

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

***Parameteranalyse in Vissim voor de bepaling van de critical gap van
voorrangsgeregelde kruispunten in België***

Tom Jacobs

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

ir. Erik VANDERMEERSCH

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE 3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE 3500 Hasselt



2022
2023

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

***Parameteranalyse in Vissim voor de bepaling van de critical gap van
voorrangsgeregelde kruispunten in België***

Tom Jacobs

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

ir. Erik VANDERMEERSCH



KU LEUVEN

Woord vooraf

Graag wil ik starten met het bedanken van alle personen en instanties die hebben bijgedragen aan de voltooiing van dit onderzoek. Als eerste en in het bijzonder bedank ik mijn externe promotor, ir. Erik Vandermeersch van het bedrijf Sweco, voor de waardevolle begeleiding en ondersteuning gedurende dit onderzoek. Zijn inzichten en expertise waren van groot belang om dit onderzoek naar een hoger niveau te tillen.

Verder wens ik mijn interne promotor, prof. dr. ir. Ali Pirdavani, te bedanken voor zijn begeleiding bij het uitvoeren van dit onderzoek en de waardevolle bijdrage aan het verbeteren van de taalkundige aspecten.

Tot slot gaat mijn oprechte dank uit naar de Universiteit Hasselt die het mogelijk maakte om dit onderzoek uit te voeren en voor het verstrekken van de middelen die nodig waren om dit onderzoek tot een succesvol einde te brengen.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Abstract	9
Abstract in English	11
1 Inleiding	13
1.1 Situering	13
1.2 Probleemstelling.....	13
1.3 Doelstellingen.....	14
2 Literatuurstudie	15
2.1 Kruispunten	15
2.1.1 T-kruispunten en verkeersstromen	15
2.1.2 Kruispunten zonder signalisatie	16
2.2 Microsimulatie.....	17
2.2.1 Software.....	17
2.2.2 Car following model.....	18
2.2.3 Kalibratie en validatie van de modellen	19
2.2.4 Gap acceptance.....	20
2.2.5 Raff's methode	22
2.3 Vissim.....	23
2.3.1 Modellering in Vissim.....	24
2.4 Alternatieven voor dataverzameling.....	25
2.4.1 Intrusive methods	25
2.4.2 Non-intrusive methods	26
3 Observatieonderzoek	27
3.1 Materiaal en methode	27
3.1.1 Locaties	27
3.1.2 Verkeersobservatie	31
3.1.3 Video-analyse	32
3.1.4 Critical gap	33
3.2 Resultaten	34
3.2.1 Locatie 1: Genk	34
3.2.2 Locatie 2: Genk	35
3.2.3 Locatie 3: Genk	36
3.2.4 Locatie 4: Leuven.....	37
3.2.5 Locatie 5: Hasselt	38
3.3 Samenvatting.....	39

4	Experimenteel onderzoek in Vissim.....	41
4.1	Materiaal en methode	41
4.1.1	Opbouw van de modellen.....	41
4.1.2	Vissim-modellen	45
4.1.3	Parameters	49
4.1.4	Critical gap	51
4.1.5	Scenario's	53
4.2	Resultaten	55
4.2.1	Default parameters	55
4.2.2	Invloed van de parameters.....	56
4.2.3	Parameterset	65
4.3	Conclusie	68
5	Validatie	69
5.1	Materiaal en methode	69
5.2	Resultaten	69
5.2.1	Parameter observe adjacent lanes.....	69
5.2.2	Vergelijking parameterset	70
5.3	Conclusie	71
6	Toekomstig onderzoek en optimalisatie	73
6.1	Toekomstig onderzoek	73
6.2	Optimalisatie	74
6.2.1	Alternatieven voor dataverzameling.....	74
6.2.2	Vergroten van het onderzoeksgebied met behulp van drones	75
6.2.3	Analyse van de video's door artificiële intelligentie	76
7	Conclusie	77
	Referentielijst.....	79
	Bijlage.....	83
	Bijlage A: Overzicht resultaten onderzoek.....	83

Lijst van tabellen

Tabel 1: Resultaten gap analyse locatie 1.....	33
Tabel 2: Samenvatting critical gap per locatie	39
Tabel 3: Defaultwaarden parameters.....	51
Tabel 4: Resultaten gap analyse locatie 1.....	52
Tabel 5: Defaultwaarden parameters en grenzen	53
Tabel 6: Scenario 1 tot en met 7b voor locatie 1 tot en met locatie 3	53
Tabel 7: Critical gaps met de defaultwaarden	55
Tabel 8: Vergelijking critical gaps	55
Tabel 9: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 1	56
Tabel 10: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 2	58
Tabel 11: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 3.....	61
Tabel 12: Scenario's 8 tot en met 13 locatie 1	65
Tabel 13: Scenario's 8 tot en met 12 locatie 2	66
Tabel 14: Scenario's 8 tot en met 12 locatie 3	66
Tabel 15: Scenario 11.....	67
Tabel 16: Vergelijking critical gaps	67
Tabel 17: Effect parameter observe adjacent lanes	69
Tabel 18: Vergelijking critical gaps	70

Lijst van figuren

Figuur 1: Grafische weergave van de gap time	14
Figuur 2: Verkeersstromen T-kruispunt	15
Figuur 3: Classificatie van het rijgedrag van bestuurders	17
Figuur 4: T-kruispunt	20
Figuur 5: Waarschijnlijkheid om een critical gap te accepteren als functie van de wachttijd.....	21
Figuur 6: Waarden van de critical gaps	21
Figuur 7: Raff's methode	22
Figuur 8: Raff's methode	23
Figuur 9: Screenshot uit Google Maps van locatie 1	27
Figuur 10: Screenshot uit Google Maps van locatie 2	28
Figuur 11: Screenshot uit Google Maps van locatie 3	28
Figuur 12: Screenshot uit Google Maps van locatie 4	29
Figuur 13: Screenshot uit Google Maps van locatie 5	30
Figuur 14: Smartphone met statief	31
Figuur 15: Cameralocatie en meetpunten.....	31
Figuur 16: Screenshot van video-opname locatie 3	32
Figuur 17: Critical gap analysis locatie 1	34
Figuur 18: Critical gap analysis locatie 2	35
Figuur 19: Critical gap analysis locatie 3	36
Figuur 20: Critical gap analysis locatie 4	37
Figuur 21: Critical gap analysis locatie 5	38
Figuur 22: Screenshot uit Vissim met de achtergrond van locatie 1	41
Figuur 23: Screenshot uit Vissim met aanduiding van de reduced speed area.....	42
Figuur 24: Screenshot uit Vissim met vehicle inputs.....	43
Figuur 25: Screenshot uit Vissim met aanduiding van de routes	43
Figuur 26: Screenshot uit Vissim met aanduiding van het conflictgebied	44
Figuur 27: Screenshot uit Vissim locatie 1	45
Figuur 28: Screenshot uit Vissim locatie 2	46
Figuur 29: Screenshot uit Vissim locatie 3	46
Figuur 30: Screenshot uit Vissim locatie 4	47
Figuur 31: Parameters conflictgebied locatie 4	47
Figuur 32: Screenshot uit Vissim locatie 5	48
Figuur 33: Safety distance factor.....	49
Figuur 34: Front gap - locatie 1	57
Figuur 35: Safety distance factor - locatie 1.....	58
Figuur 36: Front gap - locatie 2.....	59
Figuur 37: Safety distance factor - locatie 2.....	60
Figuur 38: Safety distance factor - locatie 3.....	62
Figuur 39: Additive part of safety distance - locatie 3	63
Figuur 40: Front gap - samenvatting	64
Figuur 41: Safety distance factor - samenvatting	64
Figuur 42: Foutmarge per locatie	67
Figuur 43: Foutmarge per locatie	71
Figuur 44: Weergave omgeving locatie 4 te Leuven.....	75

Abstract

Het uitvoeren van verkeerssimulaties met behulp van het microsimulatieprogramma Vissim brengt een belangrijk probleem met zich mee. De simulaties worden veelal uitgevoerd met defaultwaarden voor de betrokken parameters. Daardoor is er een onzekerheid aanwezig op de resultaten van de critical gap die op zijn beurt de capaciteit bepaalt. De critical gap volgens Raff's definitie is een theoretische gap waarbij een gelijk aantal voertuigen de gap zal accepteren als weigeren. Dit onderzoek heeft als doel het identificeren en analyseren van de parameters die de resultaten beïnvloeden. Op basis daarvan wordt een parameterset opgesteld waardoor de onzekerheid op de critical gap vermindert.

Naast praktijkmetingen zullen er in Vissim simulaties uitgevoerd worden met de defaultwaarden en verschillende sets van parameterwaarden. De resultaten van de critical gaps van beide onderzoeksmethoden worden vergeleken en de foutmarges worden onderzocht. Op basis daarvan worden de belangrijkste parameters gedefinieerd en geanalyseerd en worden er iteratieve simulaties uitgevoerd om een parameterset op te stellen die de foutmarge verkleint.

De resultaten tonen aan dat er nood is aan een nieuwe parameterset aangezien er foutmarges tussen de werkelijke critical gaps en de critical gaps met de defaultwaarden aanwezig zijn. Na de simulaties met de opgestelde parameterset met aangepaste waarden voor de front gap en de safety distance factor blijkt dat de resultaten van de critical gaps veel sterker aanleunen bij de werkelijke resultaten.

Abstract in English

Carrying out traffic simulations using the microsimulation programme Vissim poses a significant problem. Currently, simulations are mostly performed with default values for the parameters involved. As a result, uncertainty is present concerning the results of the critical gap which in turn determines the capacity. The critical gap according to Raff's definition is a theoretical gap where as many vehicles will accept the gap as reject it. This research aims to identify and analyse the parameters that influence the results. Based on these results, a parameter set will be created that reduces the uncertainty of the critical gap.

Besides field measurements, simulations are carried out in Vissim with the default values and different sets of parameter values. The results of the critical gaps of both research methods will be compared, and the margins of error are examined. Based on these results, the most important parameters are defined and analysed and iterative simulations will be carried out to create a parameter set that reduces the error margin.

The results show that there is a need for a new parameter set due to the error margins between the actual critical gaps and the critical gaps with the default values. After simulations with the developed parameter set with adjusted values for the front gap and the safety distance factor, the results for the critical gaps are significantly closer to the actual results.

1 Inleiding

1.1 Situering

Bij het onderzoek van infrastructurele projecten zoals het vernieuwen van een bestaande verkeerssituatie of het aanleggen van geheel nieuwe verkeerssituaties, is het belangrijk om het gedrag van de weggebruikers in kaart te brengen in het kader van de capaciteit. Dit onderzoek wordt bij complexe situaties vaak uitgevoerd met simulatiesoftware zoals het softwareprogramma Vissim. Om het gedrag van de weggebruikers te kunnen onderzoeken is het belangrijk om enerzijds de verkeerssituatie op een correcte manier te modelleren, en anderzijds de juiste waarden voor de verschillende betrokken parameters te gebruiken. Het zijn deze voorrangsparementen waarnaar er in België nog weinig onderzoek is uitgevoerd.

Dit onderzoek, in samenwerking met het bedrijf Sweco, heeft betrekking op deze verkeersmodellering en simulaties. Deze studie mikt erop om de onzekerheden in verband met de voorrangsparementen van conflictgebieden op te lossen door middel van het analyseren van bestaande verkeerssituaties. In dit onderzoek zullen de resultaten die bepaald zijn op basis van het terreinonderzoek en de videoanalyses vergeleken worden met de resultaten wanneer de defaultwaarden van Vissim of andere parametersets gebruikt worden in het simulatieprogramma.

Na het uitvoeren van dit onderzoek zal niet alleen duidelijk worden welke parameters de meeste invloed hebben op de resultaten van de simulaties, maar ook op welke manier er resultaten verkregen kunnen worden uit de simulaties die dichter aansluiten bij de werkelijke situatie.

1.2 Probleemstelling

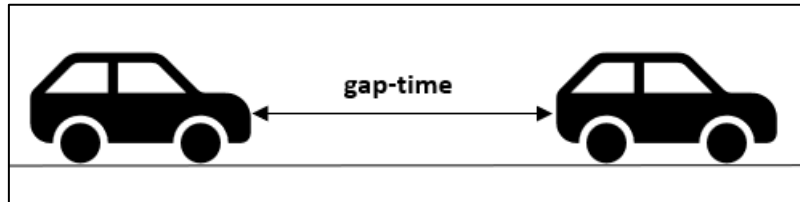
Het microsimulatieprogramma Vissim stelt gebruikers in staat om met behulp van gedetailleerde verkeerssimulaties zeer nauwkeurig te onderzoeken wat de effecten zullen zijn van mogelijke aanpassingen bij verkeerssituaties. Ook is het programma in staat om op basis van verschillende algoritmes, zoals het *lane change behaviour* en het *car following model*, te onderzoeken hoe weggebruikers reageren op elkaar.

De software werkt op basis van het principe van microsimulatie waardoor alle voertuigen afzonderlijk gesimuleerd worden en alle eigenschappen van de voertuigen en de omgeving uniek zijn. De software stelt gebruikers ook in staat om in de simulaties rekening te houden met zachte weggebruikers zoals fietsers en voetgangers [1].

Wanneer een gebruiker een bestaande of nieuwe verkeerssituatie wil nabootsen in Vissim, hebben de waarden van de betrokken parameters een groot effect op het resultaat van de simulatie. Het probleem dat zich stelt bij het gebruiken van deze software is dat er in de praktijk gebruik gemaakt wordt van defaultwaarden voor voorrangsparementen.

Deze defaultwaarden, die invloed hebben op de waarde van de *critical gap* en dus ook de capaciteit, zijn echter nog nooit specifiek onderzocht voor situaties in België. Hierdoor is er een onzekerheid aanwezig op de verkregen resultaten van de analyses, met name de waarde van de *critical gap*. Dit omdat de waarden die gebruikt worden voor de parameters nooit getoetst zijn aan werkelijke verkeerssituaties.

In Figuur 1 wordt de bovenvermelde term *critical gap* verduidelijkt. De *critical gap*, ook *critical gap time* genoemd, staat voor de tijd die verstrijkt tussen het passeren van 2 verschillende voertuigen waarin een nevenschikt voertuig zal beslissen om in te voegen op de hoofdbaan. De *gap time* wordt gemeten tussen de achterzijde van het eerste voertuig en de voorzijde van het volgende voertuig. Dit wordt op Figuur 1 aangeduid met de pijl tussen de twee voertuigen. Er zijn verschillende definities en berekeningswijzen om de *critical gap* te bepalen. In deze studie wordt Raff's definitie gebruikt waarbij de *critical gap* gelijk is aan de *gap time* waarbij evenveel voertuigen de *gap* aanvaarden als weigeren [1].



Figuur 1: Grafische weergave van de *gap time*

1.3 Doelstellingen

Om het overzicht te bewaren wordt dit onderzoek opgedeeld in verschillende deelvragen:

- welke parameters hebben de grootste invloed op de waarde van de *critical gap* bij een simulatie in Vissim?
- wat zijn de waarden van deze parameters om een resultaat te verkrijgen dat zo dicht mogelijk aansluit bij de werkelijke waarde van de *critical gap*?
- is de bekomen parameterset representatief voor gelijkaardige kruispunten?
- op welke manier kan dit onderzoek verdergezet en verbeterd worden?

Het hoofddoel van deze studie is het onderzoeken van het *merging conflict* in bestaande voorrangssituaties bij T-kruispunten om op deze manier de werkelijke waarden van de *critical gaps* te vergelijken met de waarden bekomen uit de simulaties. *Merging conflicts* ontstaan wanneer voertuigen van een nevenschikte rijstrook moeten invoegen op een hoofdweg. Er wordt onderzocht op welke manier de resultaten afkomstig uit de simulaties met de defaultwaarden zich verhouden ten opzichte van de werkelijke resultaten. Op deze manier wordt er inzicht verkregen in welke parameters de grootste invloed hebben op de waarde van de *critical gap* bij simulaties in Vissim.

Ook zal er onderzocht worden op welke manier het verschil tussen deze parameterwaarden de resultaten zal beïnvloeden en zal er op basis van deze bevindingen een parameterset opgesteld worden om de foutmarge tussen de werkelijke *critical gaps* en de *critical gaps* met de defaultwaarden te verkleinen.

Het volgend onderdeel van dit onderzoek is het valideren van de opgestelde parameterset. Op basis van twee validatielocaties zal er geanalyseerd worden of de resultaten met het gebruik van de parameterset dichter aansluiten bij de werkelijke resultaten.

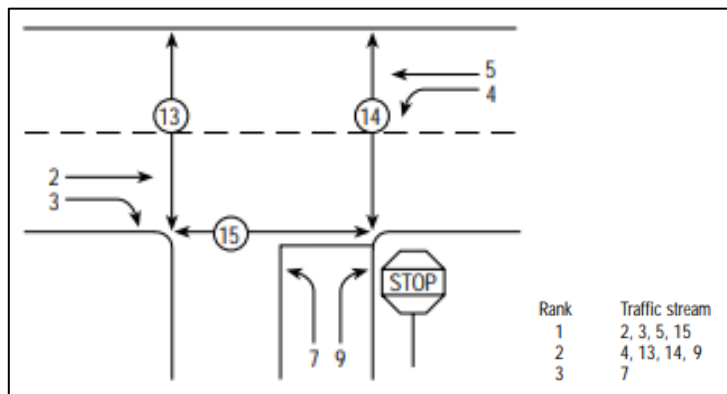
Daarnaast wordt er na afloop van dit onderzoek onderzocht op welke manieren dit onderzoek verdergezet kan worden en door welke aanpassingen dit onderzoek verbeterd kan worden.

2 Literatuurstudie

2.1 Kruispunten

2.1.1 T-kruispunten en verkeersstromen

De *highway capacity manual* beschrijft de manier om een T-kruispunt te analyseren. Als eerste onderdeel is het belangrijk om te categoriseren welke verkeersstromen voorrang moeten verlenen aan elkaar en op welke manier. Op onderstaande figuur wordt de relatieve prioriteit van de verschillende verkeersstromen bij een voorrangsgeregeld T-kruispunt weergegeven [2].



Figuur 2: Verkeersstromen T-kruispunt [2]

Op Figuur 2 worden de verschillende rangen van verkeersstromen weergegeven. Zo hebben de stromen 2,3 en 5 absolute prioriteit op het overige verkeer. Deze verkeersstromen bestaan uit het verkeer dat rechtdoor op de hoofdweg rijdt en dat zal afslaan richting de nevenschikte weg. De verkeersstromen van de tweede rang moeten voorrang verlenen aan de verkeersstromen van rang één en bestaan uit beweging 4 en beweging 9. Deze bewegingen bestaan uit het links afslaan richting de nevenschikte weg en het verkeer dat naar rechts wil afslaan vanaf de nevenschikte weg. De laatste rang die voorrang moet geven aan al het overig verkeer is verkeersstroom 7. Bij het links afslaan vanaf de nevenschikte weg moet er aan al het andere verkeer op het kruispunt voorrang verleend worden [2].

2.1.2 Kruispunten zonder signalisatie

De meestvoorkomende kruispunten zijn kruispunten waar het verkeer geregeld wordt door verkeersborden en de algemene verkeersregels. Deze kruispunten worden ofwel kruispunten zonder signalisatie ofwel voorrangskruispunten genoemd [3]. De *Unsignalized Intersection Improvement Guide* omschrijft een kruispunt zonder signalisatie als “Elke gelijkvloerse kruising van twee of meer openbare wegen waar de voorrang voor automobilisten, fietsers en voetgangers niet door een verkeerslicht wordt geregeld” [4].

Een eigenschap van deze kruispunten is dat elke bestuurder van een voertuig op een nevenschiktelijke weg zelf moet beslissen of de ruimte tussen de voertuigen op de hoofdweg voldoende groot is om op een veilige manier in te voegen. Voor deze beslissing moet de bestuurder de voorrang van andere weggebruikers respecteren. Dit proces wordt omschreven als *gap acceptance* [5].

Er zijn 3 soorten kruispunten zonder signalisatie wanneer een rotonde buiten beschouwing wordt gelaten. Deze kruispunten hebben elk verschillende eigenschappen met betrekking tot de voorrangregels. De indeling gebeurt op basis van de meest restrictieve controlemaatregelen op het kruispunt. Een stopbord staat bovenaan deze hiërarchie, gevolgd door voorrangsborden en op de laatste plaats staat een kruispunt zonder controle [4].

1. Kruispunt met een stopbord

Bij deze kruispunten worden één of meerdere toegangswegen voorzien van een stopbord in de vorm van een zeshoek (in België aangeduid met het bord B5 [6]). Bestuurders die op de toegangswegen met een stopbord rijden, moeten tot stilstand komen en mogen het kruispunt daarna enkel oprijden wanneer er geen andere voertuigen aankomen van één van de toegangswegen zonder stopbord en wanneer er geen voetgangers aanwezig zijn op het kruispunt [4].

2. Kruispunt met voorrangsborden

Bij deze kruispunten worden één of meerdere toegangswegen voorzien van een voorrangsbord in de vorm van een omgekeerde driehoek (in België aangeduid met het bord B1 [6]). De bestuurders die op de toegangsweg met de omgekeerde driehoek rijden, moeten voorrang verlenen en indien nodig stoppen voor verkeer op de andere wegen [4].

3. Kruispunt zonder controle

Deze kruispunten hebben op de toegangswegen geen borden of markeringen om de voorrang te bepalen. Wanneer 2 voertuigen een kruispunt naderen zal de bestuurder die van rechts komt voorrang hebben op de bestuurder die van links het kruispunt wilt oprijden [7]. Deze kruispunten worden meestal toegepast waar wegen met weinig verkeer samenkomen.

