verschillende aankomstvolgorde hadden namelijk substantieel verschillende ‘best verklarende modellen’ voor conflictaantallen, met verschillende effectgroottes van *verkeerslichtenregeling* en *oversteeklengte*. Het is nog niet bekend welke mechanismen ten grondslag liggen aan de aankomstvolgorde. Er zijn meerdere mogelijkheden te bedenken: het motorvoertuig remde af om een botsing te voorkomen (en arriveerde daarom als laatste), het motorvoertuig versnelde bij het zien van een hiaat in de stroom van fietsers en voetgangers (en arriveerde daarom als eerste), of de fietser of voetganger koos ervoor om achter het voertuig langs door rood over te steken (bij een conflictvrije verkeerslichtenregeling). Ook valt niet uit te sluiten dat het motorvoertuig de voetganger of fietser niet gezien heeft en toevallig net voorlangs kruist. Om dergelijke mechanismen in kaart te brengen is aanvullend onderzoek gewenst (bijvoorbeeld door ook roodlichtnegatie en acceleratie- en deceleratiegedrag te bestuderen), en is het in toekomstig onderzoek gewenst om binnen geïdentificeerde conflicten ten minste het onderscheid te maken op basis van aankomstvolgorde.

Ten vierde is het huidige onderzoek uitgevoerd met een relatief kleine steekproef aan kruispunten. Met betrekking tot het onderzoeksdesign kon daardoor van slechts twee kruispuntelementen (verkeerslichtenregeling en oversteeklengte) de relatie met conflicten worden onderzocht. Van internationaal onderzoek is bekend dat ook andere kruispuntelementen een rol kunnen spelen bij conflicten en ongevallen. Om te bepalen in hoeverre dergelijke bevindingen (en ook bevindingen m.b.t. oversteeklengte) kunnen worden gegeneraliseerd naar het Nederlandse verkeerssysteem is aanvullend onderzoek nodig met een grotere steekproef.

Literatuur

Aarts, L., Nes, N. van, Wegman, F.C.M., Schagen, I.N.L.G. van, et al. (2009). *Safe Speeds and Credible Speed Limits (SaCredSpeed): New vision for decision making on speed management*. In: 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board TRB, 11-15 January 2009, Washington DC.

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.

Afshari, A., Ayati, E. & Barakchi, M. (2021). *Evaluating the effects of external factors on pedestrian violations at signalized intersections (a case study of Mashhad, Iran)*. In: IATSS Research, vol. 45, nr. 2, p. 234-240.

Alhajyaseen, W.K.M. & Iryo-Asano, M. (2017). *Studying critical pedestrian behavioral changes for the safety assessment at signalized crosswalks*. In: Safety Science, vol. 91, p. 351-360.

Ambros, J., Turek, R. & Paukrt, J. (2014). *Road safety evaluation using traffic conflicts: Pilot comparison of micro-simulation and observation*. In: International Conference on Traffic and Transport Engineering, 27-28 November 2014, Belgrade.

Amundsen, F. & Hyden, C. (1977). *Definition of traffic conflict*. In: Proceedings of the First Workshop on Traffic Conflicts. Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.

Archer, J. (2001). *Traffic conflict technique: Historical to current state-of-the-art*. Royal Institute of Technology KTH, Stockholm.

Arun, A., Haque, M.M., Washington, S., Sayed, T., et al. (2021). *A systematic review of traffic conflict-based safety measures with a focus on application context*. In: Analytic Methods in Accident Research, vol. 32, art. 100185.

Cambon de Lavalette, B., Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., et al. (2009). *Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach*. In: Safety Science, vol. 47, nr. 9, p. 1248-1253.

Cardoso, J.L., Stefan, C., Elvik, R. & Sørensen, M. (2007). *Road Safety Inspections RSI : Best practice and implementation plan*. Deliverable D5 of the RiPCORD-ISEREST project. European Commission, Brussels.

Chen, P., Zeng, W. & Yu, G. (2019). *Assessing right-turning vehicle-pedestrian conflicts at intersections using an integrated microscopic simulation model*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 129, p. 211-224.

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

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

Goughnour, E., Carter, D., Lyon, C., Persaud, B., et al. (2018). *Safety evaluation of protected left-turn phasing and leading pedestrian intervals on pedestrian safety*. No. FHWA-HRT-18-044. Federal Highway Administration, Washington, DC.

Goughnour, E., Carter, D., Lyon, C., Persaud, B., et al. (2021). *Evaluation of protected left-turn phasing and leading pedestrian intervals effects on pedestrian safety*. In: Transportation Research Record, vol. 2675, nr. 11, p. 1219-1228.

Guo, F., Klauer, S.G., Hankey, J.M. & Dingus, T.A. (2010). *Using near-crashes as crash surrogate for naturalistic driving studies*. In: Transportation Research Board Annual Meeting, Paper 10-1383, Washington D. C.

Hamann, C. & Peek-Asa, C. (2013). *On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa, 2007–2010*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 56, p. 103–109.

Hesjevoll, I.S. & Elvik, R. (2016). *Effect of traffic volume on road safety*. In: European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Geraadpleegd op <https://www.roadsafety-dss.eu>

Hilbe, J.M. (2011). *Negative binomial regression*. Cambridge University Press.

Horst, A.R.A. van der (1990). *A time-based analysis of road user behaviour at intersections*. In: Proceedings of the 3rd workshop of the International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety ICTCT Cracow, Poland.

Howlader, M.M., Yasmin, S., Bhaskar, A. & Haque, M.M. (2023). *A before-after evaluation of protected right-turn signal phasings by applying Empirical Bayes and Full Bayes approaches with heterogenous count data models*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 179, art. 106882.

Hurwitz, D., Chai, E., Jashami, H., Monsere, C., et al. (2023). *Safest placement for crosswalks at intersections*. FHWA-OR-RD-23-10. Oregon Department of Transportation and FHWA, Salem, OR.

Hurwitz, D., Jannat, M., Warner, J., Monsere, C., et al. (2015). *Towards effective design treatment for right turns at intersections with bicycle traffic*. FHWA-OR-RD-16-06. Federal Highways Administration, Washington DC.

Hydén, C. (1987). *The development of a method for traffic safety evaluation : the Swedish Traffic Conflicts Technique*. Bulletin No. 70 Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund.

Ivan, J.N., Garrick, N.W. & Hanson, G. (2009). *Designing roads that guide drivers to choose safer speeds*. Designing Roads, JHR 09-321, Project 04-6. Connecticut Transportation Institute, Connecticut Department of Transportation, University of Connecticut.

Jansen, R.J. & Varotto, S.F. (2022). *Caught in the blind spot of a truck: A choice model on driver glance behavior towards cyclists at intersections*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 174, art. 106759.

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.

Johnsson, C., Laureshyn, A., Varhelyi, A., D'Agostino, C., et al. (2018). *Surrogate measures of safety*. Deliverable 3.1 of Horizon 2020 project In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users (InDeV). European Commission, Brussels.

Kasnatscheew, A., Olszewski, P., Laureshyn, A., Moeslund, T.B., et al. (2018). *Final report*. Deliverable 7.9 of Horizon 2020 project In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users (InDeV). European Commission, Brussels.

Kint, S.T. van der, Schermers, G., Gebhard, S.E. & Hermens, F. (2022). *Veilige Snelheden, Geloofwaardige Snelheidslimieten (VSGS); Hoe valide is de GS-bepaling met de VSGS-methode?* R-2022-5. SWOV, Den Haag.

Kittelson, W.K. & Vandehey, M.A. (1991). *Delay effects on driver gap acceptance characteristics at two-way stop-controlled intersections*. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1320, p. 154-159.

Kraay, J.H., Horst, A.R.A. van der & Oppe, S. (1986). *Handleiding voor de conflictobservatie-techniek DOCTOR (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research): Deel I. Methode en toepassingsbereik, Deel II. Trainen met de DOCTOR-techniek*. R-86-3. SWOV, Leidschendam.

Kraay, J.H. & Horst, A.R.A. van der (1988). *De Nederlandse conflictobservatietechniek "DOCTOR". Bijdrage aan de cursus 'Verkeersveiligheid, Beleid gebaseerd op kennis' van het Orgaan voor Postacademisch Onderwijs in de Vervoerswetenschappen en de Verkeerskunde PAO, 15 maart 1988 te Delft*. R-88-7. SWOV, Leidschendam.

Laureshyn, A., Goede, M. de, Saunier, N. & Fyhri, A. (2017). *Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 105, p. 11-20.

Ma, Y., Lu, S. & Zhang, Y. (2020). *Analysis on illegal crossing behavior of pedestrians at signalized intersections based on Bayesian Network*. In: Journal of Advanced Transportation, vol. 2020, art. 2675197.

Mansell, R., Persaud, B., Milligan, C. & Pushka, A. (2024). *Investigating factors that affect conflicts between bicyclists and right turning vehicles at signalized intersections*. In: Traffic Safety Research, vol. 6, art. e000040.

Milligan, C., Passmore, D. & Pushka, A. (2022). *Advancing North American design practices to mitigate bicycle right-hook conflicts*. MicroTraffic Road Safety Video Analytics (Miovision), Canada.

Ministerie van IenW, Ministerie van JenV, Interprovinciaal overleg, Vereniging van Nederlandse Gemeenten, et al. (2018). *Veilig van deur tot deur - Het Strategisch Plan Verkeersveiligheid 2030 : Een gezamenlijke visie op aanpak verkeersveiligheidsbeleid*. Ministerie van Infrastructuur en Wegen, Den Haag.

