

# Is kruispunt-complexiteit een indicator voor veiligheid? Een verkenning

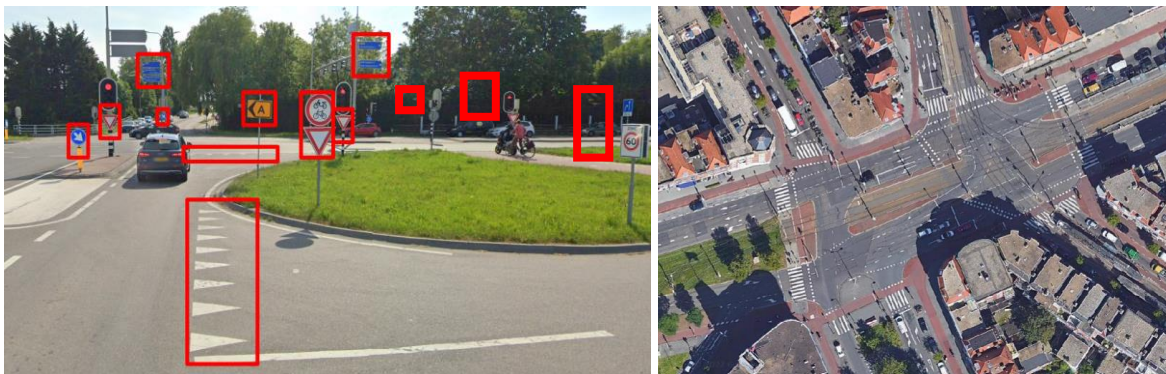
Nabavi Niaki, M.<sup>1</sup>, Schermers, G.<sup>1</sup>, Gebhard, S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>SWOV Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

## 1 Inleiding

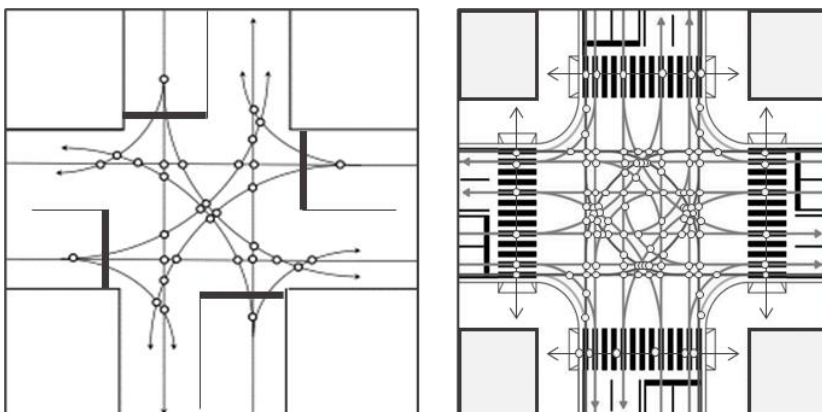
Kruispunten horen tot de onveiligste locaties in Nederland, waar 31% van alle verkeersdoden en 54% van de verkeersdoden onder fietsers (tussen 2015 en 2019) vallen op kruispunten (SWOV, 2022). In de afgelopen jaren stijgt het aantal ongevallen op kruispunten net als ongevallen onder fietsers. Ook in de afgelopen jaren is er in Nederland relatief weinig kwantitatief onderzoek uitgevoerd voor de verkeersveiligheidsproblemen bij VRI-kruispunten.

Internationaal is er onderzoek uitgevoerd naar de effecten van kruispuntcomplexiteit op de veiligheid. Een literatuuroverzicht wees echter op twee verschillende manieren om complexiteit in de verkeersomgeving te definiëren. De eerste definitie heeft betrekking op de aanwezigheid van vele fysieke kenmerken en ontwerpelementen van de verkeersomgeving, zoals rijstrookmarkeringen, verkeerslichten, verschillende vervoerswijzen, een groot kruispuntoppervlakte, het aantal rijstroken en verkeersborden, en aantal takken, die een weg visueel complexer maken voor een weggebruiker (Afbeelding 1.1).



Afbeelding 1.1 Fysieke kenmerken en ontwerpelementen

De tweede definitie heeft betrekking op het aantal mogelijke conflictpunten. Conflictpunten zijn de punten waar bewegingen elkaar kruisen (Afbeelding 2.2). Hoe hoger het aantal, hoe hoger de complexiteit.