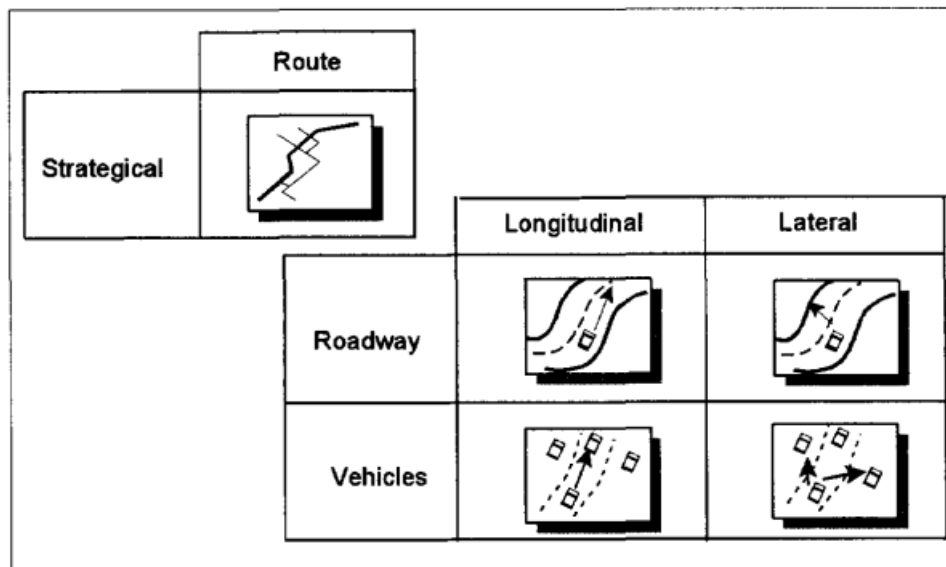
2.2 Microsimulatie

Microsimulatie beschrijft de beweging van elk betrokken voertuig bij het simuleren van een verkeerssituatie. Individuele voertuigen worden afzonderlijk geanalyseerd in het netwerk en hun bijhorende tijd-ruimte traject kan hierbij weergegeven worden. Deze softwareprogramma's analyseren de verkeerssituaties op basis van modellen die beschrijven op welke manieren de voertuigen zich gedragen. Enkele belangrijke parameters die deze modellen kunnen gebruiken zijn de acceleratie, deceleratie, wensnelheid en gap acceptance [2].

2.2.1 Software

De definitie van een simulatie wordt in de cursustekst van de 'Traffic Flow Theory and Simulation' aan de TU Delft als volgt omschreven: "Simulatie is een numerieke techniek voor het uitvoeren van experimenten op een digitale computer, die stochastische kenmerken kunnen hebben, microscopisch of macroscopisch van aard kunnen zijn, en wiskundige modellen omvatten die het gedrag van een transportsysteem beschrijven gedurende langere perioden van reële tijd" [8, p. 217].

Aan de hand van deze techniek kunnen verkeerssituaties onderzocht worden met behulp van microsimulatieprogramma's. Door het gebruik van deze programma's kan er een inschatting gemaakt worden van het gedrag van bestuurders bij een verkeerssituatie. Door een situatie op microniveau te analyseren wordt het gedrag van individuele bestuurders in rekening gebracht. Daarnaast wordt er ook rekening gehouden met de manier waarop bestuurders zich gedragen ten opzichte van andere voertuigen [9]. Op Figuur 3 wordt een overzicht van de onderdelen van het rijgedrag van bestuurders weergegeven.



Figuur 3: Classificatie van het rijgedrag van bestuurders [9]

De 5 onderdelen die op Figuur 3 weergegeven worden, vormen samen de basis voor het rijgedrag van bestuurders. Deze onderdelen worden op hetzelfde moment uitgevoerd door bestuurders. Als eerste onderdeel is er het strategisch niveau. In dit onderdeel van het rijgedrag maken bestuurders beslissingen over hun bestemming, de route die ze nemen en in welke richting ze rijden. Vervolgens kan er een tweede indeling gebeuren op basis van de longitudinale en de laterale richting van het voertuig [9].

De laterale deeltaak bestaat uit 2 onderdelen. Het eerste onderdeel is de *lateral roadway*, deze deeltaak heeft betrekking op de beslissingen die een bestuurder neemt om het voertuig te besturen op een manier die inspeelt op de infrastructuur. Een voorbeeld hiervan is het aanhouden van een juiste laterale positie om tussen de wegbelijning te blijven rijden. In het tweede onderdeel, de *lateral vehicle interaction*, zorgt de bestuurder ervoor dat het voertuig op een correcte manier rond obstakels en andere voertuigen beweegt. Dit bestaat bijvoorbeeld uit het veranderen van rijstrook en heeft ook betrekking op het lane changing behaviour [9].

De 2 deeltaken in de longitudinale richting bestaan uit de *longitudinal roadway* en de *longitudinal vehicle interaction*. De eerste deeltaak bestaat uit de beslissingen van de bestuurder om ervoor te zorgen dat het voertuig bestuurd wordt over de infrastructuur op een correcte manier in de longitudinale richting. Dit bestaat uit bijvoorbeeld het aanpassen van de snelheid in een bocht. De tweede deeltaak heeft betrekking op de beslissingen die de bestuurder maakt zodat het voertuig op een correcte manier rond obstakels en andere voertuigen beweegt in de longitudinale richting. Zo zal een bestuurder beslissen om een bepaalde afstand tot een voorliggend voertuig aan te houden [9].

Deze deeltaken worden door de modellen geïmplementeerd in een matrix. Het laterale en het strategische gedrag vallen onder een herkomst-bestemmingsmatrix. De drie overige deeltaken van het rijgedrag zijn eventueel als afzonderlijke modules in de modelleringssoftware opgenomen. Deze deeltaken zijn van groot belang in rijsimulatoren maar worden in simulatiesoftware zoals het programma Vissim vereenvoudigd geïmplementeerd.

2.2.2 Car following model

Naast het veranderen van rijstrook [10], is het volgen van voertuigen op de weg (*car-following*) één van de twee voornaamste handelingen die bestuurders uitvoeren tijdens het rijden. Dit werd eerder vermeld in deel 2.2.1 onder de *longitudinal vehicle interaction* [9]. Om dit gedrag te kunnen modelleren wordt er in de simulatiesoftware gebruik gemaakt van een mathematisch model dat ernaar streeft om de longitudinale interacties tussen de verschillende bestuurders op éénzelfde rijstrook na te bootsen waar de voertuigen elkaar volgen [11]. Er bestaat nog onduidelijkheid over het car following model omdat dit model in veel gevallen nog niet accuraat genoeg is door het ontbreken van de invloed van menselijke factoren in de modellen [12].

2.2.3 Kalibratie en validatie van de modellen

Een eigenschap van microsimulatieprogramma's is dat er vaak zeer veel parameters aanwezig zijn. Deze parameters hebben allemaal invloed op het eindresultaat van een verkeerssimulatie omdat ze invloed hebben op het rijgedrag van de bestuurders. Het gebruik van deze parameters zorgt voor een aantal problemen. Het eerste probleem is dat elk individu zich verschillend zal gedragen waardoor de parameters stochastisch zijn. Wanneer deze waarden in de micromodellering gebruikt worden, zullen de verkregen resultaten onnauwkeurig zijn. Om deze reden zullen er slechts een paar parameters stochastisch gemodelleerd worden. Het tweede probleem bij het gebruik van deze gedragsparameters is dat deze parameters met uitzondering van de snelheid, breedte en lengte van een voertuig niet rechtstreeks meetbaar zijn [8].

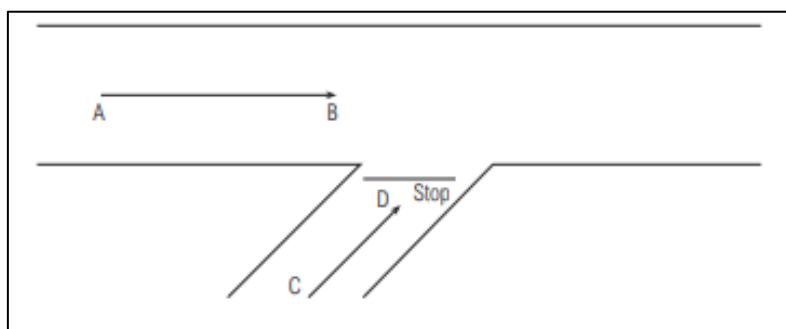
Omwille van deze redenen zullen de parameters die gebruikt worden in verkeerssimulaties bepaald worden door kalibratie. De uitkomsten van de modellen worden vergeleken met de resultaten van de observaties in de werkelijkheid. Daarna worden de parameters steeds aangepast tot de resultaten van het model zo dicht mogelijk bij de realiteit liggen [8].

Een volgend belangrijk onderdeel bij de kalibratie is de data die gebruikt wordt in de modellering. De modellen zullen alleen representatief zijn als de omstandigheden die gebruikt worden in de modellering overeenkomen met de omstandigheden waarbij de data verzameld is. Om een model breed te kunnen toepassen is het noodzakelijk om een grote hoeveelheid data te verzamelen. Dit heeft dan weer als nadeel dat de nauwkeurigheid bij situaties die minder gelijkend zijn op de situatie waar de data verzameld is kleiner zal zijn. Er zal dus een afweging gemaakt moeten worden tussen de toepasbaarheid van een model en de nauwkeurigheid van een model [8]. Wanneer de juiste snelheden en intensiteiten worden gebruikt kan er echter wel een deel van de onnauwkeurigheid opgevangen worden.

Voor de validatie van de modellen zullen de resultaten van de analyses vergeleken worden met data afkomstig uit nieuwe metingen waarmee er niet gekalibreerd wordt. Als de resultaten gelijkaardig zijn, kan het model als geldig beschouwd worden. Er moet echter rekening gehouden worden met het feit dat een model betrekking heeft op een bepaald toepassingsgebied waardoor dit model niet geldig beschouwd kan worden voor alle toepassingen. Wanneer er meer validaties van het model zijn bij verschillende toepassingsgebieden zal de geldigheid van het model ook toenemen [8].

2.2.4 Gap acceptance

Het gap acceptance model bepaalt of bestuurders een vrije ruimte tussen voertuigen groot genoeg vinden om een beweging te maken. Deze parameter speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de capaciteit van een kruispunt [13]. De critical gap is één van de belangrijkste factoren bij het al dan niet aanvaarden van een opening tussen voertuigen. Een verantwoordelijke bestuurder zal alle gaps aanvaarden als deze gaps groter zijn dan zijn critical gap en zal alle gaps verwerpen wanneer deze gaps kleiner zijn dan zijn critical gap [14]. De critical gap wordt gebruikt om de capaciteit van kruispunten te bepalen. De *Highway Capacity Manual* definieert de critical gap als het kortste interval tussen aankomsten van voertuigen waarin een voertuig het kruispunt kan oprijden [2]. Op Figuur 4 wordt een verkeerssituatie weergegeven waardoor het gap acceptance model verduidelijkt wordt.



Figuur 4: T-kruispunt [2]

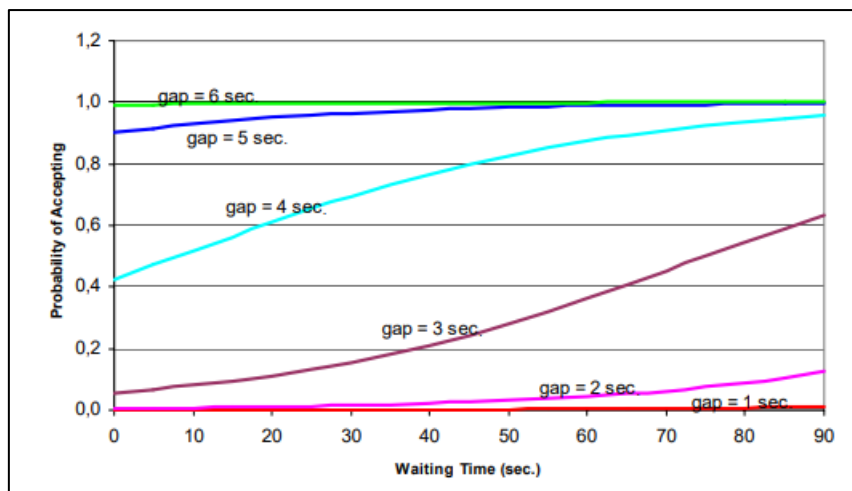
Met behulp van Figuur 4 kan de critical gap gevisualiseerd worden. Indien een voertuig van punt C naar D rijdt en ter hoogte van de stopstreep de hoofdweg wil oprijden, zal dit voertuig voorrang moeten verlenen aan een voertuig dat op de hoofdweg van punt A naar B rijdt. Wanneer de bestuurder op de nevenschikte weg het voertuig op de hoofdweg ver genoeg acht en beslist om de hoofdweg op te rijden, is deze gap groter dan de critical gap. Wanneer het voertuig op de hoofdweg te dicht bij de kruising met de nevenschikte weg rijdt en er volgens de bestuurder te weinig tijd is om de hoofdweg op te rijden, is deze gap kleiner dan de critical gap.

2.2.4.1 Critical gap

Bij kruispunten zonder signalisatie waar er verschillende verkeersstromen samenkomen, zullen bepaalde stromen voorrang moeten verlenen aan andere verkeersstromen [2]. De voertuigen op de nevenschikte weg zullen moeten wachten tot de *gap* op de hoofdweg groot genoeg is om de hoofdweg te kunnen oprijden. De critical gap is het kleinste interval waar een bestuurder beslist om de hoofdweg op te rijden tussen het circulerende verkeer [15] en is de bepalende factor voor het gap acceptance gedrag van de bestuurder [14]. De critical gap is een belangrijke parameter om de capaciteit van een kruispunt te bepalen [1].

De critical gap is een drempel voor de beoordeling of een voertuig uit de nevenschikte verkeersstroom bij de hoofdweg kan instromen. Een voertuig kan een kruispunt oprijden als de gap op de hoofdweg groter is dan de critical gap. Deze gap wordt de *accepted gap* genoemd. Het voertuig zou niet kunnen instromen bij de hoofdweg indien de gap kleiner is dan de critical gap. In dit geval wordt deze gap *rejected gap* genoemd [1].

In een recent uitgevoerde studie werd de variatie van de critical gap tussen verschillende bestuurders en zelfs bij dezelfde bestuurder onderzocht. Zo werd er bepaald dat de critical gap kleiner werd bij dezelfde bestuurder hoe groter de wachttijd van de bestuurder was [16]. De resultaten van dit onderzoek worden op Figuur 5 weergegeven.



Figuur 5: Waarschijnlijkheid om een critical gap te accepteren als functie van de wachttijd [16]

Uit Figuur 5 kan afgeleid worden dat de bestuurders een korter tijdsinterval accepteerden wanneer ze langer moeten wachten om in te voegen in de hoofdstroom van het verkeer. Zo is de waarschijnlijkheid van een interval van drie seconden 7% na een wachttijd van vijf seconden maar stijgt deze waarschijnlijkheid tot 13% na 25 seconden en stijgt deze waarschijnlijkheid verder tot 24% na 45 seconden [16].

De waarden van de critical gaps bij T-kruispunten in Maleisië worden in een voorgaande studie vergeleken met de critical gaps afkomstig uit andere studies [17]. De resultaten van de critical gaps worden weergegeven in Figuur 6. In onderstaande figuur is zichtbaar dat de waarden van de critical gaps die onderzocht werden in verschillende landen variëren tussen 3,2 s en 5,5 s voor situaties met twee rijstroken en een maximale snelheid van 50km/h. Het verschil in deze studie is dat er verkeer in twee richtingen aanwezig is op de hoofdweg.

Procedure	Lane type or no. of lane in major road	Vehicle type	Critical g
			LTMin
This Study (2006)	Single-lane	Base value (passenger car)	3.2
	Multi-lane		3.3
Arahan Teknik (Jalan) 11/87 (1987)	2	Passenger car (base value with average running speed 30 mph or 48.3 km/h)	5.5 (s)* 5.0 (y)**
	4		5.5 (s) 5.0 (y)
	2	Passenger car (base value with average running speed 55 mph or 88.5 km/h)	6.5 (s) 5.5 (y)
	4		6.5 (s) 5.5 (y)
U.S. HCM 2000	2	Base value	6.2
	4		6.9
Poland (large towns) (Chodur, 2005)	1***	Base value	5.4
	2***		

*(s) stop-controlled
 **(y) yield-controlled
 *** numbers of priority road lanes

Figuur 6: Waarden van de critical gaps [17]

2.2.5 Raff's methode

De critical gap van een bestuurder wordt bepaald met behulp van benaderingsmethodes. Dit is het geval omdat de exacte waarde niet bepaald kan worden. Uit metingen kan er enkel bepaald worden of de critical gap van de bestuurder hoger of lager ligt dan de tijd tussen de voertuigen op basis van het al dan niet accepteren van de beschikbare gap.

Eén van de meest gebruikte methodes om de critical gap te analyseren is Raff's methode. Deze methode is zowel conceptueel logisch opgebouwd als rekenkundig eenvoudig [18].

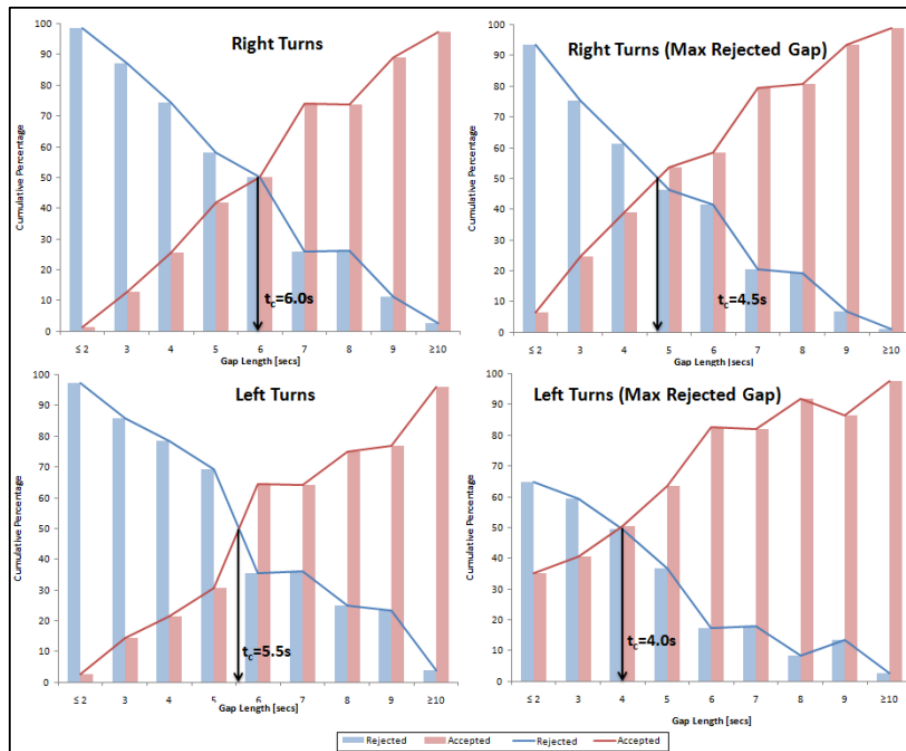
Om deze methode te kunnen gebruiken moeten de verzamelde gegevens van de belangrijkste parameters verdeeld worden in tijdsintervallen. Deze gegevens bestaan uit de accepted gaps en de rejected gaps. Daarna wordt er een tabel gemaakt waarin er voor elke tijdsinterval het aantal accepted gaps, het aantal rejected gaps, het percentage van de accepted gaps en het percentage van de rejected gaps opgenomen wordt. Zo kan er voor elke gap bepaald worden wat het percentage van de accepted gaps bedraagt en wat het percentage van de rejected gaps bedraagt [18]. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden op Figuur 7.

Gap Size	Total	Total	Count	Count	Percent	Percent
	Rejected	Accepted	Rejected	Accepted	Rejected	Accepted
≤ 2	1015	15	1015	15	98.5	1.5
3	1220	45	205	30	87.2	12.8
4	1336	85	116	40	74.4	25.6
5	1408	137	72	52	58.1	41.9
6	1464	193	56	56	50.0	50.0
7	1487	259	23	66	25.8	74.2
8	1508	318	21	59	26.3	73.8
9	1515	374	7	56	11.1	88.9
≥ 10	31	1101	31	1101	2.7	97.3

Figuur 7: Raff's methode [18]

Door vervolgens met de gegevens van de accepted gaps en de rejected gaps een grafiek te maken kan de critical gap bepaald worden. Volgens Raff's methode is de critical gap gelijk aan de gap waar het percentage van de accepted gaps gelijk is aan het percentage van de rejected gaps [15]. Deze waarde van de critical gap is hetzelfde als het punt waar 50% van de gaps geaccepteerd worden en waar 50% van de gaps geweigerd worden. Wanneer de steekproef representatief is voor de populatie wil dit zeggen dat de bestuurder van het voertuig een kans heeft van 50% om de gap te accepteren [18].

De resultaten worden op Figuur 8 weergegeven voor verschillende bewegingen. Op de grafieken worden het aantal accepted en rejected gaps weergegeven per *gap length*. Deze gaps worden verbonden door een lijn die geplot wordt om respectievelijk de waarden van de accepted en de rejected gaps te interpoleren.



Figuur 8: Raff's methode [18]

2.3 Vissim

Vissim is een softwareprogramma dat verkeerssituaties met behulp van micromodellering simuleert. Aan de hand van dit programma kan het *design* van verschillende transportsystemen onderzocht worden. Het programma bestaat uit simulatiesoftware waarmee transportnetwerken op een gebruiksvriendelijke manier onderzocht kunnen worden. Hierdoor kan de impact van gelocaliseerde activiteiten en systemen op een gedetailleerde wijze onderzocht worden om de interacties tussen voertuigen en transportsystemen in kaart te brengen [19].

Vissim werd ontwikkeld door het bedrijf PTV AG in Duitsland. Het programma is *time-step based* en heeft een op een gedrag gebaseerd microsimulatiemodel. Op basis hiervan kan er gedetailleerde informatie over variabelen van elk voertuig verkregen worden. Dit kan tot op een tijdschaal van slechts 0,1 s [20].

Een belangrijke *feature* van Vissim waarmee het programma zich onderscheidt van andere verkeerssimulatoren is de mogelijkheid via de *COM interface* gebruikers de kans te geven om zelf applicaties te ontwikkelen en te implementeren op het Vissim netwerk. Dit kan door het gebruik van verschillende programmeertalen zoals C++, Visual Basic of Python. Op deze manier kunnen gebruikers met eigen applicaties verkeerssituaties modelleren en onderzoeken [20].

2.3.1 Modelling in Vissim

Microsimulatiesoftwareprogramma's zoals Vissim worden steeds vaker gebruikt voor verkeersanalyses. De software gebruikt gedetailleerde voertuig-voertuig interacties en houdt rekening met het rijgedrag van bestuurders [21]. Eerdere studies in verband met de verschillende simulatiesoftwareprogramma's concludeerden dat Vissim niet alleen betrouwbare resultaten leverde, maar dat het model ook gebruiksvriendelijk is [22].

Netwerken in Vissim worden voorgesteld door een reeks van *links* en connectoren. Bij het modelleren van een model wordt er een satellietbeeld of ander type achtergrond van de te onderzoeken verkeerssituatie als basis gebruikt. De links en connectoren worden als het ware over dit beeld gelegd om een accurate verkeerssituatie te modelleren. Deze links bestaan uit wegsegmenten die uit een enkele of meerdere rijstroken bestaan waarover het verkeer in één richting kan bewegen. Voertuigen zijn enkel in staat om van één link naar een andere te rijden via een connector [21].