Nabavi Niaki, M., Schermers, G. & Gebhard, S. (2023). *Is kruispunt-complexiteit een indicator voor veiligheid? Een verkenning*. In: Nationaal Verkeerskundecongres 2023, 2 november 2023, Amsterdam.

Nabavi Niaki, M., Schermers, G., Gebhard, S.E. & Dijkstra, A. (2022). *Veiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers op VRI-kruispunten; Pilotstudie conflictanalyse op kruispunten met verkeerslichten*. R-2022-18. SWOV, Den Haag.

Payne, E.H., Gebregziabher, M., Hardin, J.W., Ramakrishnan, V., et al. (2018). *An empirical approach to determine a threshold for assessing overdispersion in Poisson and negative binomial models for count data*. In: Communications in Statistics - Simulation and Computation, vol. 47, nr. 6, p. 1722-1738.

Polders, E., Daniëls, S., Hermans, E., Brijs, T., et al. (2015). *Ongevallenpatronen op verkeerslichtengeregelde kruispunten*. Steunpunt Verkeersveiligheid, Diepenbeek.

Reurings, M.C.B., Vlakveld, W.P., Twisk, D.A.M., Dijkstra, A., et al. (2012). *Van fietsongeval naar maatregelen : kennis en hiaten*. R-2012-8. SWOV, Leidschendam.

Schagen, I. van & Aarts, L. (2020). *Section 3.1 - Road function, safe speeds and credible speed limits*. In: Speed and Speed Management in Road Safety Policy, Executive Seminar, 8 October 2020, p. 23-29.

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.

Schermers, G., Dijkstra, A., Mesken, J. & Baan, D. de (2013). *Richtlijnen voor wegontwerp tegen het licht gehouden*. D-2013-5. SWOV, Leidschendam.

Shinar, D. (1984). *The traffic conflict technique: A subjective vs. objective approach*. In: Journal of Safety Research, vol. 15, nr. 4, p. 153-157.

Stipancic, J., St-Aubin, P.G., Ledezma-Navarro, B., Labbe, A., et al. (2021). *Evaluating safety-influencing factors at stop-controlled intersections using automated video analysis*. In: Journal of Safety Research, vol. 77, p. 311-323.

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

SWOV (2021). *Snelheid en snelheidsmanagement*. SWOV-factsheet, juli 2021. SWOV, Den Haag.

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

SWOV (2023a). *Ernstig verkeersgewonden in Nederland*. SWOV-factsheet, december 2023. SWOV, Den Haag.

SWOV (2023b). *Principes voor een veilig wegennet*. SWOV-factsheet, april 2023. SWOV, Den Haag.

SWOV (2024). *Verkeersdoden in Nederland*. SWOV-factsheet, april 2024. SWOV, Den Haag.

SWOV & CROW (2020). *Monitor Startakkoord Strategisch Plan Verkeersveiligheid 2030*. KN SPV 2020-11. Kennisnetwerk Strategisch Plan Verkeersveiligheid, Utrecht.

Tang, K., Di, D. & Li, K. (2015). *Risk-taking behavior of left-turners in gap acceptance and its effects on capacity estimation at signalized intersections*. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2483, nr. 1, p. 1-9.

Torbic, D.J., Harwood, D.W., Bokenkroger, C.D., Srinivasan, R., et al. (2010). *Pedestrian safety prediction methodology for urban signalized intersections*. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2198, nr. 1, p. 65-74.

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, Den Haag.

Yang, Y. & Sun, J. (2013). *Study on pedestrian red-time crossing behavior*. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2393, nr. 1, p. 117-124.

Zangenehpour, S., Strauss, J., Miranda-Moreno, L.F. & Saunier, N. (2016). *Are signalized intersections with cycle tracks safer? A case-control study based on automated surrogate safety analysis using video data*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 86, p. 161-172.

Bijlage A Beschrijving kruispunttakken

Tabel A.1 biedt een overzicht van oversteeklengtes (i.e., de afstand die voetgangers en fietsers afleggen) en afstanden tot de oversteek (als indicatie voor de uitbuiging van de oversteek t.o.v. afslaand gemotoriseerd verkeer). Het onderscheid tussen conflictvrije verkeerslichtenregeling en verkeerslichtenregeling met deelconflicten is in dit rapport van toepassing op de interactie tussen rechtdoor overstekende voetgangers en fietsers en rechts afslaande motorvoertuigen. In theorie zijn er op een kruispunt meer soorten deelconflicten mogelijk, namelijk met verkeersstromen uit andere richtingen. Om te achterhalen of deze ook in de praktijk voor kunnen komen zijn de voor het project beschikbaar gestelde V-log-gegevens visueel geïnspecteerd. Specifiek is daarbij gekeken of de groenfase van VRI-nummers van rechtdoor overstekende fietsers en voetgangers overlappen met de groenfase van gemotoriseerd verkeer uit andere richtingen dan rechts afslaand. Van de 18 kruispunttakken in dit project bleek bij één kruispunttak (ID #3-2) de groenfase van links afslaand verkeer te overlappen. Van vijf taken (allen in Eindhoven) zijn geen V-log gegevens beschikbaar gesteld en kon er dus niet worden bepaald of er sprake was van deelconflicten met andere richtingen. Verdere details, inclusief foto's per kruispunttak, zijn te vinden in *Paragraaf A.1* (conflictvrije verkeerslichtenregeling) en *Paragraaf A.2* (verkeerslichtenregeling met deelconflicten).

Tabel A.1. Overzicht van oversteeklengtes voor kruispunten met een gescheiden groenfase en een gedeelde groenfase. FOV = fietseroversteekvoorziening

Verkeers- lichten- regeling	Tak ID	Stad	Straatnamen	Afstand tot oversteek of zijweg (vanaf kant kruisende weg)		Oversteek- lengte (m)	Aantal over- gestoken rijstroken	Aanwezig- heid midden- geleider	Aantal rijstroken rechtsaf	Aantal oversteek- richtingen FOV
				Voetganger	Fiets					
Conflictvrij	1	Amsterdam	De Boelelaan & Amstelveenseweg	15,3	9,9	10,95	3	Ja	1	2
	3-1	Amsterdam	Louwesweg & Johan Huizingalaan	13,5	7,9	7,25	2	Ja	1	1
	4-4	Den Haag	Loosduinsekade & Thorbeckelaan	8,3	5	7,45	2	Ja	1	1
	5-1	Eindhoven	Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat	13,8	9,9	7,25	2	Ja	1	1
	5-3	Eindhoven	Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat	9,1	4,9	9,55	1	Ja	1	1
	7	Eindhoven	Boutenslaan & Bayeuxlaan	9,2	4,8	6,4	1	Ja	1	1
	8	Rotterdam	Spinozaweg & Molenvliet & Pascalweg	9,1	4,3	6,2	1	Ja	1	1
	9	Zaansstad	Doctor J.M. Den Uylweg & Provinciale weg	12,5	7,5	9,55	2	Ja	2	2
	10-1	Assen	Europaweg-Zuid & Graswijk	14,6	12,4	4,7	1	Ja	1	2
Deel- conflicten	2-1	Amsterdam	Eerste Oosterparkstraat & Wibautstraat	11	6,5	5,45	1	Nee ²³	1	1
	2-2	Amsterdam	Eerste Oosterparkstraat & Wibautstraat	11,1	6,4	8,05	2	Ja	1	1
	3-2	Amsterdam	Louwesweg & Johan Huizingalaan	6,9	2,2	8,85	1	Ja	1	1
	4-1	Den Haag	Loosduinsekade & Thorbeckelaan	7,5	3,9	7,6	2	Ja	1	1
	4-2	Den Haag	Loosduinsekade & Thorbeckelaan	8,3	5	6,75	2	Ja	1	1
	4-3	Den Haag	Loosduinsekade & Thorbeckelaan	8,3	5,3	6,95	2	Ja	1	1
	5-2	Eindhoven	Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat	16	11,8	7,6	2	Ja	1	1
	6	Eindhoven	Boutenslaan & Gestelsestraat	7,7	3,4	6,6	2	Ja	1	1
	10-2	Assen	Europaweg-Zuid & Beilerstraat	14,7	12,3	8,4	1	Ja	1	2



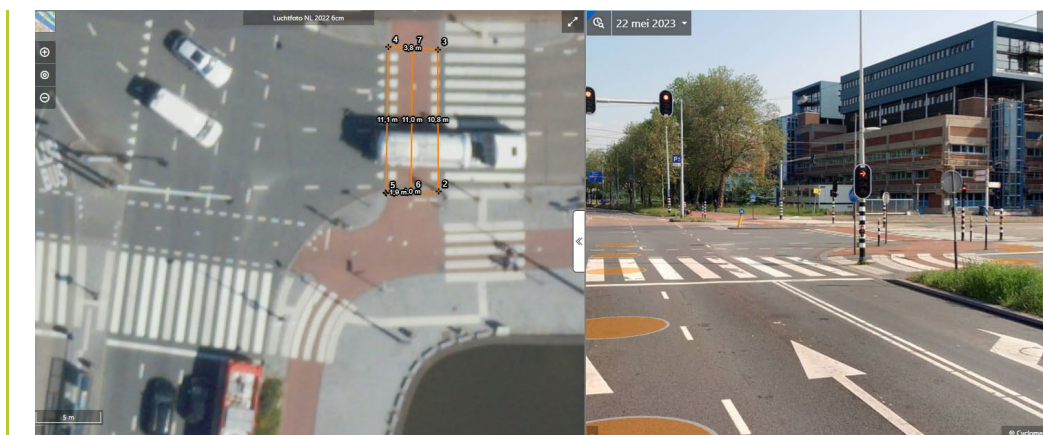
23. De kruispunttak betreft éénrichtingsverkeer.

