

Voorwoord

Voor u ligt de masterproef ter afsluiting van twee masterjaren Mobiliteitswetenschappen. Een rapport waar ik uitermate trots op ben vermits het me twee semesters lang veel tijd en moeite heeft gekost. Het eindresultaat maakt deze inspanningen dan ook ruimschoots goed. Niet alleen omdat deze masterthesis mij het diploma Master in de Mobiliteitswetenschappen oplevert, maar ook omdat het mijn kennis over verkeerslichtenregelingen sterk heeft uitgebreid.

Deze thesis had niet tot stand kunnen komen zonder de hulp en expertise van mijn co-promotor Dr. Ir. A Pirdavani en promotor Prof. Dr. T. Brijs, waarvoor ik hen ook graag uitgebreid wil danken. Zij wezen me op de aspecten waarmee ik tijdens een rijimulatoronderzoek moest rekening houden, gaven mij steeds feedback over mijn beslissingen en leerden me de wereld van SPSS toe te passen op mijn resultaten.

Daarnaast wil ik Wouter van Haperen bedanken voor de begeleiding met het programma STISIM DRIVE 3 en het aanreiken van oplossingen bij complexe situaties.

Kristof Mollu verdient zeker ook een dankwoord voor zijn begeleiding bij het simulatoronderzoek, waar hij mij met raad en daad bijstond om complexe situaties het hoofd te bieden.

Vervolgens wens ik ook Mark Keppens van ARCADIS Belgium en Paolo Malara van ARCADIS UK te bedanken voor het aanleveren van informatie met betrekking tot de startoranjefase en voor het verifiëren van mijn veronderstellingen.

Tenslotte, maar zeker niet onbelangrijk, wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun constante steun, hun deelname aan het onderzoek en hun feedback over het onderwerp. Dankzij hen kon ik deze masterthesis afsluiten met een voldaan gevoel.



Samenvatting

Het doel van deze masterthesis is om een eerste beeld te scheppen van de implementatie van de startoranje fase in het Belgische verkeer. Deze extra oranje fase, die het ingaan van de groenfase aankondigt, is reeds enkele decennia actief in landen zoals Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. In België zijn er nog geen onderzoeken uitgevoerd met betrekking tot de startoranje fase. Een praktijkonderzoek is dan ook niet mogelijk omdat deze fase niet opgenomen is in de Belgische verkeersreglementering. Daarom wordt er tijdens de literatuurstudie voornamelijk gebruikt gemaakt van buitenlandse literatuur.

De reden waarom landen zoals het Verenigd Koninkrijk en Duitsland blijven geloven in de startoranje fase is omdat het een positieve impact heeft op de startvertraging en bijgevolg op de verkeersdoorstroming. Wanneer de bestuurder dient te reageren op een plotse fase verandering, dan gebeurt dit altijd met een vertraging, in deze situatie ook wel de startvertraging genoemd, ten gevolge van de perceptie-reactietijd. Uit de onderzoeken blijkt dat, bij de implementatie van de startoranje fase, de voertuigen, bij het ingaan van de groenfase, sneller vertrekken. Bij een startoranje fase van 1 seconde, betekent dit een sneller vertrek van 0.7s tot 0.8s. Een startoranje fase van 2 seconden zorgt zelfs voor een startvertragingreductie van 1.2s tot 1.6s.

Deze reductie is echter niet het gevolg van een lagere perceptie-reactietijd. Onderzoek toonde aan dat de bestuurders reeds tijdens de startoranje fase beginnen te accelereren en in vele gevallen ook de stopstreep overschrijden. Dit laatste is bij wet verboden vermits de startoranje fase dezelfde juridische waarde heeft als een roodfase.

De literatuurstudie geeft aan dat dit echter niet resulteert in meer conflicten. De bestuurders beginnen enkel te accelereren indien ze merken dat de voorliggende verkeerssituatie dit toelaat. Indien er zich mogelijke conflicten voordoen met overstekende voetgangers of indien het kruispunt nog niet vrij is, dan stellen de bestuurders hun vertrek uit of vertragen ze weer.

Naast deze algemene conclusies vonden de onderzoekers significante verschillen tussen jonge en oude bestuurders op het vlak van perceptie-reactietijd en meningen. Enerzijds reageerden oude bestuurders minder positief op de startoranje fase, omdat ze deze verwarrend vonden, maar anderzijds reageerden ze ook iets minder snel op deze startoranje fase. Een andere conclusie was dat tweewielers frequenter de stopstreep overschreden tijdens de startoranje fase dan vierwielers. De snellere acceleratie van motorrijders, ten gevolge van hun lager gewicht, ligt hier mogelijk aan de basis.

Naast de objectieve resultaten over de startoranje fase, werden er ook opinies bevraagd. De hoofdredenen van bestuurders en beleidsmakers om voor een startoranje fase te kiezen zijn enerzijds het snellere vertrek en verbeterde doorstroming, maar anderzijds ook de afname van het stressniveau. Dankzij de startoranje fase hebben de bestuurders meer tijd om zich voor te bereiden op hun vertrek waardoor ze zich minder opgejaagd voelen.

Met deze bevindingen in het achterhoofd werd er vervolgens een onderzoek opgesteld. Hierbij werd er gekozen om gebruik te maken van een rijnsimulator omdat deze de mogelijkheid biedt om de verkeerssituaties niet te complex te maken, storende variabelen eruit te filteren en omdat het juridisch kader het niet toelaat om een praktijkonderzoek op te zetten. Voor deze rijnsimulatortest werd er gebruik gemaakt van de vrijwilligheid van 47 personen, met een gemiddelde leeftijd van 35 jaar en in het bezit van een rijbewijs. Deze testpersonen legden naast de testrit, twee proefritten af. De testrit gaf de deelnemers de kans om gewoon te worden aan de rijnsimulator. In de eerste rit waren de kruispunten uitgerust met de huidige verkeerslichtenregelingen, terwijl in de tweede rit de startoranje fase van 2 seconden werd geïntroduceerd. In beide ritten kregen alle deelnemers diverse conflicten voorgeschoteld, zoals een op het laatste moment overstekende voetganger of een kruisend voertuig. Deze mogelijke conflicten werden gebruikt om het gedrag van de deelnemers te analyseren en zo een uitspraak te doen over het veiligheidsluik van de startoranje fase.

De gegevens van het onderzoek werden vervolgens verzameld en geanalyseerd met SPSS. Op basis van de analyses werden uiteindelijk 3 deelnemers geweerd: twee wegens ziekte en een deelnemer werd gecategoriseerd als outlier. De resultaten van de overige deelnemers lagen min of meer in lijn met de studies uit de literatuur. Zo bleek dat de startoranje fase van 2 seconden de startvertraging reduceerde met ongeveer 1,1 seconden, in vergelijking met het referentiescenario. Bij het voordoen van een conflict reageerde de bestuurder significant later op het ingaan van de groenfase, maar accelereerde de bestuurder harder wanneer het conflict van de baan was. Hierdoor werd er geen significant verschil in startvertraging en de tijd nodig om het kruispunt te verlaten, gevonden tussen de conflicten. Vermits de tijdswinst in het startoranje scenario blijft bestaan tot op het einde van het kruispunt, kan er gesteld worden dat de startoranje fase een positieve impact heeft op de verkeersdoorstroming.

Naast de doorstroming werd er ook gekeken naar de verkeersveiligheid. Hierbij werd vastgesteld dat er geen vroegtijdige stopstreepoverschrijdingen waren en dat er zich geen ernstige conflicten voordeden. Er werd echter vastgesteld dat, op basis van de feedback van de deelnemers en de resultaten (afstand tot de stopstreep), de afstandsinschatting in de rijnsimulator niet goed was waardoor er hogere PET-waardes werden gevonden dan in werkelijkheid het geval zou zijn. Om deze reden kunnen er geen valabele uitspraken worden gedaan over het effect op de verkeersveiligheid.

Wel viel het op dat de bestuurders tijdens het startoranjescenario reeds ongeveer een halve meter hadden afgelegd nog voor dat het verkeerslicht op groen sprong. Daarnaast werd er vastgesteld dat bij het voordoen van een conflict met een kruisend voertuig, deze afgelegde afstand significant afnam om zo te anticiperen op het mogelijke conflict.

Voor en na het rijimulatoronderzoek dienden de deelnemers nog een vragenlijst in te vullen met betrekking tot hun socio-demografische gegevens en hun bevindingen. De bevindingen tegenover de implementatie van de startoranje fase in België waren over het algemeen positief. De deelnemers gaven aan dat de verbeterde voorbereiding en doorstroming positief waren maar maakten zich verder zorgen over de verkeersveiligheid en de vroegtijdige vertrekken.

Gezien de positieve feedback van de deelnemers en de positieve effecten op de doorstroming, bestaat er zeker een basis om verder onderzoek op te bouwen. Dit onderzoek dient uit te wijzen wat de impact is op de verkeersveiligheid en kan zich meer richten op een complexere rijomgeving.



Summary

The aim of this master thesis is to formulate some first conclusions concerning the implementation of the starting amber in Belgium. This additional amber phase, which announces the activation of the green phase, is already implemented for several years in countries like Germany and the UK. In Belgium, no studies have yet been conducted concerning the starting amber phase. Since the legal rules of this phase are missing in the Belgian legislation, it is not possible to conduct a research based on real-life data. This justifies why the literature review is merely based on non-Belgian studies.

The positive impact on start-up lost time and consequently on traffic flow performance, are the main reasons why countries like Germany and the UK still have faith in the starting amber. Without the starting amber phase, drivers have to respond to a sudden change of the traffic light that leads to a slower departure, commonly referred to as the start-up lost time, due to the perception-reaction time. Literature review indicates that when the starting amber is implemented, drivers set off more quickly. A starting amber duration of 1 second could result in an earlier departure of 0.7 – 0.8 seconds while a starting amber phase of 2 seconds brings about an earlier departure of 1.2-1.6 seconds.

This early departure does not correspond to the lower perception-reaction time. Research indicates that drivers already start to move during the starting amber phase and, in many cases, also cross the stop line. Early crossing of the stop line is forbidden by law, since the starting amber has the same legal status as the red phase.

The literature review indicates that early departures do not necessarily mean that there will be more conflicts. Drivers only start to accelerate depending on the traffic situation. When drivers detect possible conflicts with crossing pedestrians or when the intersection is occupied, they will delay their departure or they will reduce their acceleration.

Beside these general findings, researchers found that differences in reaction time and opinions between younger and elder drivers were significant. The opinion of elder drivers, concerning the starting amber, was less positive than the opinion of younger drivers. The elder drivers found this additional phase rather confusing. Furthermore, studies also indicate that the average perception-reaction time of the elder drivers was longer compared with the one of younger drivers. Literature shows that bicycles and motorcycles crossed the stop line during the starting amber phase more frequently during the starting amber phase than other motorized vehicles. A possible explanation could be the quicker acceleration of motorcycles due to their lighter weight.

Some researchers also included the opinions of users and policymakers concerning the starting amber in their researches. The main reasons of drivers and policymakers for favoring the use of the starting amber phase are on one hand the faster departure and on the other hand the decrease of the stress level. The starting amber phase provides more time for drivers to prepare themselves for their departure. This results in a lower stress level.

In the context of this thesis a research was set up, based on the conclusions of the literature review. Due the absence of legal rules concerning the starting amber phase in Belgium, this research was conducted with the use of a driving simulator. This choice of method also provides some flexibility: interrupting variables can be kept at a constant level and traffic situations can be kept simple in order to obtain the best results. During the course of this study 47 persons, with a mean age of 35 years old and in possession of a valid driver's license have participated in the driving experiments. All these persons have participated in three different driving settings; one test drive and two experimental drives. The test drive allowed the participants to get used to the mechanism of the driving simulator. In the first experimental drive, drivers drove along a stretch of road where they faced several intersections equipped with conventional traffic light schemes. In the second experimental drive, the starting amber scheme was implemented. During those two drives, participants were confronted with different conflicts; i.e. a pedestrian or a car crossing the street at the last moment. These potential conflicts were introduced in order to observe the behavior and perception of the participants, based on which the safety component of the starting amber phase can be assessed.

The collected data was further analyzed by the statistical software SPSS. Based on the preliminary analyses, three participants were excluded from the investigation: two participants could not finish the tests due to simulation sickness and one participant was categorized as an outlier. The results that are derived from other participants were in line with the results found in the literature. When using a starting amber duration of 2 seconds, the startup lost time was reduced by 1.1 seconds. When there was a conflict, the drivers reacted significantly later at the phase change, but the driver compensated this "time loss" by accelerating harder. This can be stated because there is no significant time difference in the start-up lost time and the time needed to cross the intersection considering different types of conflict and also when there was no conflict. Based on the continuity of the time advantage of 1.1 seconds, found both at the start of the intersection and at the end of it, it can be stated that the starting amber has a positive impact on the traffic flow.

Beside the potential impacts on traffic flow, the research also investigated the impacts on traffic safety. Based on the results of the driving simulator test, there were no premature stop line crossings and no dangerous conflict was detected. However, based on the feedback of the participants and based on the results of the distance measurement (distance from stopping line), it became clear that the estimation of the distance in the driving simulator was different compared with the real perception of the drivers. This results in possible greater calculated post-encroachment time (PET) values compared to what they would be perceived by the drivers in the experiment. Based on this determination, it is not possible to give entirely valid statements about the potential impacts on traffic safety.

There was still one valid safety parameter left which could be analyzed. During the starting amber scenario, the drivers had already driven about half a meter before the traffic light turned into green. Here, it became clear that drivers anticipated the possible conflict and tried to avoid it by accelerating later and slower, which results in less distance covered during the starting amber phase.

Before and after the driving test, the participants completed a questionnaire. In the questionnaire, they were asked to answer questions concerning their socio-demographic background and their opinion on the starting amber phase. In general, the opinions were positive for a possible implementation of the starting amber in Belgium. The main reasons for this support were the increased traffic flow and the better preparation on the oncoming green phase. However, a main point of concern was the possible negative impact on traffic safety due to the possibility of dangerous early departures.

Based on the positive feedback of the participants and the positive impact on the traffic flow, this research can certainly be used as a benchmark for further research. This further research should be focused on the safety side of the starting amber and could also try to investigate the impact of the starting amber in more complex environments.



1. Inhoudsopgave

Voorwoord.....	
Samenvatting	
Summary	
1. Inhoudsopgave.....	
2. Lijst der figuren en tabellen	
3. Inleiding	1
3. Probleemstelling	3
4. Doelstelling	7
4.1 Onderzoeksvragen en hypothesen	8
4.2 Opbouw onderzoek.....	9
5. Literatuurstudie	11
5.1 Startvertraging	11
5.2 Wetgeving.....	13
5.3 Ontwerp verkeerslichtenregelingen.....	14
5.4 Doorstroming	15
5.5 Veiligheid	18
5.6 Publieke opinie.....	22
5.7 Conclusie literatuuronderzoek.....	23
6. Rijsimulatoronderzoek.....	25
6.1 Methodologie	26
6.1.1 Omschrijving en beperkingen	26
6.1.2 Conditie	27
6.2 Opbouw simulatie.....	28
6.2.1 Randomisatie	28
6.2.2 Within Subject ontwerp	29
6.3 Procedure experiment.....	29
6.3.1 Pilotstudie.....	29
6.3.2 Vragenlijst	30
6.3.3 Testrit	30
6.3.4 Het experiment	30
6.4 Testpersonen.....	30
6.5 Dataverzameling	31
6.6 Samenvatting	33

7.	Resultaten	35
7.1	Deelnemers	35
7.1.1	Outlier analyse	35
7.2	Methodologie	36
7.3	Doorstroming	38
7.3.1	Perceptie reactietijd	38
7.3.2	Startvertraging.....	40
7.3.3	Tijd nodig om het kruispunt te verlaten	42
7.4	Verkeersveiligheid	44
7.4.1	Post Encroachment Time	44
7.4.2	Afstand afgelegd tijdens de roodfase.....	46
7.4.3	Afstand tot de stopstreep	48
7.5	Publieke perceptie	50
7.5.1	Perceptie op het vlak van doorstroming.....	50
7.5.2	Perceptie op het vlak van veiligheid	51
7.5.3	Algemene perceptie	52
8.	Conclusie.....	53
8.1	Conclusies over doorstroming	53
8.2	Conclusies over verkeersveiligheid	53
8.3	Conclusies over perceptie.....	54
8.4	Beantwoording van onderzoeksvragen	54
9.	Discussie	57
10.	Verder onderzoek.....	59
11.	Bronnen.....	61
12.	Bijlage 1: Vragenlijst.....	65
13.	Bijlage 1: Extra grafieken resultaten	69

2. Lijst der figuren en tabellen

Figuur 3-1 Sequentie start oranjemodel (Jersey Road Safety, z.d.)	1
Figuur 3-1 Evolutie congestie op hoofd-, regionale en gewestwegen (Maerivoet & Yperman, 2008)	3
Figuur 3-2 Doorstromingsratio doorheen een cyclus (US Department of Transportation, 2013)	5
Figuur 5-1 Evolutie van de startvertraging (Bester & Varndell, 2002)	12
Figuur 5-2 Fasecyclus voor een 50km/u weg, gekend in België	14
Figuur 5-3 Fasecyclus voor een 50km/u weg, gekend in het Verenigd Koninkrijk	14
Figuur 5-4 Gemiddelde startreactietijd in een rijnsimulator (MacDonald, 1978) ..	16
Figuur 5-5 Tijdstip waarop bestuurders beginnen te accelereren (Maxwell & York, 2006)	18
Figuur 5-6 Tijdstip waarop bestuurders de stopstreep overschrijden (Maxwell & York, 2006)	19
Figuur 5-7 Afgelegde afstand bij het ingaan van de groenfase (Maxwell & York, 2006)	20
Figuur 6-1 Rijnsimulator IMOB (IMOB, z.d.)	26
Figuur 6-2 Voorstelling Within subject ontwerp (Explorable, z.d.)	29
Figuur 6-3 Post- Encroachment Time (M. De Jong e.a., 2007)	32
Figuur 7-1 Perceptie- reactietijden.....	38
Figuur 7-2 Startvertraging	40
Figuur 7-3 Tijd nodig om het kruispunt te verlaten	42
Figuur 7-4 Post-Encroachment Time	44
Figuur 7-5 Afstand afgelegd tijdens de rodfase	46
Figuur 7-6 Afstand tot de stopstreep.....	48
Figuur 7-7 Resultaten bevindingen "Startoranje fase zorgt voor een betere voorbereiding op de groenfase"	50
Figuur 7-8 Resultaten bevindingen "Startoranje fase zorgt voor een hogere afrijcapaciteit"	51
Figuur 7-9 Resultaten bevindingen "Startoranje fase verhoogt de verkeersveiligheid"	51
Figuur 7-10 Algemene bevindingen tegenover de implementatie van de startoranje fase in België.....	52

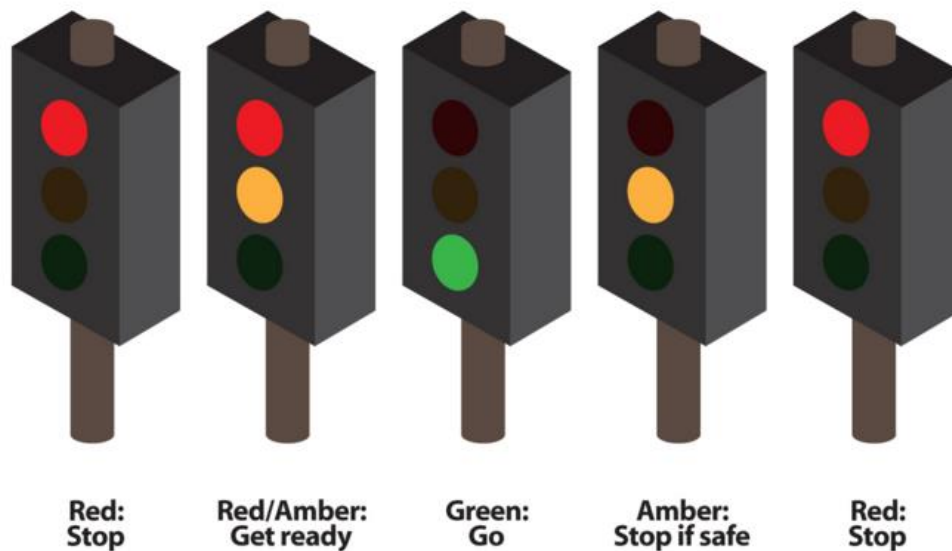
Tabel 1 Gebruikers startoranje fase (Maxwell & York, 2006)	2
Tabel 2 Selectie parameters voor eigen onderzoek	24
Tabel 3 Controle leereffect.....	36
Tabel 4 ANOVA Perceptie Reactietijden	39
Tabel 5 Post-Hoc T-test Perceptie Reactietijden	39
Tabel 6 ANOVA Startvertraging	41
Tabel 7 Post Hoc T-test Startvertraging.....	41
Tabel 8 ANOVA Tijd nodig om het kruispunt te verlaten.....	43
Tabel 9 Post-Hoc T-test Tijd nodig om het kruispunt te verlaten	43
Tabel 10 ANOVA Post Encroachment Time	45
Tabel 11 Post Hoc T-Test Post- Encroachment Time	45
Tabel 12 ANOVA Afgelegde afstand tijdens roodfase	47
Tabel 13 Post Hoc T-Test Afgelegde afstand tijdens de roodfase.....	47
Tabel 14 ANOVA Afstand tot de stopstreep	49
Tabel 15 Post Hoc T-test Afstand tot de stopstreep.....	49
Tabel 16 Evaluatie van hypothesen	55

3. Inleiding

De maatschappij staat voor allerlei uitdagingen: de steeds sneller stijgende bevolking, de toegenomen vraag naar verplaatsingen,... zorgen ervoor dat wegen verzadigd geraken waardoor het verkeer stremt en wegen dichtslippen.

Om deze problemen het hoofd te bieden, gaan de beleidmakers op zoek naar maatregelen om onder andere het huidige verkeerssysteem te optimaliseren. Een van deze maatregelen is een startoranje fase.