Om een locatie in Vissim te modelleren, te kalibreren en te onderzoeken moet er data verzameld worden bij het kruispunt. Deze data kan onderverdeeld worden in vier categorieën [21]:

1. Geometrische data

Geometrische data bestaat uit alle informatie met betrekking tot de geometrische *lay-out* van het kruispunt en de wegen. Dit zijn bijvoorbeeld het aantal rijstroken, de locatie van de wegbelijning en andere markeringen, snelheden in bochten, voorrangen, snelheidswijzigingen, verkeerslichten, voertuigsamenstelling en de eigenschappen van voertuigen.

2. Verkeersvraag data

Verkeersvraag data is de hoeveelheid en het type verkeer dat op het wegennet zal rijden. Met behulp van een camera of andere meetmethodes zoals manueel tellen of het gebruik van tellussen kan er op de locatie data verzameld worden in verband met het aantal voertuigen dat aanwezig is op de verkeerssituatie in een tijdsinterval dat op voorhand bepaald wordt. Aan de hand van de videobeelden kan er bepaald worden hoeveel verkeer er aanwezig is, uit welke voertuigen dit verkeer bestaat en welke bewegingen de verschillende voertuigen maken.

3. Reistijd data

Deze data bestaat uit de tijd die voertuigen erover doen om van een gemarkeerd controlepunt stroomopwaarts te rijden van de rij waarin de voertuigen aan het wachten zijn tot aan de stopstreep. Deze data moet verzameld worden bij verschillende verkeerssituaties zoals een gesatureerde weg en een situatie waar het verkeer zich vrij kan verplaatsen. De effectieve data heeft betrekking tot de reistijd van de voertuigen, de delay is de tijd die bovenop de *freeflow* reistijd wordt toegevoegd.

4. Wachtrij data

De gegevens met betrekking tot de wachtrijlengte. Deze lengte wordt gedefinieerd als de afstand van de achterkant van het laatste voertuig in de rij tot aan de stopstreep [21]. Deze data kan echter enkel gemeten worden wanneer er congestie optreedt. In dat geval zal er ook data verzameld worden om de maximale en de gemiddelde wachtrij te bepalen.

De inputdata voor de modellen in Vissim zal bestaan uit de data uit categorie één en twee. Naargelang het doel van de studie kan deze data nog uitgebreid worden met extra informatie. Deze informatie kan bestaan uit specifieke reistijden voor het openbaar vervoer, de critical gap van de locatie, informatie uit conflictanalyses enzovoort.

2.4 Alternatieven voor dataverzameling

Om verkeerssituaties te onderzoeken is het noodzakelijk om over correcte inputgegevens te beschikken. De benodigde informatie kan op verschillende manieren verzameld worden. Er kan gebruik gemaakt worden van actieve sensoren zoals het gebruik van Lidar en Radar of van passieve sensoren zoals verschillende soorten camera's [23]. De conventionele technieken kunnen onderverdeeld worden in *intrusive* en *non-intrusive methods* [24].

2.4.1 Intrusive methods

Wanneer deze methodes vereenvoudigd worden voorgesteld bestaan ze uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel is de *data recorder* waarin de verzamelde data opgeslagen wordt en het tweede onderdeel is de sensor waarmee de data verzameld wordt. Deze sensor kan zowel op of in het wegdek aangebracht worden. Enkele voorbeelden van deze methodes zijn [24]:

2.4.1.1 Pneumatische buizen aangebracht op het wegdek

Er worden zwarte kabels aangebracht op het wegdek waarin een overdruk aan lucht wordt aangebracht. Wanneer voertuigen over de kabels rijden kan er een drukwijziging opgemerkt worden die als een puls wordt geregistreerd. Afhankelijk van de situatie kan er ook voor gekozen worden om twee kabels aan te brengen waardoor bovenop de intensiteit en de aard van het verkeer, ook de rijrichting bepaald kan worden [25].

2.4.1.2 Piëzo-elektrische sensoren

Na het aanbrengen van een groef in het wegdek worden er sensoren in aangebracht. Het werkingsprincipe van deze sensoren steunt op het omzetten van mechanische energie in elektrische energie. Het piëzo-elektrisch materiaal in de sensoren zorgt ervoor dat er een differentiaal veroorzaakt wordt wanneer er een mechanische vervorming plaatsvindt [24], [25].

2.4.1.3 Magnetische lussen

De magnetische lussen die in het wegdek aangebracht worden genereren een magnetisch veld. Deze lussen steunen op het principe dat een magnetisch veld in de buurt van een elektrische geleider ervoor zorgt dat er een elektrische stroom gegenereerd wordt. Op deze manier kan er met een telapparaat informatie verzameld worden over het aanwezige verkeer dat over de magnetische lussen rijdt [24], [25].

2.4.2 Non-intrusive methods

Deze manieren van onderzoek hebben geen invloed op het verkeer tijdens het plaatsen van de meetapparatuur en tijdens het uitvoeren van de metingen. Deze methodes zijn gebaseerd op observaties vanop een afstand en kunnen op verschillende manieren uitgevoerd worden [24], [25]:

2.4.2.1 Manuele observaties

Deze methode om data te verzamelen is het meest eenvoudig. De methode bestaat uit het manueel verzamelen van verkeersdata door het tellen van voertuigen. Deze data wordt verzameld op een al dan niet elektronisch telbord [24].

2.4.2.2 Dataverzameling met behulp van video

Er wordt data verzameld door middel van het opnemen van de verkeerssituatie met een camera. De beelden worden daarna geanalyseerd en op basis daarvan wordt er data verzameld met betrekking tot het aantal voertuigen, de snelheid van de voertuigen en het type voertuig [25].

2.4.2.3 Passieve magneten

Met behulp van magnetische sensoren langs, onder of op het wegdek kan er informatie verzameld worden over het aantal voertuigen, hun snelheid en het type voertuig [25].

2.4.2.4 Passieve en actieve infrarood

Voertuigen zullen altijd een verschillende temperatuur hebben en dus ook een verschillende hoeveelheid aan infraroodstralen uitstralen ten opzichte van de omgeving [25]. Op basis van dit verschil is het mogelijk om verkeersdata te verzamelen met betrekking tot de aanwezigheid van de voertuigen in het detectiegebied, hun snelheid en het type van voertuigen dat aanwezig is [24].

2.4.2.5 Microgolven

Bij het analyseren van de teruggekaatste straal na het uitzenden van een microgolf met lage energie wordt er een verschil opgemerkt wanneer de straal terugkaatst vanaf een voertuig. Door het principe van het Doppler-effect kan er informatie verzameld worden over de hoeveelheid voertuigen, hun snelheid en het type [24], [25].

2.4.2.6 Ultrasonische golven

Door het uitzenden van een ultrasonische golf en het analyseren van de tijd die deze golf nodig heeft om terug te keren, kan er bepaald worden of er een voertuig aanwezig is of niet. Het analyseren van de golf wordt gedaan met behulp van ultrasonische sensoren [25].

3 Observatieonderzoek

3.1 Materiaal en methode

3.1.1 Locaties

Om dit onderzoek uit te voeren is het noodzakelijk om eerst geschikte onderzoekslocaties te bepalen. Deze locaties dienen aan een aantal criteria te voldoen om geschikt te zijn voor dit onderzoek. De metingen dienen uitgevoerd te worden bij vijf T-kruispunten zonder signalisatie waarbij de voorrang bepaald wordt door borden. Daarnaast is het belangrijk dat er een voldoende verkeersintensiteit aanwezig is om de metingen uit te voeren maar dat er geen filevorming optreedt die voor een verkeerde interpretatie van de resultaten kan zorgen.

De eerste drie locaties zullen gebruikt worden om te onderzoeken welke parameters de meeste invloed hebben op de resultaten. Op basis van het verkregen inzicht in het effect van het aanpassen van de waarden van de parameters zal er een parameterset opgesteld worden die de foutmarge op de resultaten zal verkleinen. Na deze analyse zal de parameterset gevalideerd worden bij de overige twee locaties.

Met behulp van Google Maps wordt er gezocht naar vijf mogelijke locaties. Nadat een locatie aan de criteria voldoet, wordt er ter plaatse gecontroleerd of de verkeersintensiteit ook voldoende is om de verkeerssituatie te kunnen onderzoeken.

3.1.1.1 Locatie 1: Genk

De eerste locatie is gelegen in Genk, waar de parallelweg van de Hasseltweg en de Hasseltweg zelf samenkomen ter hoogte van het adres Hasseltweg 120. Op Figuur 9 wordt aangegeven welke kruising van de verschillende verkeersstromen onderzocht wordt.



Figuur 9: Screenshot uit Google Maps van locatie 1

Op Figuur 9 wordt duidelijk dat het verkeer op de nevenschikte weg die aangeduid wordt met de blauwe pijl, voorrang moet verlenen aan het verkeer aanwezig op de hoofdweg, aangeduid met de groene pijl.

3.1.1.2 Locatie 2: Genk

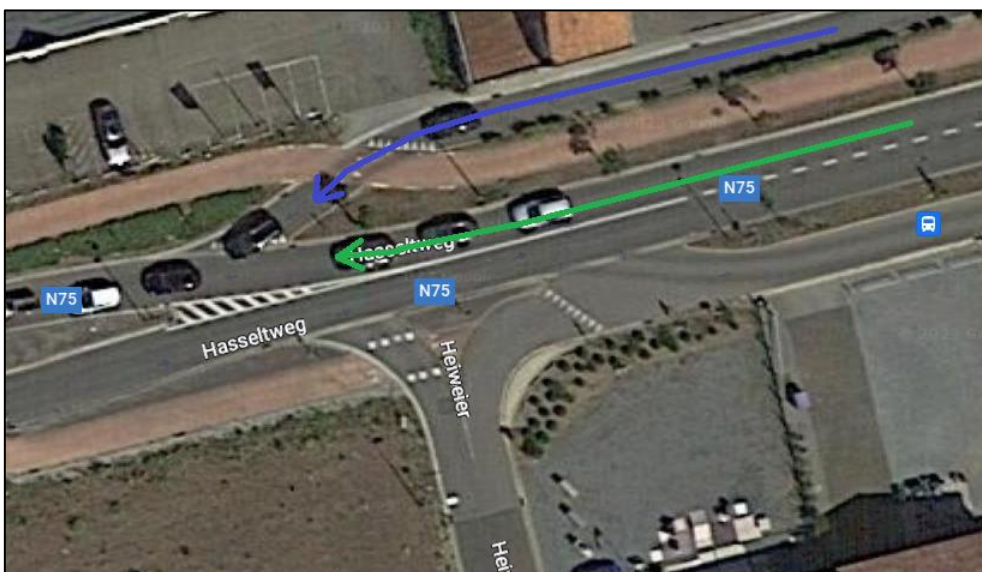
De tweede onderzoekslocatie bevindt zich in dezelfde straat als locatie 1. Ook bij deze onderzoekslocatie wordt het punt onderzocht waar de beide verkeersstromen samenkomen. Dit vindt plaats ter hoogte van het adres Hasseltweg 52 in Genk. Figuur 10 toont in welke richting de verschillende verkeersstromen bewegen. Ook hier is de nevenschiktelijke weg aangeduid met een blauwe pijl en is de hoofdweg aangeduid met een groene pijl.



Figuur 10: Screenshot uit Google Maps van locatie 2

3.1.1.3 Locatie 3: Genk

De derde locatie waar het effect van de parameters onderzocht zal worden is ook gelegen op de Hasseltweg, dit ter hoogte van het adres Hasseltweg 216 in Genk. Deze locatie wordt op Figuur 11 weergegeven. De nevenschiktelijke weg is aangeduid met een blauwe pijl en de hoofdweg is aangeduid met een groene pijl.



Figuur 11: Screenshot uit Google Maps van locatie 3

3.1.1.4 Locatie 4: Leuven

Bij locatie 4 zullen de resultaten van het onderzoek van locatie één tot en met drie gevalideerd worden. Deze locatie bevindt zich op het kruispunt van de Den Boschsingel en de Brusselsesteenweg in Leuven. Het verkeer van de nevenschiktelijke weg die aangeduid is met de blauwe pijl zal hier voorrang moeten verlenen aan het verkeer op de hoofdweg die aangeduid is met de groene pijl. Deze situatie wordt op Figuur 12 weergegeven. Het verschil tussen deze locatie en de voorgaande locaties is dat de hoofdweg hier bestaat uit twee rijstroeken en dat er een helling aanwezig is waardoor de voertuigen op de nevenschiktelijke weg bergopwaarts moeten rijden alvorens de hoofdweg te kunnen oprijden. Daarnaast is de zichtbaarheid vanaf de nevenschiktelijke weg ook beperkt.



Figuur 12: Screenshot uit Google Maps van locatie 4

3.1.1.5 Locatie 5: Hasselt

De vijfde en laatste locatie waar er metingen uitgevoerd worden is het kruispunt tussen de Grote Baan en de Kuringersteenweg te Hasselt. Ook deze locatie wordt onderzocht om de bekomen parameterset te valideren. Op Figuur 13 worden pijlen aangebracht om de situatie te verduidelijken. Net zoals bij locatie vier bestaat de hoofdweg hier uit 2 rijstroken. Een bijkomend verschil is de aanwezigheid van een busbaan, deze rijstrook heeft een lichtere kleur zoals zichtbaar is op Figuur 13.



Figuur 13: Screenshot uit Google Maps van locatie 5

3.1.2 Verkeersobservatie

Na het bepalen van de onderzoeks- en validatielocaties kan de data op de verschillende locaties verzameld worden. Met behulp van een smartphonecamera worden er bij de verschillende situaties video-opnames gemaakt. De smartphone wordt in een statief geplaatst zoals op Figuur 14 weergegeven wordt.



Figuur 14: Smartphone met statief [26]

De locatie van waaruit de opname gemaakt wordt, is bij de verzameling van de data zeer belangrijk. Om de critical gap per locatie te kunnen bepalen, is het belangrijk dat het verkeer op zowel de nevenschiktelijke weg als de hoofdweg duidelijk zichtbaar is. Daarnaast is het ook belangrijk dat het verkeer op de ene verkeersstroom het zicht op de voertuigen van de andere verkeersstroom niet hindert. Op Figuur 15 wordt de cameraplattegrond verduidelijkt met behulp van locatie 1. De plaats en richting van waaruit de opname gemaakt wordt, is aangeduid met de gele pijl. De meetpunten op de hoofd – en nevenweg worden respectievelijk aangeduid met een groene en blauwe lijn.



Figuur 15: Cameralocatie en meetpunten

3.1.3 Video-analyse

De video's die ter plaatse opgenomen zijn, dienen geanalyseerd te worden. Op basis van de meetpunten die virtueel aangebracht worden op de videobeelden kunnen er een aantal gegevens verzameld worden. Eerst wordt er een onderscheid gemaakt tussen voertuigen op de hoofdweg, ook wel de *major road* genoemd, en voertuigen op de nevenschiktelijke weg, die ook beschreven wordt als de *minor road*. Van elk voertuig dat het meetpunt passeert, worden zowel de tijd waarop het voertuig met de voorbumper passeert als de tijd waarop het voertuig met de achterbumper het meetpunt passeert vastgelegd. Op Figuur 16 wordt het verzamelen van data aan de hand van de video-analyses verduidelijkt.



Figuur 16: Screenshot van video-opname locatie 3

Bij elk voertuig dat het meetpunt passeert, worden de *entry-time* en *exit-time* opgeslagen, respectievelijk de tijd waarop het voertuig met de voor- en achterbumper het meetpunt passeert. Op Figuur 16 wordt als voorbeeld het moment weergegeven waar het voertuig op de major road op het punt staat om het meetpunt met de voorbumper te passeren, dit is de *entry-time*. Wanneer dit voertuig verder rijdt op de hoofdweg en met de achterbumper voorbij het meetpunt beweegt, wordt dit tijdstip geregistreerd als de *exit-time*.

3.1.4 Critical gap

Na het verzamelen van de gegevens van de video-analyse is het mogelijk om de critical gap te bepalen per locatie. Dit wordt gedaan met behulp van het Excel-formulier van het bedrijf GoodVision [27]. De input-gegevens voor het formulier zijn de gegevens die verzameld worden in de video-analyse. De entry-time en exit-time van de voertuigen op de hoofd- en nevenschikte weg worden in het formulier ingevoerd en op basis van deze tijdstippen wordt de grootte van de gaps tussen de auto's bepaald. Het formulier geeft op basis van het aantal accepted en rejected gaps per tijdsperiode van 0,5 s een resultaat voor de gap time die overeenstemt met deze periode. Wanneer het percentage accepted en rejected gaps gelijk is aan elkaar, komt deze gap overeen met de critical gap volgens Raff's methode [1]. Deze methodologie wordt verduidelijkt aan de hand van de meetgegevens en resultaten van locatie 1. De resultaten van het Excel-formulier worden weergegeven in Tabel 1. De gap time die overeenkomt met het samenvallen van het percentage accepted en rejected gaps bij locatie 1 is gelijk aan 3,42 s. Deze gap komt dan overeen met de critical gap van locatie 1. De critical gaps voor de andere locaties worden volgens dezelfde methodologie berekend.

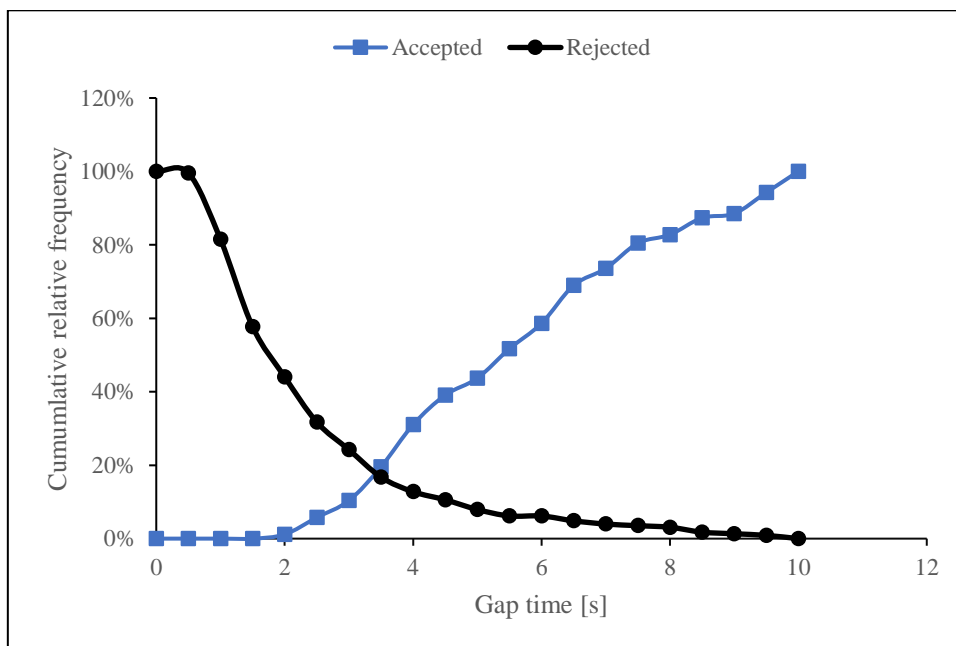
Tabel 1: Resultaten gap analyse locatie 1

Class (s)	Accepted	Rejected	Accept (%)	Reject (%)	Slope Accept	Intercept Accept	Slope Reject	Intercept Reject	Gap (s)
0	0	244	0%	100%	0	0	-0,009	1,000	113,500
0,5	0	243	0%	100%	0	0	-0,361	1,176	3,256
1	0	202	0%	81%	0	0	-0,476	1,291	2,713
1,5	0	148	0%	58%	0,023	-0,034	-0,273	0,987	3,449
2	1	117	1%	44%	0,092	-0,172	-0,247	0,934	3,267
2,5	5	89	6%	32%	0,092	-0,172	-0,150	0,692	3,574
3	9	72	10%	24%	0,184	-0,448	-0,150	0,692	3,416
3,5	17	55	20%	17%	0,230	-0,609	-0,079	0,445	3,409
4	27	46	31%	13%	0,161	-0,333	-0,044	0,304	3,109
4,5	34	41	39%	11%	0,092	-0,023	-0,053	0,344	2,531
5	38	35	44%	8%	0,161	-0,368	-0,035	0,256	3,178
5,5	45	31	52%	6%	0,138	-0,241	0,000	0,062	2,197
6	51	31	59%	6%	0,207	-0,655	-0,026	0,220	3,752
6,5	60	28	69%	5%	0,092	0,092	-0,018	0,163	0,648
7	64	26	74%	4%	0,138	-0,230	-0,009	0,101	2,257
7,5	70	25	80%	4%	0,046	0,460	-0,009	0,101	-6,543
8	72	24	83%	3%	0,092	0,092	-0,026	0,242	1,270
8,5	76	21	87%	2%	0,023	0,678	-0,009	0,093	-18,417
9	77	20	89%	1%	0,115	-0,149	-0,009	0,093	1,955
9,5	82	19	94%	1%	0,115	-0,149	-0,018	0,176	2,456
10	87	17	100%	0%	/	/	/	/	/

3.2 Resultaten

3.2.1 Locatie 1: Genk

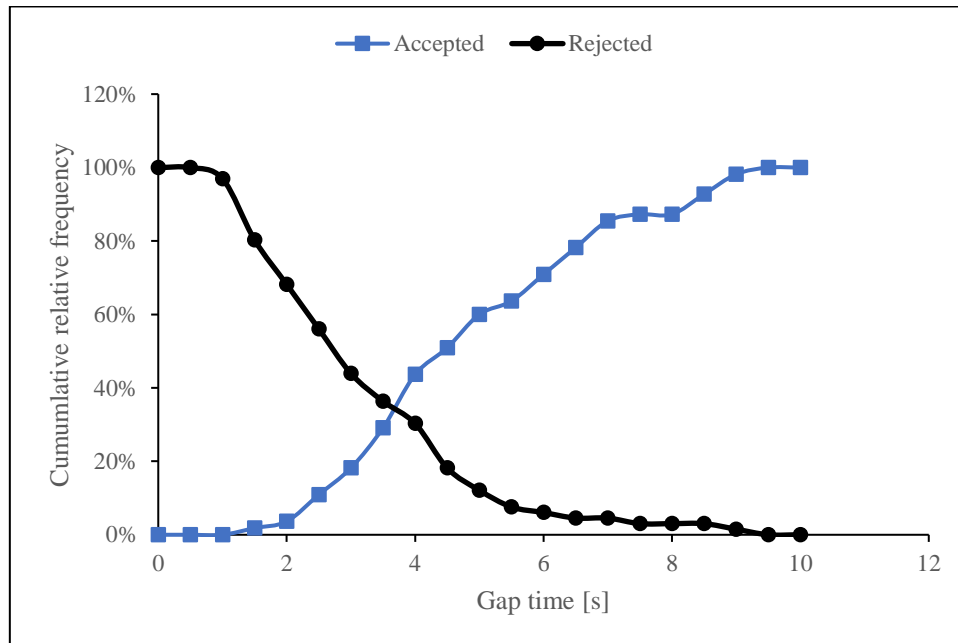
De resultaten van de berekening van de critical gap van locatie 1 met behulp van Raff's methode worden weergegeven in Figuur 17. Op de grafiek wordt het relatieve percentage van de accepted en rejected gaps weergegeven in functie van de gap time waarmee deze percentages overeenstemmen. De blauwe curve geeft het percentage accepted gaps per gap time weer en de zwarte curve geeft het percentage rejected gaps per gap time weer. Het snijpunt van deze twee curves bevindt zich op 3,42 s en is gelijk aan de critical gap volgens Raff's methode. Deze methode stelt de critical gap gelijk aan de tijd die overeenkomt met het punt waar het percentage aan accepted gaps gelijk is aan het percentage aan rejected gaps. Figuur 17 visualiseert het gedrag van de bestuurders op deze locatie. Er kan opgemerkt worden dat bestuurders een gap kleiner dan twee seconden niet zullen aanvaarden en dat er geen enkele bestuurder is die een gap kleiner dan tien seconden zal weigeren.