A.1 Kruispunttakken met conflictvrije verkeerslichtenregeling

A.1.1 ID #1: Amsterdam, De Boelelaan & Amstelveenseweg (rechts)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=118785.29;483007.57;119097.77;483288.97&msrs=EPSG:28992&pq=WE72BAY4&pparams=24.83;2.25;52.00>

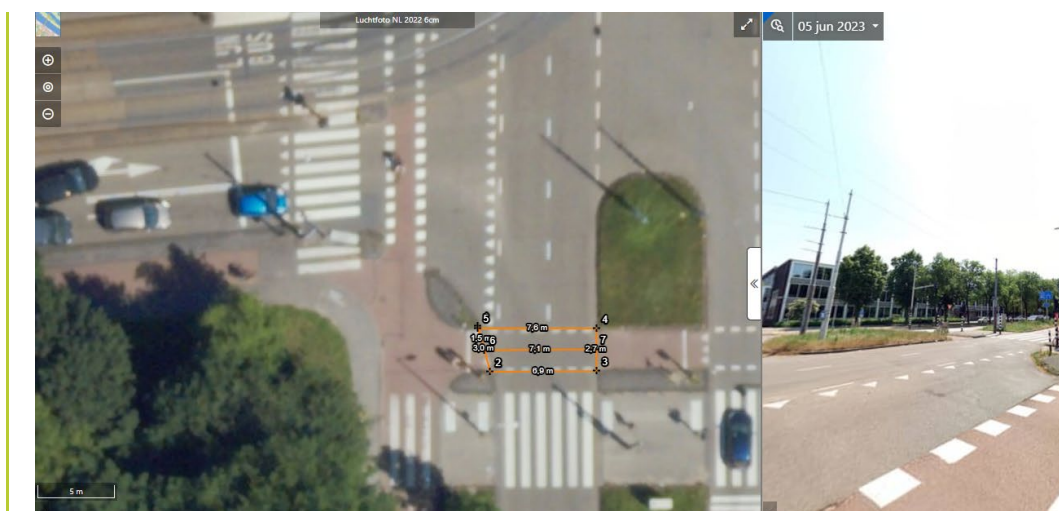
Afbeelding A.1.
Oversteeklengtes ID #1
(Amsterdam De Boelelaan &
Amstelveenseweg, rechts):
 $L_{mid}=11,0\text{ m}$, $L_{max}=11,1\text{ m}$,
 $L_{min}=10,8\text{ m}$. (meting op
luchtfoto uit 2022,
gecontroleerd voor 2023).



A.1.2 ID #3-1: Amsterdam Louwesweg & Johan Huizingalaan (linksonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=116729.17;484383.25;116987.05;484664.65&msrs=EPSG:28992&pq=WE76GYMH&pparams=138.75;13.61;110.00>

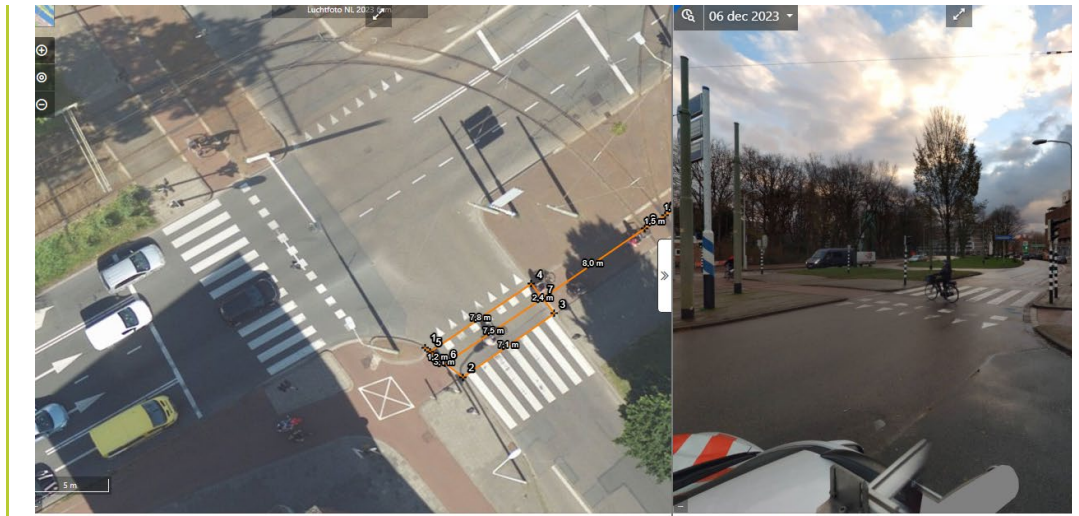
Afbeelding A.2.
Oversteeklengtes ID #3-1
Amsterdam Louwesweg &
Johan Huizingalaan
(linksonder): $L_{mid}=7,1\text{ m}$,
 $L_{max}=7,6\text{ m}$, $L_{min}=6,9\text{ m}$.



A.1.3 ID #4-4: Den Haag Loosduinsekade & Thorbeckelaan (linksonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=77657.02;453271.94;77696.08;453307.11&msrs=EPSG:28992&pq=WE8PF93L&pparams=119.79;1.09;95.00>

Afbeelding A.3.
Oversteeklengtes ID #4-4 Den
Haag Loosduinsekade &
Thorbeckelaan (linksonder):
 $L_{mid}=7,5\text{ m}$, $L_{max}=7,8\text{ m}$,
 $L_{min}=7,1\text{ m}$.



A.1.4 ID #5-1: Eindhoven Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat (rechtsonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=160337.16;382022.65;160376.22;382057.82&msrs=EPSG:28992&pq=WE7WS0T7&pparams=82.43;-4.03;90.00>

Afbeelding A.4.
Oversteeklengtes ID #5-1:
Eindhoven Boutenslaan and
Keizer Karel V Singel &
Hoogstraat (rechtsonder):
 $L_{mid}=7,2\text{ m}$, $L_{max}=7,4\text{ m}$,
 $L_{min}=7,1\text{ m}$.



ID #5-3: Eindhoven Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat (rechtsboven)

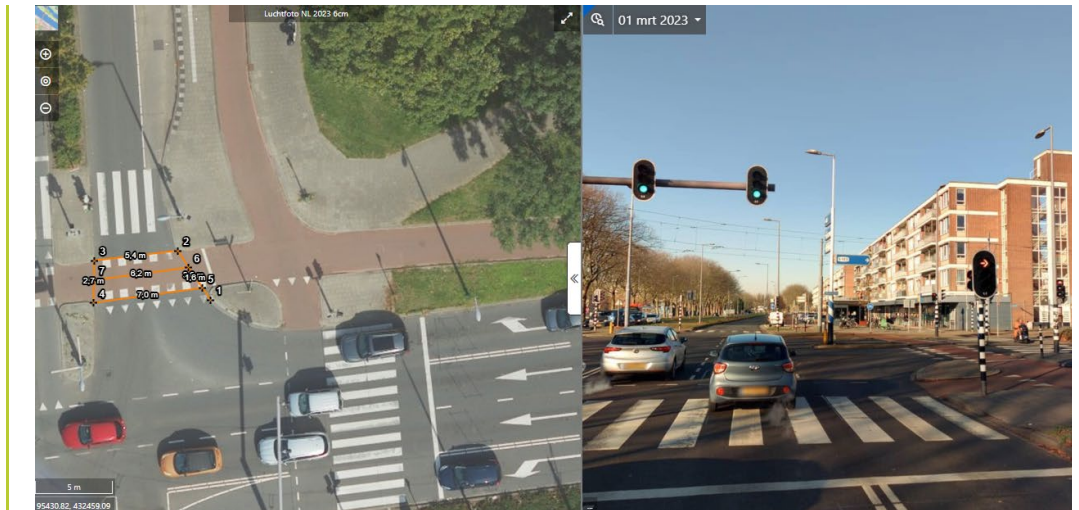
<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=160351.02;382044.37;160390.08;382079.54&msrs=EP5G:28992&pg=WE7VNWML&pparams=359.21;4.08;110.00>

ID #7: Eindhoven Boutenslaan & Bayeuxlaan (linksonder)
<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=160504.71;381913.26;160582.83;381983.61&msrs=EPSG:28992&pq=WE7WS0TJ&pparams=148.06;34.81;110.00>

A.1.7 ID #8: Rotterdam Spinozaweg & Molenvliet & Pascalweg (rechtsboven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=95376.19;432365.14;95532.43;432505.84&msrs=EPSG:28992&pg=WE6J6EI7&pparams=279.41;5.26;62.00>