De startoranje fase bestaat uit een extra oranjefase tussen de sequentie "Rood - groen". Deze oranjefase zorgt ervoor dat de wachtende bestuurders een waarschuwing krijgen dat er een faseverandering zich aandient waardoor ze hun handrem kunnen afzetten en (mogelijk) sneller kunnen vertrekken. Dit sneller vertrekken heeft vervolgens een positieve impact op de doorstroming en de capaciteit van verkeersgeregelde kruispunten.



Figuur 3-1 Sequentie start oranjemodel (Jersey Road Safety, z.d.)

De regels met betrekking tot de startoranje fase werden voor het eerst vastgelegd tijdens de Vienna conventie van 1958 en geven aan dat de startoranje fase optioneel is en dat de landen, die er gebruik van maken, zelf de lengte kunnen bepalen.

Deze fase is echter niet operationeel in België maar uit gesprekken met beleidsadviseurs blijkt dat dit voorstel al enkele malen de revue is gepasseerd. In enkele buurlanden en andere Europese landen is deze fase wel al enkele jaren ingeburgerd waarbij de lengte van deze startoranje fase varieert van 1 seconde tot 3 seconden (Maxwell & York, 2006; Ashman, 2006).

Tabel 1: Gebruikers startoranje fase (Maxwell & York, 2006)

Gebruikers startoranje fase	Lengte startoranje fase (seconden)	Landen zonder startoranje fase
Polen	1	België
Finland	1	Frankrijk
Duitsland	1	Griekenland
Zweden	1.5	Luxemburg
Verenigd Koninkrijk	2	Nederland
Oostenrijk	2	Portugal
Tsjechië	2	Italië
Cyprus	2	Spanje
IJsland	2	Ierland
Malta	2	
Rusland	2	

De meeste studies met betrekking tot de startoranje fase en de impact ervan zijn uitgevoerd in de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw. Deze studies brachten reeds naar voren dat de startoranje fase een significante capaciteitstoename van verkeerslichtengeregelde kruispunten met zich meebracht. De keerzijde was echter dat het aantal vroegtijdige vertrekken met de lengte van de startoranje fase toenam.

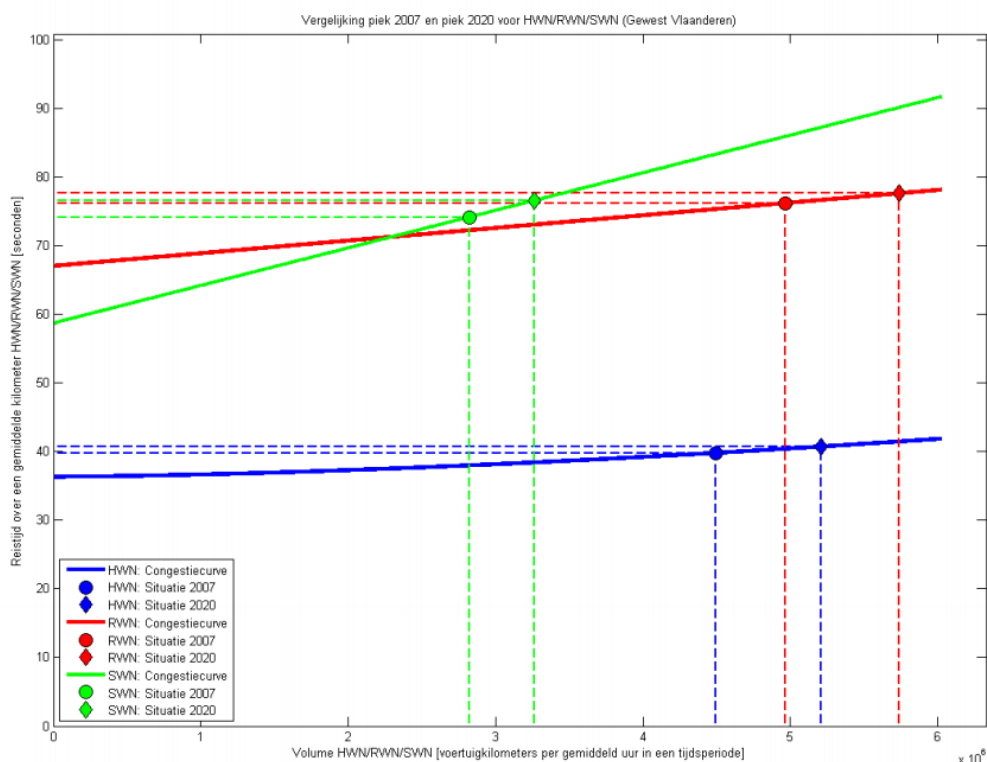
Indien deze fase te lang is, stijgt de kans op potentiële conflicten omdat bestuurders dan te vroeg het kruispunt oprijden en zo voor onveilige situaties kunnen zorgen. Dit is ook de reden waarom Zweden en Finland de startoranje fase korter hebben gemaakt (Maxwell & York, 2006).

In België werd verder geoordeeld dat deze startoranje fase mogelijk voor gevaarlijke situaties zou zorgen met zwakke weggebruikers doordat de voertuigen vroeger (en onwettig) vertrokken (Caelen, 2015). Deze masterthesis probeert, door de literatuur te verzamelen en een eerste aanzet tot verder onderzoek te geven, hiervoor objectieve gegevens te verzamelen en een eerste uitspraak te doen over de positieve en negatieve punten van de startoranje fase.

3. Probleemstelling

Gezien de toenemende omvang van de bevolking, en bijgevolg de toenemende verplaatsingsvraag, komt de infrastructuur onder druk te staan. Uit prognoses van het Federaal Planbureau blijkt dat tussen 2008 en 2030 het aantal reizigerskilometers met 20% zal toenemen (Federaal Planbureau, 2012).

Dit verkeer dient natuurlijk een plaats te krijgen op de Belgische en de Vlaamse infrastructuur. Uit een studie van Transport & Mobiliteit Leuven (2008) blijkt dat de gemiddelde reistijd op het regionaal wegennet in Vlaanderen tegen 2020 met 1,9% zal toenemen. Op de secundaire wegen wordt er zelfs een toename van 2,3% verwacht (Maerivoet & Yperman, 2008).



Figuur 3-1 Evolutie congestie op hoofd-, regionale en gewestwegen (Maerivoet & Yperman, 2008)

De "eenvoudige" oplossing is om de huidige wegen verder uit te breiden, maar dit is niet altijd nodig. Naast het infrastructuurdomein bestaan er echter nog andere domeinen, waar nog voldoende ruimte voor verbetering is. Enerzijds kunnen de alternatieve modi verder gepromoot worden, dient het flexwerken meer aandacht te krijgen,... maar anderzijds bestaan er nog mogelijkheden op het domein van de verkeersinstrumenten.

Bij deze zoektocht naar maatregelen vormt het mobiliteitsplan Vlaanderen een leidraad. Het beschrijft enerzijds de uitdagingen waarvoor Vlaanderen in de toekomst zal staan, en anderzijds welke beleidsbeslissingen Vlaanderen neemt om deze uitdagingen aan te pakken. Deze beleidsbeslissingen worden krachtig samengevat in 20 actielijnen. Hierbij wordt duidelijk dat de duurzaamheid, de betrouwbaarheid, de robuustheid en de doorstroming van en op het mobiliteitsnetwerk steeds belangrijker worden.

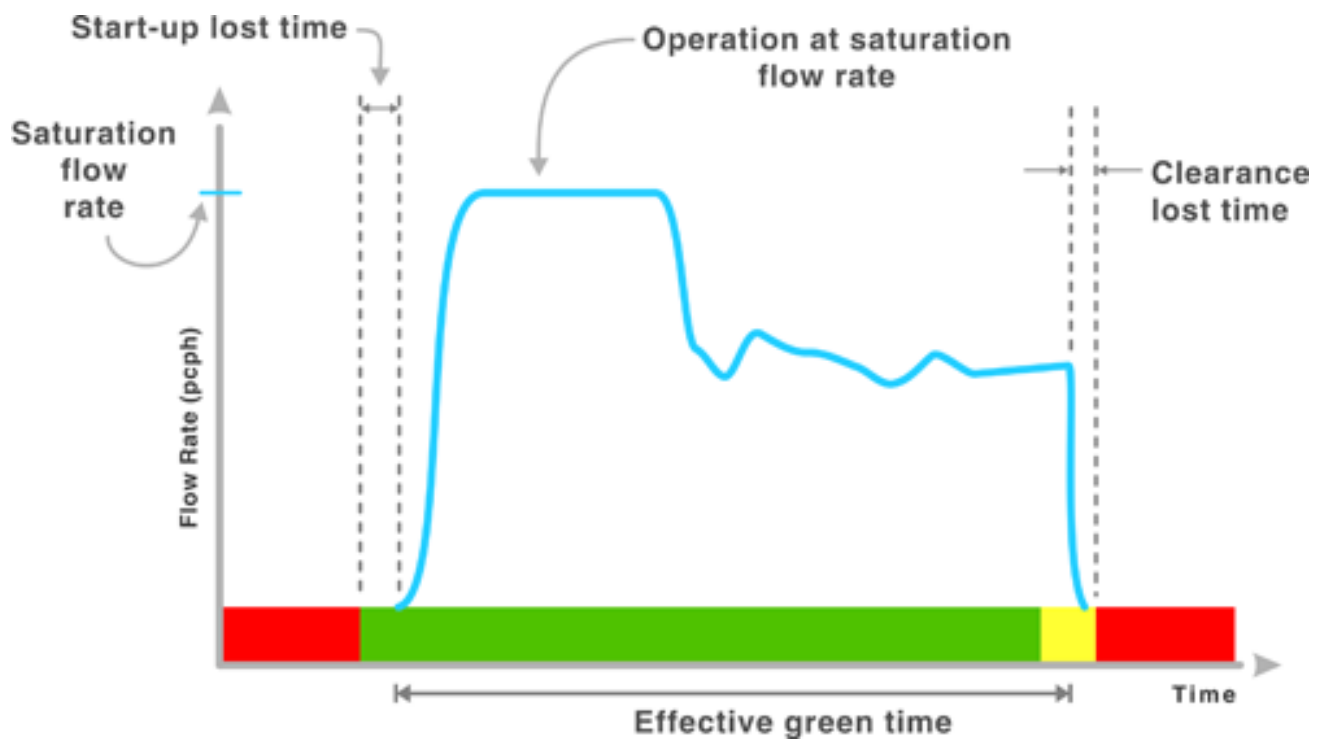
Een van deze actielijnen is het verhogen van de intelligentie van modale netwerken en het dynamisch beheren van de verkeersstromen. Bij het aansturen van de verkeersstromen, wordt er, naast de veiligheids- en doorstromingsoverwegingen, ook rekening gehouden met de milieudoelstellingen.

Het wordt al snel duidelijk dat dynamisch(e) verkeerssystemen- en management een belangrijke rol zullen spelen in de toekomst. De belangrijkheid wordt weerspiegeld in de verwachte impact van dergelijke maatregelen en systemen: deze wordt geschat op een stijging van de wegcapaciteit met 2% tot 12%. Dit is dan enkel het gevolg van het aanbieden van verkeersinformatie en een verbetering van de ondersteuning van het routekeuzesproces (Gewestelijke Planningscommissie, 2013).

Een ander dynamisch instrument zijn de verkeerslichten op kruispunten. Deze zorgen enerzijds voor een verbeterde en veilige verkeersafwikkeling, maar stremmen het verkeer indien deze niet goed zijn afgestemd. Vandaar dat er vele studies zijn uitgevoerd om de negatieve effecten van verkeerslichten te minimaliseren. Voorbeelden hiervan zijn studies om na te gaan hoe de oranje-voor-roodfase kan geoptimaliseerd worden. Studies met betrekking tot een groene golf, het implementeren van aftelsystemen om bestuurders te informeren wanneer er zich een signaalverandering zal voordoen,... horen allemaal thuis onder deze noemer.

Wat echter minder aan onderzoek is onderworpen, is de fase die na rood komt, namelijk de verandering naar de groenfase. Door deze plotse faseverandering wordt de effectieve groenfase licht gereduceerd omdat de bestuurders niet adequaat en snel kunnen reageren op de beginnende groenfase.

In Figuur 3-2 wordt dit duidelijk weergegeven: bij de overgang naar de groenfase duurt het ettelijke seconden voordat de wachtrij voertuigen zich aan de maximale doorstromingsratio kan afwikkelen.



Figuur 3-2 Doorstromingsratio doorheen een cyclus (US Department of Transportation, 2013)

Dit tijdsverlies zorgt voor een verschil tussen de theoretische groentijd en de effectieve groentijd en wordt in de literatuur "de startvertraging" genoemd.

Dit is dan ook het uitgangspunt van deze masterthesis: onderzoeken door wat deze startvertraging wordt veroorzaakt en of de startoranje fase een tijdswinst kan opleveren, zonder dat de veiligheid hierdoor in het gedrang komt.

4. Doelstelling

Onderzoeken uit landen waar deze startoranje fase reeds actief is, geven aan dat de doorstroming verhoogd wordt door deze fase maar dat hieraan bepaalde veiligheidsrisico's verbonden zijn. Dit onderzoek sluit hierop aan en heeft als doel een eerste indicatie te geven van de impact van een implementatie van een startoranje fase in België.

Het onderzoek spitst zich toe op twee thema's, namelijk de impact op verkeersveiligheid en de doorstroming. Het is noodzakelijk dat de effecten van de startoranje fase op deze twee thema's grondig worden geanalyseerd en in beeld worden gebracht.

Het doel van dit onderzoek is, naast het analyseren van de effecten van de startoranje fase, het verzamelen van de literatuur en de studies met betrekking tot de startoranje fase en het naast elkaar zetten van de conclusies. Zoals eerder aangegeven zijn de meeste studies uitgevoerd in de beginperiode van de startoranje fase, namelijk in de jaren 1960 tot 1970. Sindsdien is deze startoranje fase een aanvaard gegeven in de gebruikende landen.

Dit brengt het derde doel van dit onderzoek naar boven: het opnieuw bespreekbaar maken van deze fase in de landen waar deze fase nog niet gebruikt wordt. Zoals eerder aangegeven, is deze fase reeds bediscussieerd geweest in België, maar al gauw van tafel geveegd vanwege de mogelijke negatieve impact op de verkeersveiligheid van de zwakke weggebruikers. Door de veiligheid van de zwakke weggebruikers mee op te nemen in het onderzoek, kan deze stelling met gegevens worden gestaafd.

Samenvattend is het doel van deze masterthesis driedig:

1. Een eerste indicatie geven van de impact van de startoranje fase
2. Verzamelen van literatuur
3. Het opnieuw bespreekbaar maken van dit onderwerp, ditmaal met objectieve gegevens

4.1 Onderzoeksvragen en hypotheses

Zoals eerder aangegeven, onderzoekt deze studie wat de mogelijke effecten zijn op verkeersveiligheid en doorstroming. Het hoofddoel van deze studie kan bijgevolg worden beantwoord met de volgende vraag:

Wat zijn de effecten van de startoranje fase op de doorstroming en de verkeersveiligheid?

Om deze vraag te beantwoorden, dient deze algemene hoofdonderzoeksvraag wat meer gespecificeerd te worden. Onderstaande deelvragen zullen vervolgens samen een antwoord bieden op de hoofdvraag.

- a) Wat zijn de buitenlandse bevindingen met betrekking tot de verkeersdoorstroming?
- b) Wat zijn de buitenlandse bevindingen met betrekking tot de veiligheid aan de verkeerslichten?
- c) Welke impact heeft de startoranje fase op de verkeersdoorstroming?

H1: Startoranje fase vermindert de startvertraging.

- d) Welke impact heeft het startoranje fase op de veiligheid aan de verkeerslichten?

H2: Bij het ingaan van de groenfase is een groot deel van de bestuurders de stopstreep reeds voorbij gereden, indien de startoranje fase wordt geïmplementeerd.

H3: De eerste bestuurder stelt zijn vertrek uit indien deze merkt de dat de voorliggende verkeerssituatie mogelijk resulteert in conflicten met overstekende voetgangers en voertuigen

- e) Zijn er verschillen met de bevindingen uit de literatuur?

H4: Er zijn geen verschillen tussen de literatuur en de resultaten van het onderzoek

- f) Wat is de publieke opinie tegenover de implementatie van een startoranje fase?

H5: De publieke opinie staat positief tegenover een implementatie van een startoranje fase

- g) Wat zijn volgens de publieke opinie knelpunten m.b.t. de startoranje fase?

4.2 Opbouw onderzoek

De doelstelling haalde reeds aan dat er literatuur nodig is om een praktijkonderzoek op te stellen. Bijgevolg is dit onderzoek opgebouwd uit twee grote onderdelen.

In het eerste onderdeel wordt de bestaande buitenlandse literatuur onderzocht. Bij deze literatuurstudie wordt er dieper ingegaan op de reden waarom bestuurders met een bepaalde vertraging reageren op een faseverandering. Daarnaast is het van belang om het juridisch kader te beschrijven omdat dit kader de mogelijkheden van een praktijkonderzoek kan beperken. Het beschrijven en analyseren van de binnenlandse en de buitenlandse ontwerprichtlijnen (in dit geval de richtlijnen van het Verenigd Koninkrijk) met betrekking tot de verkeerslichtenregelingen vormt het derde deel van de literatuurstudie. Vervolgens wordt de essentie van deze studie beschreven: de buitenlandse bevindingen met betrekking tot de verkeersveiligheid en de doorstroming bij het gebruik van een startoranje fase. Hierbij wordt er niet alleen gekeken naar de objectieve bevindingen, maar worden ook de opinies van gebruikers opgenomen in het verhaal.

In de tweede stap gaat het onderzoek over in een rijnsimulatoronderzoek. De opstelling van deze rijnsimulator is gebaseerd op de bevindingen uit de voorgaande literatuurstudie. Vervolgens wordt het onderzoek afgenomen bij een testpopulatie waarna de resultaten worden geanalyseerd en gerapporteerd.

Naast het rijnsimulatoronderzoek, wordt de testpopulatie gevraagd om een bijhorende enquête in te vullen. Op basis van deze enquête kan er vervolgens een uitspraak gedaan worden over de perceptie ten opzichte van de start oranjefase.

De beperkingen van het onderzoek en de elementen voor verder onderzoek vormen de afsluiting van deze masterthesis.

5. Literatuurstudie

In de literatuurstudie wordt er gebruik gemaakt van de buitenlandse literatuur. Omdat de startoranje fase al sinds de jaren 60 operationeel is, is het merendeel van de onderzoeken afkomstig uit deze periode. Naast het feit dat deze onderzoeken vaak niet digitaal beschikbaar zijn, moet er ook rekening gehouden worden met de omstandigheden die er toen speelden (andere voertuigen, minder verkeer,...).

De literatuurstudie bestaat uit 6 delen, waarbij de eerste drie delen meer een beschrijvende functie hebben en de laatste delen de resultaten van de onderzoeken weergeven. Afsluitend worden de voor- en nadelen van de startoranje fase nog eens samengevat.

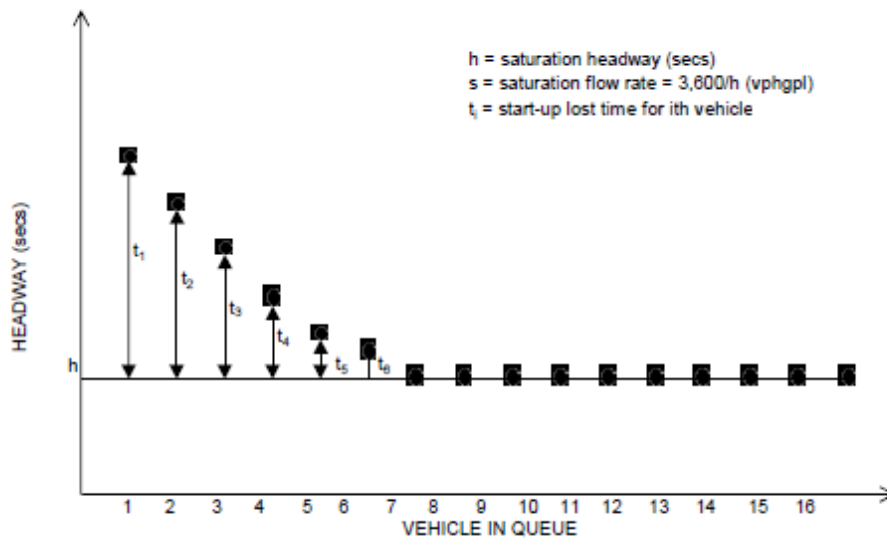
5.1 Startvertraging

Zoals eerder aangehaald, zorgt de startvertraging voor verliestijden aan kruispunten. Deze vertraging is het gevolg van een aantal factoren:

- Perceptie-reactietijd. Dit is de tijd die de bestuurder nodig heeft om een gebeurtenis te detecteren, een beslissing te maken en deze dan ook uit te voeren. Deze ligt veelal tussen de 1s en de 2,5s.
- Het voertuigtype en de hellingsgraad
- Psychologische kenmerken (vermoeidheid, gehaast zijn,...)
- Voetgangers op het kruispunt
- De wachtafstand tot de stopstreep
- ...

Deze startvertraging is niet alleen van toepassing op het eerste voertuig, maar ook op de achterliggende voertuigen. De startvertraging van deze achterliggende voertuigen neemt uiteraard af omdat deze voertuigen de tijd krijgen (door de startvertraging van het voorliggende voertuig) om de gepaste acties te ondernemen.

De Highway Capacity Manuel gebruikt vertragingwaarden van 3 seconden bij de berekening van verkeerslichtenregelingen. Deze 3 seconden omvatten zowel de startvertraging, alsook de ontruimingstijd (tijd waarbij er geen voertuigbewegingen plaatsvinden) (Transportation Research Board, 2000).