Figuur 17: Critical gap analysis locatie 1

3.2.2 Locatie 2: Genk

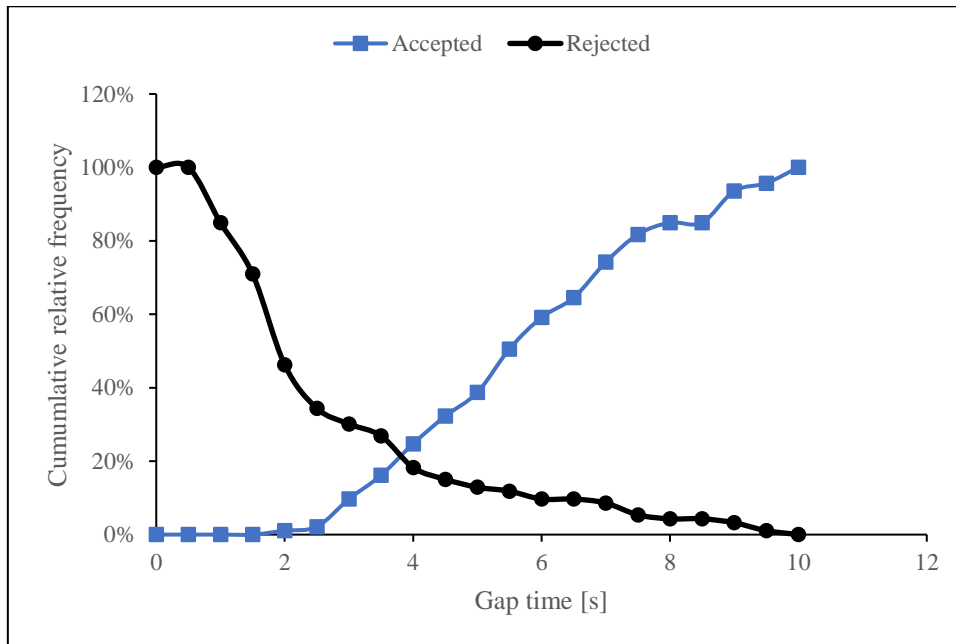
De resultaten van de berekening van de critical gap van locatie 2 worden grafisch weergegeven op Figuur 18. Het relatieve percentage van de accepted en rejected gaps wordt in functie van de gap time weergegeven en het snijpunt van deze twee curves bevindt zich op 3,68 s. Dit is de waarde van de critical gap van locatie 2 volgens Raff's methode. Het rijgedrag van de bestuurders op deze locatie is gelijkaardig aan het rijgedrag van de bestuurders in locatie 1. Gaps kleiner dan twee seconden worden niet geaccepteerd en de bestuurders zullen gaps groter dan negen seconden niet weigeren.



Figuur 18: Critical gap analysis locatie 2

3.2.3 Locatie 3: Genk

Figuur 19 geeft de resultaten van de berekeningen bij locatie 3 grafisch weer. De relatieve percentages van zowel de accepted als rejected gaps worden geplot in functie van de gap time uitgedrukt in seconden. Het snijpunt van de twee grafieken waarbij het relatieve percentage accepted gaps gelijk is aan het relatieve percentage rejected gaps is gelijk aan de critical gap. De waarde van de critical gap is gelijk aan 3,81 s voor locatie 3. Figuur 19 geeft ook een beeld over het rijgedrag van de bestuurders. Er is een overeenkomst op te merken met het rijgedrag in locatie 1 en locatie 2 waar een gap kleiner dan twee seconden door geen enkele bestuurder geaccepteerd zal worden. De rejected gaps nemen net zoals bij de vorige locaties af wanneer de tijdsperiode groter wordt.

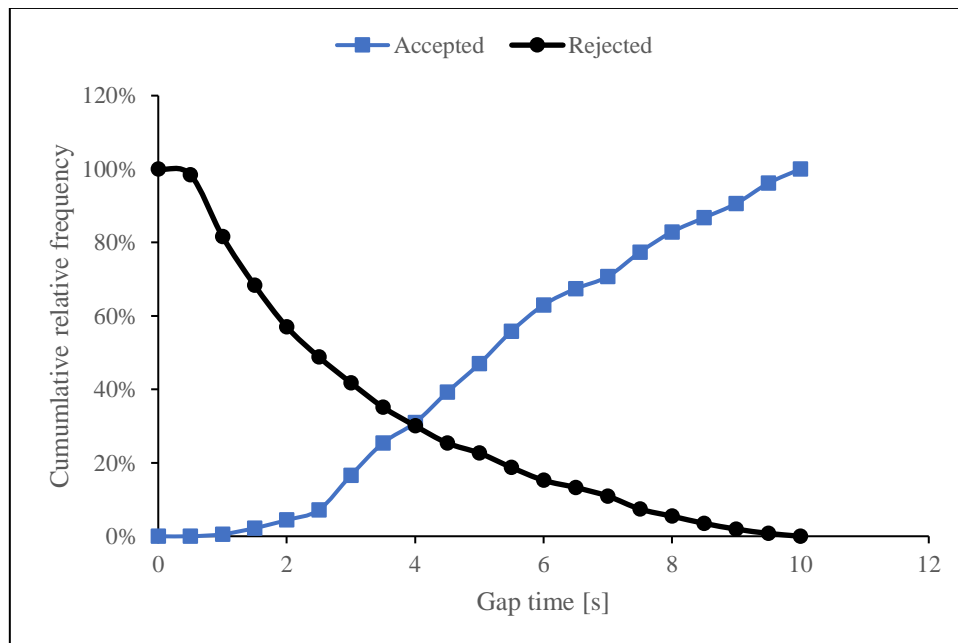


Figuur 19: Critical gap analysis locatie 3

3.2.4 Locatie 4: Leuven

De resultaten van de critical gap bij locatie 4 worden grafisch weergegeven in Figuur 20. De relatieve percentages van de accepted gaps en de rejected gaps worden geplot in functie van de gap time. Het snijpunt van deze twee curves geeft de critical gap weer. Voor locatie 4 komt deze critical gap overeen met een waarde van 3,96 s. Het rijgedrag van de bestuurders dat af te leiden is uit deze grafiek is afwijkend ten opzichte van de resultaten verkregen bij de vorige 3 locaties. Hoewel de critical gap hoger ligt, worden gaps kleiner dan twee seconden ook geaccepteerd. Dit geeft aan dat er bestuurders zijn die ondanks de hogere critical gap sneller geneigd zijn om kleinere gaps te accepteren.

Een mogelijke verklaring voor het verschil is de snelheidsbeperking van 70 km/h op de hoofdweg in tegenstelling tot de snelheidsbeperking van 50 km/h bij de voorgaande situaties. Ook bestaat de hoofdweg bij locatie 4 uit twee rijstroken waar er bij locatie 1 tot en met locatie 3 maar één rijstrook aanwezig was. Daarnaast kan de helling die aanwezig is op de oprit een effect hebben op de critical gap van deze locatie. Omdat de bestuurders bergopwaarts moeten rijden zal hun rijgedrag een verschil vertonen ten opzichte van een situatie waar er geen helling aanwezig is. Een ander verschil met de voorgaande locaties is dat de zichtbaarheid vanaf de nevenschikte weg beperkt is. Deze factoren beïnvloeden de critical gap en het rijgedrag van de bestuurders en kunnen daarom een verklaring zijn voor het verschil in de resultaten.

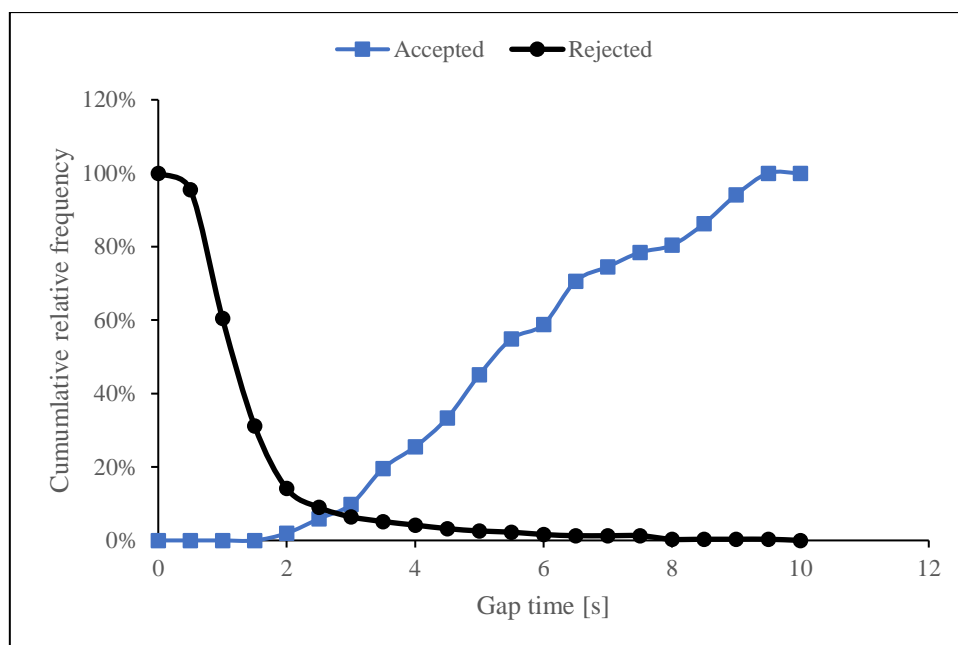


Figuur 20: Critical gap analysis locatie 4

3.2.5 Locatie 5: Hasselt

De resultaten van locatie 5 worden grafisch weergegeven in Figuur 21. De curves van de relatieve percentages van zowel de accepted als rejected gaps in functie van de gap time snijden ter hoogte van het punt ter hoogte van 2,74 s. Dit is de critical gap van locatie 5 wanneer Raff's methode gevolgd wordt. Deze waarde is beduidend lager dan bij de vorige 4 locaties. Niet alleen de critical gap is verschillend, ook de grafiek in verband met het rijgedrag van de bestuurders is afwijkend ten opzichte van de grafieken van locatie 1 tot en met 4. Het rijgedrag in verband met de accepted gaps is gelijkaardig aan dat van de vorige locaties. Er worden pas gaps geaccepteerd vanaf een gap time van twee seconden. De curve van de rejected gaps is echter veel steiler dan bij de vorige locaties.

De verkeerssituatie bij locatie 5 heeft enkele verschillen ten opzichte van de andere locaties die dit gedrag kunnen verklaren. Niet alleen bestaat de hoofdweg uit twee rijstroken zoals bij locatie 4, ook is de snelheidsbeperking op de hoofdweg 90 km/u in plaats van 70 km/u bij locatie 4 en 50 km/u bij locatie 1 tot en met 3. Anderzijds is er de mogelijkheid voor bestuurders om de busstrook als "buffer" te gebruiken om een gap beter in te schatten. Deze factoren hebben een invloed op het rijgedrag en op de waarde van de critical gap.



Figuur 21: Critical gap analysis locatie 5

3.3 Samenvatting

In Tabel 2 worden critical gaps per locatie samengevat. De critical gaps bij locatie 1 tot en met locatie 3 die gebruikt zullen worden om de parameterset te bepalen, bevinden zich tussen 3,42 s en 3,81 s. Een verklaring voor de gelijkaardige critical gaps bij deze drie locaties kunnen de overeenkomstige geometrie van de kruispunten en de gelijkaardige verkeersintensiteiten zijn.

De waarden van de critical gaps van locatie 4 en locatie 5 zijn respectievelijk 3,96 s en 2,74 s. Deze waarden liggen in het verwachtingspatroon voor de waarden van de critical gap bij dit soort kruispunten. Een verklaring voor de afwijking op de waarden van de critical gaps ten opzichte van de waarden van locatie 1 tot en met 3 kan het verschillende karakter van de kruispunten zijn. De geometrie en de verkeerintensiteit zijn verschillend en deze factoren dragen bij aan het verschil tussen de waarden van de critical gap. Daarnaast is er bij locatie 5 een busbaan aanwezig die een grote invloed kan hebben op het rijgedrag van de bestuurders.

Tabel 2: Samenvatting critical gap per locatie

	Critical gap (s)
Locatie 1	3,42
Locatie 2	3,68
Locatie 3	3,81
Locatie 4	3,96
Locatie 5	2,74

4 Experimenteel onderzoek in Vissim

Het tweede onderdeel van dit onderzoek bestaat uit het opstellen van de modellen in het softwareprogramma Vissim van de situaties waarvan de critical gap bepaald werd met behulp van de praktijkmetingen en de video-analyses. Nadien is het mogelijk om de modellen te analyseren en op deze manier inzicht te verkrijgen in de parameters die de meeste invloed hebben op de critical gap. Op basis van die bevindingen kan er een parameterset opgesteld worden waarmee getracht wordt de foutmarge tussen de werkelijke resultaten en de resultaten afkomstig uit de simulaties met de defaultwaarden te verkleinen.

4.1 Materiaal en methode

4.1.1 Opbouw van de modellen

Om te onderzoeken welke parameters de critical gap beïnvloeden en welke parameterset gebruikt kan worden om T-kruispunten in het softwareprogramma Vissim te onderzoeken, moeten er eerst modellen gemaakt worden van de verschillende onderzoekslocaties.

Het opstellen van de modellen start op uniforme wijze voor de vijf locaties, waarbij de afwijkende factoren in een later stadium van dit onderzoek in detail worden besproken. Locatie 1 wordt gebruikt om het proces te verduidelijken. Het opstellen van de modellen kan opgesplitst worden in drie onderdelen. Het eerste onderdeel is het netwerk. Nadien wordt de informatie omtrent de verkeersvraag aan het model toegevoegd. Er wordt bij de verkeersvraag een onderscheid gemaakt tussen de verschillende soorten voertuigen. De verkeersvraag voor auto's en vrachtwagens zal afzonderlijk aan het model toegevoegd worden. De laatste stap is het aanbrengen van de conflictgebieden die de voorrangen regelen.

4.1.1.1 Netwerk

Zoals in Figuur 22 zichtbaar is, is de eerste stap in het modelleren van een locatie het inladen van de achtergrond. In dit onderzoek wordt een schermafbeelding uit Google Maps gebruikt en worden de schaal van het programma Vissim en de schaal van de afbeelding aan elkaar gelijkgesteld.



Figuur 22: Screenshot uit Vissim met de achtergrond van locatie 1

De volgende stap is het intekenen van de links en de connectoren. De links worden op de rijstroken aangebracht en worden nadien verbonden met behulp van connectoren. Op Figuur 23 worden de links en de connectoren weergegeven met een grijze kleur.

Na het intekenen van de links en de connectoren worden de snelheidsbeperkingen aangeduid. Bij locatie 1 is dit echter niet van toepassing aangezien alle wegen die zichtbaar zijn een snelheidsbeperking hebben van 50 km/u. De *reduced speed area* wordt wel in het model aangebracht. Dit is een zone waarin bestuurders niet aan de maximumsnelheid van 50 km/u zullen rijden zoals bijvoorbeeld in een bocht. Deze zone wordt op Figuur 23 aangegeven met de gele rechthoek.



Figuur 23: Screenshot uit Vissim met aanduiding van de reduced speed area

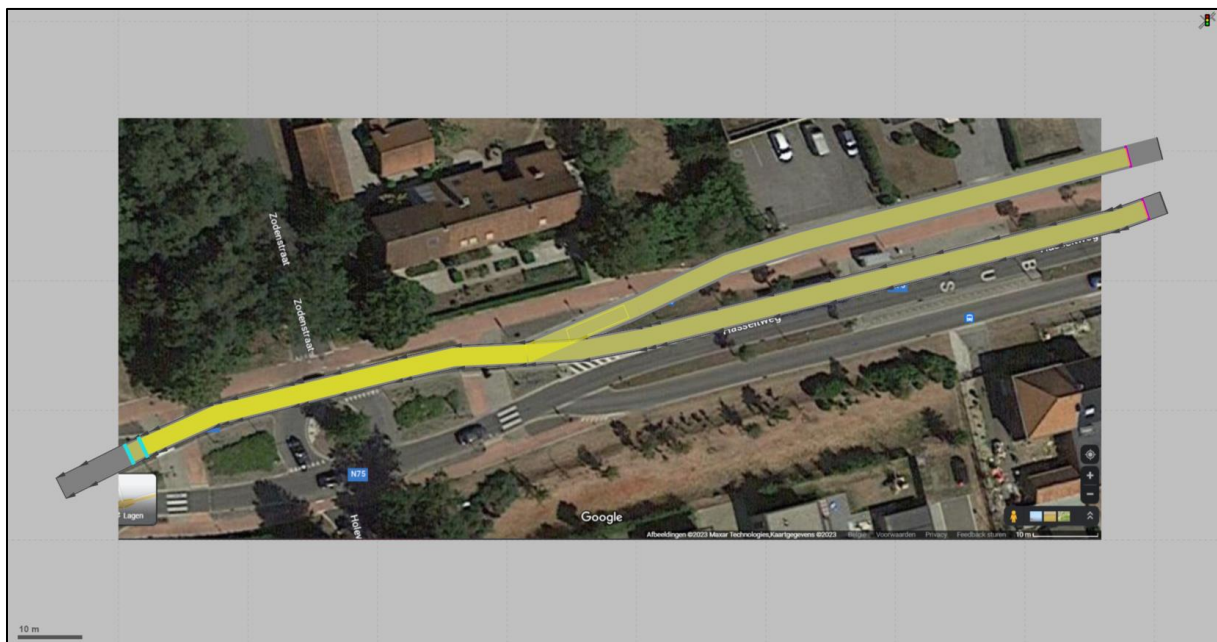
4.1.1.2 Verkeersvraag

De verkeersvraag wordt door middel van *vehicle inputs* aan de rand van het netwerk aangebracht. Na het definiëren van de samenstelling van het verkeer op basis van de metingen ter plaatse worden de verkeersintensiteiten per tien minuten ingegeven. Deze volumes worden uitgedrukt in het aantal voertuigen per uur. Dit wordt weergegeven op Figuur 24.

Count: 6	Cont	TimeInt	Volume	VehComp	VolType
1	<input type="checkbox"/>	0-600	696,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic
2	<input type="checkbox"/>	600-1200	594,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic
3	<input type="checkbox"/>	1200-1800	702,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic
4	<input type="checkbox"/>	1800-2400	618,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic
5	<input type="checkbox"/>	2400-3000	690,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic
6	<input type="checkbox"/>	3000-MAX	660,0	3: major: 50km-0.76%	Stochastic

Figuur 24: Screenshot uit Vissim met *vehicle inputs*

Nadien worden de routes aangebracht op de links. Deze routes bepalen in welke richting het verkeer zal rijden. Aangezien het bij de onderzoekslocaties over T-kruispunten gaat waar het verkeer maar in één richting mag rijden, lijkt deze stap minder van belang. Dit omdat er maar twee verkeersstromen aanwezig zijn. Omwille van goede modelleringspraktijken worden deze routes echter toch toegevoegd. De twee aangebrachte routes worden op Figuur 25 weergegeven.



Figuur 25: Screenshot uit Vissim met aanduiding van de routes

4.1.1.3 Conflicten

De laatste stap in het modelleren van de locaties is het aanbrengen van de conflictgebieden. Vissim geeft zelf aan waar deze gebieden zich bevinden maar de gebruiker dient wel nog te definiëren welke verkeersstromen voorrang moeten verlenen aan elkaar. Figuur 26 geeft de locatie van het conflictgebied weer. De groene strook duidt aan dat dit de hoofdweg is en de voertuigen op die link geen voorrang moeten verlenen aan de andere verkeersstroom. Na het definiëren van het conflictgebied is het modelleren van het basismodel afgerond.



Figuur 26: Screenshot uit Vissim met aanduiding van het conflictgebied

Na het definiëren van het conflictgebied is het gemeenschappelijke deel van het modelleren van de verschillende locaties voltooid. Het is enkel nog noodzakelijk om specifieke onderdelen per locatie te integreren, waaronder openbaar vervoer, snelheden en de variatie van enkele parameters die nog aangepast dienen te worden zoals de zichtbaarheid en de hellingsgraad. Dit wordt behandeld in het volgende gedeelte van dit onderzoek.