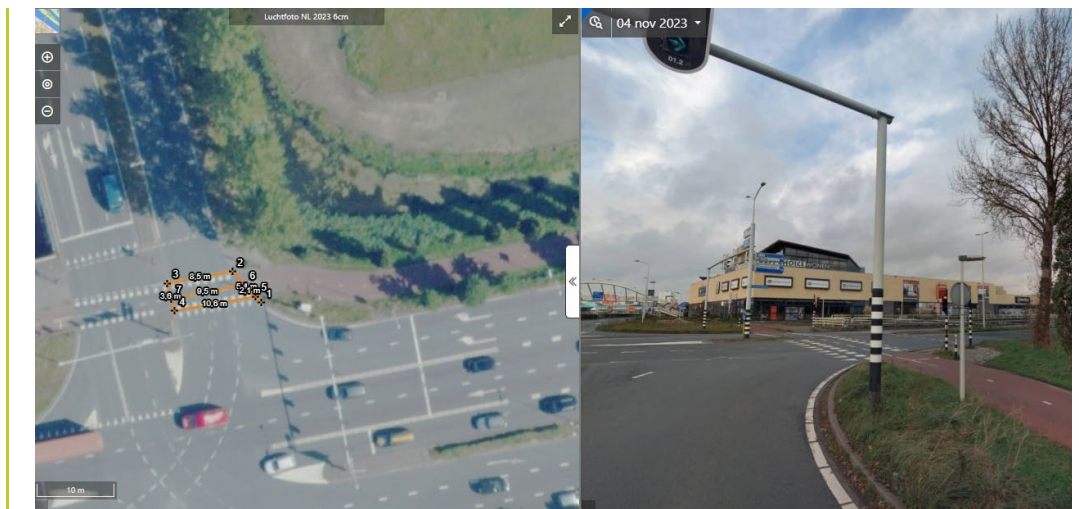
Afbeelding A.7.
Oversteeklengtes ID #8
Rotterdam Spinozaweg &
Molenvliet & Pascalweg
(rechtsboven): $L_{mid}=6,2\text{ m}$,
 $L_{max}=7,0\text{ m}$, $L_{min}=5,4\text{ m}$.



A.1.8 ID #9: Zaanstad Doctor J. M. Den Uylweg & Provinciale weg (boven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=116862.48;493271.85;117018.72;493412.55&msrs=EPSG:28992&pg=WE8G9NAX&pparams=288.05;9.68;85.00>

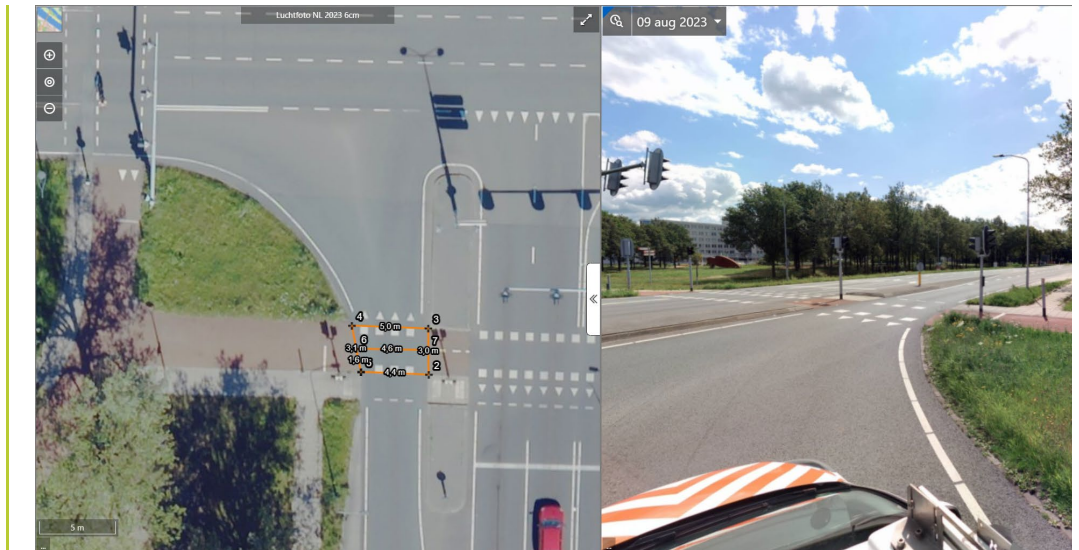
Afbeelding A.8.
Oversteeklengtes ID #9
Zaanstad Doctor J. M. Den
Uylweg & Provinciale weg
(boven): $L_{mid}=9,5\text{ m}$,
 $L_{max}=10,6\text{ m}$, $L_{min}=8,5\text{ m}$.



A.1.9 ID #10-1: Assen Europaweg-Zuid & Graswijk (onder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=233501.45;555079.85;233538.15;555115.55&msrs=EPSG:28992&pq=WE7PTV4Q&pparams=152.64;-3.44;85.00>

Afbeelding A.9.
Oversteeklengtes ID #10-1
Assen Europaweg-Zuid &
Graswijk (onder): $L_{mid}=4,6\text{ m}$,
 $L_{max}=5,0\text{ m}$, $L_{min}=4,4\mathbf{m}$.

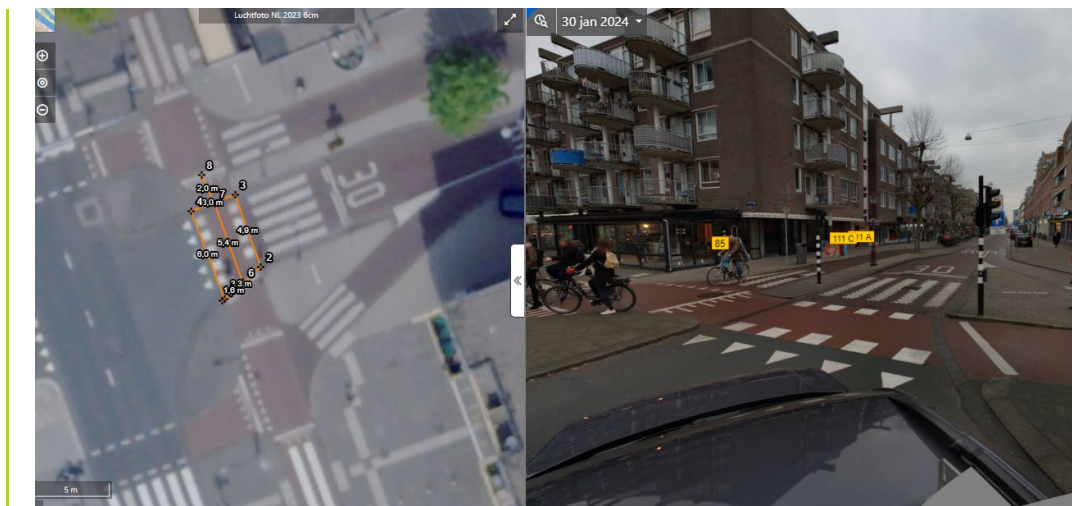


A.2 Kruispunttakken met verkeerslichtenregeling met deelconflicten

A.2.1 ID #2-1: Amsterdam, Eerste Oosterparkstraat & Wibautstraat (rechts)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=122412.13;485348.93;122724.61;485630.33&msrs=EPSG:28992&pq=WE709YZI&pparams=13.85;-3.43;75.00>

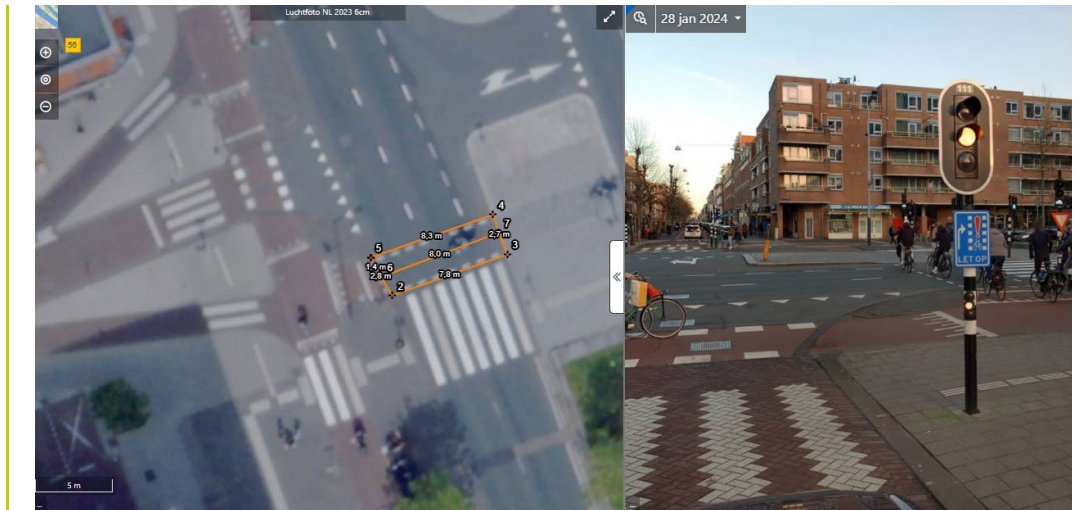
Afbeelding A.10.
Oversteeklengtes ID #2-1
(Amsterdam Eerste
Oosterparkstraat &
Wibautstraat, rechts):
 $L_{mid}=5,4\text{ m}$, $L_{max}=6,0\text{ m}$,
 $L_{min}=4,9\text{ m}$.