Figuur 5-1 Evolutie van de startvertraging (Bester & Varndell, 2002)

Veldonderzoeken geven startvertragingen aan die licht van elkaar verschillen. Deze verschillen zijn te wijten aan eerder vermelde factoren die de startvertraging beïnvloeden. Een Amerikaans onderzoek geeft een gemiddelde startvertraging aan van 1,4 seconden, die naar 2 seconden stijgt in kleinere steden of bij kortere cyclustijden (Agent & Crabtree, 1983; Noyce, Fambro, & Kacir, 2000). Eén onderzoek vond zelfs een startvertraging van 8 seconden, waarbij de bestuurder niet oplette (Bester & Varndell, 2002) .

Merk hierbij op dat deze onderzoeken plaatsvonden op operationele kruispunten. In deze studie zal er gebruikt gemaakt worden van een rijssimulator. In deze perfecte omgeving worden bepaalde storende variabelen constant gehouden waardoor de perceptie-reactietijd mogelijk veel kleiner is dan de waarden gevonden op de kruispunten in de praktijk.

In België vond er in 2015 een masterproefonderzoek plaats over de implementatie van aftelsystemen bij verkeerslichten. In het referentiescenario werden er perceptie reactietijden van 1,22 seconden gevonden. De startvertraging lag hierbij rond de 4 seconden (van Haperen, Pirdivani, Brijs, & Bellemans, 2016).

Verder werd er ook een verschil gevonden tussen de reactietijd van jongeren en die van oudere bestuurders. Uit een Amerikaanse rijssimulatortest blijkt dat de gemiddelde reactietijd van een persoon met een leeftijd tussen 15 en 19 jaar ongeveer 438 ms bedraagt, terwijl deze stijgt naar 522 ms indien de persoon een leeftijd tussen 65 en 69 jaar heeft (Triggs e.a., 1982). Merk hierbij het verschil in reactietijden tussen het Amerikaans en het Belgisch onderzoek op, wijzend op de impact van de configuratie van de scenario's en de simulator op de resultaten.

5.2 Wetgeving

Uit "5.1. Startvertraging" werd duidelijk dat er ruimte tot verbetering is op het vlak van de startvertraging. De startoranje fase speelt in op deze startvertraging en geeft de bestuurder een waarschuwing wanneer het verkeerslicht naar groen zal springen. Om gevaarlijke situaties te vermijden, dient de wetgeving duidelijk de juridische waarde van de startoranje fase te vermelden.

In België geeft artikel 61 paragraaf 3.1 van de Wegcode de volgorde aan van de fases. Deze volgorde gaat als volgt: (Wegcode, 1975)

1. Het oranje licht verschijnt na het groene licht
2. Het rode licht verschijnt na het oranje licht
3. Het groene licht verschijnt na het rode licht

Wat al snel opvalt, is dat de startoranje fase geen onderdeel uitmaakt van de Belgische wetgeving. Dit heeft ook meteen een beperkende waarde voor deze studie: door het ontbreken van de juridische waarde van een startoranje fase in België is het niet mogelijk om een proefproject in de praktijk op te stellen.

Landen waar deze fase wel operationeel is, hebben deze extra fase wel geïntegreerd in hun wetgeving. Als voorbeeld wordt de Britse wetgeving gebruikt. Sectie 5, artikel 33 van de Traffic Signs Regulations and General Directions geeft de volgende volgorde aan: (Legislation UK, 2002)

1. Rood
2. Rood/Oranje
3. Groen
4. Oranje

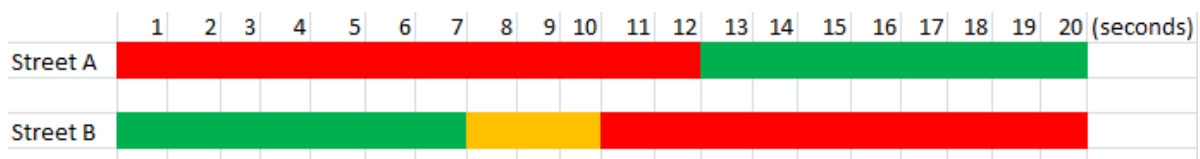
Sectie 5, artikel 36 van de Traffic Signs Regulations and General Directions geeft verder aan dat het voor voertuigen verboden is om de stoplijn te overschrijden tijdens de rood- en de rood/oranjefase (Legislation UK, 2002).

Dit zijn belangrijke kanttekeningen bij het opzetten van het eigen onderzoek en het analyseren van de resultaten. Verder dienen, bij het uitvoeren van het eigen onderzoek, de testpersonen geïnformeerd te worden over deze regelgeving.

5.3 Ontwerp verkeerslichtenregelingen

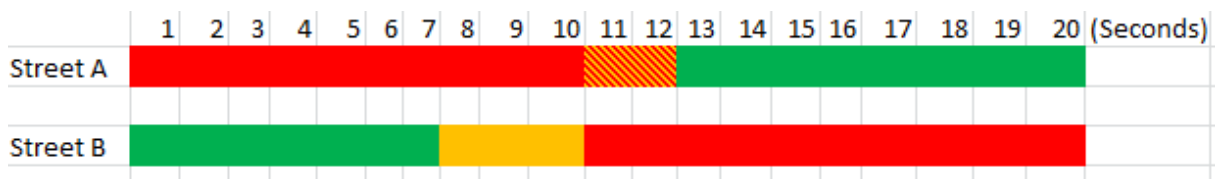
De wetgeving en het gebruik van de startoranje fase hebben natuurlijk gevolgen voor het ontwerp van verkeerslichtenregelingen. Onderstaande beschrijvingen en fasediagrammen zijn basisverkeerslichtenregelingen zonder verkeerslichten voor voetgangers om zo de vergelijking te vergemakkelijken.

In België wordt er gewerkt met een cyclusduur van maximaal 90 seconden (uitzonderlijk 120 seconden). De minimum groentijd bedraagt 7 seconden, maar is afhankelijk van het snelheidsregime. Zo wordt er met een minimum groentijd gewerkt van 12 seconden op een 90 km/u- weg. De oranjefase varieert van 3 seconden op een 50km/u-weg tot 5 seconden op een 90 km/u-weg. Na de roodfase volgt een alles-roodfase, waarbij alle richtingen rood krijgen. Deze fase duurt 1 à 2 seconden (Agentschap Wegen en verkeer, 2009).



Figuur 5-2 Fasecyclus voor een 50km/u weg, gekend in België

In het Verenigd Koninkrijk wordt er ook gebruik gemaakt van een cyclusduur van 90 seconden (120 seconden op kruispunten met een hoog snelheidsregime). De minimum groentijd is dezelfde als in België en bedraagt 7 seconden. De oranjefase is vastgelegd op 3 seconden en de startoranje fase op 2 seconden. Heel zelden valt deze start oranje fase samen met de oranje fase van de kruisende richting en afhankelijk van de geometrie van het kruispunt en de aanwezigheid van voetgangers, kan er een "alles-rood" fase van 1 à 3 seconden toegevoegd (Transport of Londen, z.d.).



Figuur 5-3 Fasecyclus voor een 50km/u weg, gekend in het Verenigd Koninkrijk

Opvallend is dat de alles-roodfase in België altijd toegevoegd wordt aan een verkeerslichtenregeling, terwijl in het Verenigd Koninkrijk deze fase optioneel is en enkel gebruikt wordt bij drukkere kruispunten. De 2 seconden die gebruikt worden in België om het kruispunt vrij te maken, wordt in het Verenigd Koninkrijk gebruikt om de volgende fase aan te kondigen. Hierbij mag niet vergeten worden dat de startoranje fase dezelfde juridische kracht heeft als een roodfase.

5.4 Doorstroming

In een congestiegevoelig land zoals België, zijn maatregelen om de doorstroming te verbeteren meer dan welkom. De literatuur bewijst dat startoranje fases wel degelijk nut hebben op het vlak van doorstroming.

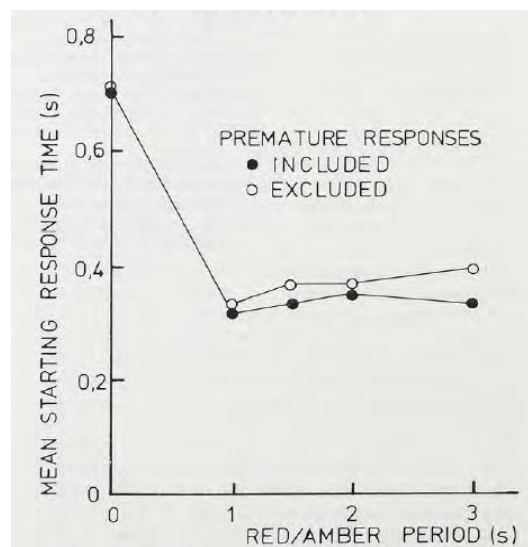
Een Brits onderzoek van Older (1963) geeft aan dat, bij het weglaten van een startoranje fase van 2 seconden, de capaciteit van een kruispunt met 6% afneemt, net doordat de startvertraging gevoelig toeneemt. Dit wordt ook bevestigd door een recenter Brits onderzoek waarbij er door middel van een observatieonderzoek de impact van het weglaten of het verminderen van de startoranje fase werd bepaald. Het weglaten van een startoranje fase van 2 seconden laat de startvertraging voor jongeren met 1,4 seconden tot 1,6 seconden toenemen en voor ouderen met 1,2 seconden tot 1,3 seconden. Merk hierbij op dat de reductie van de startvertraging bij ouderen minder groot is dan bij jongeren. Dit is het gevolg van twee factoren: ouderen reageren minder snel op plotse stimuli en gaven verder aan dat de startoranje fase soms als verwarrend kon beschouwd worden (Maxwell & York, 2006; Older, 1963).

Het reduceren van de startoranjefase naar 1 seconde zorgt dan weer voor een toename van de startvertraging van 0,7 seconden tot 0,8 seconden. Maxwell concludeert vervolgens dat, bij een cyclustijd van 80 seconden, het weglaten van de startoranje fase van 2 seconden een capaciteitsreductie van 6% inhoudt en volgt hierbij de stelling van Older.

Older bekeek ook een startoranje fase van 3 seconden en zag hierbij dat de startvertraging met 1 seconde tot 1,7 seconden afnam. Dit geheel geeft aan dat de startvertraging afneemt met een toenemende startoranje fase. Dit is ook logisch omdat de bestuurders meer tijd krijgen om zich voor te bereiden. Nog langere startoranje fases worden afgeraden, enerzijds omdat dit het aantal overtredingen (vroegtijdig overschrijven van de stopstreep) doet toenemen maar anderzijds ook omdat een langere startoranje fase niet langer efficiënt is en net voor een capaciteitsafname zorgt. De drie seconden durende fase compenseert namelijk ruimschoots de startvertraging. Bestuurders die de regel van de wet willen volgen, blijven bijgevolg wachten op de groenfase waardoor de startvertraging vervangen wordt door een wachttijd (Older, 1963).

Naast de observaties op bestaande kruispunten, werden er ook rijnsimulatoronderzoeken uitgevoerd.

In een rijnsimulatoronderzoek van MacDonald (1978), weliswaar bij een beperkt publiek van acht mannelijke twintigers, werd een gemiddelde perceptie reactietijd van 0,7 seconden gevonden indien er geen start oranje fase aanwezig was. De relatief lage waarden van deze reactietijd vallen te wijten aan het feit dat de testpersonen heel alert (en jong) waren en zich enkel dienden te richten op de faseveranderingen. De gevonden reactietijd daalde vervolgens bij het implementeren van de startoranje fase. Het interessante aan deze studie is het feit dat de vermindering van de reactietijd significant te wijten is aan de startoranje fase. De opgemerkte verschillen tussen de lengtes van de startoranje fases waren niet significant (MacDonald, 1978).



Figuur 5-4 Gemiddelde startreactietijd in een rijnsimulator (MacDonald, 1978)

Bij het rijnsimulatoronderzoek van Maxwell (2006) werd ook de impact van een startoranje fase bekeken op aankomende voertuigen. Hieruit bleek dat, indien er zich een faseverandering voordeed wanneer het voertuig zich 20 à 30 meter van het kruispunt bevond, de bestuurder er 0,9 seconden langer over deed om het kruispunt op te rijden, indien de startoranje fase naar 1 seconde werd gereduceerd. Bij het volledig weglaten van de startoranje fase lag dit cijfer zelfs tussen de 1,2 en de 1,7 seconden, afhankelijk van de leeftijd (Maxwell & York, 2006).

Bij het in acht nemen van de kruispuntconfiguratie zijn er twee elementen die verder invloed hebben op de startvertraging. Een onderzoek van McGill (1970) bekeek de gedragsverandering van bestuurders overheen de tijd bij het weglaten van de startoranje fase. Oorspronkelijk leverde de nieuwe verkeerslichtenconfiguratie (zonder startoranje fase) een extra startvertraging op van 1,4 seconden. Na enkele weken verdween deze extra startvertraging omdat bestuurders anticipeerden op de faseveranderingen van de (zichtbare) verkeerslichten van de kruisende takken (McGill, 1970).

Ook in andere onderzoeken werd de zichtbaarheid van de verkeerslichten op de kruisende takken als een significante determinant van de startvertraging beschouwd, wat een gemiddelde afname opleverde van 0,4 tot 0,7 seconden. Het nadeel was echter dat het aantal vroegtijdige vertrekken hierdoor toenam, doordat bestuurders de faseverandering fout inschatten. Dit kwam het meest voor bij verkeerslichten met variabele faselengtes (Maxwell & York, 2006).

Een tweede significante determinant is de aanwezigheid van voetgangersvoorzieningen. De aanwezigheid van voetgangersvoorzieningen zorgt er namelijk voor dat bestuurders verder van de stopstreep wachten en bijgevolg er langer over doen om het kruispunt op te rijden. Dit wordt echter gedeeltelijk gecompenseerd door het feit dat de bestuurders iets sneller vertrekken. De bestuurder richt zijn aandacht namelijk op de voetganger en verwacht dat, wanneer de voetganger is overgestoken, er een groenfase volgt (Maxwell & York, 2006).

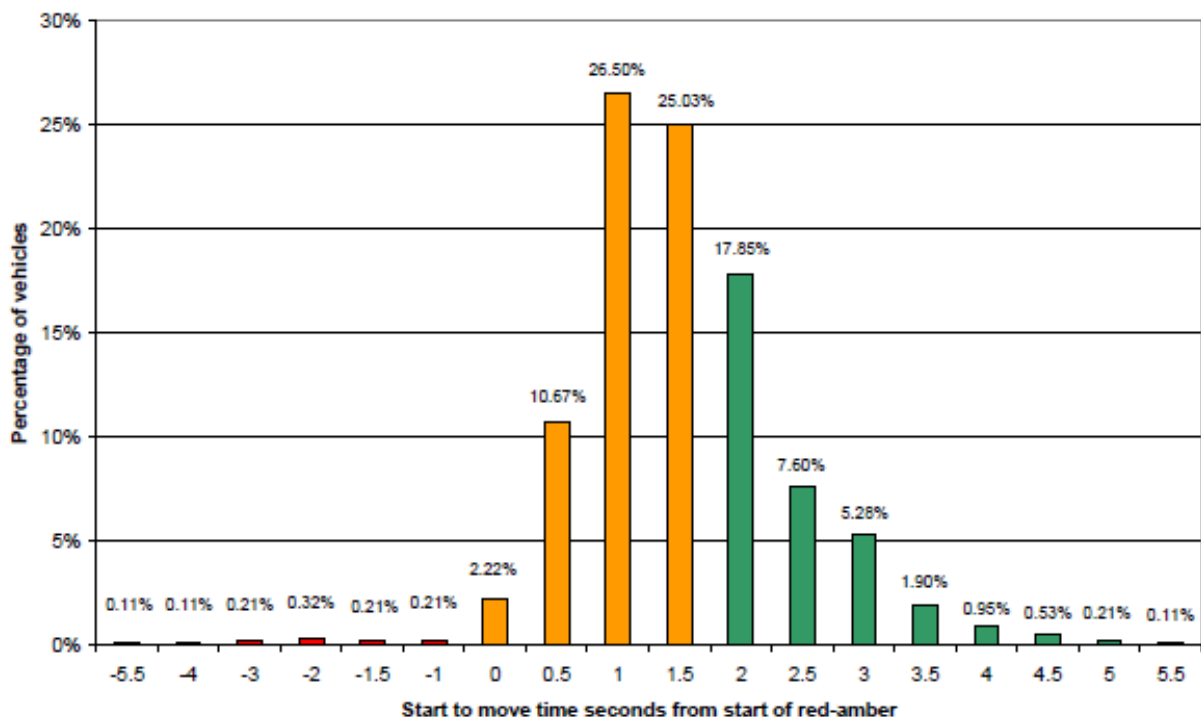
5.5 Veiligheid

Het verbeteren van de verkeersdoorstroming mag uiteraard niet ten koste gaan van de verkeersveiligheid. Daarom kenden alle onderzoeken naar de startoranje fase ook een veiligheidsonderdeel.

Het grote probleem bij de startoranje fase is dat de bestuurders deze fase als een groenfase zien en hierdoor vroegtijdig de stopstreep overschrijden. Older (1963) constateerde dat, bij het weglaten van de start oranjefase van 3 seconden, het aantal overtredingen afnam van 1.5% tot 0.1%. Opvallend was echter dat, ten gevolge van het weglaten van de startoranje fase, het aantal cycli met minstens een auto die tijdens de stoporanje fase het kruispunt nog oprijdt, van 15% naar 20% steeg. Dit valt te wijten aan het feit dat de bestuurders anticiperen op het vertraagde vertrek van de voertuigen op de kruisende tak (Older, 1963).

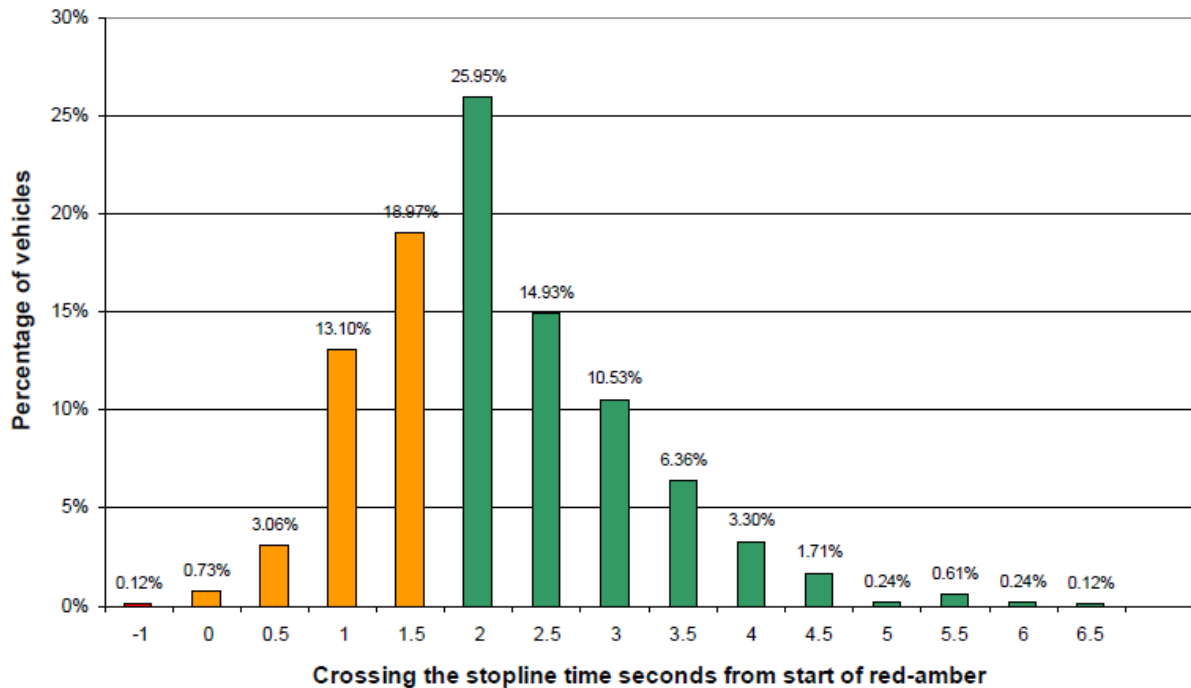
Ook in Hong Kong betekende het weglaten van de startoranje fase een significante daling van het aantal overtredingen. Dit aantal daalde van 22,1% (!) naar 6,5%, wat aangeeft dat de bestuurders nog steeds anticiperen op de groenfase, hoewel er geen startoranje fase aanwezig is (Seneviratne, 1974).

Het meest recente onderzoek naar de startoranjefase van Maxwell (2006) bevestigt voorgaande resultaten en geeft onderstaande grafiek weer: ongeveer 66% van de bestuurders begint te accelereren tijdens de startoranje fase en dus voor de groenfase. Bijgevolg overschrijdt ongeveer 36% van de bestuurders de stopstreep nog voor dat het groen is geworden (Maxwell & York, 2006).