4.1.2 Vissim-modellen

4.1.2.1 Locatie 1: Genk

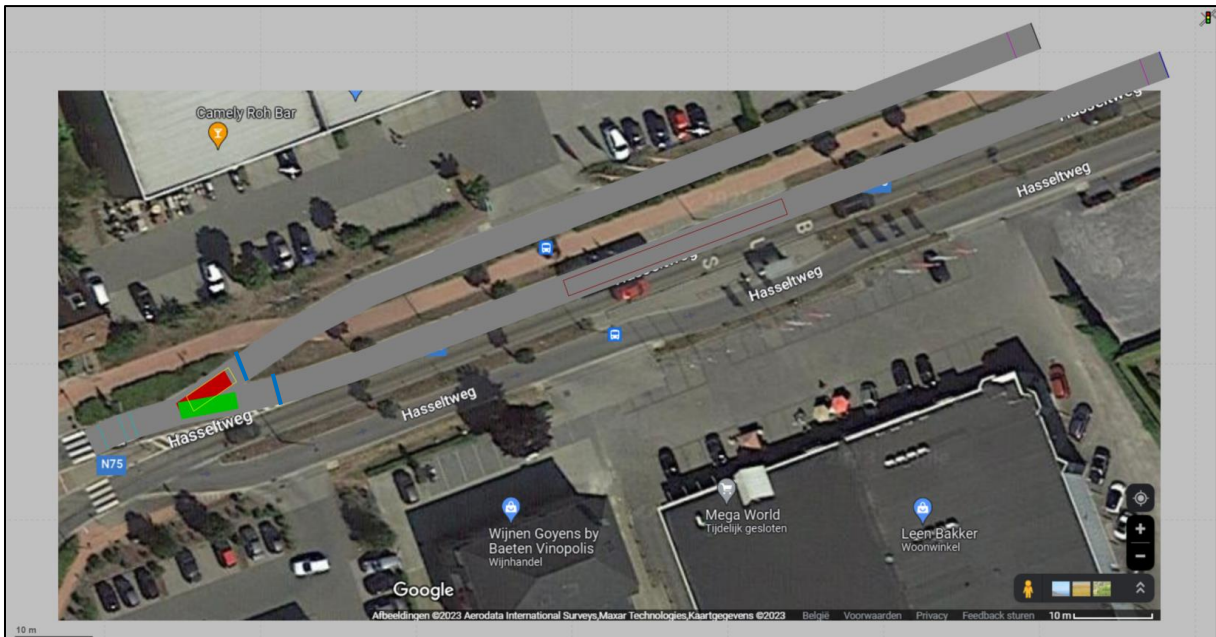
Nadat het algemene gedeelte van het model afgewerkt is, dienen er voor locatie 1 nog enkele aanpassingen gemaakt te worden. Eerst worden er meetpunten aangebracht op de hoofdweg en op de nevenschikse weg. Het is belangrijk dat deze meetpunten op dezelfde locatie aangebracht worden als de lijnen die gebruikt worden bij het analyseren van de camerabeelden bij het onderzoeken van de werkelijke situaties. De meetpunten worden op Figuur 27 weergegeven als blauwe lijnen net voor het conflictgebied. Daarnaast moet er bij locatie 1 ook rekening gehouden worden met het openbaar vervoer. Er bevindt zich een bushalte op de hoofdweg die op Figuur 27 weergegeven wordt als de rode rechthoek aan de rechterkant van de figuur. In Vissim wordt eerst de bushalte ingetekend en nadien wordt de route aangebracht. De informatie zoals de snelheid van de bus en de frequentie waarmee de bussen rijden, wordt daarna toegevoegd.



Figuur 27: Screenshot uit Vissim locatie 1

4.1.2.2 Locatie 2: Genk

Het model van locatie 2 is sterk gelijkend aan dat van locatie 1. Ook hier worden de meetpunten toegevoegd voor het conflictgebied en wordt de informatie van het openbaar vervoer ook aan het model toegevoegd aangezien er ook hier een bushalte aanwezig is op de hoofdweg.



Figuur 28: Screenshot uit Vissim locatie 2

4.1.2.3 Locatie 3: Genk

Om het model van locatie 3 te vervolledigen dienen enkel de twee meetpunten toegevoegd te worden voor het conflictgebied.



Figuur 29: Screenshot uit Vissim locatie 3

4.1.2.4 Locatie 4: Leuven

De hoofdweg bij locatie 4 bestaat uit twee rijstroken zoals zichtbaar is op Figuur 30. Dit wordt dan ook op deze manier in Vissim gemodelleerd. Daarnaast kunnen de voertuigen die vanaf de nevenschikte weg de hoofdweg willen oprijden, de voertuigen die zich op de hoofdweg bevinden pas laatstijdig zien door de aanwezigheid van een helling en de aanwezigheid van bomen. Om hiermee rekening te houden wordt in het conflictgebied de parameter van de *visibility* van link twee aangepast naar tien meter om het model zo dicht mogelijk te laten aansluiten bij de werkelijke situatie.



Figuur 30: Screenshot uit Vissim locatie 4

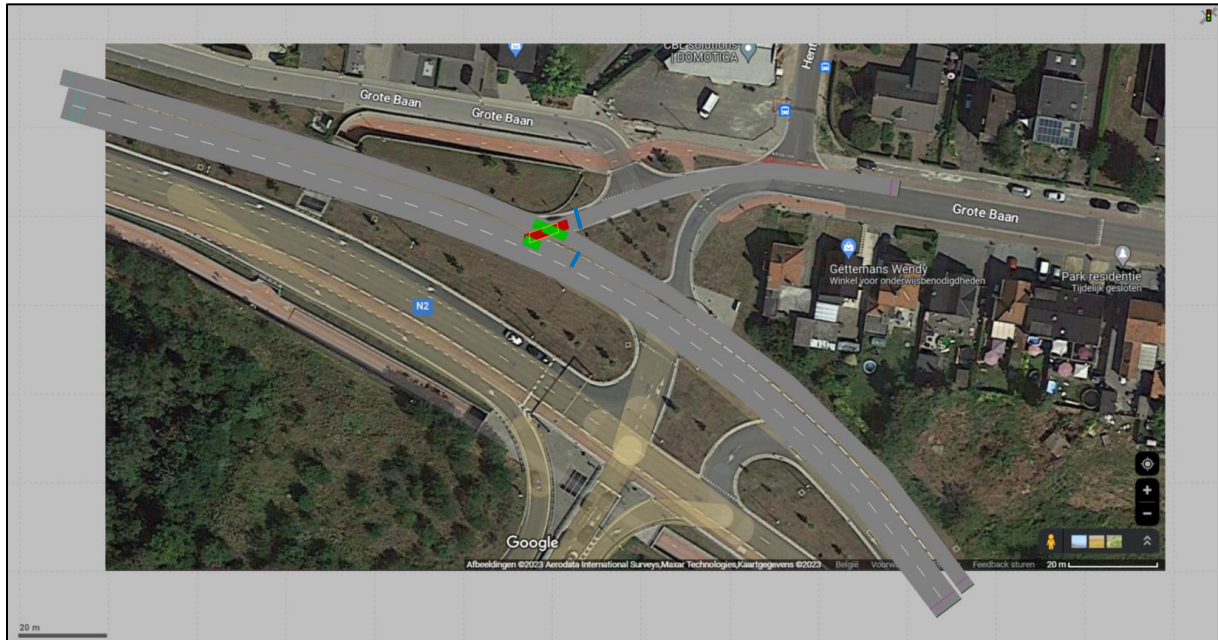
Figuur 31 geeft de verschillende parameters van het conflictgebied weer die in 4.1.3 verder besproken worden. Op onderstaande figuur is zichtbaar dat de waarde van de *visibility* van link 2 die voorrang moet geven, aangepast is naar tien meter.

Conflict Areas														
Count	Link1	VisibLink1	Link2	VisibLink2	Status	FrontGapDef	RearGapDef	MinGapBlockDef	MesoCritGap	SafDistFactDef	AddStopDist	ObsAdjLns	AnticipRout	AvoidBlockMinor
1	2	100,0	10000	10,0	2 waits for 1	0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	<input type="checkbox"/>	0,0 %	100,0 %

Figuur 31: Parameters conflictgebied locatie 4

4.1.2.5 Locatie 5: Hasselt

Figuur 32 geeft het model van locatie 5 weer. Bij deze locatie worden niet enkel de meetpunten toegevoegd, maar wordt de busbaan ook gemodelleerd. Deze busbaan heeft een eigen routing en eigen inputgegevens. Het model is zo samengesteld dat bestuurders die vanaf de nevenschikte weg de hoofdweg willen oprijden, eerst de busbaan moeten oversteken. Daarbij moeten deze bestuurders zowel voorrang verlenen aan bussen die op de busbaan rijden en aan voertuigen die zich op de hoofdweg bevinden.



Figuur 32: Screenshot uit Vissim locatie 5

4.1.3 Parameters

Voorgaand onderzoek toont aan dat de parameters die een invloed zullen hebben op de resultaten van de simulaties voornamelijk afkomstig zullen zijn uit twee categorieën. De eerste categorie bestaat uit de parameters met betrekking tot de conflictgebieden [28], [29]. De tweede categorie is de verzameling van de parameters met betrekking tot het *driving behaviour* van de bestuurders [30], [31].

4.1.3.1 Parameters conflictgebieden

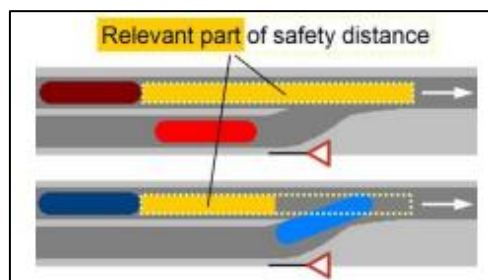
De parameters bij conflictgebieden met een merging type die een invloed hebben op het eindresultaat zijn de front gap, de *safety distance factor* en de parameter *observe adjacent lanes*. De visibility en de *additional stop distance* zijn gerelateerd aan de geometrie van de situatie en deze parameters staan vast per locatie.

- Front gap

Deze parameter heeft betrekking op de afstand tussen de verschillende voertuigen in het conflictgebied. Dit is de minimale tijd in seconden uitgedrukt tussen de achterbumper van een voertuig op de hoofdweg en de voorbumper van een voertuig op de nevenschiktelijke weg. Deze parameter zorgt ervoor dat het voertuig dat op de nevenschiktelijke weg rijdt, zal afremmen wanneer dit voertuig de conflictzone nadert en voor deze zone zal stoppen als er een voertuig voor of in het conflictgebied rijdt. Wanneer het voertuig op de hoofdweg het conflictgebied verlaten heeft, zal het voertuig op de nevenschiktelijke weg de hoofdweg oprijden [20]. Hoe snel dit zal gebeuren, hangt af van de waarde van de front gap.

- Safety distance factor

De waarde van de safety distance factor heeft een invloed op de minimale volgafstand die een voertuig van de nevenschiktelijke verkeersstroom zal aanhouden ten opzichte van het voertuig op de hoofdweg wanneer het nevenschiktelijke voertuig zich in de conflictzone bevindt. Het is deze parameter die zal bepalen of een nevenschiktelijk voertuig nog net voor een voertuig op de hoofdweg zal invoegen of niet. Figuur 33 geeft een voorbeeld van het effect van deze parameter. In de bovenste situatie met de rode auto wordt de waarde van de safety distance factor gelijkgesteld aan één, het rode voertuig zal stoppen aangezien het voertuig op de hoofdweg niet ver genoeg verwijderd is. De onderste situatie heeft als enige verschil dat de waarde van de safety distance factor aangepast is. Deze waarde wordt gelijkgesteld aan 0,5. Het blauwe voertuig kan daardoor wel nog invoegen op de hoofdweg aangezien het voertuig op de hoofdweg nog ver genoeg verwijderd is [20].



Figuur 33: Safety distance factor [20]

- Observe adjacent lanes

Wanneer deze parameter wordt aangeduid in het programma zullen voertuigen op de nevenschikte weg die voorrang moeten verlenen rekening houden met voertuigen op de hoofdweg die naar de rijstrook met het conflict willen veranderen [20].

4.1.3.2 Parameters driving behaviour

De parameters die een invloed hebben op de resultaten van de simulaties bij het onderdeel driving behaviour behoren tot het onderdeel car following model. De drie parameters zijn de *average standstill distance*, de *additive part of safety distance* en de *multiplicative part of safety distance*.

- Average standstill distance

Deze parameter staat voor de afstand tussen twee stilstaande voertuigen uitgedrukt in meter. Er is een tolerantie aanwezig op de ingevoerde waarde van -1,0 m tot +1,0 m. Deze tolerantie is normaal verdeeld rond de waarde van 0 m [32].

- Additive part of safety distance

De waarde van deze parameter wordt gebruikt om de gewenste safety distance te bepalen [32].

- Multiplicative part of safety distance

Net zoals de waarde voor de additive part of safety distance heeft deze parameter ook een invloed op de safety distance factor. Hoe groter de waarde van deze parameter, hoe groter de normaalverdeling van de safety distance [32].

4.1.4 Critical gap

Om de impact van de parameters te onderzoeken en om een correcte parameterset te definiëren, is het noodzakelijk om de critical gap per locatie in Vissim te bepalen. Dit wordt eerst gedaan met de defaultwaarden van het programma Vissim en zal nadien herhaald worden met de verschillende scenario's waarin variaties op de waarden van de parameters worden aangebracht. Tabel 3 geeft de defaultwaarden van de parameters weer.

Tabel 3: Defaultwaarden parameters

	Defaultwaarde
Conflictgebieden	
Front Gap (s)	0,5
Safety Distance Factor (SafDistFact)	1,5
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)	0
Driving Behaviours	
Average standstill distance (m)	2
Additive part of safety distance	2
Multiplicative part of safety distance	3

Door het aanbrengen van de meetpunten op de modellen worden tijdens de simulaties dezelfde gegevens verzameld als in de praktijktesten. De gegevens die door de meetpunten verzameld worden, zijn het tijdstip waarop de voorbumper het meetpunt passeert en de tijd waarop de achterbumper van het voertuig het meetpunt passeert. Deze tijdstippen komen overeen met de entry-time en exit-time van de voertuigen. De gegevens worden voor zowel de hoofdweg als de nevenschikte weg verzameld.

Op basis van de entry-time en exit-time van de voertuigen op de hoofd- en nevenweg wordt de critical gap berekend. De entry- en exit-times van de hoofd- en nevengeschikte weg worden ingevoerd in het Excel-formulier van het bedrijf GoodVision [27]. Op basis van deze gegevens worden de gaps tussen de auto's bepaald en worden het aantal accepted en rejected gaps berekend. Wanneer het percentage accepted gaps gelijk is aan het percentage rejected gaps is de overeenkomstige gap gelijk aan de critical gap volgens Raff's methode [1]. De resultaten van de analyse met de defaultwaarden van locatie 1 worden getoond in Tabel 4 om de methodologie weer te geven. De gap time die overeenkomt met het samenvallen van het percentage accepted en rejected gaps bij locatie 1 is gelijk aan 2,98 s. De critical gaps voor de andere scenario's en locaties worden volgens dezelfde methodologie berekend.

Tabel 4: Resultaten gap analyse locatie 1

Class (s)	Accepted	Rejected	Accept (%)	Reject (%)	Slope Accept	Intercept Accept	Slope Reject	Intercept Reject	Gap (s)
0	0	114	0%	100%	0	0	0	1	/
0,5	0	114	0%	100%	0	0	-0,107	1,054	9,833
1	0	108	0%	95%	0,025	-0,025	-0,768	1,714	2,194
1,5	3	65	1%	56%	0,126	-0,175	-0,268	0,964	2,898
2	18	50	8%	43%	0,184	-0,292	-0,161	0,750	3,024
2,5	40	41	17%	35%	0,184	-0,292	-0,196	0,839	2,975
3	62	30	26%	25%	0,167	-0,243	-0,089	0,518	2,963
3,5	82	25	34%	21%	0,184	-0,301	-0,196	0,893	3,138
4	104	14	44%	11%	0,117	-0,033	0	0,107	1,200
4,5	118	14	49%	11%	0,117	-0,033	0	0,107	1,200
5	132	14	55%	11%	0,092	0,092	-0,054	0,375	1,943
5,5	143	11	60%	8%	0,109	0,004	-0,036	0,277	1,915
6	156	9	65%	6%	0,159	-0,301	-0,018	0,170	2,663
6,5	175	8	73%	5%	0,109	0,025	-0,036	0,286	1,804
7	188	6	79%	4%	0,084	0,201	-0,036	0,286	0,711
7,5	198	4	83%	2%	0,075	0,264	-0,018	0,152	-1,200
8	207	3	87%	1%	0,084	0,197	-0,018	0,152	-0,442
8,5	217	2	91%	0%	0,033	0,623	0	0	-18,625
9	221	2	92%	0%	0,084	0,172	0	0	-2,05
9,5	231	2	97%	0%	0,067	0,331	0	0	-4,938
10	249	2	100%	0%	/	/	/	/	/

4.1.5 Scenario's

In dit onderdeel van het onderzoek worden verschillende scenario's getest op de Vissim-modellen van locatie 1 tot en met locatie 3. Op deze manier wordt er inzicht verkregen in welke parameters een significante invloed hebben op de resultaten van de simulaties. Ook kan er op deze manier een parameterset bepaald worden die ervoor zorgt dat de resultaten van de simulaties aansluiten bij de resultaten uit de praktijkmetingen.

Eerst worden de verschillende onderzoekslocaties gesimuleerd met de defaultwaarden. Op deze manier wordt duidelijk in welke mate er aanpassingen aangebracht moeten worden aan de parameters om een juist resultaat te verkrijgen. In Tabel 5 worden de defaultwaarden en de grenzen waartussen deze defaultwaarden zullen variëren van de zes parameters die onderzocht worden, weergegeven. Deze grenzen worden bepaald op basis van de ervaring en het inzicht van de externe promotor ir. Erik Vandermeersch. Deze grenswaarden voor de verschillende parameters komen overeen met de realistische grenzen die deze waarden kunnen aannemen.

Tabel 5: Defaultwaarden parameters en grenzen

	Defaultwaarde	Ondergrens	Bovengrens
Conflictgebieden			
Front Gap (s)	0,5	0,2	1
Safety Distance Factor (SafDistFact)	1,5	1	2
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)	0	0	1
Driving Behaviours			
Average standstill distance (m)	2	1,5	3,5
Additive part of safety distance	2	1	4
Multiplicative part of safety distance	3	2	4,5

Nadat de critical gaps van locatie 1 tot en met locatie 3 berekend worden met de defaultwaarden van het softwareprogramma, worden er verschillende scenario's aangemaakt. De waarden van de parameters worden per scenario weergegeven in Tabel 6. Vanaf scenario 2 wordt er voor elke parameter een simulatie uitgevoerd met zowel de minimumwaarde als de maximumwaarde van deze parameter. Deze onder- en bovengrens worden in Tabel 5 weergegeven. Op deze manier is er voor elk scenario een kolom a, met de minimale waarde van de parameter en een kolom b, met de maximale waarde voor de parameter. Omdat de waarden van de andere parameters constant gehouden worden, kan er een duidelijk beeld verkregen worden over het effect van elke parameter op de critical gap. Deze analyse wordt uitgevoerd voor locatie 1 tot en met locatie 3.

Tabel 6: Scenario 1 tot en met 7b voor locatie 1 tot en met locatie 3

Scenario	1	2a	2b	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b
Conflictgebieden												
Front Gap (s)	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Safety Distance Factor	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Driving Behaviours												
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5

Nadat er inzicht is verkregen in welke parameters een grote invloed hebben en welke parameters de resultaten weinig tot niet beïnvloeden, worden de parameters die een grote invloed hebben geselecteerd. Door grafieken op te stellen per parameter en het effect dat deze parameter heeft op de critical gap in kaart te brengen, kan er een inschatting gemaakt worden op welke manier de waarden voor deze parameters gevarieerd kunnen worden om de beoogde waarde van de critical gap zo goed mogelijk te benaderen. Door middel van een iteratief proces waarbij deze parameters aangepast worden, wordt er een combinatie gezocht waarbij de waarde van de critical gap uit de simulatie zo dicht mogelijk aansluit bij de waarde die bekomen werd op basis van de analyse van de metingen ter plaatse.

Nadat deze parameterset voor locatie 1 bepaald wordt, worden er een aantal alternatieve parametersets opgesteld voor deze locatie waarbij het resultaat van de critical gap zo goed als gelijk is. Dit omdat er verschillende mogelijke parametersets met hetzelfde resultaat voor de critical gap zijn en er gezocht wordt naar een parameterset die bij alle drie de onderzoekslocaties gunstige resultaten geeft. Met de parametersets die bij locatie 1 opgesteld zijn, worden simulaties uitgevoerd voor locatie 2 en locatie 3. Na het beoordelen van alle parametersets zal er getracht worden een parameterset te vinden die zo gunstig mogelijke resultaten geeft voor alle drie de onderzoekslocaties. Dit wil zeggen dat door het gebruik van de bekomen parameterset de waarde van de critical gap uit de simulatie zo dicht mogelijk aansluit bij de waarde die door de praktijkmetingen bepaald werd voor alle onderzoekslocaties.

4.2 Resultaten

4.2.1 Default parameters

Tabel 7 geeft de resultaten weer van de simulaties waarbij de defaultwaarden gebruikt worden. Deze resultaten worden vergeleken om de foutmarges tussen de werkelijke critical gaps en de critical gaps met het gebruik van de defaultwaarden te bepalen. De resultaten van deze vergelijking dienen als basis voor het onderzoek van de parameters en het opstellen van de parameterset.

Tabel 7: Critical gaps met de defaultwaarden

	Critical gap (s)
Locatie 1	2,98
Locatie 2	3,42
Locatie 3	3,56
Locatie 4	3,49
Locatie 5	2,51

In Tabel 8 worden de werkelijke waarden van de critical gaps per locatie vergeleken met de resultaten van de simulaties in het programma Vissim waar de defaultwaarden gebruikt worden. Er valt op te merken dat de waarden bekomen uit de simulaties consistent lager zijn dan de werkelijke waarden. Zo is er bij locatie 1 een verschil van -15% aanwezig ten opzichte van de werkelijke situatie, de foutmarge bij locatie 2 bedraagt -8% en de foutmarge bij locatie 3 bedraagt -7%. De foutmarges bij de locaties waarbij de parameterset gevalideerd zal worden, bedragen -4% voor locatie 4 en -9% voor locatie 5.

Tabel 8: Vergelijking critical gaps

	Critical gap met defaultwaarden (s)	Werkelijke critical gap (s)	Foutmarge
Locatie 1	2,98	3,42	-15%
Locatie 2	3,42	3,68	-8%
Locatie 3	3,56	3,81	-7%
Locatie 4	3,49	3,96	-4%
Locatie 5	2,51	2,74	-9%

Na de resultaten van de eerste analyse wordt duidelijk dat bij het gebruik van de defaultwaarden voor de zes belangrijkste parameters de waarden van de critical gaps niet in overeenstemming zijn met de werkelijke waarden. De foutmarges bedragen, met uitzondering van locatie 4, bij alle locaties minstens -7%. Bij locatie 1 wordt er een foutmarge van -15% vastgesteld. De betrokken parameters zullen daarom onderzocht worden en er zal getracht worden om de foutmarges op de resultaten in vergelijking met de werkelijke resultaten te verkleinen door een alternatieve parameterset op te stellen.