A.2.2 ID #2-2: Amsterdam, Eerste Oosterparkstraat & Wibautstraat (linksonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=122401.15;485361.54;122713.63;485642.94&msrs=EPSG:28992&pq=WE8YYZIN&pparams=88.98;-2.26;65.00>

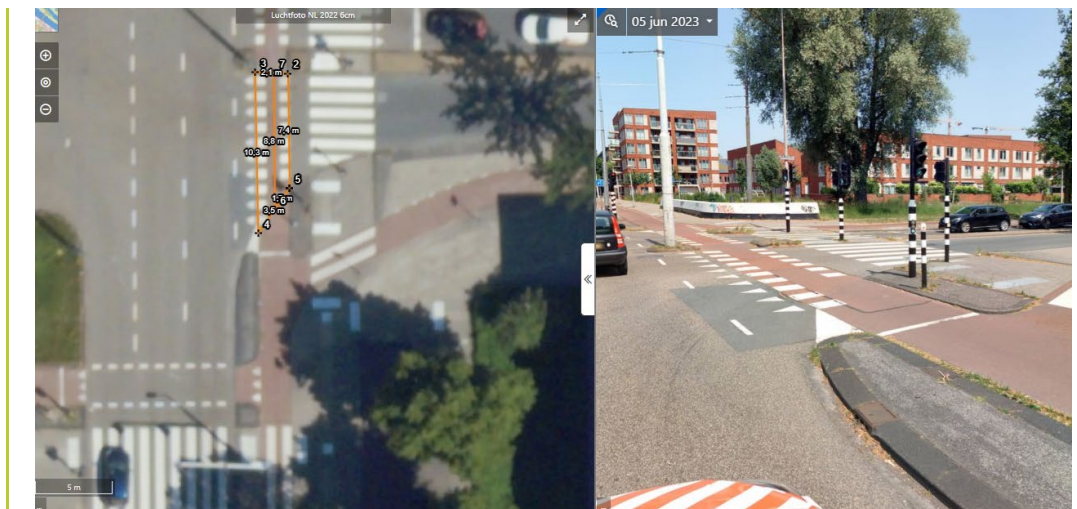
Afbeelding A.11.
Oversteeklengtes ID #2-2
Amsterdam Eerste
Oosterparkstraat &
Wibautstraat (linksonder):
 $L_{mid}=8,0\text{ m}$, $L_{max}=8,3\text{ m}$,
 $L_{min}=7,8\text{ m}$.



A.2.3 ID #3-2: Amsterdam Louwesweg & Johan Huizingalaan (rechts)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=116745.71;484352.46;117058.19;484633.86&msrs=EPSG:28992&pq=WE76H07J&pparams=5.35;-2.36;35.00>

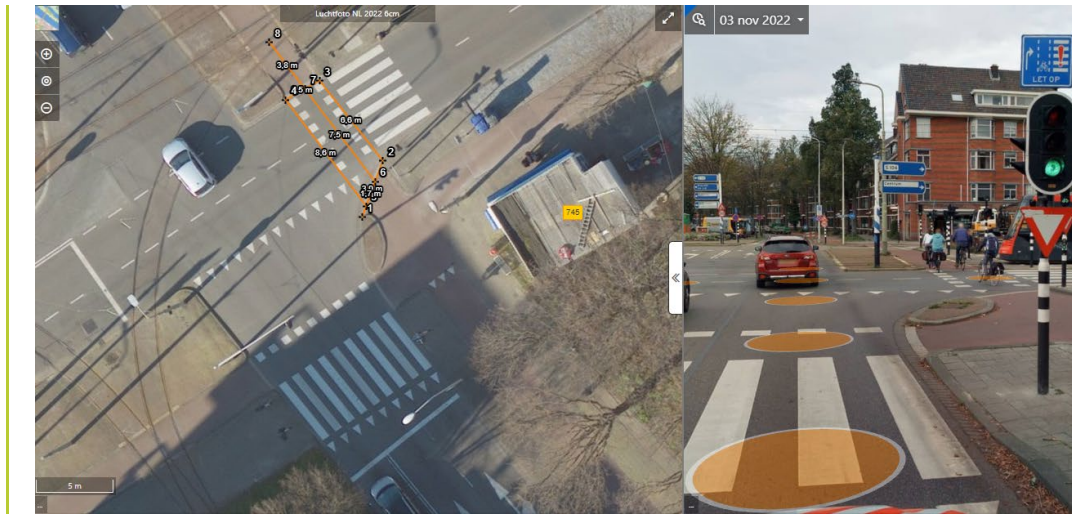
Afbeelding A.12.
Oversteeklengtes ID #3-2
Amsterdam Louwesweg &
Johan Huizingalaan (rechts):
 $L_{mid}=8,8\text{ m}$, $L_{max}=10,3\text{ m}$,
 $L_{min}=7,4\text{ m}$.



A.2.4 ID #4-1: Den Haag Loosduinsekade & Thorbeckelaan (rechtsonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=77541.23;453136.77;77853.71;453418.17&msrs=EPSG:28992&pg=WE5X4MBI&pparams=345.05;1.43;55.00>

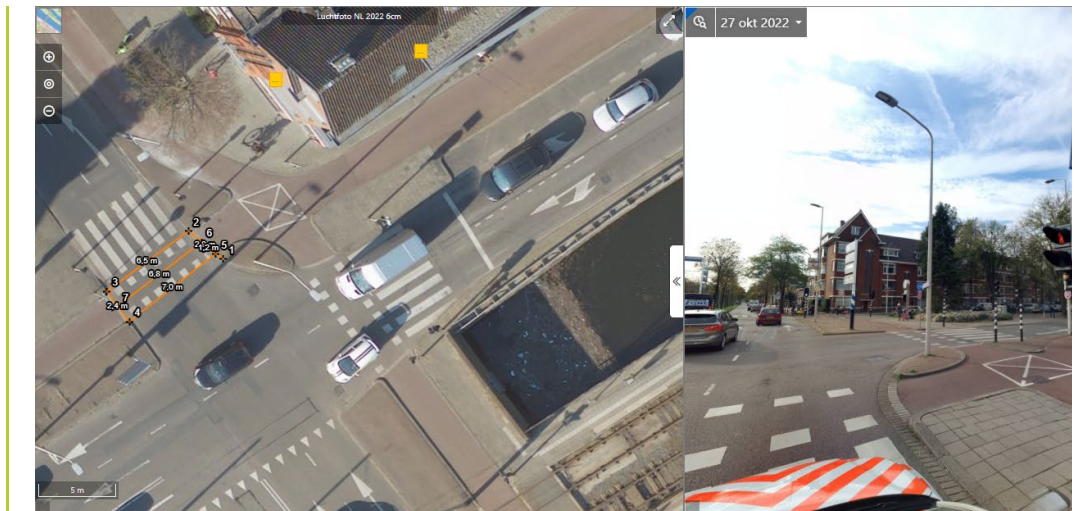
Afbeelding A.13.
Oversteeklengtes ID #4-1 Den
Haag Loosduinsekade &
Thorbeckelaan (rechtsonder):
 $L_{mid}=7,5\text{ m}$, $L_{max}=8,6\text{ m}$,
 $L_{min}=6,6\text{ m}$.



A.2.5 ID #4-2: Den Haag Loosduinsekade & Thorbeckelaan (rechtsboven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=77669.24;453322.49;77708.30;453357.66&msrs=EPSG:28992&pg=WE5W0I09&pparams=270.08;7.84;90.00>

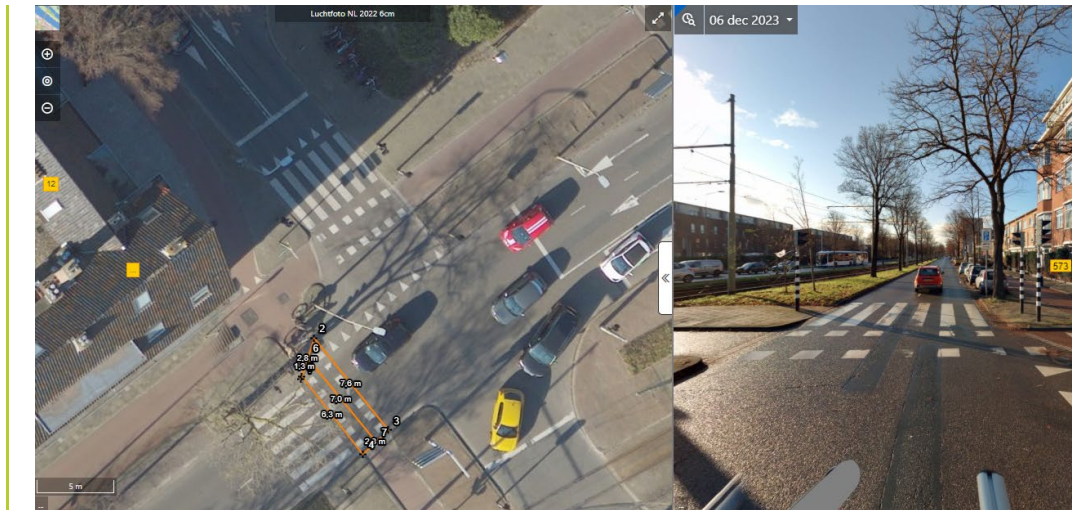
Afbeelding A.14.
Oversteeklengtes ID #4-2 Den
Haag Loosduinsekade &
Thorbeckelaan (rechtsboven):
 $L_{mid}=6,8\text{ m}$, $L_{max}=7,0\text{ m}$,
 $L_{min}=6,5\text{ m}$.