Afbeelding 1.2 Verschil aantal conflict punten op kruispunten

Naast de verschillende definities zijn er verschillende veiligheidsuitkomsten gevonden in de literatuur. Enerzijds is het aanwezig zijn van meer verkeerselementen op de weg bedoeld om de veiligheid te verbeteren (Dijkstra, 2014; Nabavi Niaki, Wijlhuizen & Dijkstra, 2021). Sommige onderzoeken suggereren echter dat de verhoogde mentale belasting als gevolg van deze vele elementen de veiligheid vermindert (Aarts & Nes, 2007; Elvik, 2006).

Anderzijds duidt het hoge aantal mogelijke conflictpunten op een onveilige locatie (Corben et al., 2010; Kekez et al., 2022; SWOV, 2022), terwijl de aanwezigheid van bepaalde wegelementen de mogelijkheid van deze conflicten kan beperken of elimineren, zoals aparte verkeerslicht-groenfasen voor verschillende verkeersbewegingen (Blackburn et al., 2022). Daarom is een hoog aantal mogelijke conflictpunten misschien geen indicatie van onveiligheid. Hoewel deze methoden afzonderlijk zijn bestudeerd, zijn de twee definities en hun effect op de veiligheid nog niet vergeleken in een casestudy.

Het doel van dit paper is om een aantal VRI-kruispunten te bestuderen en te evalueren of de aanwezigheid van veel verkeerselementen (eerste complexiteit definitie) en het aantal mogelijke conflictpunten (tweede complexiteit definitie) een kruispunt veiliger maakt voor fietsers of niet.

## 1.1 Doelstelling

Het doel van deze studie is om de effecten van twee verschillende complexiteitsdefinities op de veiligheid VRI-kruispunten te verkennen. De evaluatie zal worden uitgevoerd aan de hand van video data gegevens en surrogaatmaten. De algemene onderzoeksvragen zijn:

1. Vergroot de aanwezigheid van veel weg- en verkeerselementen de kans op een onveilige interactiestussen een fietser en een voertuig?
2. Vergroot een hoger mogelijk aantal conflictpunten de kans op een fietser-auto onveilige interacties?

## 1.2 Achtergrond

Verkeersveiligheid wordt vaak afgemeten aan ongevallen of slachtoffers. Ook de ‘tussenuitkomsten’ kunnen een goede indruk geven van het verkeersveiligheidsniveau. Dit zijn onveilige interacties die direct zijn gerelateerd aan het aantal ongevallen.

Onveilige interacties zijn gebruikt als een proactieve manier om de verkeersveiligheid te evalueren. Ze kunnen worden geïdentificeerd door middel van handmatige observaties ter plaatse of via automatische detectie uit video-opnamen. De twee meest gebruikte surrogaatveiligheidsmaten zijn TTC (time-to-collision) en PET (post-encroachment time). De TTC is de tijd die twee verkeersdeelnemers nodig hebben om met elkaar in botsing te komen als hun beweging en snelheid ongewijzigd zouden blijven. De PET is de tijd die een verkeersdeelnemer nodig heeft om een onveilige interactiepunt te verlaten en voor de tweede verkeersdeelnemer om aan te komen. Hoe dichter de TTC en PET bij nul liggen, hoe ernstiger het onveilige interactie is.

## 2 Methodologie

De methodologische stappen om deze studie uit te voeren worden hieronder samengevat:

1. VRI kruispunt selectie
2. Tellen van het aantal conflictpunten en het aantal visuele inrichtingselementen
3. Verzameling van videogegevens
4. Analyse van videogegevens

- a. Weggebruiker traject extractie
  - b. Onveilige interacties detectie
5. Berekening van het risico van onveilige interacties

Meer details over elke stap worden hieronder beschreven.

## 2.1 Selectie VR-kruispuntlocaties

VRI-kruispunten zijn geselecteerd aan de hand van de volgende criteria:

1. visuele complexiteit (van eenvoudig tot complex)
2. omgeving (zowel binnen als buiten de bebouwde kom)

Met behulp van bestaande SWOV-bestanden (met kenmerken van vooral locaties in Noord- en Zuid-Holland (Hermens et al., 2021; Wijnhuizen et al., 2021), Cyclomedia Streetview/Google Maps, en BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland), zijn waren 3 geschikte VRI-kruispunten geselecteerd voor beelden worden vastgelegd en geanalyseerd. *Error! Reference source not found.*, *Error! Reference source not found.* en *Error! Reference source not found.* laten de drie geselecteerde kruispunten zien.