4.2.2 Invloed van de parameters

4.2.2.1 Locatie 1: Genk

De resultaten van de verschillende scenario's voor locatie 1 worden weergegeven in Tabel 9. Per scenario worden er twee simulaties uitgevoerd. De eerste simulatie, aangeduid met een a, wordt uitgevoerd met de minimumwaarde van de parameter. De tweede simulatie, aangeduid met een b, wordt uitgevoerd met de maximumwaarde. Enkel scenario 4 is hierop een uitzondering aangezien er aan deze parameter enkel de waarde nul of één kan toegewezen worden.

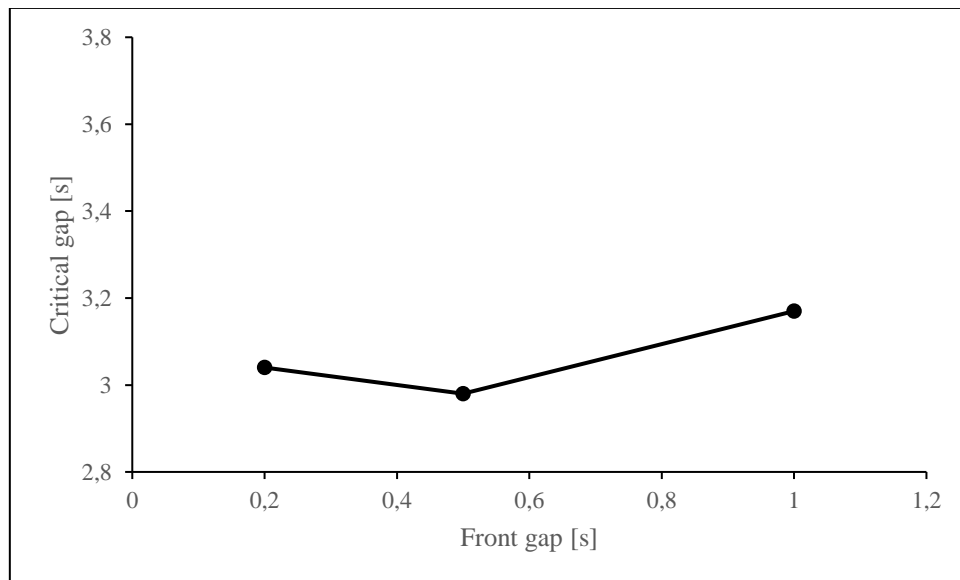
Tabel 9: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 1

Scenario	1	2a	2b	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b
Conflictgebieden												
Front Gap (s)	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Safety Distance Factor	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Driving Behaviours												
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5
Critical gap (s)	2,98	3,04	3,17	2,32	3,61	2,98	2,99	3,04	3,02	2,96	3,05	3,03
Vershil a en b (s)		0,13		1,29		/	0,05		0,06		0,02	

Uit de resultaten die weergegeven worden in Tabel 9 blijkt dat er parameters zijn die een grote invloed hebben op de waarde van de critical gap en dat er parameters zijn die een beperkte invloed hebben op de critical gap. Het verschil tussen de resultaten van de simulaties met de minimum- en maximumwaarden is voor scenario 2 en 3 het grootst. De variatie op de resultaten is voor scenario 2 gelijk aan 0,13 s en voor scenario 3 gelijk aan 1,29 s. Bij scenario 5, 6 en 7 zijn de verschillen eerder beperkt en de waarden van het verschil tussen de simulatie met de minimum- en maximumwaarden liggen tussen 0,02 s en 0,06 s. Er wordt dan ook de keuze gemaakt om bij het samenstellen van de parameterset de waarden voor deze parameters gelijk te stellen aan de defaultwaarden aangezien deze parameters geen grote invloed hebben op het resultaat van de critical gap. Indien nodig kan er wel nog een kleine aanpassing aangebracht worden aan deze parameters als blijkt dat de parameterset daardoor verfijnd kan worden.

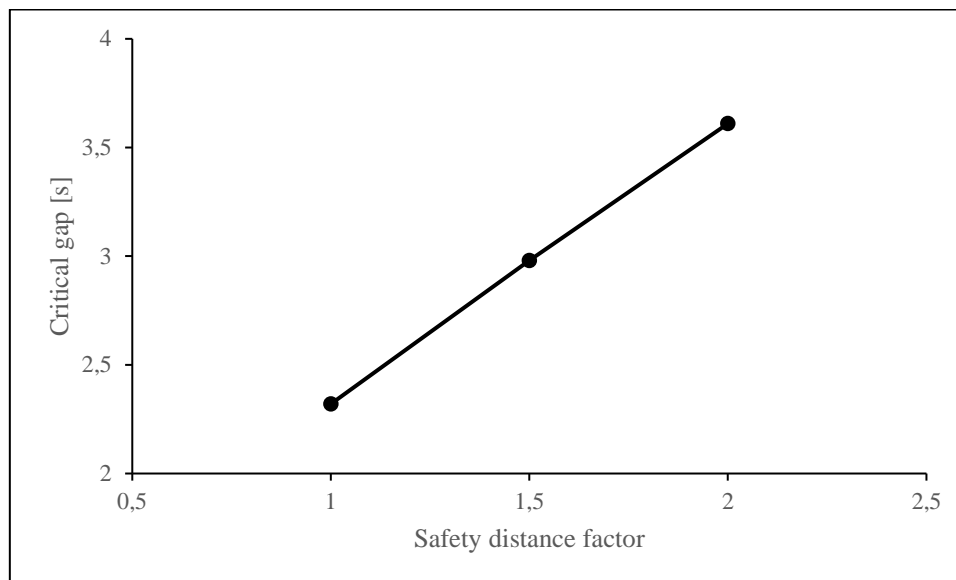
Uit scenario 2 tot en met scenario 7 blijkt dat de parameters met de grootste invloed de front gap en de safety distance factor zijn. Deze parameters zullen voor locatie 1 verder onderzocht worden om te analyseren op welke manier deze parameters het resultaat van de simulatie beïnvloeden.

Wanneer de critical gaps geplot worden in functie van de waarden van de front gap wordt de grafiek die weergegeven wordt in Figuur 34 bekomen. Op de grafiek wordt zichtbaar dat wanneer de simulatie wordt uitgevoerd met de defaultwaarde van 0,5 s, de waarde van de critical gap een minimum bereikt. Wanneer deze waarde wordt aangepast, zowel een vergroting of een verkleining, is de waarde van de critical gap hoger. Het grootste verschil is op te merken bij het aanpassen van de waarde van de front gap van 0,5 s naar 1 s. De critical gap stijgt dan van 2,98 s naar 3,17 s.



Figuur 34: Front gap - locatie 1

De andere parameter van locatie 1 die onderzocht wordt, is de safety distance factor. Figuur 35 geeft het effect op de waarde van de critical gap weer wanneer de waarde van de safety distance factor aangepast wordt. Er kan afgeleid worden dat wanneer de waarde van de safety distance factor stijgt, de waarde van de critical gap ook zal stijgen. Dit is te verwachten aangezien de safety distance factor de veiligheidsafstand van een voertuig zal beïnvloeden.



Figuur 35: Safety distance factor - locatie 1

4.2.2.2 Locatie 2: Genk

Tabel 10 geeft de resultaten weer van de simulaties met de verschillende scenario's voor locatie 2. Net zoals bij locatie 1 worden er per scenario twee simulaties uitgevoerd met de minimum-en maximumwaarde van de parameters. Scenario 4 is echter een uitzondering aangezien deze parameter enkel de waarde nul of één kan krijgen.

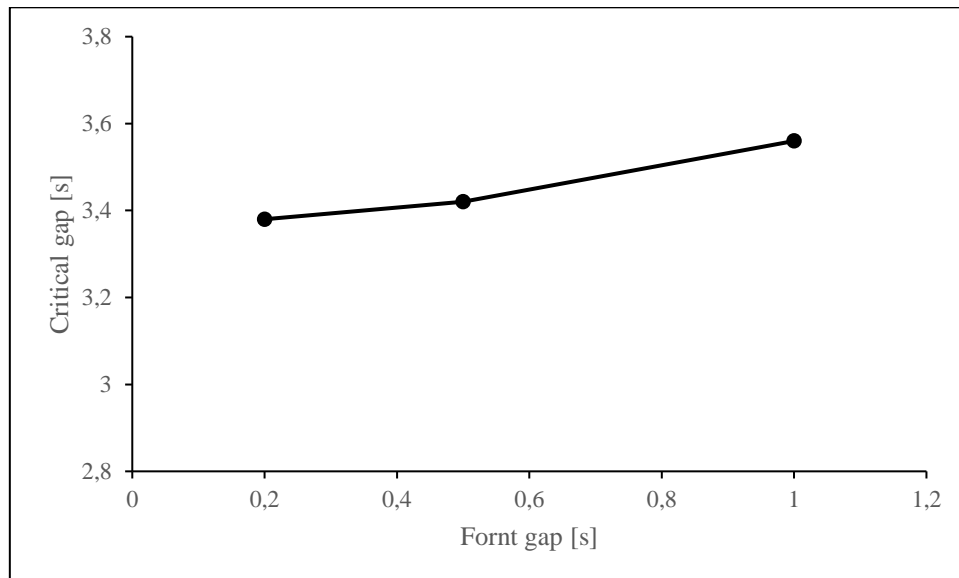
Tabel 10: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 2

Scenario	1	2a	2b	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b
Conflictgebieden												
Front Gap (s)	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Safety Distance Factor	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Driving Behaviours												
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5
Critical gap (s)	3,42	3,38	3,56	3,14	3,80	3,42	3,44	3,52	3,47	3,52	3,48	3,44
Vershil a en b (s)		0,18		0,66		/	0,08		0,05		0,04	

Wanneer de resultaten die weergegeven worden in Tabel 10 geanalyseerd worden, komen de bevindingen overeen met de bevindingen bij locatie 1. De parameters die een grote invloed hebben op het resultaat zijn de parameters die getest worden in scenario 2 en scenario 3. Deze parameters zijn de front gap en de safety distance factor. Het verschil tussen de simulaties met de minimum-en maximumwaarden is gelijk aan respectievelijk 0,18 s en 0,66 s. De parameters die in scenario 5 tot en met scenario 7 getest worden, hebben een kleine invloed en bij het samenstellen van de parameterset zullen de defaultwaarden gebruikt worden voor deze parameters.

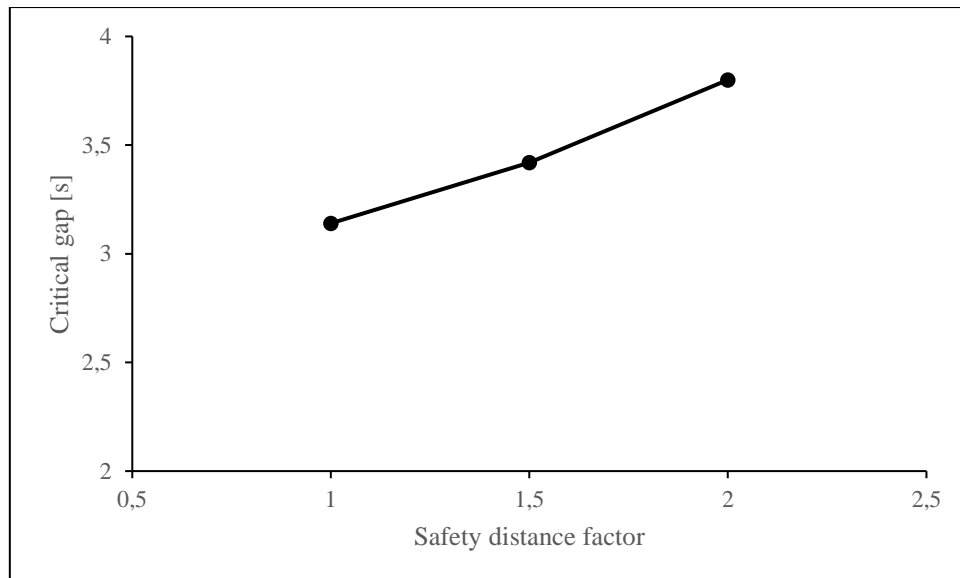
De parameters front gap en de safety distance factor worden verder onderzocht om het effect en de mate waarin ze de resultaten beïnvloeden te analyseren.

De waarden van de critical gaps afkomstig uit de verschillende simulaties worden geplott in functie van de overeenkomstige waarden van de front gap. In Figuur 36 wordt de relatie tussen de front gap en de critical gap weergegeven. Hier wordt er bij de minimumwaarde van 0,2 s een minimum bereikt bij de waarde van de critical gap van 3,38 s. Wanneer de waarde van de front gap verhoogd wordt, heeft dit als gevolg dat de waarde van de critical gap ook zal stijgen. Bij de maximale waarde van de front gap van 1 s zal de critical gap een maximumwaarde van 3,56 s bereiken.



Figuur 36: Front gap - locatie 2

De safety distance factor heeft een grote invloed op de resultaten van de critical gap bij locatie 2. Dit is waarneembaar in Figuur 37 waar de waarde van de critical gap met 0,66 s stijgt bij een verhoging van de waarde van de safety distance factor van één naar twee. Hoe hoger de waarde van de safety distance factor, hoe hoger de waarde van de critical gap zal zijn.



Figuur 37: Safety distance factor - locatie 2

4.2.2.3 Locatie 3: Genk

De resultaten van de simulaties met de verschillende scenario's voor locatie 3 worden weergegeven in Tabel 11. De minimum- en maximumwaarden worden voor elk scenario in kolom a en kolom b weergegeven. Enkel bij scenario 4 is dit niet het geval aangezien deze parameter enkel de waarde nul en één kan krijgen.

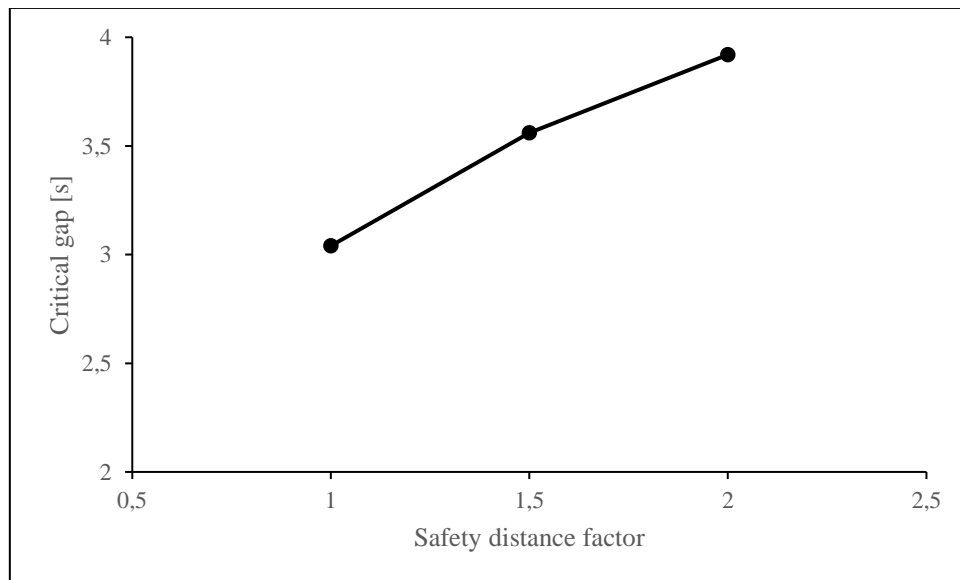
Tabel 11: Scenario's 1 tot en met 7b locatie 3

Scenario	1	2a	2b	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b
Conflictgebieden												
Front Gap (s)	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Safety Distance Factor	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Driving Behaviours												
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5
Critical gap (s)	3,56	3,54	3,58	3,04	3,92	3,56	3,62	3,64	3,56	3,73	3,55	3,65
Vershil a en b (s)		0,04		0,88		/	0,02		0,17		0,10	

De parameters die de resultaten van de critical gap sterk beïnvloeden zijn de safety distance factor en de additive part of safety distance bij locatie 3. Deze parameters worden getest in scenario 3 en scenario 6. Omdat de overige scenario's waar de andere parameters getest worden geen grote verschillen opleveren tussen de minimum – en maximumwaarden van de critical gap wordt ervoor gekozen om bij het bepalen van de parameterset de defaultwaarden voor deze parameters te gebruiken. De uitzondering hierop is de front gap aangezien er tijdens het opstellen van de parameterset gebleken is dat deze parameter noodzakelijk is voor het opstellen van een correcte parameterset.

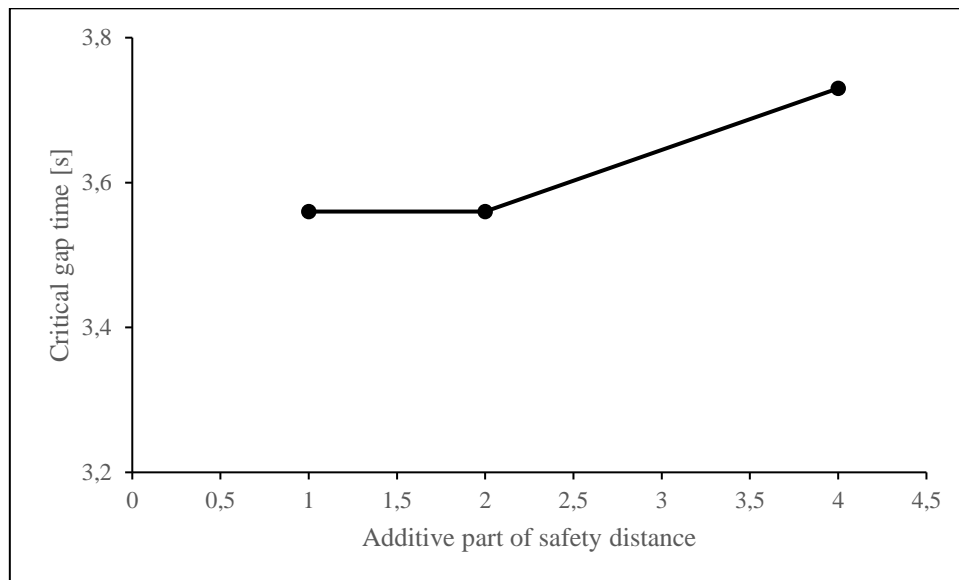
De safety distance factor en de additive part of safety distance zullen verder onderzocht worden om te analyseren op welke manier deze parameters de critical gap beïnvloeden. Opvallend is dat de resultaten van de simulaties bij locatie 3 afwijken ten opzichte van de resultaten van de simulaties bij locatie 1 en locatie 2. Waar er bij de voorgaande locaties een grote invloed was van de parameters front gap en de safety distance factor blijken de parameters front gap en de additive part of safety distance bij locatie 3 de grootste invloed te hebben.

De resultaten van de analyses met de verschillende scenario's met betrekking tot de safety distance factor bij locatie 3 worden weergegeven in Figuur 38. Het effect van het aanpassen van deze parameter komt sterk overeen met het effect bij locatie 1 en locatie 2. Het aanpassen van de waarde van de safety distance factor heeft het grootste effect op de critical gap. Bij het verhogen van deze waarde van één naar twee stijgt de critical gap van 3,04 s naar 3,92 s. Wanneer de waarde van de safety distance factor stijgt, zal de critical gap ook stijgen.



Figuur 38: Safety distance factor - locatie 3

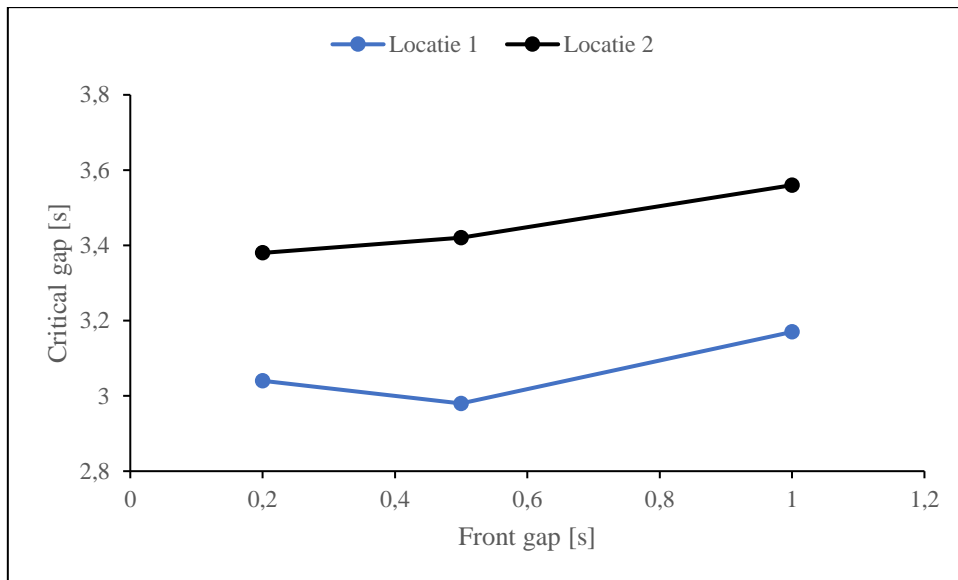
De parameter additive part of safety distance wordt bij locatie 3 verder onderzocht omwille van het verschil van 0,17 s tussen de simulatie met de minimale en maximale waarde. Bij locatie 3 valt op te merken dat het aanpassen van deze parameter een vergelijkbaar resultaat geeft met het aanpassen van de parameter front gap bij locatie 1 en locatie 2 zoals zichtbaar wordt op Figuur 39. De maximale waarde voor de front gap wordt gevonden bij de simulatie met de grootste waarde van de additive part of safety distance van 4. Daarnaast is zichtbaar dat bij het aanpassen van de waarde van de front gap van één naar twee de critical gap gelijk blijft.