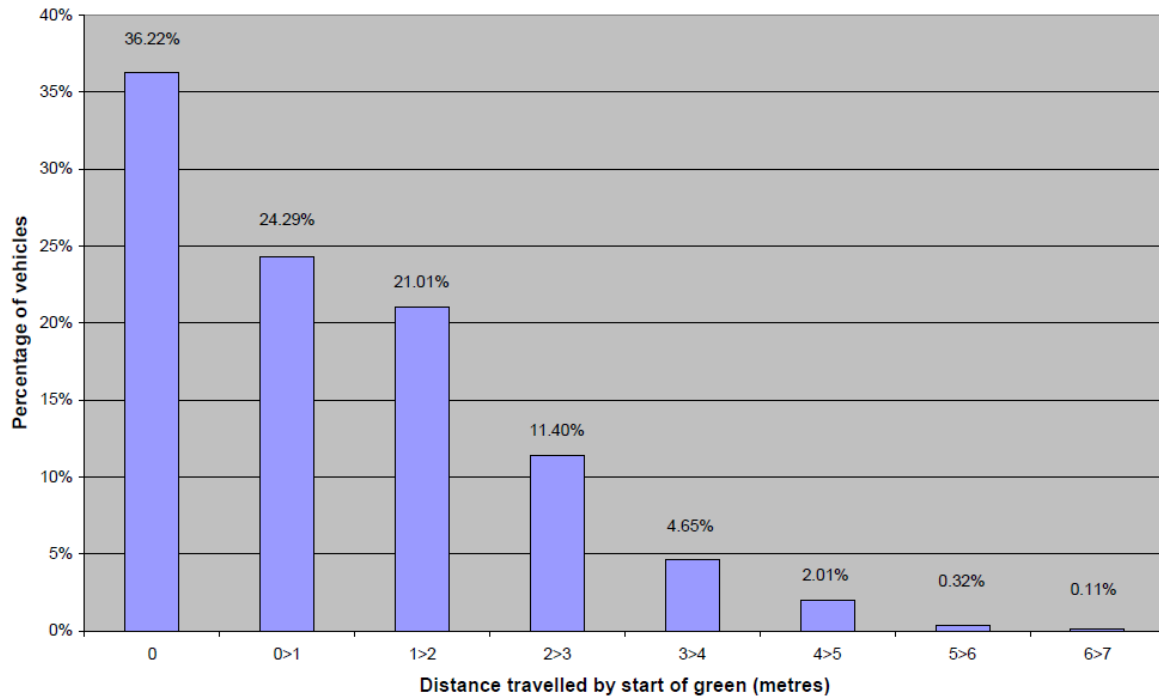
Figuur 5-5 Tijdstip waarop bestuurders beginnen te accelereren (Maxwell & York, 2006)

Hoewel de bestuurders reeds beginnen te accelereren tijdens de startoranje fase, gebeurt dit voornamelijk in de laatste seconde van de startoranjefase. Van de 36% van de bestuurders die voor de groenfase de stopstreep overschreed, overschreed slechts 4% van de bestuurders de stopstreep 1 seconde voor de groenfase en 17% overschreed deze een halve seconde voor dat het wettelijk toegelaten is.



Figuur 5-6 Tijdstip waarop bestuurders de stopstreep overschrijden (Maxwell & York, 2006)

Het vroegtijdig overschrijden van de stopstreep hoeft niet meteen een veiligheidsrisico met zich mee te brengen. In het Verenigd Koninkrijk is het vastgelegd dat de afstand tussen de stoplijn en het verkeerslicht minstens 2.5 meter moet bedragen (Transport of Londen, z.d.). Daarnaast geeft Maxwell (2006) aan dat de bestuurders gemiddeld 0.5 meter van de stopstreep blijven wachten (Maxwell & York, 2006). Bijgevolg komt een vroegtijdige vertrekkende in conflict met een ander kruisend voertuig indien deze 3 meter heeft afgelegd tijdens de startoranje fase. Uit figuur 5-7 blijkt dat 7% deze 3 meter had afgelegd tijdens de startoranje fase en bijgevolg mogelijk in conflict komt met een kruisend voertuig. Conflicten met voetganger gebeuren eerder waardoor een groter aandeel (rond de 18% van de bestuurders) mogelijk in conflict kunnen komen met voetgangers.



Figuur 5-7 Afgelegde afstand bij het ingaan van de groenfase (Maxwell & York, 2006)

Maxwell (2006) maakt verder een onderscheid tussen de verschillende modi. Hieruit komt naar voren dat tweewielers (zowel motorrijders als fietsers) de juridische waarde van de start oranje fase aan hun laars lappen. 87% van de geregistreerde motorrijders begonnen reeds tijdens de startoranje fase te accelereren waarbij 74% de stopstreep overschreed nog voor dat de groenfase was ingegaan. Bij de fietsers liep dit zelfs op naar 100% (merk op: beperkte testpopulatie van 13 fietsers). Verder is het opmerkelijk dat de tweewielers tijdens de roodfase voorbij de stopstreep halt houden (slechts 31% van de motorrijders bleef voor de stopstreep wachten).

Uit de analyses blijkt verder dat de zwaardere voertuigen beter de verkeersregels opvolgen. Zo blijkt dat 93% van de lichte vrachtwagens achter de stopstreep blijft wachten (zelfs 100% bij de zware vrachtwagens). Ook zij overschrijden echter vroegtijdig de stopstreep: 38% van de lichte vrachtwagens had de stopstreep al overschreden nog voor dat de groenfase was ingegaan (Maxwell & York, 2006).

Naast de diepgaande analyse, hield Maxwell ook rekening met de aanwezigheid van voetgangersvoorzieningen. Zo viel op dat de bestuurders, bij de afwezigheid van voetgangersvoorzieningen, vaker voorbij de stopstreep bleven wachten (17%). Bij de aanwezigheid van voetgangersvoorzieningen daalde dit aandeel significant naar 2% omdat de bestuurders de doorgang van voetgangers niet wilden blokkeren. Daarnaast hielden de bestuurders rekening met mogelijke conflicten. Uit de observaties bleek dat 90% van de bestuurders later vertrok indien deze een voetganger zag oversteken. Voetgangers geven zelf ook aan dat ze zich minder veilig zouden voelen indien de startoranje fase wordt weggelaten, net omdat deze fase de bestuurders de kans geeft om te kijken of er nog iemand oversteekt (Maxwell & York, 2006).

Maxwell (2006) bekeek, naast de gedragingen van de bestuurders, ook de gedragingen van de voetgangers. Hieruit blijkt dat de beslissing om over te steken voornamelijk afhangt van het feit of de auto's nog stilstaan of reeds aan het accelereren zijn. Indien de voertuigen nog stilstaan tijdens de startoranje fase, waagt 80% van de voetgangers zich nog aan de oversteek. Dit aantal daalt echter naar 30% indien de voertuigen reeds aan het accelereren zijn (Maxwell & York, 2006).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een soort communicatie plaatsvindt tussen de voetgangers en de bestuurders: indien de voetganger nog vlug oversteekt, dan zorgen de bestuurders er voor dat de voetganger veilig over kan steken. Indien de bestuurders echter aan het accelereren zijn, dan is de voetganger minder geneigd dit acceleratieproces te onderbreken.

Dankzij deze communicatie heeft de startoranje fase geen negatieve invloed op de conflicten. Tijdens het onderzoek werden er drie conflicten met voetgangers vastgesteld. Deze waren echter niet het gevolg van de startoranje fase, maar wel doordat de voetganger het rood voetgangerslicht negeerde. Al deze conflicten werden steeds opgelost door een vertraagd vertrek van de vertrekkende voertuigen of door het opnieuw af te remmen. Het onderzoek concludeerde dat bij geen enkel conflict de startoranje fase de hoofdoorzaak was.

Naast de observaties voerde Maxwell tevens ook een rijsimulatoronderzoek uit. Hieruit kwam naar voren dat de acceleratie significant met 0.08-0.09 m/s² toenam, indien de startoranje fase werd weggelaten. Dit wijst mogelijk op een overreactie ten gevolge van de plotse faseverandering (Maxwell & York, 2006).

5.6 Publieke opinie

Omdat feiten en observaties niet alles onthullen, nam een van de Engelse onderzoeken de publieke opinie mee in beschouwing. Er werd een onderscheid gemaakt tussen professionele gebruikers, zoals lokale autoriteiten, en alledaagse gebruikers (o.a. autobestuurders) (Maxwell & York, 2006).

Aan de professionele gebruikers werd er gevraagd of de huidige startoranje fase van 2 seconden voldoende was. Het merendeel van de stakeholders ging hierbij akkoord en gaf aan dat een aanpassing niet aan de orde was. Ze gaven aan dat, bij het weglaten van de startoranje fase, de startvertraging alleen maar zou toenemen. Daarnaast vergemakkelijkt het de vooruitgang van voertuigen op dicht bij elkaar gelegen kruispunten: de startoranje fase geeft het begin van de groenfase aan waardoor het verkeer zich beter kan voorbereiden. Een derde belangrijk voordeel is dat de startoranje fase een signaal is voor voetgangers om niet langer meer over te steken waardoor de voetgangers zich zelf veiliger voelen. Een laatste belangrijk voordeel is dat, bij het weglaten van een startoranje fase, de bestuurders onder druk komen te staan om snel te vertrekken.

Een nadeel is echter dat sommige bestuurders de startoranje fase als een groenfase zien, en dus vroegtijdig vertrekken. Dit werd echter niet als een groot veiligheidsprobleem gezien door de stakeholders.

De alledaagse gebruikers werden bevroegd tijdens het onderzoek zelf. Het waren namelijk deelnemers van het rijnsimulatoronderzoek. Bij deze bevraging werden de onderzochten gevraagd naar de definitie van de startoranje fase. 20% van de deelnemers dacht dat de startoranje fase "de toelating tot een voorzichtig vertrek" inhield. Eén derde van de bevroagden vond het niet gevaarlijk om de stopstreep tijdens de startoranje fase te overschrijden.

Naast de definitie werd ook de mening over de huidige lengte van de startoranje fase bevroegd. 70% van de 55 jarigen en jonger verkoos de huidige lengte van 2 seconden, omdat ze deze gewoon waren en omdat ze zo voldoende tijd hadden om zich voor te bereiden. De ouderen waren echter minder overtuigd: 30% koos voor het weglaten van de startoranje fase omdat dit makkelijker te begrijpen valt waardoor ze zich veiliger voelen. Hier staat echter tegenover dat het weglaten van de startoranje fase ervoor zorgt dat de bestuurders meer onder druk komen te staan om beslissingen te nemen wat kan leiden tot onveilige situaties.

Naast de bestuurders werden ook de voetgangers bevroegd. Zoals eerder aangehaald, voelden de voetgangers zich minder veilig indien de startoranjefase werd weggelaten. De belangrijkste reden hiervoor was dat ze vonden dat de startoranje fase de bestuurders de kans gaf om naar overstekende voetgangers te kijken. Een andere reden voor dit onveiligheidsgevoel was dat dat de voetgangers het gevoel kregen dat ze minder tijd hadden om over te steken indien de groenfase zich meteen aandient (Maxwell & York, 2006).

5.7 Conclusie literatuuronderzoek

De implementatie van een startoranje fase, betekent een verlaagde startvertraging en bijgevolg een verhoogde doorstroming op lichtengeregelde kruispunten. Buitenlandse bevindingen geven volgende reducties in de startvertraging weer:

- Bij een startoranje fase van 1 seconde: een reductie van 0.7s-0.8s
- Bij een startoranje fase van 2 seconden: een reductie van 1.2s-1.6s
- Bij een startoranje fase van 3 seconden: een reductie van 1s-1.7s

Dit wijst op een toenemende reductie bij een grotere startoranje faselengte, maar wijst er ook op dat deze reductie limitatief is. De startoranje fase heeft echter niet alleen een positieve impact op de startvertraging van stilstaande voertuigen, maar ook op voertuigen die zich, op het moment van de faseverandering, verder van de verkeerslichten bevinden. Door de startoranje fase accelereren de bestuurders eerder omdat deze fase een waarschuwing geeft voor de aankomende groenfase. Merk hierbij wel op dat er onderscheid dient gemaakt te worden tussen jongeren en ouderen. Ouderen reageren trager op een faseverandering en vinden de startoranje fase verwarrend waardoor de startvertraging van ouderen minder sterk afneemt.

Niet alleen de startoranje fase heeft impact op de startvertraging. De zichtbaarheid van de verkeerslichten op de kruisende takken zorgt ervoor dat de bestuurders anticiperen op de roodfase van de kruisende tak en hierdoor tot 0,8 seconden eerder reageren op de groenfase. De aanwezigheid van voetgangersvoorzieningen is een andere bepalende factor. Bestuurders houden hierdoor meer afstand van de stopstreep om zo de doorgang van de voetgangers niet te blokkeren en vertrekken ook sneller door te anticiperen op de verkeerslichten van de voetgangers.

De keerzijde van de startoranje fase is echter dat deze fase als een "go" wordt beschouwd, waardoor het aantal overtredingen significant toeneemt (een positieve correlatie tussen de startoranje faselengte en het aantal overtredingen). Opmerkelijk is dat tweewielers meer overtredingen maken dan gewone voertuigen. Ze wachten niet op de groenfase om de stopstreep te overschrijden en wachten tijdens de roodfase ook meer voorbij de stopstreep. Zware voertuigen daarentegen wachten vaker netjes achter de stopstreep.

Het vroegtijdig vertrekken zorgt echter niet voor ernstige conflicten omdat de bestuurders hun rijgedrag aanpassen aan de verkeerssituatie. Zo stellen de bestuurders hun vertrek uit wanneer ze een voetganger nog snel zien oversteken of wanneer het kruispunt nog niet vrij is. Een andere opvallende vaststelling is dat, bij het weglaten van de startoranjefase, het aantal voertuigen dat, bij het ingaan van de stoporanje fase het kruispunt oprijdt, toeneemt. Dit valt te wijten aan het feit dat de bestuurders gebruik maken van de grotere startvertraging van de kruisende beweging.

Bij de opiniebevraging haalden de stakeholders en gebruikers de verhoogde doorstroming als speerpunt van de startoranje fase aan. Hoewel oudere bestuurders deze fase als verwarrend beschouwen, verhoogt de startoranje fase de subjectieve veiligheid: bestuurders voelden minder druk omdat ze zich langer kunnen voorbereiden op de groenfase en voetgangers gebruiken deze startoranje fase als indicatie dat oversteken niet langer mogelijk is.

Onderstaande tabel geeft nog eens kort de aangehaalde parameters weer en duidt aan welke parameters verder onderzocht zullen worden in dit onderzoek.

Tabel 2 Selectie parameters voor eigen onderzoek

Thema	Parameter	Selectie eigen onderzoek
Doorstroming	Gebruik startoranje fase	X
	Lengte startoranje fase	
	Leeftijd	
	Zicht op verkeerslichten kruisende takken	
	Aanwezigheid oversteekplaatsen	X
Veiligheid	Overtredingen	X
	Type voertuig	
	Overstekende voetganger	X
	Voertuig op kruispunt	X

6. Rijsimulatoronderzoek

Na een uitgebreide literatuurstudie wordt er een eigen onderzoek opgesteld. Dit onderzoek is gebaseerd op basis van de bevindingen van de literatuur, die op deze manier de randvoorwaarden van het onderzoek schetsen. Uit de literatuurstudie kwam naar voren dat de startoranje fase wel degelijk een positieve invloed heeft op de doorstroming, maar dat dit voor meer overtredingen zorgt. Deze overtredingen leiden echter niet tot meer conflicten. Met behulp van het eigen onderzoek wordt er nagegaan of deze conclusies kloppen.

In de literatuur wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van observaties op het terrein of worden de omstandigheden gesimuleerd door middel van een rijsimulator. Het observeren op het terrein heeft als voordeel dat de bestuurders geanalyseerd worden op hun feitelijke gedragingen. De proefpersonen zijn namelijk niet onderhevig aan sociale controle. Het nadeel is echter dat dit veel tijd en geld vraagt, middelen die slechts beperkt aanwezig zijn in dit onderzoek (Baarda & de Goede, 2006). Daarnaast maakt het huidig geldend juridisch kader het niet mogelijk om een observatie op het terrein uit te voeren, waardoor er gekozen wordt om gebruik te maken van een rijsimulator.

Een rijsimulator is een computergestuurd toestel, bestaande uit een besturingsunit, vergelijkbaar met een auto, en een scherm waarop beelden geprojecteerd worden die een sterke illusie van het echte rijden geven. Het grote voordeel van een rijsimulator is dat de condities, met betrekking tot de omgeving, kunnen aangepast worden zonder hiervoor dure uitgaven te moeten doen of veiligheidsrisico's te lopen. Hierdoor kan de onderzoeker duidelijk de afhankelijke variabelen implementeren en analyseren omdat de rijsimulator de mogelijkheid biedt de storende variabelen te controleren. Een ander voordeel is de relatieve eenvoud waarmee de gegevens verzameld kunnen worden (IMOB, z.d.; Kaptein, Theeuwes, & Van Der Horst, 1996).

Het nadeel is echter dat het een illusie van de werkelijkheid blijft. Hoewel de huidige rijsimulators steeds betrouwbaarder de werkelijkheid kunnen simuleren, zal een rijsimulator nooit exact de werkelijkheid kunnen voorstellen. Zo kan het ontbreken van proprioceptieve¹ bewegingsinformatie mogelijk leiden tot onrealistische resultaten en is de validiteit van afstandsonderzoeken afhankelijk van de resolutie van de rijsimulator (Kaptein e.a., 1996).

Deze beperkingen zorgen ervoor dat dit onderzoek slechts een indicatie kan geven van wat de implementatie van de startoranje fase voor het Belgische verkeer kan betekenen.

¹ Proprioceptie: Het ontvangen en verwerken van prikkels die in het zenuwstelsel zelf ontstaan

6.1 Methodologie

Bij het uitvoeren van het onderzoek wordt er gebruik gemaakt van een rijnsimulator met een hoge betrouwbaarheid (STISIM M400; Systems Technology Incorporated). Deze rijnsimulator maakt gebruik van een vaste basis (de bestuurders ontvangen geen kinetische feedback) en bestaat uit een stuur (met krachtfeedback), een rempedaal en een gaspedaal. De uitgevoerde simulatie bevat voertuigdynamica, visuele en auditieve feedback en een prestatie metend systeem. De visuele, virtuele omgeving wordt geprojecteerd op een groot licht buigend naadloos scherm dat zo een gezichtsveld van 180° bezorgt. De achter- en zijspiegels worden ook op het scherm geprojecteerd. De projectie wordt verzorgd door drie projectoren met een resolutie van 4200 x 1050 pixels en een beeldsnelheid van 60 Hz. Het omgevingsgeluid en het geluid van het eigen voertuig zijn duidelijk hoorbaar en de data wordt verzameld in stappen die gelijk zijn aan de lengte van een frame (Ariën e.a., 2013).

Deze rijnsimulator wordt ter beschikking gesteld door het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) en maakt gebruik van STISIM DRIVE 3 (STISIM, z.d.).



Figuur 6-1 Rijnsimulator IMOB (IMOB, z.d.)

6.1.1 Omschrijving en beperkingen

Omdat dit onderzoek het eerste onderzoek is naar de startoranje fase in België, moeten er enkele beperkingen ingebouwd worden om het onderzoek niet te complex te maken. De bedoeling van deze masterthesis is om een eerste indicatie te geven, waardoor er gekozen wordt voor simpele scenario's om zo de gedragingen van bestuurders beter te capteren.

Zo worden interacties met verkeer in dezelfde richting vermeden en wordt er enkel gekeken naar het rijgedrag van de bestuurder indien deze als eerste voertuig aan de stopstreep staat. Het verkeer vanuit de tegenovergestelde richting maakt geen afslaan bewegingen en zal bijgevolg niet conflicteren met de bestuurder.

Er wordt gekozen om de simulatie te laten "plaatsvinden" in een niet-complexe omgeving zodat de bestuurder zich volledig kan concentreren op zijn beslissingen en gedragingen. De bestuurder zal een visualisatie voorgeschoteld krijgen dat past in stedelijke ringstructuur: een 2x2- weg met een snelheidsregime van 70 km/u met voetgangersvoorzieningen ter hoogte van de kruispunten.

6.1.2 Conditie

De aan- of afwezigheid van de startoranjefase vormen de eerste twee condities in het onderzoek. Omdat de startoranje fase een onderdeel is van de fasering en hierdoor het uitzicht van de verkeerslichten niet verandert, is het noodzakelijk om twee ritten te voorzien. Deze opsplitsing zorgt namelijk voor uniformiteit tijdens de rit en vermijdt verwarring bij de deelnemende bestuurders.

Tijdens deze twee ritten wordt de aandacht gevestigd op de doorstroming en verkeersveiligheid wat voor vier extra condities zorgt. De eerste twee condities worden ingevuld door de aan- of afwezigheid van een overstekende voetganger. Deze voetganger zal tijdens de startoranje fase oversteken waardoor het gedrag van de bestuurder bij potentiële conflicten kan geanalyseerd worden.

De laatste twee condities vormen een ander aspect van verkeersveiligheid en bestaan uit de aan- of afwezigheid van een voertuig, komende vanuit de kruisende tak, die tijdens de startoranje fase nog snel het kruispunt betreedt. Ook hier wordt het gedrag van de bestuurder geanalyseerd.

Samenvattend vormen deze zes condities twee scenario's of ritten:

- Rit 1: Referentiescenario: geen startoranje fase aanwezig
 - a) Aanwezigheid/afwezigheid van overstekende voetgangers
 - b) Aanwezigheid/afwezigheid van kruisende voertuigen

- Rit 2: Startoranje fase van 2 seconden:
 - a) Aanwezigheid/afwezigheid van overstekende voetgangers
 - b) Aanwezigheid/afwezigheid van kruisende voertuigen

6.2 Opbouw simulatie

Zoals eerder aangegeven, zal de testpersoon twee ritten afleggen waarbij de ene rit de referentierit vormt en waarbij in de tweede rit alle kruispunten uitgerust zijn met een startoranje fase.

Binnen deze twee ritten worden de bestuurders geconfronteerd met de overige vier condities. Om resultaten gebaseerd op toeval te vermijden, is het noodzakelijk dat de bestuurder minimaal twee keer met elke conditie wordt geconfronteerd. Bijgevolg zal elke rit bestaan uit tien kruispunten omdat er verder enkele kruispunten worden toegevoegd waar de bestuurder niet hoeft te stoppen om zo dichterbij de werkelijkheid aan te leunen.

De volgorde van de kruispunten en condities worden in elk scenario gerandomiseerd. Tussen de kruispunten worden er bochten, enkele huizen en bomen ingebouwd om zo het aandachtsniveau voldoende hoog te houden.