Afbeelding 2.1 Kruising tussen **Mauritskade** (GOW50) en **Denneweg** (ETW30)

Het kruispunt van de Mauritskade met de Denneweg is een viertaks VRI- kruispunt (*Error! Reference source not found.*). Mauritskade heeft een maximumsnelheid van 50 km/uur, en Denneweg heeft een maximumsnelheid van 30 km/uur en is eenrichtingsverkeer voor gemotoriseerd verkeer.



Afbeelding 2.2 Kruising tussen **Calandstraat** (GOW50) en **Waldorpstraat** (GOW50)

Het VRI-kruispunt tussen de Calandstraat en Waldorpstraat is een vrij groot viertakskruispunt met meerdere opstel- en rijstroken, en voorzieningen voor fietsers en voetgangers (*Error! Reference source not found.*). De maximumsnelheid op alle takken is 50 km/uur en er zijn middengeleiders op alle takken.



Afbeelding 2.3 Kruising tussen de **Eerste Tochtweg** (GOW80) en **Zuidelijke Dwarsweg** (GOW70)

Het kruispunt tussen de Eerste Tochtweg en Zuidelijke Dwarsweg is een viertaks VRI-kruispunt, relatief groot (*Error! Reference source not found.*). De straten hebben een maximumsnelheid van 70, maar de maximumsnelheid op het kruispunt is lokaal 50 km/uur.

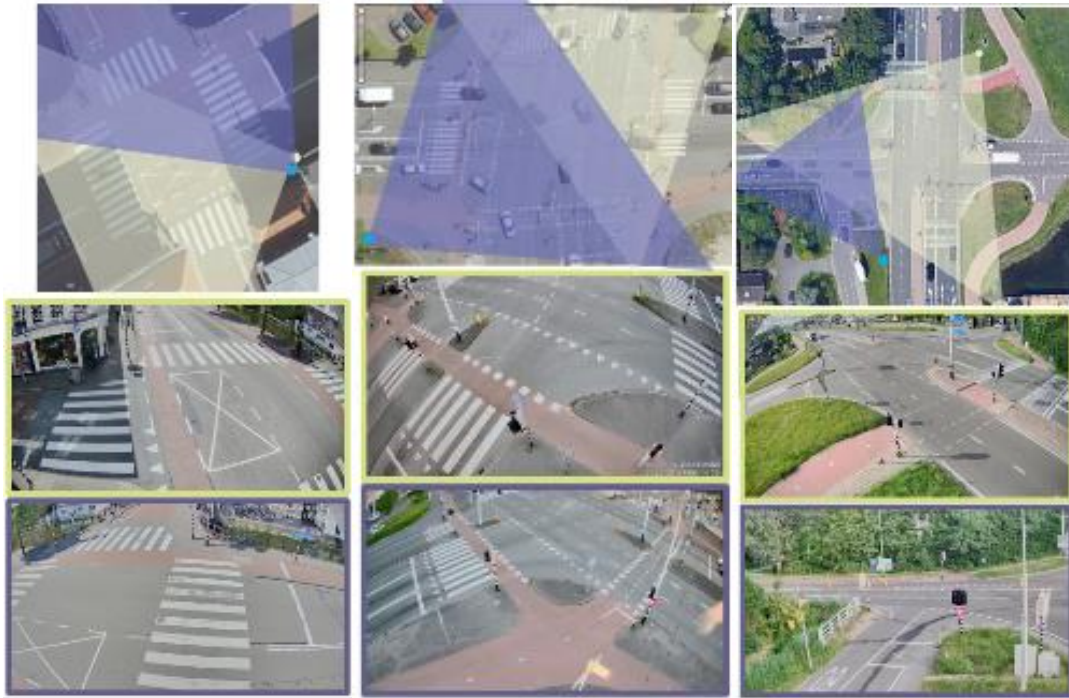
## 2.2 Tellen van het aantal conflictpunten en inrichtingselementen

Bij deze stap worden de twee complexiteitsdefinities gebruikt om tot een complexiteitscore te komen. Voor de eerste definitie wordt het totaal aantal conflictpunten geteld per verkeersbeweging en interactie. De tweede definitie vereist het handmatig tellen van visuele inrichtingselementen. Op basis van

literatuur en brainstormsessies is een lijst gemaakt met elementen voor het tellen van het aantal elementen aanwezig bij elk VRI-kruispunt (*Tabel 3.2*).

### 2.3 Vastleggen videobeelden

Twee camera's waren per kruispunt geïnstalleerd door Connection Systems. *Error! Reference source not found.* toont de drie kruispunten en de plaatsing van de twee camera's en het beeld van de camera's.