Figuur 39: Additive part of safety distance - locatie 3

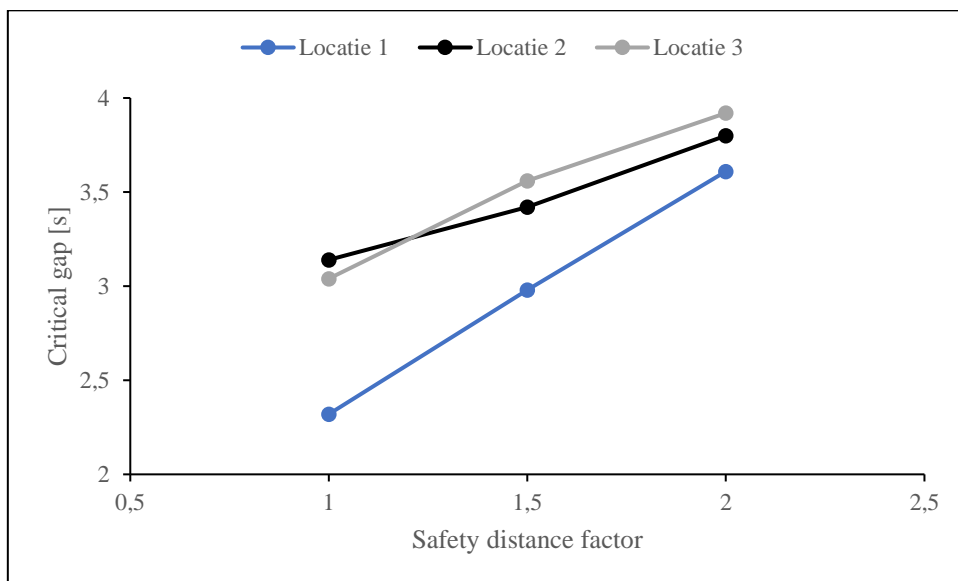
4.2.2.4 Samenvatting

Figuur 40 geeft een samenvatting over de invloed van het aanpassen van de waarde van de front gap in Vissim op de bekomen critical gap. Wat opvalt is dat de resultaten van locatie 1 een afwijking vertonen ten opzichte van de resultaten van locatie 2. Bij locatie 2 zal de critical gap stijgen wanneer de waarde van de front gap stijgt. Wanneer de waarde van de front gap bij locatie 1 echter stijgt van 0,2 s naar de defaultwaarde van 0,5 s zal de critical gap eerst dalen alvorens te stijgen naar een maximum bij een waarde van 1. Bij beide locaties wordt er een maximumwaarde bereikt van de critical gap bij een front gap gelijk aan 1 s. Deze bevindingen zijn van belang om een correcte parameterset te bepalen in een later stadium van het onderzoek.



Figuur 40: Front gap - samenvatting

De resultaten van de scenario's waarbij de waarde van de safety distance factor wordt aangepast, worden samengevat in Figuur 41. Hier wordt zichtbaar dat het effect van het aanpassen van deze waarde voor de drie locaties hetzelfde resultaat oplevert. Hoe groter de safety distance factor, hoe hoger de critical gap zal zijn.



Figuur 41: Safety distance factor - samenvatting

4.2.3 Parameterset

Nadat de parameters die de grootste invloed hebben op het resultaat van de simulaties bepaald zijn, kan er een combinatie van de waarden van deze parameters opgesteld worden waardoor de foutmarge tussen de critical gap afkomstig uit de simulaties en de werkelijke critical gaps kleiner wordt voor alle onderzoekslocaties. Een overzicht van het effect van het aanpassen van de parameterwaarden en de critical gaps per scenario wordt weergegeven in Bijlage A.

Omdat de waarden van de front gap en de safety distance factor de grootste invloed hebben, wordt bij locatie 1 scenario 8 opgesteld waar de maximumwaarden van beide parameters gelijkgesteld worden aan één en twee. Dit resultaat en de resultaten van de andere scenario's worden weergegeven in Tabel 12. De waarde van de critical gap bij scenario 8 is gelijk aan 3,55 s. De foutmarge ten opzichte van de waarde bekomen uit de observaties is 4%. Er zal getracht worden deze foutmarge te verkleinen. Op basis van deze bevindingen worden de waarden van de parameters bij de volgende scenario's aangepast. Zoals in Tabel 12 ook wordt weergegeven, is de waarde van de average standstill distance bij scenario 12 ook aangepast. De reden hiervoor is dat uit de resultaten gebleken is dat met een aanpassing van deze parameter een parameterset gevonden wordt waarbij de resultaten dichter aansluiten bij de werkelijkheid dan wanneer deze parameterwaarde niet aangepast wordt bij scenario 12. De overige scenario's geven alternatieve combinaties weer waarvan de critical gap goed aansluit bij de critical gap van de geobserveerde situatie en waar de foutmarges tussen 1% en 5% liggen. Deze 5 scenario's worden ook bij locatie 2 en locatie 3 onderzocht om een parameterset te bepalen die bij de drie onderzoekslocaties voor de kleinste foutmarge zorgt.

Tabel 12: Scenario's 8 tot en met 13 locatie 1

Scenario	8	9	10	11	12
Conflictgebieden					
Front Gap (s)	1	0,8	0,4	1	0,6
Safety Distance Factor	2	2	2	1,7	2
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0
Driving Behaviours					
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	3
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3
Critical gap (s):	3,55	3,6	3,50	3,38	3,49
Foutmarge:	4%	5%	2%	1%	2%

Tabel 13 geeft de resultaten van de vijf scenario's die opgesteld worden bij locatie 1 weer wanneer deze scenario's toegepast worden bij locatie 2. De foutmarges per scenario worden onderaan Tabel 13 weergegeven. Uit de tabel valt af te leiden dat scenario 11 niet alleen de beste resultaten geeft bij locatie 1, maar ook bij locatie 2. De foutmarges bedragen bij beide locaties 1%.

Tabel 13: Scenario's 8 tot en met 12 locatie 2

Scenario	8	9	10	11	12
Conflictgebieden					
Front Gap (s)	1	0,8	0,4	1	0,6
Safety Distance Factor	2	2	2	1,7	2
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0
Driving Behaviours					
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	3
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3
Critical gap (s):	3,85	3,85	3,80	3,70	3,82
Foutmarge:	5%	5%	3%	1%	4%

De vijf parametersets worden ook toegepast bij locatie 3. De resultaten van de simulaties worden weergegeven in Tabel 14. Op basis van de resultaten van de drie locaties wordt er een scenario gekozen dat de beste resultaten geeft voor de drie situaties. Het scenario waarbij de foutmarges tussen de critical gap uit de simulaties en de werkelijke critical gap voor alle situaties het kleinst zijn, is scenario 11. Deze parameterset zorgt voor foutmarges tussen 0% en 1% bij alle onderzoekslocaties.

Tabel 14: Scenario's 8 tot en met 12 locatie 3

Scenario	8	9	10	11	12
Conflictgebieden					
Front Gap (s)	1	0,8	0,4	1	0,6
Safety Distance Factor	2	2	2	1,7	2
Observe Adjacent Lanes	0	0	0	0	0
Driving Behaviours					
Avg. standstill distance (m)	2	2	2	2	3
Add. part of safety dist.	2	2	2	2	2
Multi. part of safety dist.	3	3	3	3	3
Critical gap (s):	3,89	3,96	3,92	3,80	3,84
Foutmarge:	2%	4%	3%	0%	1%

Tabel 15 geeft de bekomen parameterset weer. De waarde van de front gap wordt verhoogd van 0,5 s naar 1 s. De safety distance factor krijgt een waarde van 1,7 s waar de defaultwaarde gelijk is aan 1,5. De overige parameters behouden de defaultwaarden. Andere parametersets waarbij er aanpassingen werden aangebracht op de parameterwaarden van scenario 11 werden ook onderzocht maar de foutmarges bleken groter dan bij het gebruik van onderstaande parameterset.

Tabel 15: Scenario 11

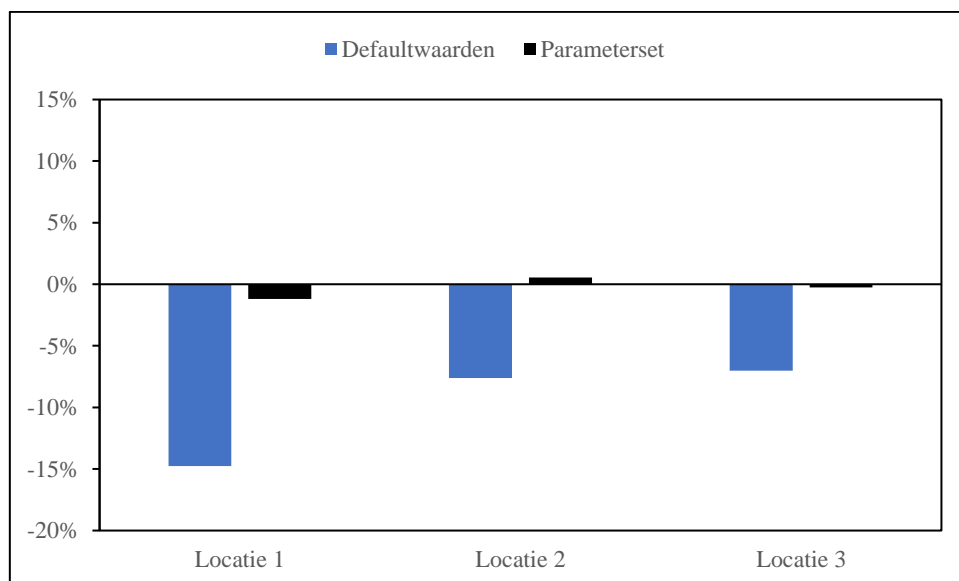
Scenario	11
Conflictgebieden	
Front Gap (s)	1
Safety Distance Factor	1,7
Observe Adjacent Lanes	0
Driving Behaviours	
Avg. standstill distance (m)	2
Add. part of safety dist.	2
Multi. part of safety dist.	3

De foutmarges tussen de werkelijke critical gap en de critical gap met de opgestelde parameterset worden weergegeven in Tabel 16. De waarden van de foutmarges variëren tussen -1% en 1%.

Tabel 16: Vergelijking critical gaps

	Critical gap met parameterset (s)	Werkelijke critical gap (s)	Foutmarge
Locatie 1	3,38	3,42	-1%
Locatie 2	3,70	3,68	1%
Locatie 3	3,80	3,81	0%

De resultaten worden grafisch weergegeven in Figuur 42. De foutmarges worden per locatie vergeleken en er kan opgemerkt worden dat de foutmarges bij het gebruik van de parameterset drastisch gedaald zijn.



Figuur 42: Foutmarge per locatie

4.3 Conclusie

Uit de resultaten kan afgeleid worden dat de parameters front gap, safety distance factor en de additive part of safety distance de grootste invloed hebben op de resultaten van de critical gaps bij de simulaties in Vissim. Na het onderzoeken van het effect van deze parameters worden verschillende parametersets opgesteld. Na het analyseren van deze parametersets blijkt dat de parameterset die gebruikt wordt in scenario 11 de beste resultaten geeft. De foutmarges tussen de critical gaps uit de simulaties en de werkelijke critical gaps dalen van waarden tussen -4% en -15% tot waarden tussen -1% en 1%.

Daarnaast valt bij het onderzoek naar een geschikte parameterset op dat wanneer de waarde van een enkele parameter gevarieerd wordt, het resultaat op de critical gap eerder beperkt is. Wanneer er echter simulaties worden uitgevoerd waarbij een parameterset gebruikt wordt waar meerdere parameters een andere waarde toegewezen krijgen, valt op dat het effect op de critical gap veel groter is. Wanneer de parameters die afzonderlijk de grootste invloed hebben op de critical gap met hun maximumwaarde getest worden, was het resultaat veelal een waarde voor de critical gap die te laag was om de parameterset goed te keuren. Wanneer er een combinatie wordt gebruikt zoals in scenario 11 is het effect veel groter en kan er op basis daarvan een combinatie gezocht worden die voor de beste resultaten zorgt.

5 Validatie

5.1 Materiaal en methode

Om de parameterset te valideren worden de werkelijke critical gaps vergeleken met de critical gaps afkomstig uit de simulaties van de twee validatielocaties met de bekomen parameterset. De foutmarges worden nadien geanalyseerd om te bepalen wat het effect van de opgestelde parameterset is bij de validatielocaties. Indien de foutmarges kleiner zijn geworden, kan er geconcludeerd worden dat een simulatie die gebruik maakt van de opgestelde parameterset een gunstiger resultaat geeft voor de critical gap dan een simulatie met de defaultwaarden van het programma Vissim. Indien dit niet het geval is, kan er aangetoond worden dat de opgestelde parameterset niet bij alle locaties een gunstiger resultaat geeft.

5.2 Resultaten

5.2.1 Parameter observe adjacent lanes

Het eerste onderdeel van dit hoofdstuk beschrijft de parameter *observe adjacent lanes*. Deze parameter werd in de vorige hoofdstukken van dit onderzoek buiten beschouwing gelaten omdat de parameter bij de drie onderzoekslocaties geen invloed had op de critical gap. Daardoor kreeg deze parameter bij het opstellen van de parameterset de defaultwaarde toegewezen. De reden dat deze parameter het eindresultaat niet beïnvloedde was omdat de hoofdweg bij de drie onderzoekslocaties bestaat uit een enkele rijstrook. Deze parameter beschrijft echter het gedrag van voertuigen op de nevenschikte weg die rekening houden met voertuigen op de hoofdweg die naar de rijstrook van het conflict willen veranderen [20]. De hoofdweg dient dus te bestaan uit meerdere rijstroken voordat deze parameter een invloed kan hebben op de critical gap. Omwille van deze reden wordt er één simulatie per locatie extra uitgevoerd om het effect van deze parameter in te schatten bij de validatielocaties.

Om het effect van de parameter *observe adjacent lanes* te onderzoeken worden de defaultwaarden van het programma gebruikt voor de overige parameters en wordt enkel de waarde van de parameter *observe adjacent lanes* aangepast. Tabel 17 geeft de resultaten weer waaruit blijkt dat wanneer de waarde van de parameter *observe adjacent lanes* aangepast wordt van de defaultwaarde nul naar één, het effect op de critical gap bij locatie 4 minimaal is. De critical gap blijft namelijk hetzelfde. Bij locatie 5 is er een verschil van 0,04 s tussen de critical gaps op te merken maar ook hier is dit verschil zeer klein. Er kan besloten worden dat de invloed van deze parameter klein genoeg is om in dit onderzoek de defaultwaarde te gebruiken.

Tabel 17: Effect parameter *observe adjacent lanes*

	Critical gap (s) (observe adjacent lanes = 0)	Critical gap (s) (observe adjacent lanes = 1)
Locatie 4	3,79	3,79
Locatie 5	2,51	2,56

Het kleine verschil tussen de critical gaps met als waarde nul of één in de simulatie zou verklaard kunnen worden door de afwezigheid van een motivatie voor de voertuigen in het model om van rijstrook te veranderen. Dit zorgt ervoor dat er weinig weefgedrag is tussen de twee rijstroken.

5.2.2 Vergelijking parameterset

De critical gap die bekomen wordt door het gebruik van de opgestelde parameterset bij locatie 4 is gelijk aan 3,93 s. De werkelijke critical gap is gelijk aan 3,96 s. De foutmarge op dit resultaat bedraagt -1% en wordt weergegeven in Tabel 18. De foutmarge van -1% is lager dan de foutmarge van -4% tussen de werkelijke critical gap en de critical gap met de defaultwaarden. Er kan besloten worden dat het gebruik van de opgestelde parameterset bij locatie 4 een gunstig resultaat geeft. De foutmarge van -1% duidt erop dat de waarden tussen de werkelijke critical gap en de critical gap met de opgestelde parameterset zeer dicht bij elkaar liggen.

Locatie 5 heeft een foutmarge van 9% tussen de werkelijke critical gap en de critical gap met de opgestelde parameterset. Deze foutmarge bij het gebruik van de opgestelde parameterset is in absolute waarde even groot als de foutmarge van -9% bij het gebruik van de defaultwaarden in het programma Vissim. Er kan besloten worden dat de parameterset bij locatie 5 een grote invloed heeft op de resultaten van de critical gap maar de foutmarge in absolute waarde even groot blijkt. Bij de simulatie met de defaultwaarde wordt de critical gap time onderschat met 9%. Wanneer de opgestelde parameterset gebruikt wordt zal de critical gap overschat worden met 9%.

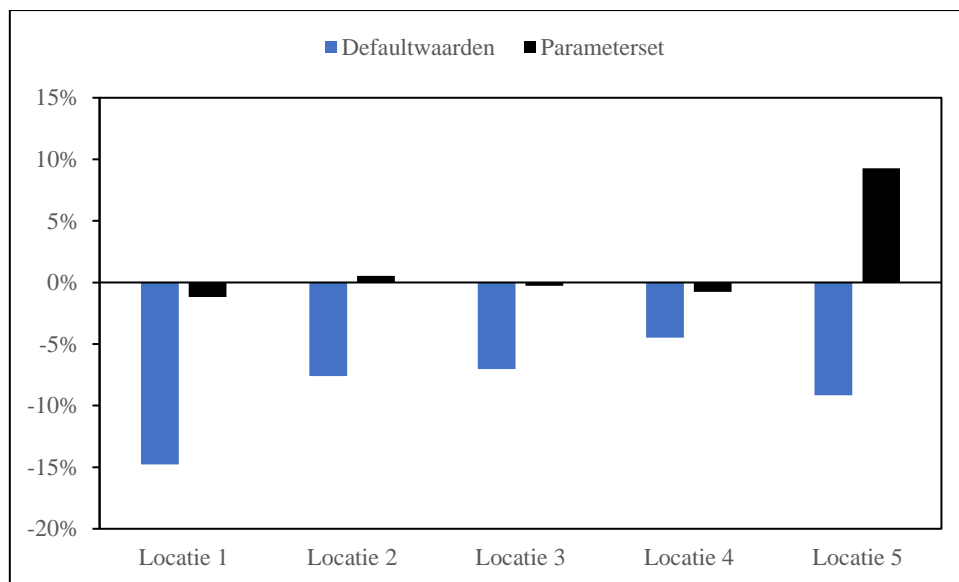
Tabel 18: Vergelijking critical gaps

	Critical gap met parameterset (s)	Werkelijke critical gap (s)	Foutmarge
Locatie 4	3,93	3,96	-1%
Locatie 5	3,02	2,74	9%

Wanneer de parameterset gebruikt wordt, is de waarde van de critical gap afkomstig uit de simulatie groter dan de werkelijke critical gap. Dit zorgt ervoor dat het model conservatiever is. Een mogelijke verklaring hiervoor kan de aanwezigheid van de busbaan zijn. De aanwezigheid van de busbaan heeft tot gevolg dat er 2 conflictgebieden aanwezig zijn. Het eerste conflictgebied bevindt zich tussen de nevenschikte weg en de busbaan en het tweede conflictgebied heeft betrekking op de nevenschikte voertuigen die op de hoofdweg willen invoegen na het voorbijrijden van de busbaan. Door de aanwezigheid van de busbaan zal het nevenschikte voertuig stoppen voor het eerste conflictgebied in de simulatie. In de realiteit zorgt de aanwezigheid van de busbaan er echter voor dat de nevenschikte voertuigen al langzaam naar voor rijden om nadien in te voegen. Het probleem dat zich stelt is dat dit in Vissim niet mogelijk is om te modelleren. De beperking van de software kan dan ook een verklaring zijn voor de overschatting van de critical gap.

In Figuur 43 wordt het verschil in foutmarges gevisualiseerd. Uit de figuur valt af te leiden dat bij locatie 1 tot en met locatie 4 de resultaten van de simulaties met de opgestelde parameterset veel sterker aanleunen bij de werkelijke critical gaps. De foutmarges bij locatie 1 tot en met locatie 4 liggen tussen -1% en 1% ten opzichte van de werkelijke resultaten.

De foutmarge met het gebruik van de parameterset bij locatie 5 is in absolute waarde echter gelijk gebleven ten opzichte van de foutmarge bij de simulatie waar de defaultwaarden gebruikt worden. Bij het gebruik van de defaultwaarden is de foutmarge gelijk aan -9%. Wanneer de opgestelde parameterset gebruikt wordt, zal de werkelijke critical gap overschat worden met 9%.



Figuur 43: Foutmarge per locatie

5.3 Conclusie

De parameter observe adjacent lanes blijkt in de simulaties weinig tot geen invloed te hebben op de critical gap time van de validatielocaties. Een mogelijke verklaring wordt gegeven door de afwezigheid van weefgedrag tussen de rijstroken in het model.

Daarnaast kan er besloten worden dat het effect van de parameterset bij locatie 4 gunstig is. De foutmarge daalt van -4% naar -1%. Bij locatie 5 blijft de foutmarge in absolute waarde gelijk aan 9% maar wordt de critical gap overschat in plaats van onderschat. Dit zorgt voor een conservatiever resultaat en kan mogelijk verklaard worden door de aanwezigheid van de busbaan.

6 Toekomstig onderzoek en optimalisatie

In dit hoofdstuk zullen de mogelijkheden om dit onderzoek verder te zetten en te optimaliseren onderzocht worden. Er zal niet enkel besproken worden hoe dit onderzoek verdergezet kan worden, maar de gebruikte onderzoeksmethodes in dit onderzoek zullen ook kritisch onderzocht worden. Nadien worden er op basis van de literatuurstudie alternatieven voorgesteld om dit onderzoek te optimaliseren.

6.1 Toekomstig onderzoek

In dit onderzoek wordt er een parameterset samengesteld waardoor de critical gap bij T-kruispunten met een merging-conflict in België beter onderzocht kan worden. Met behulp van de opgestelde parameterset sluiten de resultaten van de critical gap beter aan bij de werkelijke resultaten. Mogelijke verderzettingen van dit onderzoek bestaan uit het onderzoeken van vergelijkbare situaties, het uitbreiden van dit onderzoek naar andere conflictsituaties, het onderzoeken van alternatieve modelleringstechnieken en het vergelijken van de opgestelde parameterset met alternatieve parametersets.

Bij het toepassen van de opgestelde parameterset bij vergelijkbare conflictsituaties kan er op basis van de verkregen resultaten gevalideerd worden of de opgestelde parameterset ook gunstige resultaten geeft bij andere locaties. Op deze manier kan de betrouwbaarheid van de parameterset verder onderzocht worden. Door onderzoek uit te voeren bij vergelijkbare situaties kan de parameterset verder verfijnd worden en kan er onderzocht worden hoe de parameterset presteert bij een toenemende complexiteit van de kruispunten.

Daarnaast kan het onderzoek uitgebreid worden naar andere conflictsituaties zoals het crossing-conflict. Ook in conflicten van deze aard speelt de critical gap een grote rol in het rijgedrag van de bestuurders. De bevindingen uit dit onderzoek kunnen als basis dienen voor verder onderzoek naar de critical gap bij kruispunten met een crossing-conflict. Daarnaast kan er onderzocht worden in hoeverre de parameterset toegepast kan worden in een andere conflictsituatie.