A.2.6 ID #4-3: Den Haag Loosduinsekade & Thorbeckelaan (linksboven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=77624.30;453303.92;77663.36;453339.10&msrs=EPSG:28992&pq=WE5YF1OU&pparams=180.39;-2.40;75.00>

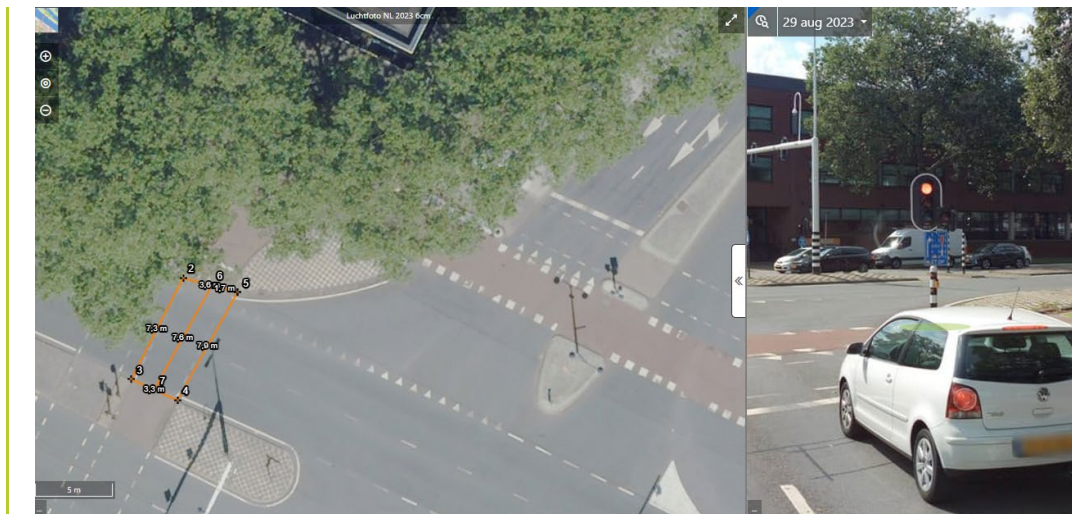
Afbeelding A.15.
Oversteeklengtes ID #4-3 Den
Haag Loosduinsekade &
Thorbeckelaan (linksboven):
 $L_{mid}=7,0$ m, $L_{max}=7,6$ m,
 $L_{min}=6,3$ m.



A.2.7 ID #5-2: Eindhoven Boutenslaan & Keizer Karel V Singel & Hoogstraat (linksboven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=160194.49;381904.68;160506.97;382186.08&msrs=EPSG:28992&pq=WE7VNWJ5&pparams=245.75;-1.84;27.00>

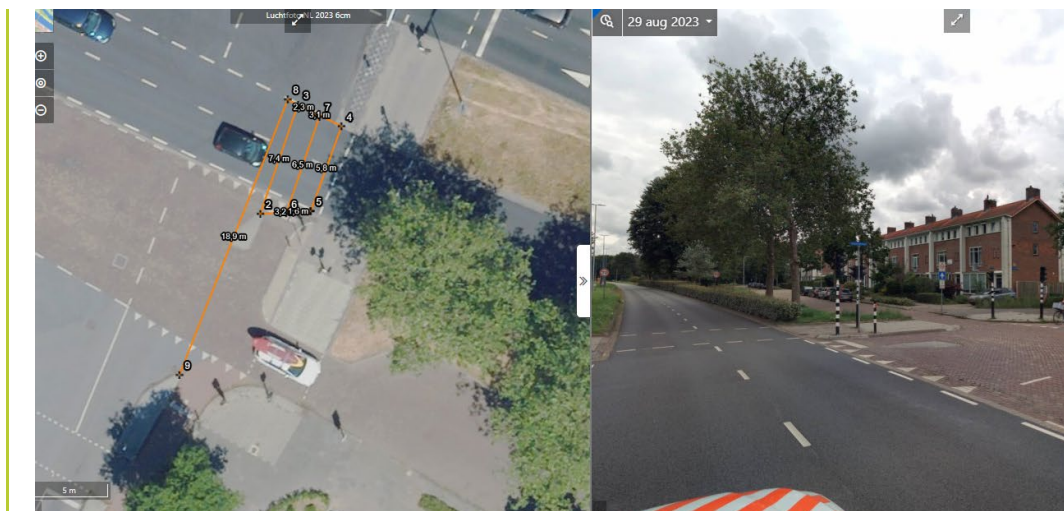
Afbeelding A.16.
Oversteeklengtes ID #5-3
Eindhoven Boutenslaan and
Keizer Karel V Singel &
Hoogstraat (linksboven):
 $L_{mid}=7,6$ m, $L_{max}=7,9$ m,
 $L_{min}=7,3$ m.



A.2.8 ID #6: Eindhoven Boutenslaan & Gestelsestraat (rechtsonder)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=160194.49;381904.68;160506.97;382186.08&msrs=EPSG:28992&pq=WE7VNWJ5&pparams=245.75;-1.84;27.00>

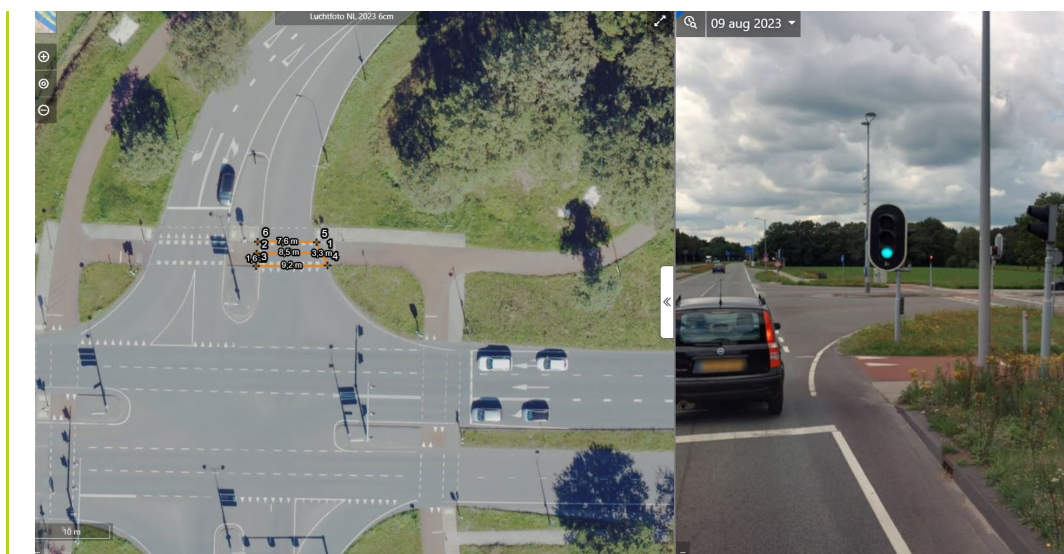
Afbeelding A.17.
Oversteeklengtes ID #6
Eindhoven Boutenslaan &
Gestelsestraat (rechtsonder):
 $L_{mid}=6,5\text{ m}$, $L_{max}=7,4\text{ m}$,
 $L_{min}=5,8\text{ m}$. N.B.:
Rechtdoorgaande fietsers zijn
vanaf 1^e fietslicht VRI-nr. 22
onbeschermd voor rechts
afslaand snelverkeer van VRI-
nr. 5 over een afstand van ca.
18,9 m. VRI-nrs zijn bij dit
kruispunt te zien op
Cyclomedia.



A.2.9 ID #10-2: Assen Europaweg-Zuid & Beilerstraat (boven)

<https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart/?mq=233370.45;554949.75;233685.45;555254.67&msrs=EPSG:28992&pq=WE7PTZ87&pparams=333.36;-5.77;75.00>

Afbeelding A.18.
Oversteeklengtes ID #10-2
Assen Europaweg-Zuid &
Beilerstraat (boven):
 $L_{mid}=8,5\text{ m}$, $L_{max}=9,2\text{ m}$,
 $L_{min}=7,6\text{ m}$.



Bijlage B Totstandkoming expositiemaat

Voor het beschouwen van de relatie tussen conflicten en verkeersvolumes is een regressieanalyse uitgevoerd. In het onderzoek beschouwen we de verkeersstroom van rechts afslaande motorvoertuigen (variabele: 'countMotorized') en ófwel overstekende fietsers (variabele: 'countBike'), ófwel overstekende voetgangers (variabele: 'countPed'). Deze verkeersvolumes kunnen in verschillende vormen als expositiemaat worden bepaald. Het is evident dat er een sterke relatie is tussen de mate (hier hoeveelheid) van expositie en aantallen conflicten tussen de verschillende verkeersstromen. De vorm van de relatie is echter minder evident. Verschillende vormen tussen expositie en aantallen conflicten worden verkend aan de hand van kwartierintensiteiten en bijbehorende tellingen van conflicten (variabelen 'conflictBike' en 'conflictPed' voor conflicten tussen gemotoriseerd verkeer en respectievelijk fietsen en voetgangers). Hiervoor is in R gebruik gemaakt van een 'generalized linear mixed model' (functie: 'glmer') met een Poisson-verdeling, waarbij de conflictlocatie (variabele: Camera_ID) als random effect is meegenomen. De volgende modellen zijn verkend:

- Model 1: de hoeveelheid van de twee typen verkeersdeelnemers worden als losse predictoren in rekening gebracht en krijgen een eigen regressiecoëfficiënt.
- Model 2: de expositie wordt als de som van de hoeveelheid van de typen verkeersdeelnemers in rekening gebracht en krijgt één regressiecoëfficiënt.
- Model 3: de expositie wordt als het product van de hoeveelheid van de typen verkeersdeelnemers in rekening gebracht en krijgt één regressiecoëfficiënt.
- Model 4: de expositie wordt als de wortel van de som der kwadraten van de hoeveelheid van de typen verkeersdeelnemers in rekening gebracht en krijgt één regressiecoëfficiënt.
- Model 5: de hoeveelheden van beide typen verkeersdeelnemers worden als losse predictoren in rekening gebracht en krijgen elk een wortel (0,5) als vaste regressiecoëfficiënt.
- Model 6: waar de vorige modellen enkel hoofdeffecten bevatten, wordt in model 6 ook de interactie tussen de hoeveelheden van de twee typen verkeersdeelnemers gemodelleerd. Met andere woorden, de hoeveelheden van de twee typen verkeersdeelnemers worden niet alleen als losse predictoren in rekening gebracht (met daarbij een eigen regressiecoëfficiënt), maar ook het product van de hoeveelheden van de typen verkeersdeelnemers krijgt een eigen regressiecoëfficiënt.