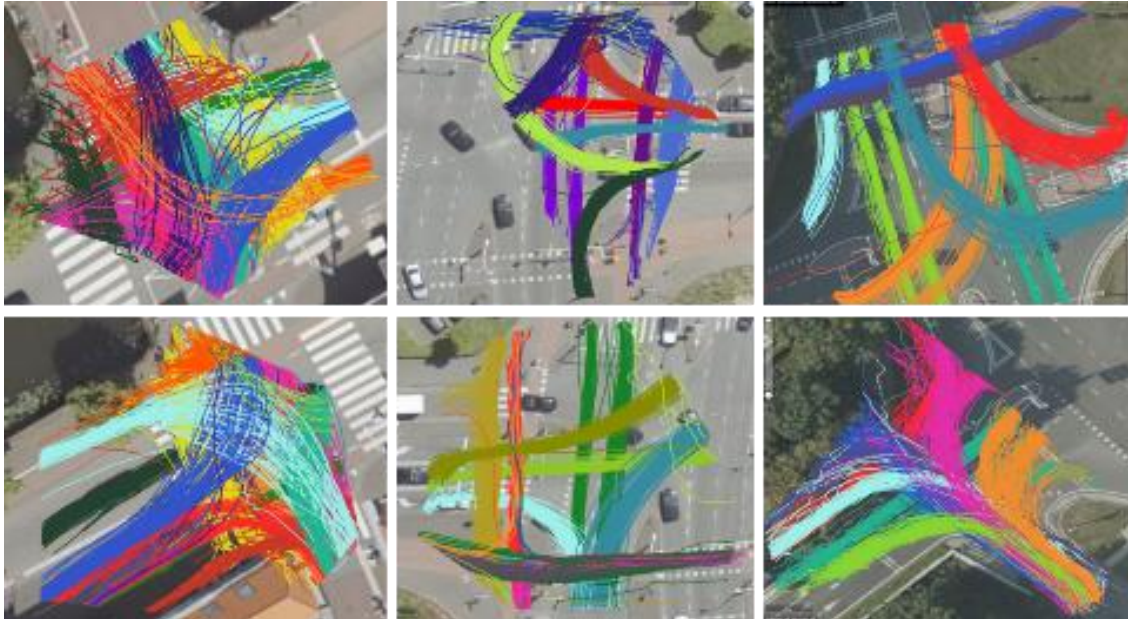
*Afbeelding 2.4* Camerazicht op elk kruispunt

### 2.4 Geautomatiseerde analyse van videodata

De videobeelden van de zes camera's op de drie kruispunten zijn met behulp van de automatische beeldanalysesoftware van Transoft Solutions geanalyseerd. De manier hoe dit is uitgevoerd wordt hieronder kort samengevat.

#### *Weggebruiker traject extractie*

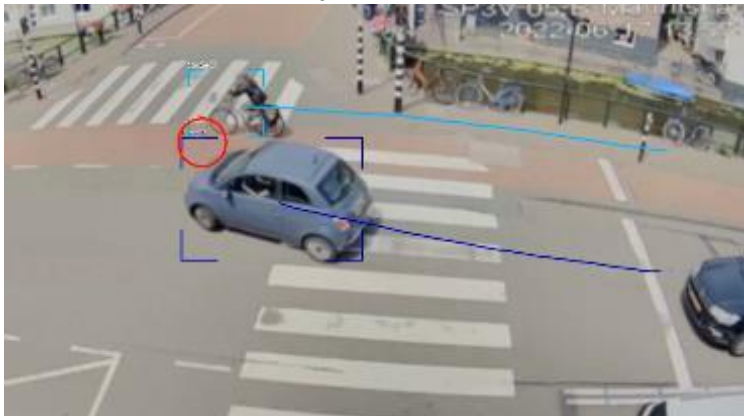
Met behulp van een objectdetectie-algoritme zijn verschillende soorten weggebruiker gedetecteerd en geclassificeerd in fietsers, voetgangers, motorvoertuigen en motorfietsen. *Error! Reference source not found.* toont voorbeelden van bewegingen vastgelegd door de zes camera's. Met deze trajectorie data is het mogelijk om te bepalen welke specifieke beweging de weggebruiker uitvoert, met welke snelheid dat gebeurt en ook of er zich een onveilige interactie voordoet.