6.2.1 Randomisatie

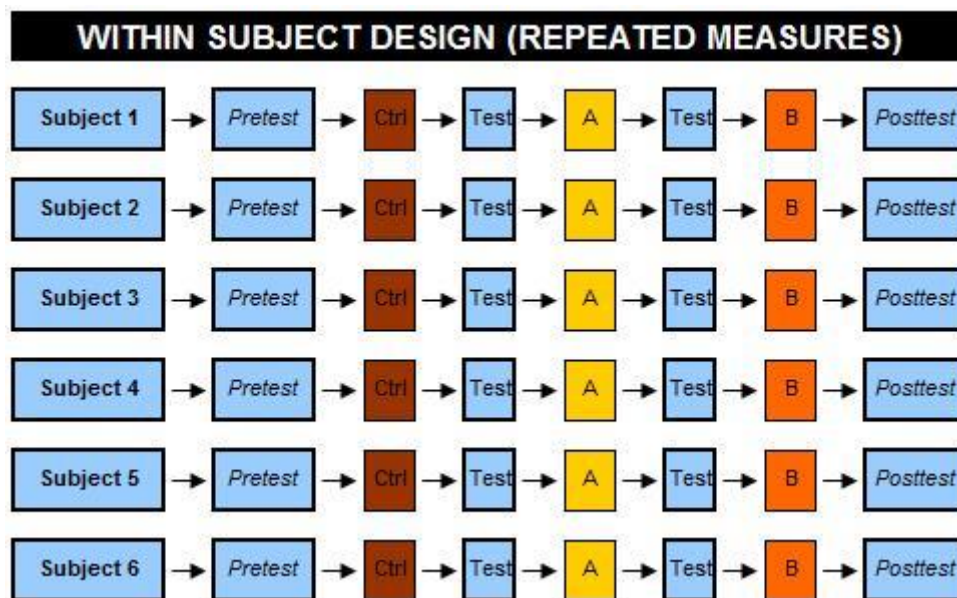
In het alledaagse verkeer krijgen de deelnemers voornamelijk te maken met verkeerssituaties die weinig extra aandacht vragen en doorgaans veilig verlopen. Het verkeer blijft echter een interactie tussen verkeersdeelnemers waardoor er zich op onverwachte momenten bepaalde situaties aandienen die kunnen leiden tot conflicten.

In dit onderzoek worden deze onverwachte situaties voorgesteld door een overstekende voetganger of een kruisend voertuig. Om de onvoorspelbare aard van het verkeer te simuleren is het noodzakelijk dat deze condities zich willekeurig voordoen. Indien deze randomisatie niet zou uitgevoerd worden, dan treedt er mogelijk een leereffect op. Bestuurders leren namelijk uit hun ervaringen en zullen bijgevolg, bij het volgende kruispunt, voorzichtiger handelen en meer aandacht besteden aan wat ze net hebben meegemaakt. Dit leereffect kan bijgevolg leiden tot foute resultaten waardoor randomisatie zich opdringt. Deze randomisatie wordt geïllustreerd in een volgend voorbeeld: indien tijdens de referentierit (de eerste rit) er een voetganger bij het derde kruispunt nog snel oversteekt, dan zal ervoor gezorgd worden dat bij de tweede rit de voetganger bij een ander kruispunt oversteekt om te vermijden dat de bestuurder zich extra voorzichtig gedraagt bij het derde kruispunt.

Vermits STISIM DRIVE 3 niet voorzien is van een functie dat ervoor zorgt dat elke deelnemer de condities in een andere volgorde tegenkomt, dient de onderzoeker hier zelf voor te zorgen. Dit kan door voor elke deelnemer een persoonlijke code te schrijven, wat veel tijd in beslag neemt, tijd die in dit onderzoek echter beperkt is. Daarom wordt er gekozen om 8 codebestanden te maken met 5 kruispunten, waarbij elke conditie eenmaal wordt geprogrammeerd. Vervolgens krijgt elke deelnemer 2 random codebestanden toegewezen waardoor deze een unieke rit zal afleggen.

6.2.2 Within Subject ontwerp

Na het vastleggen van de condities, dient er beslist te worden met welk ontwerp er gewerkt zal worden. Hiervoor kan er gekozen worden tussen een "within subject" ontwerp en een "between subject" ontwerp. Het voordeel van het eerste ontwerp is dat er minder deelnemers nodig zijn, in vergelijking met een between subject ontwerp. Daarnaast doorlopen alle deelnemers dezelfde condities waardoor het niet nodig is om de onderzoekspopulatie op te delen in groepen, hetgeen noodzakelijk is bij een between subject ontwerp. Op deze wijze vermijdt het within subject ontwerp het feit dat mensen niet met elkaar te vergelijken zijn en verkleint het zo de kans op fouten (Explorable, z.d.). Om deze redenen en vanwege het beperkt aantal condities wordt ervoor gekozen om te werken met een within subject ontwerp.



Figuur 6-2 Voorstelling Within subject ontwerp (Explorable, z.d.)

6.3 Procedure experiment

In dit onderdeel wordt het verloop van het rijnsimulatoronderzoek beschrijven. Naast het theoretische onderdeel, is het natuurlijk ook noodzakelijk om resultaten te verzamelen.

6.3.1 Pilotstudie

Alvorens het onderzoek uit te voeren met deelnemers, is het noodzakelijk om zeker te weten dat het opgestelde onderzoek wel degelijk gegevens verzameld die nodig zijn om de onderzoeksvragen te beantwoorden. De codes en scenario's zullen bijgevolg uitvoerig getest worden bij een kleine testgroep.

6.3.2 Vragenlijst

Het verzamelen van de gegevens start met een korte vragenlijst, waarbij de deelnemers worden verwelkomd. Deze vragenlijst bevroegt de socio-demografische kenmerken van de deelnemers zoals de leeftijd, de rijervaring en het geslacht en geeft daarnaast ook wat uitleg over de startoranje fase.

Na het experiment krijgt de deelnemer een afsluitende vragenlijst voorgeschoteld waarbij de bevindingen van de deelnemers met betrekking tot het onderzoek en de startoranje fase worden bevroegd.

6.3.3 Testrit

Na de inleidende vragenlijst mag de deelnemer plaats nemen in de rij simulator om een testrit af te leggen. De testrit heeft als doel om de deelnemer te laten wennen aan de software van de rij simulator. Tijdens de testrit zal de deelnemer enkele kruispunten tegenkomen, waarbij een tweetal kruispunten uitgerust zullen zijn met een startoranje fase. De bestuurder wordt uitdrukkelijk gevraagd om zich te gedragen zoals men zich normaal zou gedragen.

6.3.4 Het experiment

Na de testrit is het tijd om de deelnemers te onderwerpen aan de echte test. In de eerste rit zal de deelnemer de huidige verkeerslichtenregelingen tegenkomen de welke samen het referentiescenario vormen. Binnen deze rit zal de deelnemer op bepaalde kruispunten geconfronteerd worden met overstekende voetgangers en kruisende voertuigen.

In de tweede rit wordt de startoranje fase toegevoegd aan de verkeerslichtenregelingen. Ook hier worden de deelnemers geconfronteerd met overstekende voetgangers en kruisende voertuigen. Nadien worden deze twee ritten uitgebreid met elkaar vergeleken en geanalyseerd.

6.4 Testpersonen

Gezien de aard van het experiment is "het bezitten van een geldig vast rijbewijs" de enige voorwaarde om deel te nemen aan het onderzoek.

Daarnaast is het, gezien de tijds- en budgetbeperkingen niet mogelijk om een grote testgroep te verzamelen. Toch is het nodig om een 50-tal mensen te verzamelen om uiteindelijk significante resultaten te verkrijgen. Deze testpersonen dienen de Vlaamse populatie zo goed mogelijk te representeren en worden bijgevolg gerekruteerd uit de leeftijdscategorie "18 tot 75 jaar". Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen geslacht en rijervaring.

De testpersonen worden gerekruteerd door middel van een e-mail en door middel van persoonlijke rekrutering in de vrienden- en familiekring.

6.5 Dataverzameling

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden, is er nood aan objectieve gegevens. Tijdens de simulaties wordt de data verzameld in tijdsstappen van 0.9 simulatie seconden op de tussenstukken en in tijdstappen van 0.001 simulatie seconden ter hoogte van de kruispunten. Het grote voordeel van deze aanpak is de eenvoud waarmee de signaalveranderingen en de handelingen van de testpersonen aan elkaar gekoppeld kunnen worden.

Tijdens de simulatie wordt er data verzameld voor de volgende parameters:

a) Perceptie reactietijd

Tijdens het onderzoek zal de gemiddelde perceptie reactietijd gemeten worden. Deze tijd wordt gemeten door de vertraging te berekenen tussen de faseverandering en het moment van de gaspedaalindrukking. Het moment van de faseverandering wordt als het nulpunt beschouwd.

b) Startvertraging

Voortgaand op de perceptie reactietijd, wordt de tijd berekend tussen de faseverandering en het moment van het overschrijden van de stopstreep. Hierbij wordt ook gekeken naar het aantal overtredingen tijdens de startoranje fase. Indien een negatieve waarde wordt bekomen, betekent dit dat het voertuig voor het ingaan van de groenfase de stopstreep reeds overschreed, wat in strijd is met de juridische waarde van de startoranje fase.

c) Afstand tot stopstreep

Verder wordt er gekeken naar de afstand tot de stopstreep. Deze parameter heeft geen waarde voor het onderzoek zelf, maar wordt gebruikt om de validiteit van de afstandswaarden te testen. Door een vergelijking te maken tussen de waarden bekomen in de simulatie en de waarden bekomen uit praktijkonderzoeken, kunnen er uitspraken gedaan worden over de validiteit van de rijsimulator.

d) Afstand afgelegd bij het begin van de groenfase

Uit de literatuur blijkt dat tijdens de startoranje fase een groot deel van de bestuurders reeds begint te accelereren, waarbij enkele (zie overtredingen tijdens de startoranje fase) de stopstreep vroegtijdig overschrijden. Bij deze parameter wordt er gekeken hoever de bestuurder reeds gevorderd is bij het ingaan van de groenfase.

e) Tijd nodig om het kruispunt te verlaten

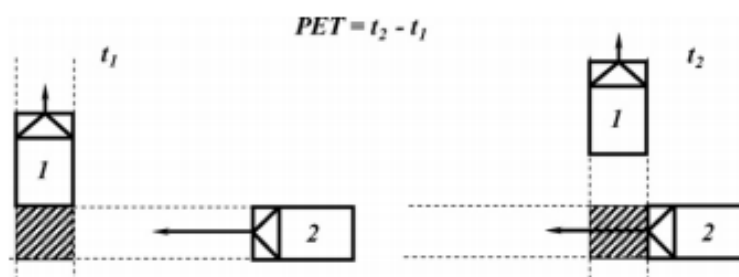
Bij deze parameter wordt er berekend hoeveel tijd er nodig is om het kruispunt te verlaten. Het sneller verlaten van een kruispunt heeft als gevolg dat de capaciteit van een kruispunt gevoelig kan toenemen. Deze parameter wordt verdere vergeleken met de startvertraging. Indien het verschil tussen het scenario met de startoranje fase en het scenario zonder de startoranje fase gelijk is voor zowel de startvertraging als voor de tijd nodig om het kruispunt te verlaten, dan kan er gesteld worden dat het acceleratiegedrag in beide scenario's gelijk is.

f) PET (Post-Encroachment Time)

Wordt gedefinieerd als zijnde het tijdsverschil waarbij de eerste weggebruiker de conflictzone (gearceerd gebied bij figuur 6-3) verlaat en de tweede weggebruiker de conflictzone binnenkomt (Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010).

Des te kleiner deze PET-waarde, des te groter de kans op een ongeval wordt. Hierbij wordt er een kritische PET-waarde gebruikt van 1 seconde om de ernstige conflicten van de minder ernstige conflicten te scheiden (M. De Jong, Gysen, Petermans, & Daniëls, 2007).

Met behulp van deze factor kan de ernst van conflictsituaties ingeschat worden en kan er bijgevolg een uitspraak gedaan worden over de verkeersveiligheid. Een belangrijke randvoorwaarde voor de het gebruik van deze parameter is de validiteit van de rijnsimulator. Indien de bestuurders de afstanden niet goed kunnen inschatten in de rijnsimulator, kan deze parameter niet gebruikt worden om valabele uitspraken te doen over het veiligheidsluik.



Figuur 6-3 Post- Encroachment Time (M. De Jong e.a., 2007)

6.6 Samenvatting

Het tweede deel van het onderzoek bestaat uit het opzetten van het eigen onderzoek. Dit onderzoek bestaat uit een rijimulatoronderzoek dat zal plaatsvinden in de rijimulator van het Instituut voor Mobiliteit. De keuze voor het gebruik van een rijimulator is het gevolg van de juridische beperkingen, alsook door de mogelijkheid om de storende variabele op een goedkope manier te beheersen.

Het experiment zal bij een 50-tal personen, met een leeftijd tussen de 18 en de 75 jaar met een rijbewijs, worden afgenomen. Deze personen worden gerekruteerd door middel van een mail alsook door persoonlijke invitatie.

De proefpersonen vullen eerst een vragenlijst in waarbij enkele socio-demografische elementen worden bevraagd. Vervolgens krijgen de personen een korte uitleg over de simulator en mogen ze plaatsnemen voor een testrit, met de bedoeling om gewoon te worden aan de software. Na de testrit worden de bestuurders geïntroduceerd tot het echte experiment, bestaande uit twee ritten. Deze twee ritten vinden plaats in een niet-complexe omgeving waarbij er geen interactie plaatsvindt met voertuigen in dezelfde richting. Deze beperkingen zijn ingebouwd om de deelnemers de kans te geven zich volledig te focussen op de verkeerslichten. In de eerste twee ritten van het referentiescenario zijn de kruispunten uitgerust met de huidige verkeerslichten en worden de gedragingen van de bestuurders bij faseveranderingen geanalyseerd. In de twee volgende ritten zijn de verkeerslichten uitgerust met een startoranjefase. In alle ritten worden de bestuurders random geconfronteerd met conflicten in de vorm van overstekende voetgangers en kruisende voertuigen. Omdat het hier gaat over een within subject ontwerp, krijgen alle bestuurders dezelfde condities voorgeschoteld. Afsluitend dienen de proefpersonen opnieuw een vragenlijst in te vullen over hun bevindingen met betrekking tot het experiment en de startoranje fase.

Na het experiment worden alle gegevens geanalyseerd op basis van een zestal parameters en wordt er een eerste indicatie gegeven van de impact van de startoranje fase op de verkeersveiligheid en de doorstroming op kruispunten.

7. Resultaten

In dit onderdeel worden de resultaten van het praktijkonderzoek beschreven en geanalyseerd. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van het programma SPSS om de resultaten grafisch weer te geven en te analyseren op basis van hun significantie.

7.1 Deelnemers

Voor het rij simulatoronderzoek werd er beroep gedaan op de vrijwilligheid van 47 testpersonen. Van deze 47 personen werden er drie geweerd uit het onderzoek: twee personen konden hun test niet voltooien ten gevolgen van rij simulatorziekte, een persoon werd als outlier gedefinieerd. Dit betekende dat deze persoon in meer dan 25% van de parameters extreem afweek ten opzichte van de andere testpersonen.

De uiteindelijke testgroep bestond uit 27 mannen en 17 vrouwen, met een gemiddelde leeftijd van 35 jaar en 15 jaar rijervaring. De doelgroep kende verder drie nationaliteiten: 39 Belgen, 4 Nederlanders en 1 Iraniër die reeds meerdere jaren werkzaam is in België en bijgevolg de Belgische verkeersregeling kent.

7.1.1 Outlier analyse

Zoals eerder aangegeven werd er één persoon geweerd vanwege zijn/haar afwijkend gedrag. Het statistisch programma SPSS biedt de mogelijkheid om outliers te onderscheiden, door gebruik te maken van de "*outlier labeling rule*". Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen milde en extreme outliers.

Milde outliers worden aangegeven door een bolletje en zijn waardes die anderhalf keer de interkwartielafstand overschrijden. Deze interkwartielafstand (verder IKA genoemd) kan worden berekend door het verschil te nemen tussen het eerste kwartiel en het derde kwartiel en geeft de lengte van het interval aan waarbinnen de middelste 50% van de waarnemingen liggen.

Extreme outliers worden aangegeven door een kruisje en zijn waardes die drie keer de IKA overschrijden. Indien een testpersoon voor meer dan 25% van de parameters als extreme outlier uit de bus komt, wordt deze testpersoon geschrappt uit de analyses (A. De Jong & Vandenbroele, 2003).

7.2 Methodologie

Zoals eerder aangehaald, zal elke testpersoon 2 unieke blokken per rit doorlopen om zo tegemoet te komen aan de randomisatie verplichting. Vanwege de onbekendheid van de rijnsimulator bij de testpersonen, kregen de testpersonen eerst een testrit voorgeschoteld. Toch blijft er de kans bestaan dat testpersonen in de eerste blok anders reageerden dan in de tweede blok ten gevolgen van het leereffect. Zo kan het zijn dat de proefpersonen de eerste keer uiterst waakzaam zijn en trager reageren omdat ze eerst willen zien hoe alles in zijn werk gaat. Bij de tweede keer vermindert dit effect en kan men zich mogelijk anders gedragen.

Om dit effect te onderzoeken, wordt er een gepaarde T-test uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn in Tabel 3 terug te vinden.

Tabel 3 Controle leereffect

	Referentie			Startoranje		
	Zonder conflict	Voetganger	Auto	Zonder conflict	Voetganger	Auto
Perceptie reactie tijd						
Gemiddeld verschil	0,282	0,064	0,107	-0,026	0,078	-0,04
Significantie (2-zijdig)	0,251	0,481	0,127	0,668	0,398	0,752
Startvertraging						
Gemiddeld verschil	0,182	0,168	0,4	0,084	0,102	0,031
Significantie (2-zijdig)	0,048	0,296	0,012	0,268	0,368	0,802
Post encroachment time						
Gemiddeld verschil	-	0,322	0,482	-	-0,079	-0,11
Significantie (2-zijdig)	-	0,103	0,002	-	0,619	0,358
Afstand tot stopstreep						
Gemiddeld verschil	-0,698	0,163	-0,401	0,057	0,138	-0,011
Significantie (2-zijdig)	0,005	0,693	0,179	0,806	0,601	0,969
Afgelegde afstand tijdens rood						
Gemiddeld verschil	0,0008	-0,0009	0,0014	-0,07	0,03	-0,054
Significantie (2-zijdig)	0,702	0,766	0,602	0,379	0,786	0,457
Tijd nodig tot einde kruispunt						
Gemiddeld verschil	0,204	0,313	0,543	0,179	-0,0195	-0,0013
Significantie (2-zijdig)	0,109	0,156	0,013	0,086	0,903	0,992

Hieruit blijkt dat er in het overgrote deel van de resultaten geen significant leereffect zichtbaar is. Het feit dat er tijdens de referentiescenario's significante verschillen werden gevonden, is eerder te wijten aan de configuratie van de rijnsimulator dan aan het leereffect. Indien er een leereffect zou optreden, dan zou dit zich consistent voor doen over alle mogelijke scenario's. Dit is echter niet het geval, waardoor het gevonden resultaat meer neigt naar een toevalsverschil. Om deze reden wordt er gekozen om alle data van alle ritten mee te nemen in de komende analyses.

Voor de eenvoud van de analyses en door de afwezigheid van een leereffect tussen de twee opeenvolgende ritten binnen een scenario, worden de gemiddelde waarden van de twee ritten per scenario gebruikt om verdere analyses uit te voeren. Hierbij wordt er een onderverdeling gemaakt tussen de 2 types lichtenconfiguraties (de scenario's) en de 3 types conflicten. In deze analyses worden mogelijke verbanden bloot gelegd, waarna er met een tweezijdige ANOVA de significantie wordt berekend. Om diepere analyses uit te voeren wordt er verder gebruik gemaakt van een gepaarde T-test. Voor al deze analyses werd er een P-waarde gebruikt van 0.05, wijzende op een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

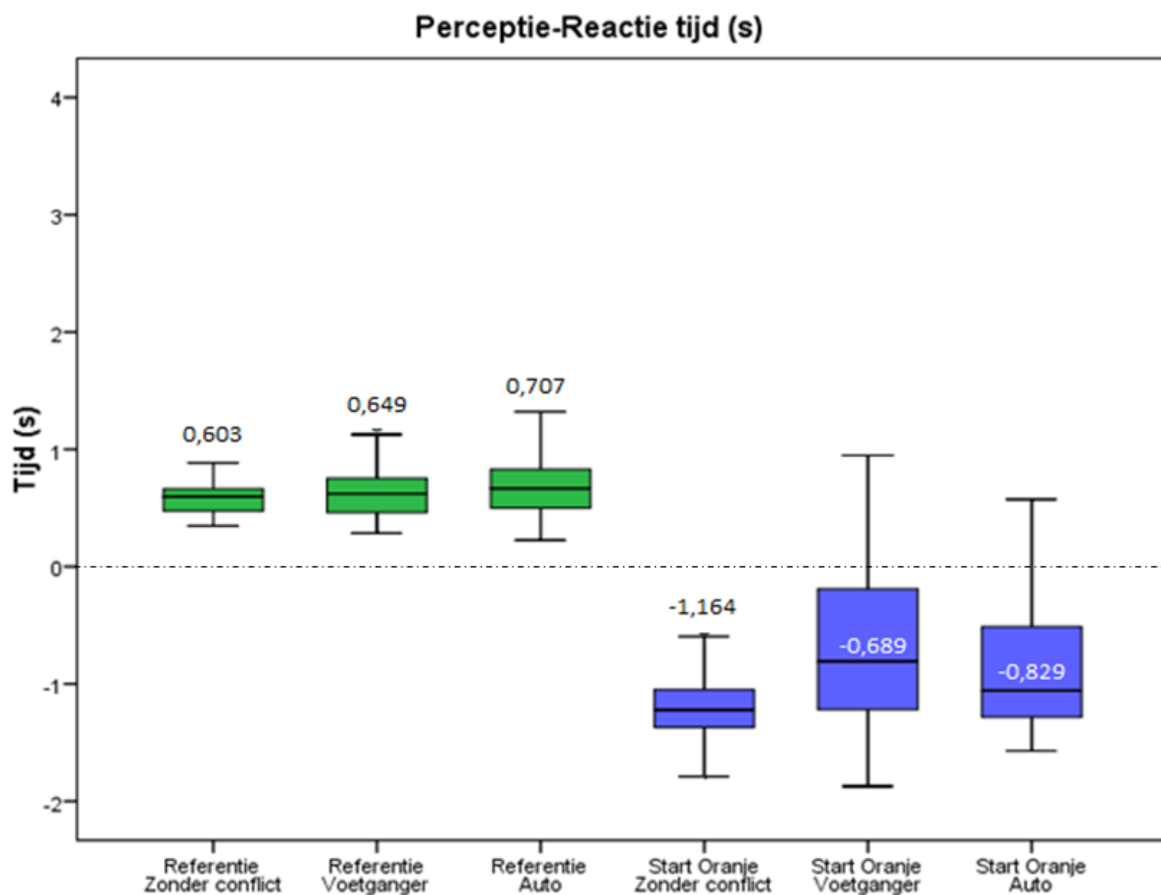
Een belangrijke noot bij deze analyses is het feit dat STISIM zich voor de afgelegde afstand baseert op het middelpunt van het voertuig. Om de positie van de voorzijde van het voertuig te bepalen, wordt er 2 meter bij de afgelegde afstand bijgeteld. Deze 2 meter is gebaseerd op de gemiddelde lengte van de top 10 meest verkochte auto's van 2015 in Europa (Auto55, 2015).