B.1 Verantwoording keuze generalized linear mixed model – Poisson

De modellen zijn bepaald aan de hand van regressie analyses. De gebruikte statistiek is die van van generalized linear mixed models (GLMM) met een Poisson-distributie. GLMM is een extensie van generalised linear models waarbij random effects aan het model worden toegevoegd. GLMM's worden ook wel random effects models genoemd. Binnen de analyse van dit onderzoek is de observatielocatie als random effect aan het model toegevoegd.²⁴ Daarmee wordt in



24. Vanwege het geringe aantal unieke locaties is het random effect hierbij beperkt tot 1 niveau, te weten de camera. Sommige kruispunten bevatten meerdere camera's. Om ook deze variatie mee te nemen zou een random effect met 2 niveaus nodig zijn.

rekening gebracht dat de observaties op verschillende locaties hebben plaatsgevonden. Het model beschrijft daarmee als het ware het algemeen effect van de variabelen op het aantal verwachte conflicten ‘gecorrigeerd voor’ of ‘rekening houdend met’ verschillen tussen locaties die verder niet door het model in rekening worden gebracht.

In de analyse hebben we te maken met teldata. De standaard distributie voor een regressie-analyse op teldata is de Poisson-distributie. Wanneer sprake is van overdispersie wordt ook wel overgestapt op de negatief binomiaal- ofwel NB-distributie om te corrigeren voor overdispersie (Hilbe, 2011). In het modelleringsproces is gecontroleerd op overdispersie en het mogelijk effect daarvan op de uitkomsten. Een gevolg van overdispersie, als daar niet voor gecorrigeerd wordt, kan zijn dat de standaardafwijking van de geschatte regressie coëfficiënten wordt onderschat, met als mogelijk gevolg het onterecht aannemen van de schatting als ‘statistisch significant’. Daarom is in alle gevallen getoetst op (de mate van) overdispersie en de noodzaak om eventueel de negatief binomiaal-distributie toe te passen.

De kans op een foute beoordeling van de modeluitkomsten als gevolg van overdispersie hangt onder meer samen met de omvang van de overdispersie en het significantieniveau van de geschatte regressie coëfficiënten (Payne et al., 2018). Omdat in de hier uitgevoerde analyses de parameterwaarden voor overdispersie beperkt bleken (rond de 1,2 en 1,5) en de significantieniveaus van de parameterschattingen hoog, is gebruik van GLMM met Poisson als geschikt beoordeeld. Modelleren op basis van GLMM met NB zal naar verwachting wel een verbetering opleveren in de model fit, maar zal de interpretatie van de resultaten van de analyses niet wezenlijk beïnvloeden. Daarom is gekozen een nieuwe analyse ronden op basis van GLMM met NB achterwege te laten.

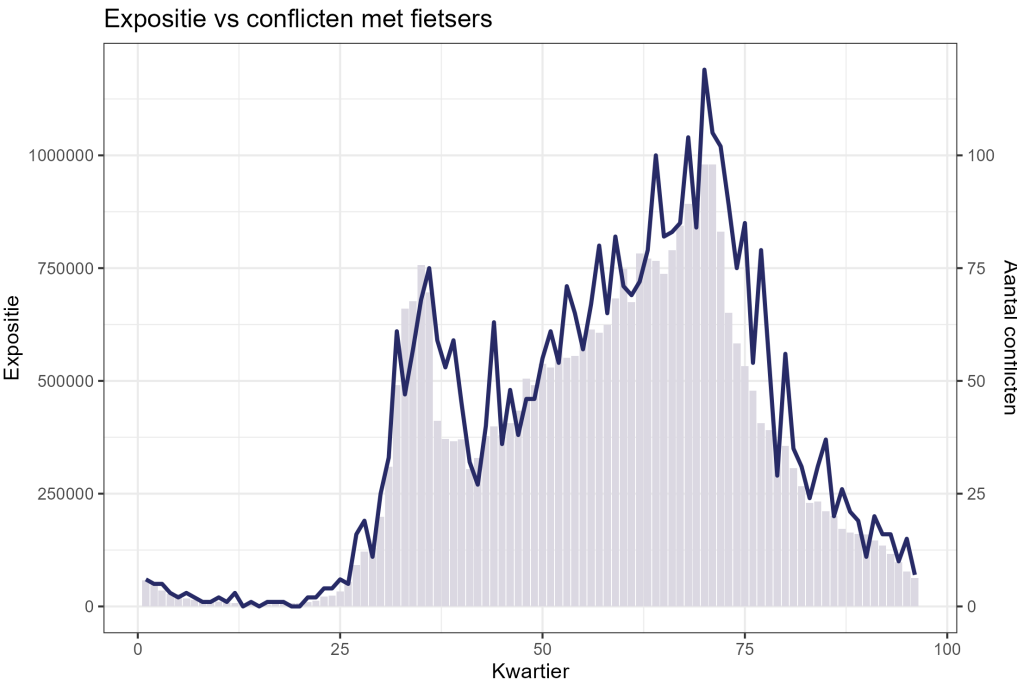
B.2 Conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer

Voor conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer heeft Model 1 de laagste AIC-waarde en daarmee de beste fit op de data (zie *Tabel B.1*). Hoewel beide regressiecoëfficiënten significant waren in Model 1, lag de waarde van de regressiecoëfficiënt voor countBike met 0,96 relatief dicht bij de waarde 1. In Model 1a is verkend of er sprake was van een significante afwijking van de waarde 1, wat niet het geval bleek. Daarom is Model 1b opgesteld, waarin countBike een vaste coëfficiënt met waarde 1 toebedeeld heeft gekregen. Model 1b heeft de laagste AIC-waarde en is daarom gekozen voor verdere analyse. De regressiecoëfficiënt van ‘countMotorized’ betreft $\theta = 0,62$ ($SE = 0,042$, $p \lll 0,0001$). *Afbeelding B.1* illustreert dat er sprake is van een goede fit. Er is sprake van overdispersie in Model 1b, maar deze is beperkt (ratio: 1,21, Pearson’s $\chi^2 = 1840,24$, $p < 0,001$). Op basis van de studie van Payne et al. (2018) en gelet op de significantieniveaus van de parameterschattingen van de predictoren ($p < 2e-16$) mogen we concluderen dat dit geen verstoring op zal leveren ten aanzien van de interpretatie van het model.

Tabel B.1. Modelling van expositie voor het voorspellen van aantal conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer, zoals ingevoerd in R. Het gearceerde model is gekozen voor verdere analyse. AIC = Akaike Information Criterion, conflictBike = aantal fietser-motorvoertuig-conflicten, countMotorized = aantal motorvoertuigen (intensiteit), countBike = aantal fietsers (intensiteit), camera_ID = kruispuntak.

Model	Vorm	AIC
1	conflictBike ~ log(countMotorized) + log(countBike) + (1 camera_ID)	3880,1
1a	conflictBike ~ log(countMotorized) + log(countBike) + offset(log(countBike)) + (1 camera_ID)	3880,1
1b	conflictBike ~ log(countMotorized) + offset(log(countBike)) + (1 camera_ID)	3878,5
2	conflictBike ~ log(countMotorized + countBike) + (1 camera_ID)	3927,2
3	conflictBike ~ log(countMotorized * countBike) + (1 camera_ID)	3889,4
4	conflictBike ~ log(sqrt(countMotorized^2 + countBike^2)) + (1 camera_ID)	3979,0
5	conflictBike ~ offset(log(sqrt(countMotorized))) + offset(log(sqrt(countBike))) + (1 camera_ID)	4161,7
6	conflictBike ~ log(countMotorized) * log(countBike) + (1 camera_ID)	3882,1

Afbeelding B.1. Kwartierexpositie (grijze staven) en aantal conflicten (rode lijn) tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer, berekend over de gehele dataset, m.u.v. Assen. Kwartieren lopen van 0 (0:00) tot 96 (23:45).