*Afbeelding 2.5 Weggebruikerstrajecten op basis van beweging*

### *Onveilige interacties detectie*

Als onveilige interactie maat zijn door de software continu de veiligheidsindicatoren TTC en PET berekend. **Error! Reference source not found.** toont een voorbeeld van een gedetecteerd onveilige interactie tussen een doorrijdende fietser en een auto die rechts afslaat.



*Afbeelding 2.6 Gesignaleerd onveilige interactie tussen fietser en auto op de Mauritskade*

## **2.5 Frequentie Onveilige interacties**

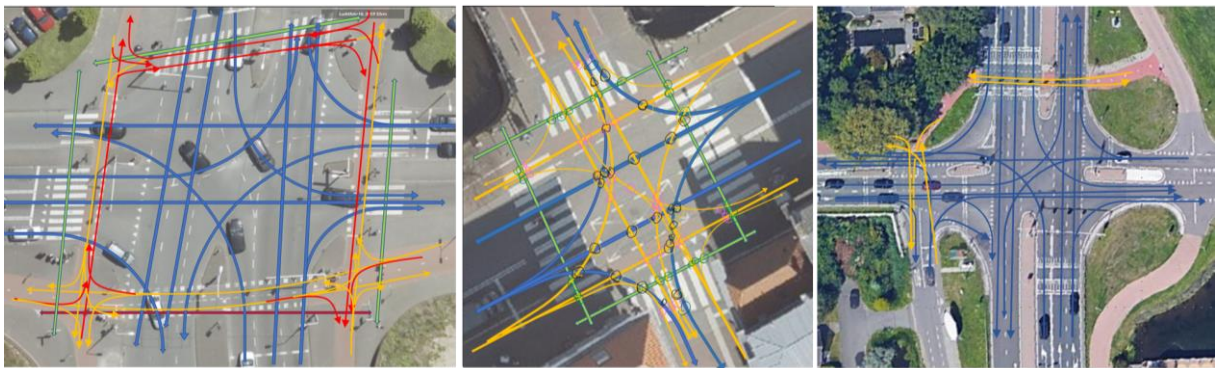
Een ernstig onveilige interactie wordt gedefinieerd als een TTC of PET van minder dan 1,5 seconde (Johnsson, Laureshyn & De Ceunynck, 2018). Echter, een betere risico indicator van blootstelling aan verkeersrisico is het aantal ontmoetingen in plaats van de verkeerintensiteit. Het aantal ontmoetingen geeft aan hoe vaak bijvoorbeeld een motorvoertuig en een fietser elkaar binnen een bepaalde afstand en tijd tegenkomen. Om dit te verkrijgen, maken we gebruik van TTC en PET's van maximaal 5 seconden. Dit is een veilig interactie, maar is toch nuttig omdat het aangeeft dat de twee verkeersdeelnemers op hetzelfde moment in hetzelfde gebied waren.

### 3 Resultaten

In de volgende hoofdstukken worden de resultaten van de complexiteitsdefinities gepresenteerd, waarna de resultaten van de veiligheidsanalyse worden gepresenteerd.

#### 3.1 Complexiteit: aantal conflictpunten

Afbeelding 3.1 geeft in rood de toegestane (en niet toegestane) verplaatsingen weer, waarbij hun oversteekplaats als conflictpunt wordt geteld. Tabel 3.1 vat het aantal conflictpunten samen. De meeste conflictpunten voor auto-auto's werden waargenomen op de Eerste Tochtweg, voor fiets-fiets op de Mauritskade en voor auto-fiets op de Calandstraat. Uit de som van alle conflictpunten blijkt dat de Calandstraat met 96 conflictpunten het meest complex is.



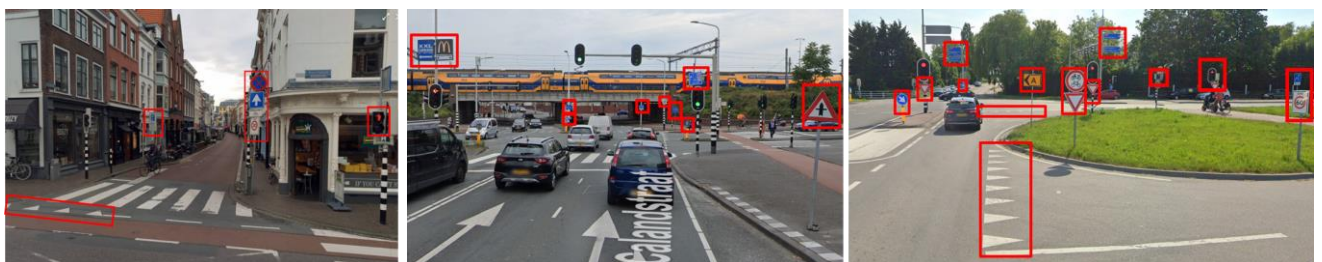
Afbeelding 3.1 Conflictpunten- blauw: auto, geel: fiets, groen: voetganger, rood: niet-toegestane fiets