7.3 Doorstroming

7.3.1 Perceptie reactietijd

Een van de belangrijke parameters binnen dit onderzoek is de perceptie reactietijd. Deze parameter geeft aan hoeveel tijd de bestuurder nodig heeft om te reageren op de faseverandering en vervolgens het gaspedaal in te duwen.

Zoals hieronder zichtbaar wordt, ligt deze perceptie reactietijd in de referentiefase boven de 0 seconden wat uiteraard normaal is gezien de plotse faseverandering. In de start oranjefase duiken deze waarden echter onder nul wat erop wijst dat de bestuurder nog voor dat het groen werd, reeds zijn gaspedaal had ingedrukt.



Figuur 7-1 Perceptie- reactietijden

Het verschil in de perceptie reactietijd tussen de types verkeerslichten werd erg significant bevonden ($F=769,365$; $p<0,0005$) waarbij de perceptie reactietijd in het referentie scenario ($M=0,653s$; $SD= 0,022$) beduidend hoger ligt dan deze in het startoranje scenario ($M=-0,894s$; $SD= 0,050$).

Verder blijkt dat het type conflict ook significante verschillen oplevert. Zoals uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** blijkt, nam de perceptie reactietijd in et referentie scenario significant toe wanneer er zich een mogelijk conflict voordeed met een kruisende auto in vergelijking met wanneer dit niet zo was. In de start oranje fase werd dit ook geconstateerd maar bleek dit ook het geval te zijn wanneer er een voetganger het kruispunt betrad.

Dit geeft aan dat de bestuurders daadwerkelijk anticiperen op mogelijke conflicten en hierdoor, al dan niet bewust, trager reageren op de faseverandering. Merk hierbij verder op dat tijdens de startoranje fase er een grotere variatie bestaat in perceptie reactietijden.

Ten slotte kan er, op basis van de F-waarden van **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, geconcludeerd worden dat de impact op de perceptie reactietijd voornamelijk te wijten is aan de configuratie van het verkeerslicht en in mindere mate aan de al dan niet aanwezigheid van een conflict.

Tabel 4: ANOVA Perceptie Reactietijden

	F	Significatie
Type verkeerslicht	769,365	<u>0,000</u>
Type conflict	20,696	<u>0,000</u>
Verkeerslicht x Conflict	12,100	<u>0,000</u>

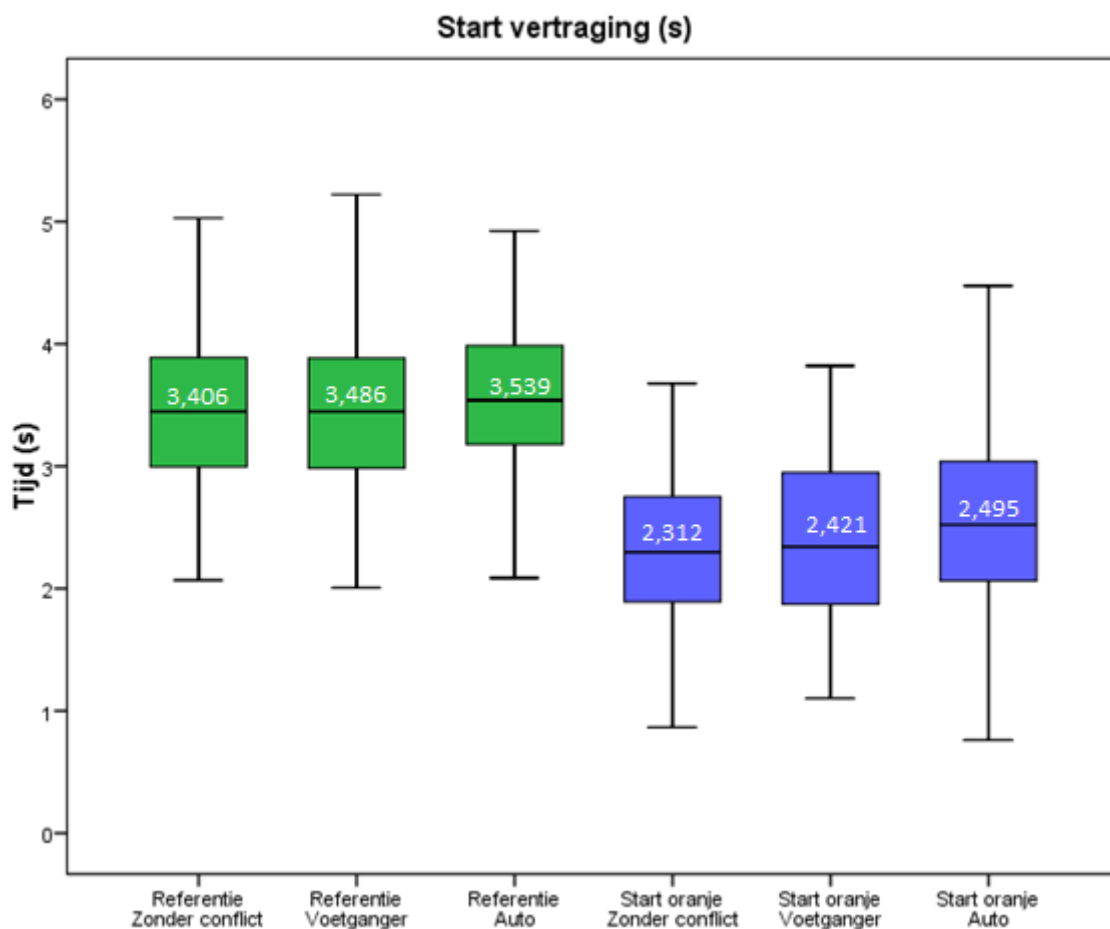
Tabel 5: Post-Hoc T-test Perceptie Reactietijden

		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Zonder conflict	Voetganger	-0,036	0,450	0,436
Zonder conflict	Auto	-0,129	<u>0,001</u>	0,337
Voetganger	Auto	-0,082	0,138	0,481
Start oranje				
Zonder conflict	Voetganger	-0,433	<u>0,000</u>	0,6198
Zonder conflict	Auto	-0,318	<u>0,000</u>	0,5525
Voetganger	Auto	0,128	0,105	0,7145

7.3.2 Startvertraging

Verdergaand op deze perceptie reactietijd wordt vervolgens de startvertraging onder de loep genomen. Deze parameter beschrijft de tijd tussen het moment dat het verkeerslicht op groen springt en het moment dat de bestuurder de stopstreep overschrijdt.

Het belangrijkste resultaat is dat de gemiddelde startvertraging, ongeacht het type conflict, van 3,477s (SD=0,068) naar 2,409s (SD=0,066) afnam. Deze afname bleek sterk significant ($F=249,110$; $p<0,0005$) te zijn. Bij deze afname is het belangrijk te vermelden dat geen enkele bestuurder de stopstreep vroegtijdig overschreed.



Figuur 7-2 Startvertraging

Uit de ANOVA (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) komt naar voren dat e startvertraging significant verschilt bij de aanwezigheid van een conflict. Diepere analyses (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) bevestigen dit chter niet en geven aan dat er geen significante verschillen zijn tussen de conflicten onderling. Merk hierbij op dat de significante verschillen bij het voordoen van een conflict in de perceptie reactietijd weggewerkt zijn bij het overschrijden van de stopstreep. Dit wijst erop dat het vertraagd vertrek wordt gecompenseerd door een zwaardere acceleratie.

Verder blijkt uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** dat er een significant interactie-effect ontbreekt waardoor, ongeacht de aanwezigheid van een conflict, de startvertragingwaarden met ongeveer 1,1 seconde zijn gedaald in het startoranje scenario.

Samenvattend kan er gesteld worden dat de startoranje fase de startvertraging met 1,1 seconde doet afnemen en dit ongeacht de aanwezigheid van een conflict. Gezien de hoge F-waarden, van de verkeerslichten, is de reductie in startvertraging quasi volledig te wijten aan de aanwezigheid van de startoranje fase. Een andere belangrijke vaststelling is het feit dat de bestuurders de stopstreep niet vroegtijdig overschreden.

Tabel 6 ANOVA Startvertraging

	F	Significatie
Type verkeerslicht	249,110	<u>0,000</u>
Type conflict	3,478	<u>0,033</u>
Verkeerslicht x Conflict	0,093	0,899

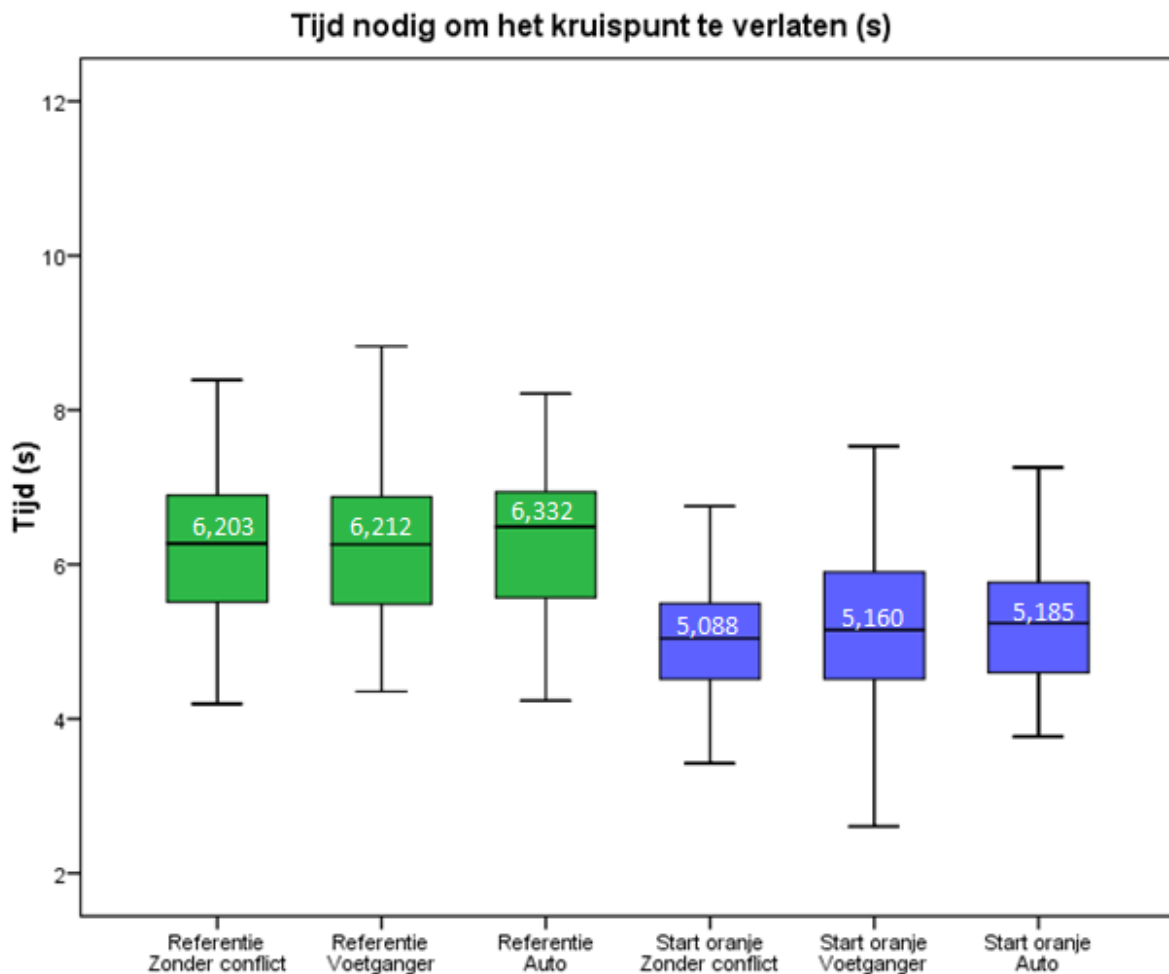
Tabel 7 Post Hoc T-test Startvertraging

		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Zonder conflict	Voetganger	-0,109	0,189	0,759
Zonder conflict	Auto	-0,153	0,065	0,728
Voetganger	Auto	-0,071	0,481	0,687
Start oranje				
Zonder conflict	Voetganger	-0,097	0,121	0,568
Zonder conflict	Auto	-0,162	0,065	0,814
Voetganger	Auto	-0,086	0,308	0,775

7.3.3 Tijd nodig om het kruispunt te verlaten

Als laatste doorstromingsparameter wordt de tijd die nodig is om de andere zijde van het kruispunt te bereiken, geanalyseerd.

Uit de analyses blijkt dat de gemiddelde tijdspanne in het referentiescenario ongeveer 6,249 seconden bedroeg (SD= 0,101). Tijdens het startoranje scenario daalt deze tijdspanne naar 5,144 seconden (SD=0,081), ofwel een afname van ongeveer 1,1 seconde. Merk hierbij op dat dit weinig of geen verschil is met het verschil in startvertraging tussen de twee types verkeerslichtenconfiguratie. Dit wijst erop dat bestuurders hun acceleratiepatroon niet aanpassen.



Figuur 7-3 Tijd nodig om het kruispunt te verlaten

Net zoals bij de startvertraging werd ook hier geen significant verschil opgemerkt tussen de verschillende conflicten. Dit wijst erop dat bestuurders hun acceleratie niet aanpassen aan de aanwezigheid van conflicten. Mogelijk werden de conflicten niet als "ernstig" gedetecteerd door de bestuurders. Merk hierbij ook de grote variatie tussen bestuurders op. Deze variatie kan verklaard worden door het feit dat de acceleratie mede beïnvloed wordt door het gedrag en de rijstijl. Sommige bestuurders accelereren zeer stevig, terwijl andere dit liever rustig aan doen om zo een ecologische rijstijl aan te nemen (Beusen & Denys, 2008).

Net zoals bij de vorige parameters, kan er op basis van **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geconcludeerd worden dat het type verkeerlicht de grootste impact heeft op de vastgestelde reductie.

Samenvattend kan er gesteld worden dat het startoranje scenario de afwikkeling van een kruispunt met ongeveer een seconde versneld. Verder wijst het quasi onbestaand verschil tussen de startvertraging en de tijd nodig om het kruispunt te verlaten erop dat de bestuurders hun acceleratie niet aanpassen tijdens het startoranje scenario. Ook hier werd er geen tijdsverschil opgemerkt tussen de conflicten onderling.

Tabel 8 ANOVA Tijd nodig om het kruispunt te verlaten

	F	Significatie
Type verkeerslicht	154,450	<u>0,000</u>
Type conflict	1,248	0,290
Verkeerslicht x Conflict	0,175	0,830

Tabel 9 Post-Hoc T-test Tijd nodig om het kruispunt te verlaten

		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Zonder conflict	Voetganger	-0,020	0,854	1,022
Zonder conflict	Auto	-0,149	0,175	0,967
Voetganger	Auto	-0,142	0,195	0,957
Start oranje				
Zonder conflict	Voetganger	-0,076	0,477	0,993
Zonder conflict	Auto	-0,091	0,250	0,716
Voetganger	Auto	-0,003	0,976	0,978

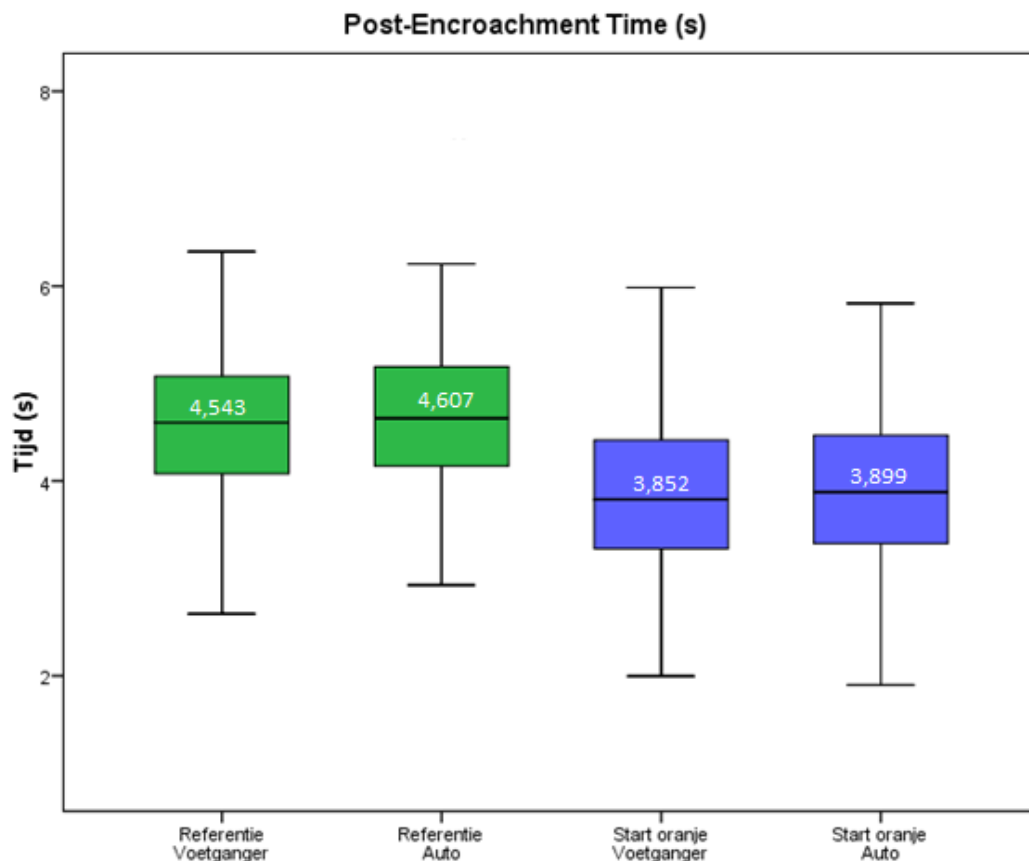
7.4 Verkeersveiligheid

7.4.1 Post Encroachment Time

Eén van de meest gebruikte parameters om de verkeersveiligheid in te schatten is de Post-Encroachment time. Deze capteert de tijd tussen het verlaten van de conflictzone door het eerste voertuig en het binnenkomen van het tweede voertuig in deze zone. De kritische waardegrens voor een ernstig conflict is 1 seconde.

In dit onderzoek werden er twee mogelijke conflicten gesimuleerd: één met een voetganger en één met een auto. Tijdens het referentiescenario werd er een gemiddelde PET-waarde van 4,575 seconden ($SD= 0,097$) gevonden. Tijdens het startoranje scenario daalde deze waarde naar een gemiddelde PET-waarde van 3,876 seconden ($SD= 0,102$).

Merk hierbij ook de uiterste waarden op in onderstaande grafiek: in geen van beide scenario's daalde de PET-waarde onder de 1 seconde, wat erop wijst dat er geen ernstige conflicten werden vastgesteld. Deze vaststelling dient echter met voorzichtigheid behandeld te worden. Rijsimulators kennen een beperkte absolute validiteit waardoor berekeningen met afstanden niet altijd valabele resultaten opleveren.



Figuur 7-4 Post-Encroachment Time

Verder werd er geen significant onderscheid gevonden tussen de verschillende conflicten en wijst het niet-significante interactie-effect erop dat de tendensen binnen de twee scenario's niet significant verschillen.

Samenvattend kan er gesteld worden dat de PET-waarden tijdens het startoranje scenario significant afnemen, maar hierbij geen kritieke waarden aannemen. Er werd verder geen onderscheid gevonden tussen het type conflict. Deze vaststellingen dienen met een zekere graad van voorzichtigheid behandeld te worden omwille van de beperkte absolute validiteit van de rijnsimulator.