B.3 Conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer

Net als bij conflicten met fietsers hierboven had Model 1 voor conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer de beste fit op de data (zie Tabel B.2). Ook hier lag de regressiecoëfficiënt voor de telling van de kwetsbare verkeersdeelnemer dichtbij de waarde 1 (namelijk: 1,10), maar bleek deze bij opeenvolgende modellen (1a, 1b) niet significant af te wijken van de waarde 1. Het simpelere Model 1b bleek de laagste AIC-waarde te hebben. De regressiecoëfficiënt van ‘countMotorized’ betreft $\beta = 0,79$ ($SE = 0,080$, $p \lll 0,0001$), wat wederom een goede fit oplevert (zie Afbeelding B.2). De regressiecoëfficiënt komt in de buurt van die van fietser-motorvoertuig-conflicten ($\beta = 0,62$). Model 1b vertoont ook met voetgangers een significante overdispersie (ratio: 1,50, Pearson’s $X^2 = 2175,38$, $p < 0,001$). De mate van overdispersie ligt iets hoger dan de geadviseerde threshold voor overdispersie volgens Payne et al. (2018) Echter gelet op het significantieniveau van de parameterschatting van de predictoren ($p < 2e-16$) mogen we ook hier concluderen dat geen sprake zal zijn van verstoring als gevolg van de beperkte overdispersie op de interpretatie van het model.

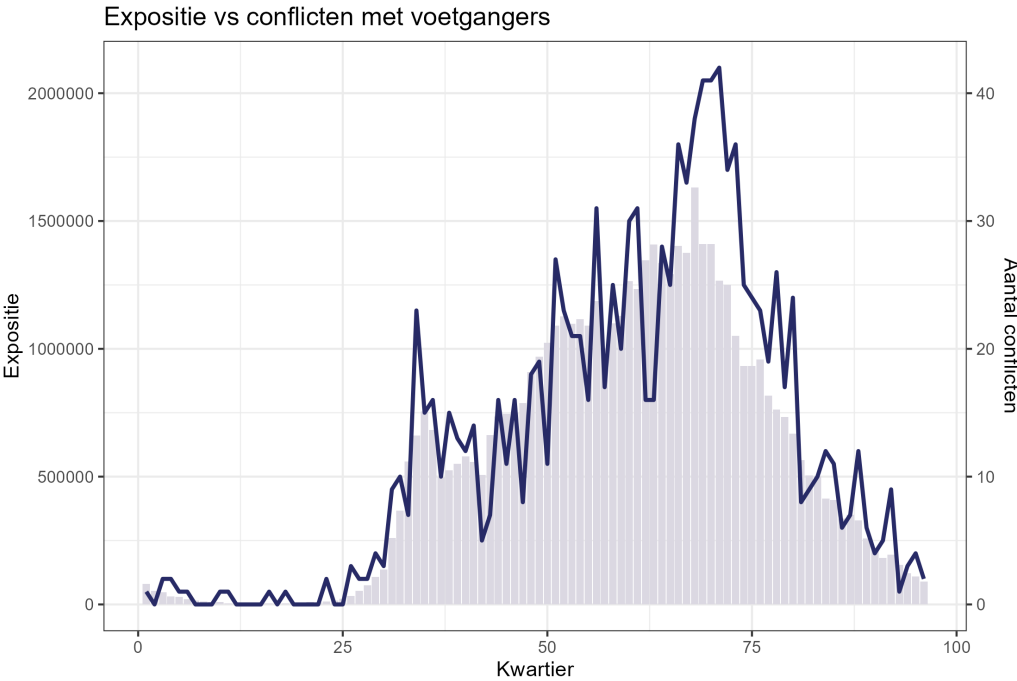
Tabel B.2. Modelling van expositie voor het voorspellen van aantal conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer, zoals ingevoerd in R.

Het gearceerde model is gekozen voor verdere analyse.

AIC = Akaike Information Criterion, conflictBike = aantal fietser-motorvoertuig-conflicten, countMotorized = aantal motorvoertuigen (intensiteit), countBike = aantal fietsers (intensiteit), camera_ID = kruispunttak.

Model	Vorm	AIC
1	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized}) + \log(\text{countPed}) + (1 \text{camera_ID})$	2273,0
1a	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized}) + \log(\text{countPed}) + \text{offset}(\log(\text{countPed})) + (1 \text{camera_ID})$	2273,0
1b	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized}) + \text{offset}(\log(\text{countPed})) + (1 \text{camera_ID})$	2271,4
2	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized} + \text{countPed}) + (1 \text{camera_ID})$	2300,3
3	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized} * \text{countPed}) + (1 \text{camera_ID})$	2273,9
4	$\text{conflictPed} \sim \log(\sqrt{\text{countMotorized}^2 + \text{countPed}^2}) + (1 \text{camera_ID})$	2318,1
5	$\text{conflictPed} \sim \text{offset}(\log(\sqrt{\text{countMotorized}})) + \text{offset}(\log(\sqrt{\text{countPed}})) + (1 \text{camera_ID})$	2396,6
6	$\text{conflictPed} \sim \log(\text{countMotorized}) * \log(\text{countPed}) + (1 \text{camera_ID})$	2274,4

Afbeelding B.2. Kwartierexpositie (grijze staven) en aantal conflicten (rode lijn) tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer, berekend over de gehele dataset, m.u.v. Assen. Kwartieren lopen van 0 (0:00) tot 96 (23:45).



Bijlage C Conflictaantallen als functie van oversteekrichting

Fietsers kunnen een kruispunttak in twee richtingen oversteken. Daardoor kan een rechts afslaand motorvoertuig een fietser in dezelfde rijrichting of ‘tegemoet’ treffen. Voor fietsers is oversteken echter niet in twee richtingen toegestaan als de betreffende tak een fietsoversteekvoorziening (FOV) in één richting biedt. Een tegemoetkomende fietser bij een éénrichtings-FOV kan worden opgevat als een ‘spookfietser’. In *Tabel C.1* zijn de kruispunttakken onderverdeeld op basis van het aantal oversteekrichtingen van de FOV (één of twee) en zijn daarbinnen de fietsintensiteiten en conflictaantallen uitgesplitst naar de geobserveerde oversteekrichting (totaal, tegemoet, dezelfde rijrichting). Bij de 14 takken met een éénrichtings-FOV zien we dat 5,2% van de fietsers in de verkeerde richting (tegemoet) overstaken. De kans op betrokkenheid bij een conflict, berekend als het aantal conflicten gedeeld door de intensiteit, was 2,7% voor fietsers die in de verkeerde richting overstaken. Voor fietsers die in de juiste richting overstaken was deze kans 1,5%.

Tabel C.1. Aantal conflicten tussen fietsers en gemotoriseerd verkeer o.b.v. 7 dagen waarneming, uitgesplitst naar oversteekrichting. Tellingen voor fietsers omvatten tevens overstekende scooters en motorfietsen. FOV = Fietsoversteekvoorziening, D = Deelconflicten, CV = Conflictvrij, MVT = Motorvoertuigen, ‘-’ = Niet van toepassing.

Stad	Tak ID	Verkeers- lichten- regeling	Aantal oversteek- richtingen FOV	Intensiteiten				Conflicten		
				Fietsers totaal	Fietsers tegemoet	Fietsers dezelfde rijrichting	MVT	Alle	Fietsers tegemoet	Fietsers dezelfde rijrichting
Amsterdam	2-1	D	1	35.438	1.918	33.520	14.121	1.639	103	1.536
Amsterdam	2-2	D	1	33.432	2.104	31.328	1.763	238	17	221
Amsterdam	3-1	CV	1	12.001	691	11.310	18.577	250	24	226
Amsterdam	3-2	D	1	6.786	496	6.290	7.208	153	11	142
Den Haag	4-1	D	1	23.495	643	22.852	4.636	266	11	255
Den Haag	4-2	D	1	20.270	690	19.580	4.686	219	8	211
Den Haag	4-3	D	1	22.815	480	22.335	3.478	169	4	165
Den Haag	4-4	CV	1	16.980	285	16.695	24.168	189	13	176
Eindhoven	5-1	CV	1	18.170	955	17.215	4.835	149	39	110
Eindhoven	5-2	D	1	17.448	928	16.520	7.503	190	39	151
Eindhoven	5-3	CV	1	6.208	361	5.847	7.942	18	7	11
Eindhoven	6	D	1	9.204	184	9.020	2.634	69	4	65
Eindhoven	7	CV	1	6.957	1.056	5.901	18.504	77	27	50
Rotterdam	8	CV	1	12.913	1.735	11.178	11.667	63	28	35
Totaal takken met 1 richting FOV (N = 14)				242.117	12.526	229.591	131.722	3.689	335	3.354

Stad	Tak ID	Verkeers- lichten- regeling	Aantal oversteek- richtingen FOV	Intensiteiten				Conflicten		
				Fietsers totaal	Fietsers tegemoet	Fietsers dezelfde rijrichting	MVT	Alle	Fietsers tegemoet	Fietsers dezelfde rijrichting
Amsterdam	1	CV	2	5.686	572	5.114	2.665	17	2	15
Zaanstad	9	CV	2	14.712	7.094	7.618	35.047	31	14	17
Assen	10-1	CV	2	1.252	601	651	10.768	3	1	2
Assen	10-2	D	2	23	23	0	541	0	0	0
Totaal takken met 2 richtingen FOV (N = 4)				21.673	8.290	13.383	49.021	51	17	34

Ongevallen voorkomen Letsel beperken Levens redden

SWOV

Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Henri Faasdreef 312

2492 JP Den Haag

070 – 317 33 33

info@swov.nl

www.swov.nl

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

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