Tabel 3.1 Aantal conflictpunten van verschillende typen

	Aantal conflictpunten		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Auto-Auto	5	30	42
Fiets-Fiets	25	13	2
Auto-Fiets	24	30	26
Voetganger-Auto/Fiets	24	23	0
Totaal	78	96	70

#### 3.2 Complexiteit: aantal elementen

Afbeelding 3.2 toont een voorbeeldaanzicht van elk kruispunt waar het aantal visuele weg- en omgevingsinformatie is weergegeven. Tabel 3.2 geeft een lijst van de elementtypen en hun aantallen per intersectie. Interessante tellingen zijn het totaal aantal signaalgevers zijnde 12 aan de Mauritskade, 27 aan de Calandstraat en 25 aan de Eerste Tochtweg. Ook zijn er een groot aantal informatieborden variërend van 17 tot 41 op de kruispunten.



f 3.2 Complexiteit elementen per kruispunt

Tabel 3.2 Aantal waargenomen complexiteitselementen

Elementtype	Aantal elementen		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Middengeleider	0	4	5
Aantal takken	4	4	5
Totaal aantal rijstroken voor voertuigen	6	18	18
Totaal aantal fietspaden/-stroken	4	8	5
Aantal toegestane rechtsaf-bewegingen (auto's)	2	4	6
Aantal toegestane linksaf-bewegingen (auto's)	2	4	7
Aantal toegestane rechtsaf-fietsbewegingen	4	4	4
Aantal toegestane linksaf-fietsbewegingen	4	4	4
Soorten fietsvoorzieningen	2	1	2
OFOS	0	0	1
Aantal voetgangersoversteekplaatsen	4	3	0
Aantal fietsoversteken	2	3	2
Haaientanden op takken	1	2	9
Pijlen op de weg	0	14	8
Maximumsnelheid	0	0	1
Bushaltes	0	2	0
Tunnel	0	1	0
Deflectie-eiland	0	2	0
Wegverlichting	2	10	11
Totaal aantal signaalgevers	12	27	25
Linksaf-geleidestrepen	0	4	2
Totaal aantal informatieborden	17	29	41
Soorten weggebruikers	3	3	2
Snelheidsdrempel	0	0	2
Bomen/struiken die het zicht belemmeren	0	0	1
Parkeren langs de weg	0	0	0
Aantal bewegingen met belemmerd zicht	1	0	1
Verlegde stopstreep	2	0	0
Houd-kruispunt-open-markering	1	0	0
Erfaansluiting bij kruispunt	0	2	4
<b>Totaal</b>	<b>73</b>	<b>153</b>	<b>166</b>



### 3.3 Gemeten aantal onveilige interacties

In de resultaten van de videoanalyse is onder meer gekeken naar het aantal onveilige interacties tussen alle verkeersdeelnemers. Tabel 3.3 geeft een overzicht van het aantal onveilige interacties (TTC of PET onder de 1,5s) per interactie type. Het is niet verwonderlijk dat er geen onveilige interacties tussen fiets en voetganger zijn op de Eerste Tochtweg, aangezien er gemiddeld slechts 20 fietsers/u waren, vergeleken met gemiddeld 350 fietsers/u op de Mauritskade, en gemiddeld 236 fietsers/u op de Calandstraat.

Tabel 3.3 Aantal onveilige interacties per uur per type (niet gecorrigeerd voor intensiteitseffect)

	Aantal onveilige interacties/uur		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Auto-Auto	8.0	<b>33.6</b>	0.02
Fiets-Fiets	<b>5.6</b>	1.1	0
Fiets-Auto	<b>4.5</b>	2.2	0.03
Voetganger-Fiets	<b>2.5</b>	1.2	0
Voetganger-Auto	0.9	<b>1.6</b>	0
Totaal	21.5	39.7	0.05

## 4 Discussie

In deze paragraaf wordt het risico op een onveilige interactie vergeleken met de resultaten van de twee complexiteitsdefinities. Om de drie VRI's met elkaar te vergelijken wordt het aantal ontmoetingen (Tabel 4.1) als expositiemaat gebruikt. De waarde aantal ontmoetingen/uur is het gemiddelde aantal onveilige interacties per uur tussen de typen verkeersdeelnemers gedeeld door de gemiddelde ontmoetingen per uur tussen de typen verkeersdeelnemers.