Tabel 10 ANOVA Post Encroachment Time

	F	Significatie
Type verkeerslicht	37,228	<u>0,000</u>
Type conflict	0,435	0,512
Verkeerslicht x Conflict	0,014	0,906

Tabel 11 Post Hoc T-Test Post- Encroachment Time

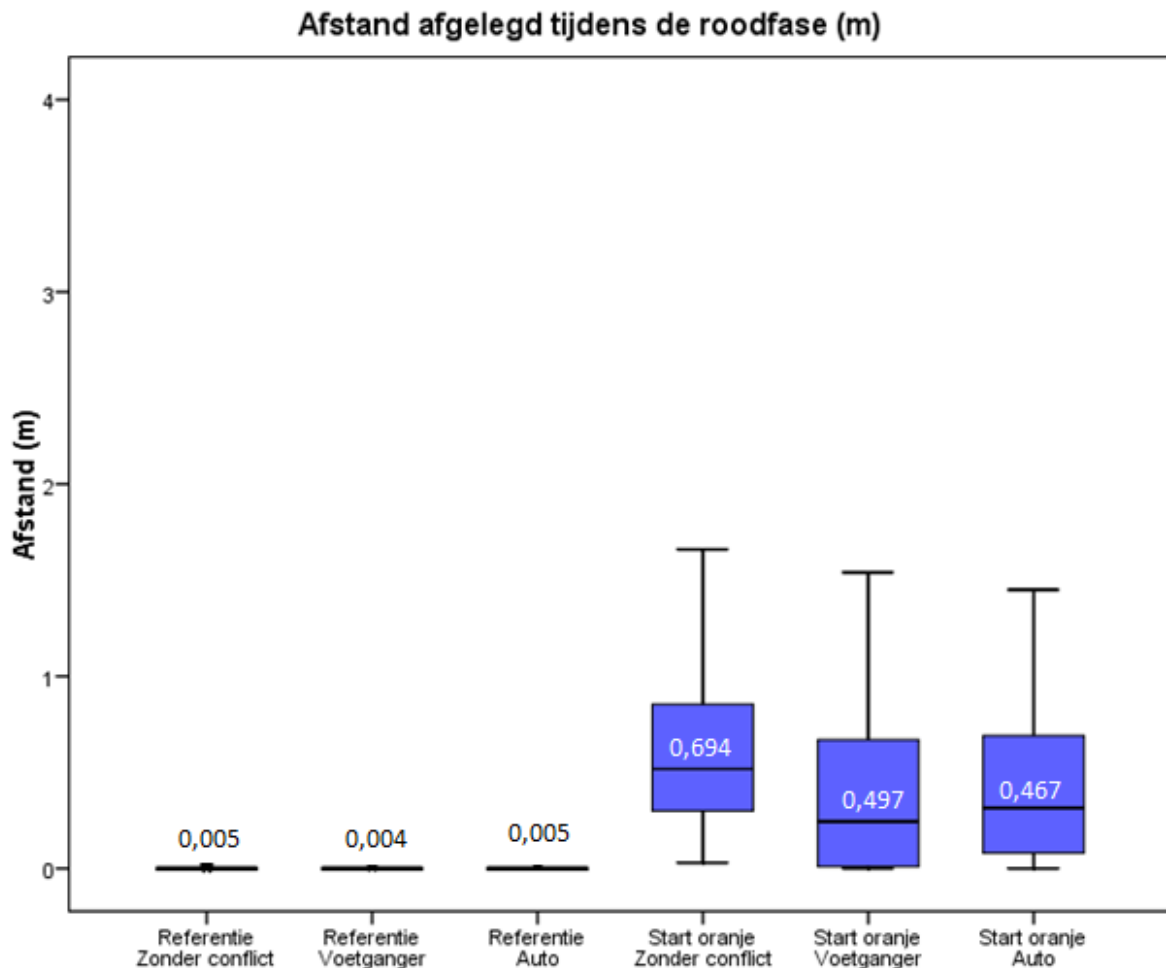
		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Voetganger	Auto	-0,095	0,343	0,899
Start oranje				
Voetganger	Auto	-0,092	0,437	1,023

7.4.2 Afstand afgelegd tijdens de roodfase

Een tweede veiligheidsparameter is de afstand afgelegd tijdens de rood/startoranje fase.

Tijdens het referentiescenario is het normaal dat de bestuurders geen afstand afleggen vermits in dit scenario de groenfase zich plots aandient. Toch zijn er erg kleine afstandswaarden ($M=0,004\text{m}$; $SD= 0,001$) af te lezen in Figuur 7-5. Deze kleine afstanden zijn het gevolg van enkele bestuurders die tijdens de roodfase zich zachtjes lieten uitbollen en nooit echt stil stonden.

Tijdens het startoranje scenario nemen de afgelegde afstanden toe. Ongeacht de aanwezigheid van conflicten nam de afgelegde afstand met ongeveer 0,549 meter ($SD= 0,049$) toe. Deze toename is significant. Merk hierbij op dat geen enkele bestuurder de stopstreep vroegtijdig overschreden heeft.



Figuur 7-5 Afstand afgelegd tijdens de roodfase

Naast het significante verschil in afstanden tussen de twee scenario's, werd er ook een significant verschil vastgesteld tussen de conflicten. Bij een diepere analyse, af te lezen in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** werd vastgesteld dat er enkel een significant afstandsverschil bestaat in het startoranje scenario bij een conflict met een auto. Bij het voordoen van dergelijk conflict legde de bestuurder minder afstand af tijdens de startoranje fase dan wanneer er zich geen conflict voordeed. Bij een conflict met een voetganger werd er geen significant afstandsverschil vastgesteld. De grotere standaard deviatie verklaart hierbij mogelijk de niet-significantie.

Samenvattend kan er gesteld worden dat de bestuurders in het startoranje scenario een significant grotere afstand afleggen tijdens de roodfase dan in het referentie scenario. Verder blijkt dat, bij het voordoen van een conflict met een auto, de bestuurders minder afstand afleggen tijdens de roodfase en zo anticiperen op het conflict.

Tabel 12 ANOVA Afgelegde afstand tijdens roodfase

	F	Significatie
Type verkeerslicht	123,127	<u>0,000</u>
Type conflict	5,696	<u>0,006</u>
Verkeerslicht x Conflict	5,785	<u>0,006</u>

Tabel 13 Post Hoc T-Test Afgelegde afstand tijdens de roodfase

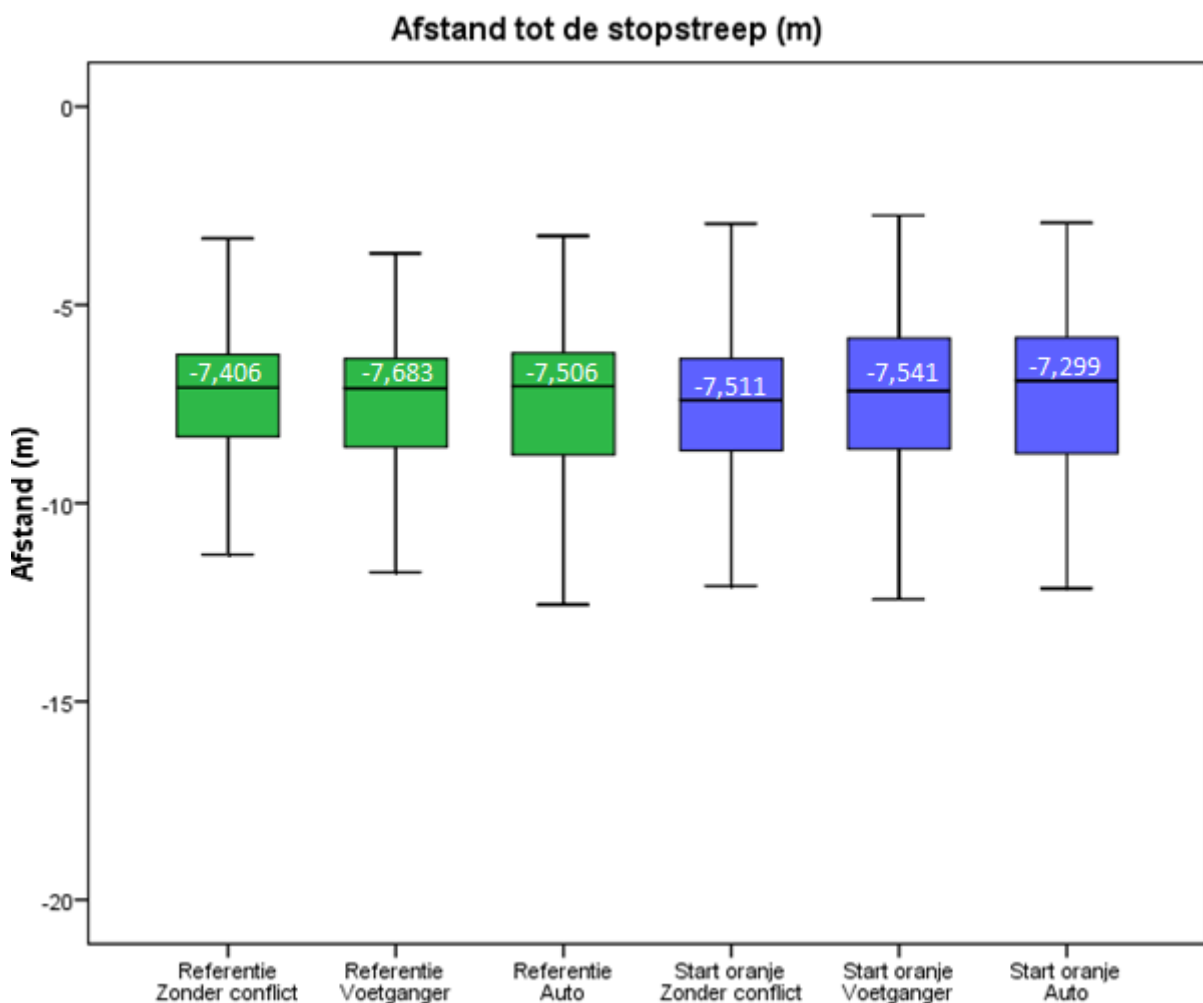
		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Zonder conflict	Voetganger	0,00075	0,617	0,014
Zonder conflict	Auto	0,00029	0,864	0,016
Voetganger	Auto	-0,0007	0,690	0,016
Start oranje				
Zonder conflict	Voetganger	0,152	0,085	0,822
Zonder conflict	Auto	0,228	<u>0,000</u>	0,537
Voetganger	Auto	0,060	0,436	0,705

7.4.3 Afstand tot de stopstreep

Als laatste parameter wordt er gekeken naar hoeveel afstand er wordt gehouden van de stopstreep bij het wachten op de groenfase.

Tijdens het referentiescenario hield de bestuurder, ongeacht de aanwezigheid van een conflict, ongeveer 7,531 meter afstand van de stopstreep terwijl dit in het startoranje scenario 7,450 meter bedroeg. Het kleine verschil tussen de twee scenario's werd niet significant bevonden.

Merk hierbij het verschil op met de praktijktest uitgevoerd door Maxwell (2006). In deze proef werd er een gemiddelde wachtafstand van ongeveer 0,5 meter gevonden. Dit is een groot verschil met de waarden gevonden in de rijnsimulator, wijzend op een beperkte absolute validiteit van de gebruikte rijnsimulator.



Figuur 7-6 Afstand tot de stopstreep

Naast de niet-significantie van de afstand tussen de twee scenario's, werd er ook geen significant verschil opgemerkt tussen de verschillende conflicten. De reden hiervoor is dat de bestuurders op het moment van stilstaan nog niet wisten dat er zich een conflict zou voordoen.

Samenvattend kan er gesteld worden dat zowel de aanwezigheid van een conflict als het type verkeerslicht geen invloed heeft op de afstand waarop bestuurders van de stopstreep blijven wachten. De grote verschillen tussen de praktijktest van Maxwell (2006) en de resultaten gevonden in de rijnsimulator wijzen op een beperkte validiteit van afstandsparementers in de rijnsimulator.

Tabel 14 ANOVA Afstand tot de stopstreep

	F	Significatie
Type verkeerslicht	0,284	0,596
Type conflict	1,073	0,344
Verkeerslicht x Conflict	0,728	0,463

Tabel 15 Post Hoc T-test Afstand tot de stopstreep

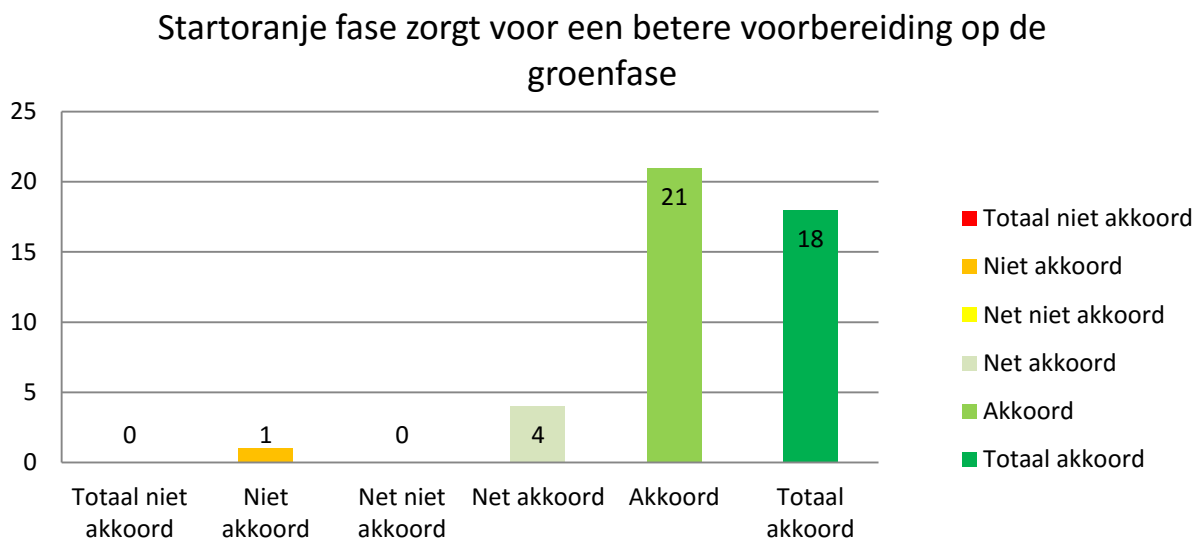
		Gemiddeld verschil	Significantie	Standard deviatie
Referentie				
Zonder conflict	Voetganger	0,277	0,162	1,846
Zonder conflict	Auto	0,100	0,604	1,806
Voetganger	Auto	-0,177	0,495	2,430
Start oranje				
Zonder conflict	Voetganger	0,029	0,871	1,720
Zonder conflict	Auto	-0,212	0,257	1,742
Voetganger	Auto	-0,242	0,184	1,692

7.5 Publieke perceptie

Naast de objectieve gegevens van de rijssimulator werden de meningen en bevindingen van de testpersonen bevraagd voor en na de rijssimulatortest. Deze werden opgedeeld in "perceptie doorstroming" en "perceptie veiligheid".

7.5.1 Perceptie op het vlak van doorstroming

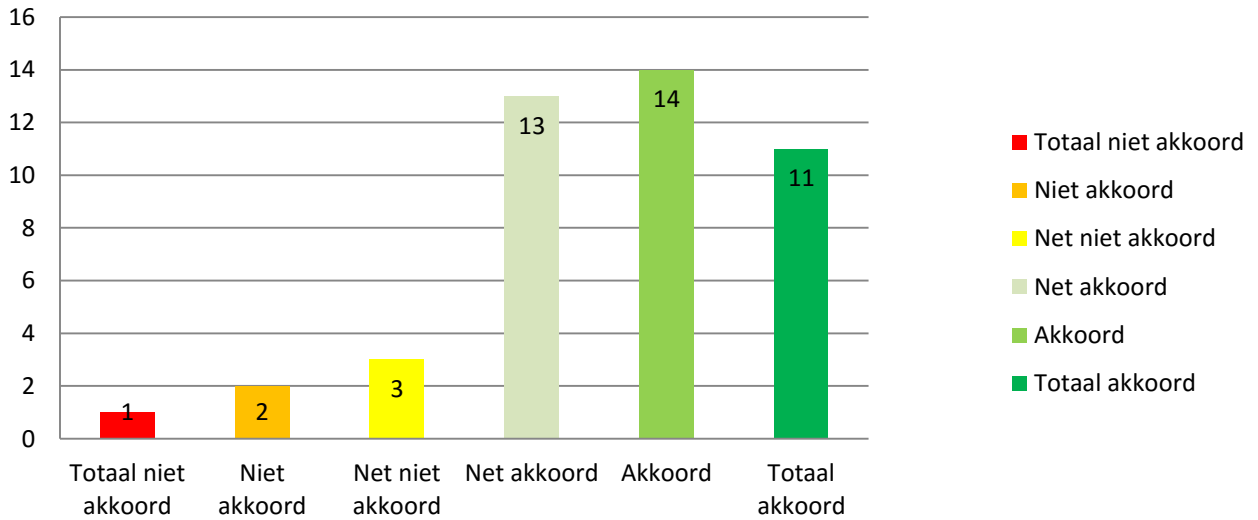
De startoranje fase kende een groot succes bij de testpersonen op het vlak van doorstroming. Zo was er slechts één persoon die niet akkoord ging met het gegeven dat de startoranje fase de eerste bestuurder beter voorbereidt op de groenfase. Deze persoon gaf hierbij aan dat de startoranje fase als verwarrend kon beschouwd worden.



Figuur 7-7 Resultaten bevindingen "Startoranje fase zorgt voor een betere voorbereiding op de groenfase"

Daarop volgend werd er gepolst naar de impact op de afrijcapaciteit. Ook deze stelling werd door het merendeel positief beantwoord, al waren er deze keer ook meer tegenstanders. Deze tegenstanders gaven aan dat de bestuurders vroeger vertrekken, maar trager accelereren, waardoor de tijdswinst mogelijk verloren zal gaan.

Startoranje fase zorgt voor een hogere afrijcapaciteit

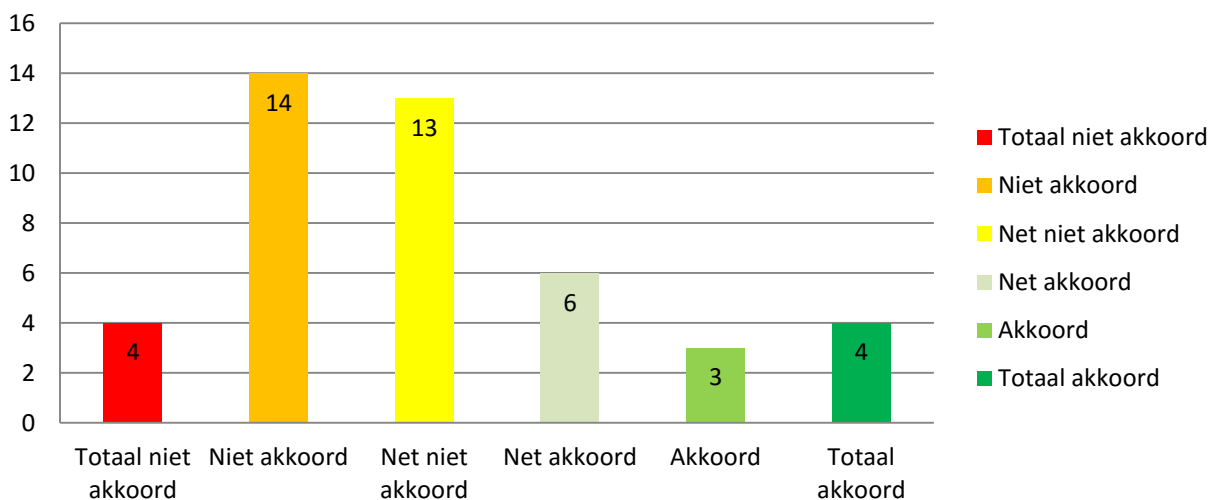


Figuur 7-8 Resultaten bevindingen "Startoranje fase zorgt voor een hogere afrijcapaciteit"

7.5.2 Perceptie op het vlak van veiligheid

In schril contrast met de quasi unanieme positieve meningen op het vlak van de doorstroming, staan de meningen op het vlak van veiligheid. Hieruit blijkt dat de testpersonen vooral aandacht vragen voor de veiligheidsimpact van deze lichtenregeling. De grootste zorg is het feit dat deze verkeerslichten de bestuurders de mogelijkheid bieden om nog voor dat het groen wordt, te vertrekken. De deelnemers vrezen dat dit conflicten met zich mee brengt en het reeds hoog aantal verkeersslachtoffers zal verhogen.

Startoranje fase verhoogt de verkeersveiligheid



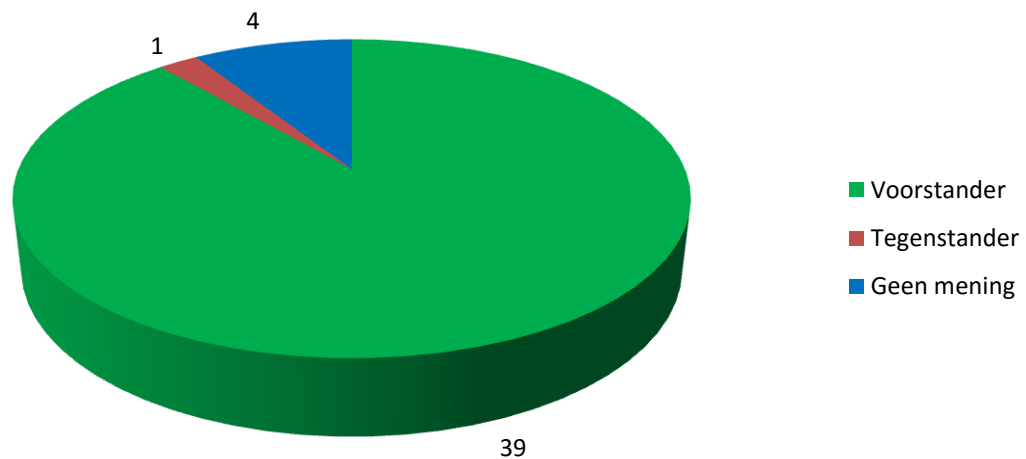
Figuur 7-9 Resultaten bevindingen "Startoranje fase verhoogt de verkeersveiligheid"

7.5.3 Algemene perceptie

Hoewel de testpersonen hun grootste twijfels uiten over de impact op de verkeersveiligheid, blijkt de positieve mening op het vlak van de doorstroming te overheersen. Slechts één persoon was resoluut tegen de implementatie van de startoranje fase in België vanwege het veiligheidsrisico en de mogelijke verwarring bij het gebruik van rood oranje. Deze persoon gaf aan dat oranje gebruikt wordt om de roodfase aan te kondigen, en dus niet opnieuw kon gebruikt worden om de groenfase te starten.

De verbeterde voorbereiding op de groenfase, het snellere vertrek en de verbeterde verkeersafwikkeling werden als redenen aangehaald ten voordele van een implementatie van de startoranje fase in België.

Standpunt tegenover implementatie startoranje fase in België



Figuur 7-10 Algemene bevindingen tegenover de implementatie van de startoranje fase in België

8. Conclusie

Het doel van deze studie was een eerste indicatie te geven van de impact van de startoranje fase in de Belgische verkeerslichtenregelingen. Dit hoofdstuk overloopt de belangrijkste resultaten en legt verbanden bloot.