De resultaten van dit onderzoek tonen ook aan dat hoewel de opgestelde parameterset erg gunstige resultaten geeft, er in specifieke situaties toch een noodzaak is om een andere parameterset of een aangepaste modelleringstechniek te gebruiken. Ook bij deze specifieke en afwijkende locaties kan er verder onderzoek uitgevoerd worden om niet enkel het effect van de opgestelde parameterset uit dit onderzoek te valideren, maar ook om het effect van het toepassen van een andere parameterset of modelleringstechniek te onderzoeken.

Ook kan de opgestelde parameterset vergeleken worden met alternatieve parametersets die beschikbaar zijn in de literatuur of in de praktijk. Op basis van deze vergelijking kunnen de voor- en nadelen van de opgestelde parameterset onderzocht worden. Wanneer er uit de vergelijking blijkt dat de opgestelde parameterset tot betere resultaten leidt kan er onderzocht worden hoe de parameterset verder geoptimaliseerd kan worden. Indien de vergelijking aantoont dat de opgestelde parameterset minder goed presteert dan de alternatieve parametersets kunnen de beperkingen en de optimalisatiemogelijkheden onderzocht worden.

6.2 Optimalisatie

Na het uitvoeren van dit onderzoek is het mogelijk om de onderdelen te identificeren die geoptimaliseerd kunnen worden. De verschillende mogelijkheden voor optimalisatie hebben betrekking op het verzamelen van de data en de verwerking van de verkregen resultaten.

6.2.1 Alternatieven voor dataverzameling

De manier waarop de gegevens worden verzameld in dit onderzoek zorgt ervoor dat er een beperking aanwezig is op de hoeveelheid data die verzameld kan worden. Omwille van het opnemen van de beelden met een smartphonecamera is de beschikbare data zowel beperkt door de noodzaak van de permanente aanwezigheid van de persoon die de metingen uitvoert als het geheugen van de smartphone.

Om deze problemen op te lossen is het mogelijk om een methode te gebruiken waar er geen permante aanwezigheid dient te zijn. Één van de mogelijke oplossingen is het gebruik van pneumatische buizen die aangebracht worden op het wegdek in plaats van de dataverzameling met behulp van video-opnames. Door het aanbrengen van twee kabels op het wegdek is het mogelijk om de intensiteit, de aard van het verkeer en de rijrichting van de voertuigen te bepalen [25]. Dit zorgt ervoor dat er meer data verzameld kan worden. Een nadeel van deze methode is echter dat enkel de wielassen gedetecteerd kunnen worden en niet de voor- en achterbumper van de voertuigen. Hierdoor zal het enkel mogelijk zijn om de relatieve critical gaps die met deze methode bepaald worden te vergelijken. Daarnaast is er een hogere kostprijs verbonden aan deze methode in vergelijking met het opnemen van videobeelden met een smartphonecamera ter plaatse.

Naast de pneumatische buizen zijn er nog alternatieven om verkeersmetingen uit te voeren. Deze alternatieven werden in hoofdstuk 2.4 besproken.

6.2.2 Vergroten van het onderzoeksgebied met behulp van drones

Eigen aan het onderzoeken van verkeerssituaties met behulp van video-opnames is dat het gebied dat onderzocht kan worden beperkt is tot de verkeerssituatie die zichtbaar is op de opgenomen beelden. Door het gebruik van een smartphonecamera is dit gebied vrij beperkt. Een voorstelling van deze situatie waar er met een smartphone opnames worden gemaakt wordt op Figuur 44 aangeduid met de blauwe rechthoek. Het beperkte zicht van de smartphonecamera zorgt ervoor dat er informatie die niet op de beelden aanwezig is en toch belangrijk is voor het onderzoek verloren gaat. Ter illustratie worden de metingen bij locatie 4 te Leuven gebruikt. De hoofdweg bestaat uit twee rijstroken en tijdens dit onderzoek valt er op te merken dat de parameter observe adjacent lanes weinig tot geen invloed heeft op het resultaat van de critical gap. Dit wordt in hoofdstuk 5.2 verklaard doordat er weinig weefgedrag aanwezig is op de hoofdweg in de simulatie. De reden hiervoor is de afwezigheid van gegevens in verband met het rijgedrag van de bestuurders verder stroomafwaarts van het kruispunt waar de metingen worden uitgevoerd.



Figuur 44: Weergave omgeving locatie 4 te Leuven

In werkelijkheid is het mogelijk dat er een grotere hoeveelheid weefgedrag aanwezig is op de hoofdweg door de aanwezigheid van de afrit naar het Universitair Ziekenhuis te Leuven op de rechterrijstrook die aangeduid is met de groene rechthoek op Figuur 44. Wanneer de gegevens over het aantal voertuigen die afslaan op de afrit die stroomafwaarts ligt van het onderzochte kruispunt ook beschikbaar zijn, zou in dit onderzoek de invloed van de parameter observe adjacent lanes beter onderzocht kunnen worden. Meer inzicht in het effect van deze parameter zou er ook voor zorgen dat er een beter beeld gevormd kan worden over de critical gap bij deze situatie.

Om dit probleem op te lossen is het noodzakelijk om tijdens het opnemen van de metingen ofwel op hetzelfde moment metingen uit te voeren op het kruispunt dat stroomafwaarts ligt, ofwel het gebied dat zichtbaar is op de beelden te vergroten zodat beide kruispunten zichtbaar zijn.

Deze laatste oplossing is mogelijk door het gebruik van drones. Drones zorgen ervoor dat er een groter gebied in beeld gebracht kan worden waardoor het rijgedrag van bestuurders stroomafwaarts ook in rekening gebracht kan worden [33]. Hoewel het gebied in dit voorbeeld waarschijnlijk te groot is om met één drone beide kruispunten op hetzelfde moment te onderzoeken, kan er wel een veel groter gebied onderzocht worden rondom het kruispunt waar dit onderzoek wordt uitgevoerd. Hierdoor kunnen er ook gegevens verzameld worden in verband met het rijgedrag van bestuurders na het passeren van het kruispunt waar dit onderzoek wordt uitgevoerd. Zo zal de informatie met betrekking tot het weefgedrag ook verzameld kunnen worden om het model te vervolledigen.

6.2.3 Analyse van de video's door artificiële intelligentie

Het analyseren van de opgenomen videobeelden is zeer tijdrovend. Voor elk voertuig op zowel de hoofdweg als de nevenschikste rijstrook worden zowel de entry- en exit-time manueel vastgelegd voor de gemeten tijdsperiode. Dit wordt voor de vijf onderzochte kruispunten herhaald waardoor dit onderzoek ook gelimiteerd wordt door de beschikbare tijd om de video's te analyseren.

Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het analyseren van de video's door artificiële intelligentie, ook AI genoemd. Door het gebruik van artificiële intelligentie om de video's te analyseren wordt het onderzoeksproces efficiënter. Niet alleen kunnen er op die manier meer locaties onderzocht worden maar is het ook mogelijk om per locatie meer data te verzamelen aangezien de benodigde tijd om de beelden te analyseren drastisch zal verminderen.

Via een *open-source* softwaretool zoals OpenCV kunnen er met behulp van AI verkeersanalyses uitgevoerd worden [34]. Ingebouwd in OpenCV zit een ondersteuning voor objectdetectie en tracking. Met behulp van de bibliotheek kunnen verkeersopnames verwerkt worden en voertuigen gedetecteerd worden.

7 Conclusie

Dit onderzoek toont aan dat er een probleem aanwezig is wanneer T-kruispunten onderzocht worden in het softwareprogramma Vissim en wanneer er daarbij gebruik gemaakt wordt van de defaultwaarden van het programma voor de conflictgebieden. Dit wordt aangetoond door op vijf locaties metingen uit te voeren en aan de hand van deze metingen de critical gap per locatie te bepalen. Wanneer deze vijf situaties gesimuleerd worden in het programma Vissim en de resultaten van de critical gap per locatie vergeleken worden met de waarden bekomen uit de praktijktesten blijken er foutmarges aanwezig te zijn op de resultaten tot 15%. Er wordt ook aangetoond dat de critical gaps afkomstig uit de simulaties in Vissim met de defaultwaarden systematisch onderschat worden ten opzichte van de resultaten afkomstig uit de praktijkmetingen. Dit wil dus zeggen dat de capaciteiten in een merging conflict systematisch overschat worden wanneer de defaultwaarden gebruikt worden.

Om een oplossing te bieden voor dit probleem worden de parameters die de grootste invloed hebben op de resultaten van de critical gap geïdentificeerd en wordt er onderzocht op welke manier deze parameters de resultaten van de simulaties beïnvloeden, met name de waarde van de critical gap. Uit deze analyse blijkt dat het veranderen van de waarden van de front gap en de safety distance factor de grootste invloed heeft op de resultaten van de analyses.

Met de kennis afkomstig uit de analyse van de parameters wordt er met behulp van een iteratief proces een parameterset opgesteld door de waarde van de front gap en de safety distance factor aan te passen. Het gebruik van deze parameterset zorgt ervoor dat de foutmarges op de resultaten van de analyses bij de drie onderzoekslocaties verkleinen tot waarden tussen -1% en 1%. Tijdens het opstellen van de parameterset blijkt ook dat het effect van het aanpassen van meerdere parameters in dezelfde simulatie veel groter is dan wanneer de waarde van een afzonderlijke parameter aangepast wordt.

Deze parameterset wordt nadien getest bij twee validatielocaties waarbij de foutmarge bij locatie 4 daalt van 4% naar 1%. Bij locatie 5 blijft de foutmarge in absolute waarde gelijk maar wordt de critical gap met de defaultwaarden onderschat met 9% en bij het gebruik van de opgestelde parameterset overschat met 9%. Deze resultaten tonen aan dat de opgestelde parameterset in dit onderzoek de resultaten van de simulaties in het softwareprogramma Vissim sterk verbetert bij locatie 1 tot en met locatie 4 en dat de foutmarge in absolute waarde gelijk blijft in het meest nadelige geval bij locatie 5.

Daarnaast kan er besloten worden dat hoewel de opgestelde parameterset de resultaten van de simulaties in het softwareprogramma Vissim sterker laat aanleunen bij de werkelijke waarden, er naar alle waarschijnlijkheid nooit één sluitende parameterset zal zijn voor alle T-kruispunten. Het gebruik van de opgestelde parameterset zorgt voor een sterke verbetering van de resultaten en kan in een brede context toegepast worden. Maar bij specifieke situaties kan er best gebruik gemaakt worden van een aangepaste parameterset of modelleringstechniek.

Er kan besloten worden dat de bekomen parameterset in dit onderzoek de resultaten bij het onderzoeken van T-kruispunten in het programma Vissim sterk verbetert. Daarnaast is ook gebleken dat deze parameterset niet hetzelfde effect heeft op alle T-kruispunten. Dit is te verklaren door de grote hoeveelheid aan andere factoren die mee de resultaten van de analyses bepalen. Daarnaast is elk kruispunt identiek en zijn er kleine nuances die de resultaten van de simulaties beïnvloeden.

De opgestelde parameterset kan nog verder onderzocht worden door bij zowel vergelijkbare als afwijkende verkeerssituaties onderzoek uit te voeren. Op deze manier zal niet enkel de betrouwbaarheid verder onderzocht kunnen worden maar zal het gedrag bij complexere kruispunten ook geanalyseerd kunnen worden. Daarnaast kan de opgestelde parameterset vergeleken worden met alternatieve parametersets uit zowel de literatuur als de praktijk. Op basis van deze vergelijking kan de parameterset geoptimaliseerd worden en kunnen de beperkingen onderzocht worden.

Referentielijst

- [1] G. Rui-jun, W. Xiao-jing en W. Wan-xiang, „Estimation of Critical Gap Based on Raff’s Definition,” *Hindawi*, 9 november 2014.
- [2] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000, Washington: TRB, 2000.
- [3] D. Radovic, V. Bogdanovic en B. Maric, „CRITICAL HEADWAY AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS - Literature Review,” *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, pp. 61-77, december 2022.
- [4] Unsignalized Intersection Improvement Guide, „UIIG,” 2015. [Online]. Available: <https://toolkits.ite.org/uiig/types.aspx#ref1>. [Geopend 5 december 2022].
- [5] N. Gartner, C. Messer en A. Rathi, „Traffic Flow Theory - A State-of-the-Art Report: Revised Monograph on Traffic Flow Theory,” Turner-Fairbank Highway Research Center, 2001.
- [6] Koninklijk Besluit, „Wegcode,” 9 november 2005. [Online]. Available: <https://www.wegcode.be/nl/regelgeving/2005014182~5yjza0ajqn>. [Geopend 4 december 2022].
- [7] National Committee on Uniform Traffic Laws and Ordinances 2000, „Uniform Vehicle Code,” National Committee on Uniform Traffic Laws and Ordinances 2000, 2000.
- [8] P. Hoogendoorn, Traffic Flow Theory and Simulation [cursus], Delft: Faculty of Civil Engineering and Geosciences Delft University of Technology.
- [9] M. Minderhoud, Supported driving: Impacts on motorway traffic flow [eindwerk], Delft: Delft University Press, 1999.
- [10] Z. Zuduo, „Recent developments and research needs in modeling lane changing,” *Transportation Research Part B: Methodological*, pp. 16-32, februari 2014.
- [11] M. Saifuzzaman, Z. Zheng, M. Haque en S. Washington, „Revisiting the Task–Capability Interface model for incorporating human factors into car-following models,” *Transportation Research Part B: Methodological*, pp. 1-19, december 2015.
- [12] M. Brackstone en M. McDonalds, „Car-following: a historical review,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, pp. 181-196, december 1999.
- [13] K. Fitzpatrick, „Gaps Accepted at Stop-Controlled Intersections,” TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1303.
- [14] A. Jamal, M. Ijaz, M. Almosageah, H. M. Al-Ahmadi, M. Zahid, I. Ullah en R. Emhamed Al Mamlook, „Implementing the Maximum Likelihood Method for Critical Gap Estimation under Heterogeneous Traffic Conditions,” *MDPI*, 29 november 2022.
- [15] A. Kusuma en H. Koutsopoulos, „Critical Gap Analysis of Dual Lane Roundabouts,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, pp. 709-717, 2011.
- [16] A. Polus, Y. Shiftan en S. Shmueli-Lazar, „Evaluation of the Waiting-Time effect on Critical Gaps at Roundabouts by a Logit Model,” *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, januari 2005.

- [17] W. Ibrahim en M. Sanik, „ESTIMATING CRITICAL GAP ACCEPTANCE FOR UNSIGNALISED TINTERSECTION UNDER MIXED TRAFFIC FLOW CONDITION,” Malaysia, 2007.
- [18] S. Tupper, M. Knodler, C. Fitzpatrick en D. Hurwitz, „ESTIMATING CRITICAL GAP - A COMPARISON OF METHODOLOGIES USING A ROBUST, REAL-WORLD DATA SET,” in *92nd Annual meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2013.
- [19] K. Shafiee, J. Lee, V. Leung en G. Chow, „Modeling and simulation of vehicular networks,” *DIVANet '11: Proceedings of the first ACM international symposium on Design and analysis of intelligent vehicular networks and applications*, pp. 77-86, november 2011.
- [20] Planung Transport Verkehr AG, „VISSIM 5.30-05 User Manual,” PTV, Karlsruhe Duitsland, 2011.
- [21] E. Nyame-Baafi, C. Adams en K. Osei, „Volume warrants for major and minor roads left-turning traffic lanes at unsignalized T-intersections: A case study using VISSIM modelling,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, pp. 417-428, oktober 2018.
- [22] N. Ratrouf en S. Rahman, „A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software,” *Arabian journal for science and engineering*, mei 2009.
- [23] S. R. E. Datondji, Y. Dupuis, P. Subirats en V. Pascal, „A Survey of Vision-Based Traffic Monitoring of Road Intersections,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 2681-2698, oktober 2016.
- [24] G. Leduc, „Road Traffic Data: Collection Methods and Applications,” Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Spain, 2008.
- [25] S. Skszek, „State-of-the-art report on non-traditional traffic counting methods,” ARIZONA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Arizona, 2001.
- [26] HMV Store, „hmv.com,” [Online]. Available: <https://hmv.com/store/technology/accessories/vivanco-smartphone-tripod>. [Geopend 10 april 2023].
- [27] goodvision, „A Step-by-Step Guide to Traffic Gap-Acceptance Analysis in Video Insights,” 23 februari 2023. [Online]. Available: <https://blog.goodvisionlive.com/a-step-by-step-guide-to-traffic-gap-acceptance-analysis-in-goodvision-video-insights>. [Geopend 22 april 2023].
- [28] Y. Gue, M. Essa, T. Sayed, M. Haque en S. Washington, „A comparison between simulated and field-measured conflicts for safety assessment of signalized intersections in Australia,” *Transportation Research Part C*, pp. 96-110, 2019.
- [29] A. Budhkar en A. Maji, „Calibration and Validation of VISSIM Parameters in Mixed Traffic,” in *Proceedings of the Fifth International Conference of Transportation Research Group of India*, Springer, Singapore, 2022.
- [30] U. Leyn en P. Vortisch, „Calibrating Vissim for the German Highway Capacity Manual,” *Transportation Research Record Volume 2483, Issue 1: Highway Capacity and Quality of Service*, pp. 74-79, januari 2015.

- [31] Z. Li, M. DeAmico, M. Chitturi, A. Bill en D. Noyce, „CALIBRATING VISSIM ROUNDABOUT MODEL USING A CRITICAL GAP AND FOLLOW-UP HEADWAY APPROACH,” in *16th Road Safety on Four Continents Conference*, Beijing, China, 2013.
- [32] 2023 PTV Planung Transport Verkehr GmbH, „Defining the Wiedemann 74 model parameters,” [Online]. Available: https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISSIM_2023_ENG/Content/4_BasisdatenSim/FahrverhaltensparameterFolgeverh_Wied74.htm. [Geopend 15 april 2023].
- [33] M. Khan, W. Ectors, T. Bellemans, D. Janssens en G. Wets, „Unmanned Aerial Vehicle–Based Traffic Analysis,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 25-33, januari 2017.
- [34] OpenCV, „Open Computer Vision Library,” 22 mei 2023. [Online]. Available: <https://opencv.org/>. [Geopend 23 mei 2023].
- [35] A. Vasconcelos, A. Seco en A. Silva, „Comparison of Procedures to Estimate Critical Headways at Roundabouts,” *Promet-Traffic & Transportation* 25, pp. 43-53, februari 2013.
- [36] L. Vasconcelos, A. Silva, A. Seco en G. Rouxinol, „ESTIMATION OF CRITICAL HEADWAYS AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS - A MICROSCOPIC APPROACH,” in *3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, Indianapolis, USA, 2011.

Bijlage

Bijlage A: Overzicht resultaten onderzoek

locatie 1: Hasseltweg-Lidl	Default	Min.	Max.	1 (Def)	2a (FrGap)	2b (FrGap)	3a (SafDist)	3b (SafDist)	4 (ObsAdj)	5a (Stand)	5b (Stand)	6a (Add.)	6b (Add.)	7a (Multi)	7b (Multi)	8	9	10	11	12	
Conflict Areas																					
Front Gap	0,5	0,2	1	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,8	0,4	1	0,6	
Safety Distance Factor (SafDistFact)	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	1,7	2	
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Driving Behaviours																					
Average standstill distance	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Additive part of safety distance	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	
Multiplicative part of safety distance	3	2	4,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5	3	3	3	3	3	
Critical gap (sec):				2,98	3,04	3,17	2,32	3,61	2,98	2,99	3,04	3,02	2,96	3,05	3,03	3,55	3,6	3,5	3,38	3,49	
Foutmarge t.o.v. werkelijke waarde				-15%												4%	5%	2%	-1%	2%	
locatie 2: Hasseltweg-Ava	Default	Min.	Max.	1 (Def)	2a (FrGap)	2b (FrGap)	3a (SafDist)	3b (SafDist)	4 (ObsAdj)	5a (Stand)	5b (Stand)	6a (Add.)	6b (Add.)	7a (Multi)	7b (Multi)	8	9	10	11	12	
Conflict Areas																					
Front Gap	0,5	0,2	1	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,8	0,4	1	0,6	
Safety Distance Factor (SafDistFact)	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	1,7	2	
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Driving Behaviours																					
Average standstill distance	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Additive part of safety distance	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	
Multiplicative part of safety distance	3	2	4,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5	3	3	3	3	3	
Critical gap (sec):				3,42	3,38	3,56	3,14	3,8	3,42	3,44	3,52	3,47	3,52	3,48	3,44	3,85	3,85	3,8	3,7	3,82	
Foutmarge t.o.v. werkelijke waarde				-8%												4%	4%	3%	1%	4%	
locatie 3: Hasseltweg-Albert-Heijn	Default	Min.	Max.	1 (Def)	2a (FrGap)	2b (FrGap)	3a (SafDist)	3b (SafDist)	4 (ObsAdj)	5a (Stand)	5b (Stand)	6a (Add.)	6b (Add.)	7a (Multi)	7b (Multi)	8	9	10	11	12	
Conflict Areas																					
Front Gap	0,5	0,2	1	0,5	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,8	0,4	1	0,6	
Safety Distance Factor (SafDistFact)	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	1,7	2	
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Driving Behaviours																					
Average standstill distance	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	1,5	3,5	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Additive part of safety distance	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2	2	2	2	2	2	
Multiplicative part of safety distance	3	2	4,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4,5	3	3	3	3	3	
Critical gap (sec):				3,56	3,54	3,58	3,04	3,92	3,56	3,62	3,64	3,56	3,73	3,55	3,65	3,89	3,96	3,92	3,8	3,84	
Foutmarge t.o.v. werkelijke waarde				-7%												2%	4%	3%	0%	1%	
locatie 4: Ring Leuven				1 (def)	11																
Conflict Areas																					
Front Gap				0,5	1																
Safety Distance Factor (SafDistFact)				1,5	1,7																
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)				0	0																
Driving Behaviours																					
Average standstill distance				2	2																
Additive part of safety distance				2	2																
Multiplicative part of safety distance				3	3																
Critical gap (sec):				3,79	3,93																
Foutmarge t.o.v. werkelijke waarde				-4%	-1%																
locatie 5: Grote Baan-Kuringersteenweg				1 (Def)	11																
Conflict Areas																					
Front Gap				0,5	1																
Safety Distance Factor (SafDistFact)				1,5	1,7																
Observe Adjacent Lanes (ObsAdjLns)				0	0																
Driving Behaviours																					
Average standstill distance				2	2																
Additive part of safety distance				2	2																
Multiplicative part of safety distance				3	3																
Critical gap (sec):				2,51	3,02																
Foutmarge t.o.v. werkelijke waarde				-9%	9%																