Tabel 4.1 Gemiddelde uurlijkse ontmoetingen weer tussen de type verkeersdeelnemers

	Aantal ontmoetingen/uur		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Auto-Auto	7839	19714	439
Fiets-Auto	8936	5202	77
Fiets-Fiets	8025	1443	0

Tabellen 4.2, 4.3 en 4.4 vatten elk het risico en de complexiteit samen van respectievelijk auto-auto-interacties, auto-fiets-interacties en fiets-fiets-interacties. Kijkend naar de auto-auto interacties, laat Tabel 4.2 zien dat op de Mauritskade een onveilige interactiefrequentie van 0,33 werd waargenomen terwijl slechts 5 conflictpunten werden beschouwd en 73 visuele inrichtingselementen aanwezig waren. Ter vergelijking: de Calandstraat, die de hoogste auto-auto onveilige interactiefrequentie had van 0,44, heeft ook hogere auto-auto conflictpunten (30) en moe inrichtingselementen in totaal 153. Op het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, is de onveilige interactiefrequentie tussen auto's het laagst in vergelijking met de andere locaties. Interessant genoeg heeft deze locatie ook het hoogste aantal auto-auto conflictpunten (42) en ook de meeste inrichtingselementen (166).

Tabel 4.2 *Auto-auto* onveilige interactie frequentie

	Auto-Auto		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Onveilige interactiefrequentie	0.33	<b>0.44</b>	0.01
Conflictpunten	5	30	<b>42</b>
Inrichtingselementen	73	153	<b>166</b>

Kijkend naar de auto-fiets interacties, laat Tabel 4.3 zien dat op de Mauritskade een onveilige interactiefrequentie van 0,16 wordt waargenomen. Dit is hoger dan de andere locaties terwijl dit kruispunt de minste auto-fiets conflictpunten (24) en het laagste aantal visuele inrichtingselementen telt. Calandstraat, dat heeft de op één na hoogste auto-fiets onveilige interactiefrequentie van 0,11, en het heeft de hoogste auto-fiets conflictpunten (30), terwijl het 153 inrichtingselementen heeft. Bij het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, is de onveilige interactiefrequentie tussen auto en fiets 0,09, wat relatief vergelijkbaar is met de andere kruispunten. Dit komt omdat er gedurende de hele week 7 onveilige auto-fiets-interacties waren, terwijl er slechts 77 auto-fiets-ontmoetingen plaatsvonden. Eerste Tochtweg heeft 26 auto-fiets conflictpunten.

Tabel 4.3 *Auto-fiets* onveilige interactie frequentie

	Auto-Fiets		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Onveilige interactiefrequentie	<b>0.16</b>	0.11	0.09
Conflictpunten	24	<b>30</b>	26
Inrichtingselementen	73	153	<b>166</b>

Tabel 4.4 geeft de interactiesituatie tussen fiets-fiets weer. Op de Mauritskade wordt een onveilige interactiefrequentie waargenomen van 0,23, wat het hoogste is in vergelijking met de andere locaties. Deze locatie heeft ook het hoogste aantal fiets-fiets conflictpunten (25) maar het laagste aantal visuele inrichtingselementen (73). De Calandstraat heeft 0,19 onveilige fiets-fiets-interacties terwijl dit kruispunt 13 fiets-fiets-conflictpunten en 153 inrichtingselementen telt. Bij het laatste kruispunt, Eerste Tochtweg, zijn geen onveilige fiets-fiets interacties geteld en zijn er met twee conflictpunten.

Tabel 4.4 *Fiets-fiets* onveilige interactie frequentie

	Fiets-Fiets		
	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Onveilige interactiefrequentie	<b>0.23</b>	0.19	0
Conflictpunten	<b>25</b>	13	2
Inrichtingselementen	73	153	<b>166</b>

Tabel 4.5 laat de onveilige interactiefrequentie zien voor het totaal aantal conflictpunten per interactiecategorie. Hier zijn relaties moeilijk te leggen. Voor de auto-auto interactie is de locatie met de meeste conflictpunten (Eerste Tochtweg) het veiligst, terwijl voor auto-fiets interacties de hoogste conflictpunten worden waargenomen op een relatief onveilig kruispunt (Calandstraat). En als het gaat om fiets-fiets interacties, heeft de Mauritskade het hoogste aantal conflictpunten en ook de hoogste onveilige interactiefrequentie.

Tabel 4.5 Onveilige interactie frequenties en aantal **conflictpunten**

Indicatoren		Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Auto-Auto	Onveilige interactie frequentie	0.33	<u>0.44</u>	0.01
	<b>Conflictpunten</b>	5	30	<b>42</b>
Auto-Fiets	Onveilige interactie frequentie	<u>0.23</u>	0.19	0
	<b>Conflictpunten</b>	24	<b>30</b>	26
Fiets-Fiets	Onveilige interactie frequentie	<u>0.16</u>	0.11	0.09
	<b>Conflictpunten</b>	<b>25</b>	13	2

In tabel 4.6 is de onveilige omgangsfrequentie te zien samen met het totaal aantal inrichtingselementen. Een interessant resultaat is dat de Eerste Tochtweg, met het hoogste aantal visuele inrichtingselementen, ook het meest veilige kruispunt van de twee is. Het op een na veiligste kruispunt is de Calandstraat die ook het op een na hoogste aantal inrichtingselementen heeft. Tot slot heeft het kruispunt met het laagste aantal inrichtingselementen de laagste veiligheidsscore. Hoewel niet statistisch getest, kunnen deze resultaten erop wijzen dat hoe hoger het aantal elementen, hoe veiliger de kruising.

Tabel 4.6 Onveilige interactie frequenties en aantal **inrichtingselementen**

	Mauritskade	Calandstraat	Eerste Tochtweg
Auto-Auto	0.33	<u>0.44</u>	0.01
Auto-Fiets	<u>0.23</u>	0.19	0
Fiets-Fiets	<u>0.16</u>	0.11	0.09
<b>Inrichtingselementen</b>	73	153	<b>166</b>

## 5 Conclusie

In deze studie zijn twee veelgebruikte definities van kruispunt-complexiteit overgenomen en geëvalueerd. De eerste definitie geeft aan dat het aantal bestaande conflict punten bij een kruispunt van invloed is op de veiligheid. In deze definitie verwijst conflict punt naar de kruisende paden van alle weggebruikers, ongeacht of de bewegingen tegelijkertijd zijn toegestaan of niet. De tweede definitie is gebaseerd op visuele complexiteit, waarbij het aantal elementen en het ontwerp van het kruispunt van invloed is op de veiligheid.

Om de veiligheidseffecten van deze twee definities te controleren, werden drie verschillende kruispunten geselecteerd en werden hun conflict punten en het aantal inrichtingselementen geteld. Veiligheidsanalyse werd uitgevoerd met behulp van onveilige interacties die werden verkregen uit opgenomen videogegevens op de kruispunten. De ernst van de onveilige interacties werd gedefinieerd aan de hand van de TTC en PET. De frequentie van onveilige interacties werd berekend aan de hand van de aantal ontmoetingen, per interactietype (auto-auto, auto-fiets, fiets-fiets).

De gegevens die uit deze analyse zijn verkregen, zijn beperkt (slechts drie kruispunten), daarom is het belangrijk om te weten dat concrete conclusies en beslissingen niet kunnen worden getrokken uit de resultaten. Op basis van de geanalyseerde gegevens lijkt er alleen een visueel verband te zijn tussen het aantal inrichtingselementen en de veiligheid, waarbij de aanwezigheid van meer elementen resulteerde in een lagere kans op een onveilige interactie. Bij het bekijken van de resultaten van de conflict punten lijkt er geen verband te zijn tussen de onveilige interacties en het aantal conflict punten per interactiecategorie.

De resultaten van deze studie geven aan dat het met verdere gegevensverzameling mogelijk zou kunnen zijn om een relatie vast te stellen tussen kruispunt-complexiteit en veiligheid.

## Literatuur

Aarts, D.L.T. & Nes, d.i.C.N.v. (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.

Blackburn, L., Dunn, M., Martinson, R., Robie, P., et al. (2022). *Improving intersections for pedestrians and bicyclists: informational guide*. U.S. Department of Transportation, Washington DC, U.S.A.

Corben, B., Nes, N.v., Candappa, N., Logan, B.L., et al. (2010). *Development of the kinetic energy management model and safe intersection design principles*. Monash University Accident Research Centre MUARC, Melbourne.

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

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

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

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

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

SWOV (2022). *Factsheet: Rotondes en andere kruispunten*, SWOV, Den Haag.  
<https://swov.nl/nl/factsheet/rotondes-en-andere-kruispunten>.

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