8.1 Conclusies over doorstroming

Net zoals in de literatuur werden er positieve resultaten bekomen op het vlak van de doorstroming van het kruispunt. Zo bleek dat de bestuurders beter voorbereid worden op de groenfase waardoor ze sneller het gaspedaal kunnen indrukken bij het ingaan van de groenfase. Terwijl de perceptie reactietijd tijdens het referentiescenario nog 653 ms bedroeg, daalden deze naar -894 ms tijdens de startoranje fase. Deze significante afname werd ook zichtbaar in de resultaten met betrekking tot de startvertraging. De startvertragingen tussen de twee verkeerslichtenconfiguraties verschilden ongeveer 1,1 seconden van elkaar, wat in lijn ligt met de resultaten gevonden in de literatuur. Deze tijds winst werd vastgehouden tot het einde van het kruispunt, wat erop wijst dat er geen verschil is in acceleratie tussen de twee scenario's.

Opvallend bij deze resultaten is het feit dat de bestuurder zich slechts beperkt aanpast aan de aanwezigheid van een conflict. Hoewel er nog een significant verschil werd gevonden voor de perceptie reactietijd bij de aanwezigheid van een voetganger of auto, verdween dit significant verschil bij de startvertraging en de benodigde tijd om het einde van het kruispunt te bereiken. Dit wijst erop dat de bestuurder later begint te accelereren bij het voordoen van een conflict, maar vervolgens lichtjes harder accelereert wanneer het conflict verdwenen is.

8.2 Conclusies over verkeersveiligheid

Naast de positieve effecten op de doorstroming werden de effecten op de verkeersveiligheid onder de loep genomen. Hierbij werd er gebruik gemaakt van de post-encroachment time (PET). In het referentiescenario werden PET-waarden van 4.58 seconden gevonden. Deze waarden daalden tijdens het startoranje scenario naar 3,88 seconden waarbij er geen ernstige conflicten werden vastgesteld. Hierbij was er geen onderscheid zichtbaar tussen een conflict met een voertuig en een conflict met een voetganger. Daarnaast gaf het onderzoek aan dat er tijdens het startoranje scenario grotere afstanden werden afgelegd tijdens de rood/roedoranje fase. Nog voor dat het verkeerslicht op groen sprong, hadden de bestuurders ongeveer 0,5 meter afgelegd. Opvallend hierbij was het feit dat indien er zich een conflict met een voertuig voordeed, de bestuurder significant minder afstand aflegde voor het groen werd. Dit wijst op een lichte anticipatie bij het voordoen van conflicten.

De wachtafstand tot de stopstreep werd vervolgens gebruikt om de validiteit van de rijnsimulator in te schatten. Hieruit bleek dat de afstand niet goed werd waargenomen in de rijnsimulator.

De gemiddelde wachtafstand tot de stopstreep bedroeg ongeveer 7,5 meter in de rijnsimulator, hoewel er in tests op terrein wachtafstanden van ongeveer 0,5 meter werden vastgesteld. Deze beperkte validiteit heeft een impact op de vaststelling van de PET-waarden. Doordat afstanden niet goed ingeschat kunnen worden in de simulator, liggen deze gevonden PET-waarden mogelijk hoger dan dat deze in werkelijkheid zouden zijn. **Hierdoor zijn de gevonden PET-waarden in dit onderzoek niet valabel, en kan er op basis van de gevonden waarden geen uitspraak worden gedaan over de impact op verkeersveiligheid.** De doorstromingsparameters en de afgelegde afstand tijdens de roodfase worden niet beïnvloed door deze afwijking waardoor er niet getwijfeld wordt aan de validiteit van deze gegevens.

8.3 Conclusies over perceptie

Voor en na de simulatortest kregen de deelnemers de kans om hun mening te uiten over een mogelijke implementatie van de startoranje fase in België. Hieruit bleek dat het merendeel van de deelnemers dit zag zitten. De belangrijkste redenen hiervoor waren de verhoogde doorstroming, de verbeterde voorbereiding op de groenfase en het versnelde vertrek. Toch uitten de deelnemers hun bezorgdheid over het veiligheidsaspect. Men verwacht dat het aantal conflicten zal toenemen, net door de verbeterde voorbereiding. Hierdoor kunnen bestuurders nog tijdens de roodfase vertrekken en in conflict komen met andere kruisende weggebruikers. Toch overheerst een positief gevoel tegenover de startoranje fase.

8.4 Beantwoording van onderzoeksvragen

Nu alle resultaten verzameld en geanalyseerd zijn, is het tijd om de algemene balans van het onderzoek op te stellen, aan de hand van de hypotheses.

De eerste hypothese, namelijk dat de startoranje fase de startvertraging vermindert, kan op basis van de simulatortest aanvaard worden. Uit de resultaten blijkt dat de startoranje fase de startvertraging met ongeveer 1,1 seconde doet afnemen en dat deze afname significant is.

De tweede hypothese kan echter niet aanvaard worden. Tijdens de simulatortest werden er geen vroegtijdige overschrijdingen vastgesteld. Deze niet-aanvaarding moet echter met een bepaalde vorm van voorzichtigheid benaderd worden. Het gaat hier over een experiment onder het toezicht van de onderzoeker waardoor het mogelijk is dat bestuurder sociaal wenselijk gedrag vertoonden. Daarnaast werd de afstand in de rijnsimulator niet goed ingeschat waardoor bestuurders verder van de stopstreep bleven wachten. Door deze foute afstandsinschatting kunnen er geen valabele uitspraken gedaan worden over de verkeersveiligheid en de vroegtijdige overschrijdingen van de stopstreep.

De derde stelling levert een aanvaarde hypothese op. Uit de resultaten blijkt dat, bij het voordoen van een conflict, de bestuurder significant trager reageert en minder afstand aflegt tijdens de startoranje fase, dan wanneer er zich geen conflict voordoet. Opvallend hierbij was dat een mogelijk conflict met een voertuig een grotere impact heeft op het gedrag van de bestuurder dan wanneer er zich een conflict voordoet met een voetganger.

Tijdens het onderzoek werden er geen vroegtijdige overschrijdingen van de stopstreep vastgesteld. Dit kwam echter wel naar voor in de literatuur waardoor de vierde hypothese niet aanvaard kan worden. Merk hierbij opnieuw op dat de sociale wenselijkheid en het ontbreken van een correcte afstandsinschatting een belangrijke impact hebben.

De deelnemers staan volledig achter de implementatie van de startoranje fase in België, maar uiten toch hun bezorgdheid over de mogelijke impact op de verkeersveiligheid. Toch blijft het algemeen standpunt positief waardoor hypothese vijf aanvaard kan worden.

Tabel 16 Evaluatie van hypothesen

	Hypothese	Resultaat
H1	<i>Startoranje fase vermindert de startvertraging.</i>	Aanvaard
H2	<i>Bij het ingaan van de groenfase is een groot deel van de bestuurders de stopstreep reeds voorbij gereden, indien de startoranje fase wordt geïmplementeerd.</i>	Niet aanvaard
H3	<i>De eerste bestuurder stelt zijn vertrek uit indien deze merkt dat de voorliggende verkeerssituatie mogelijk resulteert in conflicten met overstekende voetgangers en voertuigen</i>	Aanvaard
H4	<i>Er zijn geen verschillen tussen de literatuur en de resultaten van het onderzoek</i>	Niet aanvaard
H5	<i>De publieke opinie staat positief tegenover een implementatie van een startoranje fase</i>	Aanvaard

9. Discussie

Vermits dit het eerste Belgisch onderzoek is naar de implementatie van de startoranje fase in verkeerslichtenregelingen, dienden er verschillende beperkingen te worden ingebouwd. In dit onderdeel worden de belangrijkste discussiepunten aangehaald die welke een basis kunnen vormen voor verder onderzoek.

Omwille van het juridisch kader kon er geen praktijkonderzoek worden uitgevoerd maar werd er gebruik gemaakt van een rij simulator. Hierdoor kan deze studie enkel een eerste indicatie geven van het effect van een startoranje fase. Uit onderzoek blijkt dat een rij simulator over een beperkte absolute validiteit beschikt maar wel een goede relatieve validiteit bezit (Kaptein e.a., 1996). Deze stelling werd ook bevestigd door de testpersonen: zij gaven aan dat het moeilijk was om de snelheid en de afstand juist te schatten. Dit kwam ook naar voren uit de resultaten, waaruit bleek dat de testpersonen meer dan zeven meter van de stopstreep stonden, terwijl deze het gevoel hadden dat ze op de stopstreep stonden. Dit verschil in afstanden heeft bijgevolg een weerslag op de Post-Encroachment Time die welke niet kan gebruikt worden om betrouwbare uitspraken te doen over de impact op verkeersveiligheid.

Door gebruik te maken van een observatietest waarbij de testpersoon weet dat de resultaten worden bijgehouden, bestaat de kans dat men sociaal wenselijk gedrag zal vertonen. De testpersonen willen hierbij positief uit de test komen en zullen zich mogelijk anders gedragen dan in werkelijkheid het geval is. Hierdoor reflecteert deze studie mogelijk niet het echte gedrag van de testpersonen.

De gebruikte scenario's kennen verder ook enkele beperkingen. Zo was er geen interactie met verkeer dat in dezelfde richting als de testpersoon reed en stond de testpersoon steeds als eerste aan het verkeerslicht. Dit resulteerde in een niet-complexe rijomgeving waardoor de testpersoon al zijn/haar aandacht op de verkeerslichten kon richten. Daarnaast werd er gebruik gemaakt van een automatische versnellingsbak. Deze combinatie zorgden ervoor dat er scherpe reactietijden konden worden waargenomen.

Verder zorgt de aanwezigheid van een groot aandeel jongeren en de afwezigheid van ouderen (70+) ervoor dat deze testgroep niet volledige de Vlaamse bevolking representeert. Maar gezien de korte tijdsperiode voorhanden en het ontwerp van de test volstond deze testgroep om een eerste indicatie te geven van de effecten.

Ten slotte dient er aangegeven te worden dat het hier gaat over een studie waarbij de testpersonen één dag werden onderworpen aan de verkeerslichtenregelingen. Hierdoor kunnen er geen uitspraken gedaan worden over de lange termijn effecten van deze verkeerslichtenregelingen.

10. Verder onderzoek

Gezien het doel van het onderzoek om een eerste indicatie te geven van de effecten van de startoranje op de verkeersdoorstroming en de verkeersveiligheid, worden er in dit onderdeel enkele aspecten aangegeven die welk interessant zijn om verder te onderzoeken.

De grootste beperking is het gebruik van een rijnsimulator. Gezien de aanwezige wetgeving en het beperkte budget en tijd, was een rijnsimulator het interessantste middel om deze studie uit te voeren. Om diepere analyses uit te voeren met een grotere populatie wordt er voorgesteld om gebruik te maken van een praktijk onderzoek op terrein. In dit soort onderzoeken wordt de feitelijke populatie onderzocht en niet een beperkte testpopulatie. Het onderzoek vindt daarbij ook plaats in een normale, complexere omgevingen waardoor er meer waarheidsgetrouwe resultaten gegenereerd kunnen worden. Dit is vooral interessant om het veiligheidsluik van de startoranje fase te onderzoeken vermits de rijnsimulator geen valabele resultaten kan bieden wegens de beperkte absolute validiteit. Dit maakt het verder ook mogelijk om de lange termijneffecten van de lichtenconfiguratie onder de loep te nemen. Het nadeel van dit onderzoek is uiteraard de kostprijs en de complexiteit van de dataverzameling.

Naast het praktijkonderzoek bestaat er de mogelijkheid om verder te bouwen op het onderzoek in de rijnsimulator. Zo werd er gekozen om in dit onderzoek de rijomgeving eerder eenvoudig te houden. Verder onderzoek kan de complexiteit verhogen en onderzoeken wat de impact van de startoranje fase is wanneer men bijvoorbeeld in een stadsomgeving rijdt of wanneer er interacties plaatsvinden met verkeer dat zich in dezelfde rijrichting afwikkelt. Daarnaast lijkt het ook interessant om een onderzoek te doen met een manuele versnellingsconfiguratie vermits er in eerdere studies een hogere perceptie reactietijd werd gevonden bij het gebruik van een manuele versnellingsconfiguratie (van Haperen e.a., 2016).

Naast het verhogen van de complexiteit, kunnen de verschillende configuraties van de startoranje fase verder onderzocht worden. In deze studie werd er enkel gebruik gemaakt van een startoranje fase van 2 seconden. Verder onderzoek kan zich ook richten op een kortere startoranje fase en de impact hiervan vergelijken met de impact gevonden in dit onderzoek.

Zoals eerder aangehaald, is het ook belangrijk om de lange termijneffecten van de startoranje fase te onderzoeken. Tijdens dit onderzoek werden de meeste bestuurders voor de eerste keer geconfronteerd met de startoranje fase waardoor deze bestuurders nog niet gewoon waren aan deze configuratie. Na meerdere confrontaties wordt de bestuurder gewoon aan deze verkeerslichten waardoor de bestuurder meer gaat anticiperen en gewoontegedrag zal vertonen. De vraag is natuurlijk of dit gewoontegedrag overeenkomt met het gedrag gevonden tijdens de eerste confrontatie.

Naast deze aanwijzingen tot verder onderzoek met betrekking tot de scenario's en de configuratie ervan, kan er verder gekeken worden dan naar enkel de startoranje fase. In 2016 publiceerde Goudappel Coffeng een onderzoek naar de stoporanje tijden. Hieruit kwam naar voren dat, indien de stoporanje fase met een halve seconde toeneemt, het aantal roodlichtnegaties sterk afnam (Goudappel Coffeng, 2016). Dit is uiteraard erg positief voor de verkeersveiligheid en bijgevolg ook voor de startoranje fase. Doordat tijdens de startoranje fase de eerste bestuurders vroeger vertrekken, verhoogt de kans op een conflict met bestuurders van de kruisende richting die het ingaan van de roodfase fout hebben ingeschat. Verder onderzoek kan de impact van een langere stoporanjetijd mee verwerken in de impact van de startoranje fase.

11. Bronnen

- Agent, K., & Crabtree, J. (1983). *Analysis of lost times at signalized intersections* (p. 38). University of Kentucky. Geraadpleegd van http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1970&context=ktc_researchreports
- Agentschap Wegen en verkeer. (2009, mei). *Vademecum: Veilige wegen en Kruispunten*. Kluwer.
- Ariën, C., Jongen, E. M., Brijs, K., Brijs, T., Daniels, S., & Wets, G. (2013). A simulator study on the impact of traffic calming measures in urban areas on driving behavior and workload. *Accident Analysis & Prevention*, 61, 43–53.
- Ashman, A. (2006, maart 7). H2G2 - Traffic Lights in the UK - Edited Entry. Geraadpleegd 31 oktober 2015, van http://h2g2.com/edited_entry/A9559407
- Auto55. (2015). Top 10 bestsellers in Europa. Geraadpleegd van <http://www.auto55.be/nieuws/25411-top-10-bestsellers-in-europa>
- Baarda, B., & de Goede, M. (2006). *Basisboek Methoden en Technieken* (Vierde). Noordhoff Uitgevers.
- Bester, & Varndell. (2002). *The 21st Annual South African Transport Conference, 15-18 July, 2002 towards building capacity and accelerating delivery*. Pretoria: CSIR.
- Beusen, B., & Denys, T. (2008). *Verband tussen rijparameters en verkeersveiligheid* (p. 60). Diepenbeek: Steunpunt Mo biliteit & Openbare Werken. Geraadpleegd van <http://www.steunpuntverkeersveiligheid.be/sites/default/files/RA-MOW-2008-003.pdf>

- Caelen, E. (2015, november 23). Startoranje fase België.
- De Jong, A., & Vandenbroele, H. (2003). *Inleiding wetenschappelijk onderzoek voor het gezondheidsonderwijs*. Elsevier.
- De Jong, M., Gysen, G., Petermans, A., & Daniëls, S. (2007). Technieken voor de observatie en analyse van verkeersconflicten: Literatuurstudie.
Geraadpleegd van
<https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/handle/1942/16369>
- Explorable. (z.d.). Within Subject Design - Repeated Measures Design.
Geraadpleegd 17 december 2015, van <https://explorable.com/within-subject-design?gid=1580>
- Gewestelijke Planningscommissie. (2013). *Ontwerp Mobiliteitsplan Vlaanderen* (Vols. 1–2). Departement Mobiliteit en Openbare Werken. Geraadpleegd van <http://www.mobiliteitsplanvlaanderen.be/ontwerp-globaal.pdf>
- Goudappel Coffeng. (2016). *Onderzoek geeltijden*.
- IMOB. (z.d.). Rijsimulatoronderzoek. Geraadpleegd 28 november 2015, van <http://www.uhasselt.be/UH/imob/IMOB-Onderzoek/IMOB-Onderzoek-Verkeersveiligheid-Rijsimulatoronderzoek.html>
- Jersey Road Safety. (z.d.). Ch.6 Lights & Signals | Jersey Safe Roads.
Geraadpleegd van <http://jerseysaferoads.com/cycling/lights-signals/>
- Kaptein, N., Theeuwes, J., & Van Der Horst, R. (1996). Driving simulator validity: Some considerations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1550), 30–36.
- Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1637–1646.
<http://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021>

- Legislation UK. The Traffic Signs Regulations and General Directions 2002 (2002). Geraadpleegd van <http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2002/3113/part/I/crossheading/light-signals-and-warning-lights/made>
- MacDonald, W. (1978). Effects of varying periods of red-plus-amber on drivers starting response times at a traffic signal. *Australian road research*, (8), 68–69.
- Maxwell, A., & York, I. (2006). Review of the red to green sequence at traffic signals. *Traffic engineering and control*, 253–261.
- McGill, W. (1970). Optimising the use of amber in traffic signals. *Proceedings of 5th ARRB Conference*, 95–110.
- Noyce, D., Fambro, D., & Kacir, K. (2000). Traffic characteristics of protected/permitted left-turn signal displays. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1708), 28–39.
- Older, S. (1963). Omission of the red/amber period at traffic signals. *Traffic engineering and control*, 414–417.
- Seneviratne, J. (1974). *Omission of the starting amber at traffic light signals - a before and after study*. H.K.
- STISIM. (z.d.). Car Driving Simulator & Simulation Software - STISIM Drive. Geraadpleegd 2 december 2015, van <http://www.stisimdrive.com/>
- Transport of Londen. (z.d.). Design Standards for Signal Schemes in London. Mayor of London. Geraadpleegd van <http://content.tfl.gov.uk/design-standards-signal-schemes.pdf>
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. National Academy of Science.

Triggs, T. J., Harris, W. G., Monash University, Department of Psychology, Australia, & Office of Road Safety. (1982). *Reaction time of drivers to road stimuli*. Clayton, Vic.: Human Factors Group, Dept. of Psychology, Monash University.

US Department of Transportation. (2013, augustus 2). Chapter 3: Operational and safety analysis. Federal Highway Administration. Geraadpleegd van <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter3.htm>

van Haperen, W., Pirdivani, A., Brijs, T., & Bellemans, T. (2016). Evaluating Traffic Safety and Performance Effects of Countdown Timers on Signalized Intersections: A Driving Simulator Study, *Advances in Transportation studies*, *S38*, p. 7–22.

Wegcode. Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg. (1975).

Geraadpleegd van

<http://wegcode.be/wetteksten/secties/kb/wegcode/243-art61>

12. Bijlage 1: Vragenlijst

Beste proefpersoon

ID-nr:

Gelieve dit document in te vullen in afwachting dat u wordt opgehaald door de onderzoeker. Indien er een vraag onduidelijk is, kunt u deze open laten en de onderzoeker zal alle vragen met u overlopen.

Bedankt voor de medewerking

Algemene informatie

1. Geslacht? Man
 Vrouw
2. Geboortedatum? / / (dag/maand/jaar)
3. Nationaliteit
- Belg
 Andere, namelijk:
4. Wat is uw hoogst voltooide opleiding (met diploma)?
- Lager onderwijs
 Lager middelbaar onderwijs
 Hoger middelbaar onderwijs
 Hoger onderwijs, niet universitair
 Hoger onderwijs, universitair onderwijs
 Ander:.....
5. Welk type rijbewijs bezit u en sinds wanneer?
- B, sinds (jaartal)
 C, sinds (jaartal)
 D, sinds (jaartal)
6. Hoeveel kilometers legt u gemiddeld per jaar af?

- 0 tot 4.999km
- 5.000 tot 9.999km
- 10.000 tot 14.999km
- 15.000 tot 19.999km
- 20.000 tot 25.000km
- Meer dan 25.000km

7. Draagt u een bril of contactlenzen tijdens het besturen van een wagen?

- Ja
- Nee

8. Rijdt u meestal handgeschakeld of via automatische versnelling?

- Handgeschakeld
- Automatisch

9. Heeft u reeds ervaring met de startoranje fase?

- Nee
- Ja, ik ben deze tegenkomen in (land)

Post-bevraging

ID-nr:

1. Vond u dat uw rijgedrag in de simulator als volgt overeenkwam met uw rijgedrag in de werkelijkheid

- Min of meer overeenkwam
- Enigszins afweek
- Sterk afweek

Indien uw gedrag afweek, op welke punten week uw gedrag af?

.....
.....

2. Gaat u akkoord/niet akkoord met volgende stellingen?

De startoranje fase zorgt dat u sneller kan reageren op de groenfase.

Niet akkoord 1 2 3 4 5 6 *Akkoord*

De startoranje fase zorgt ervoor dat u meer tijd heeft om zich voor te bereiden op de groenfase.

Niet akkoord 1 2 3 4 5 6 *Akkoord*

De startoranje fase zorgt ervoor dat het aantal voertuigen dat tijdens elke groenfase kan doorrijden, toeneemt.

Niet akkoord 1 2 3 4 5 6 *Akkoord*

De startoranje fase zorgt dat de verkeersveiligheid toeneemt

Niet akkoord 1 2 3 4 5 6 *Akkoord*

3. Wat is volgens u het grootste voordeel van de startoranje fase?

.....
.....
.....

4. Wat is volgens u het grootste nadeel van de startoranje fase?

.....
.....

.....

5. Hoe staat u tegenover een implementatie van de startoranje fase in België?

Ik ben voorstander, want

.....

.....

Ik ben ertegen, want

.....

.....

Geen mening

6. Heeft u nog opmerkingen?

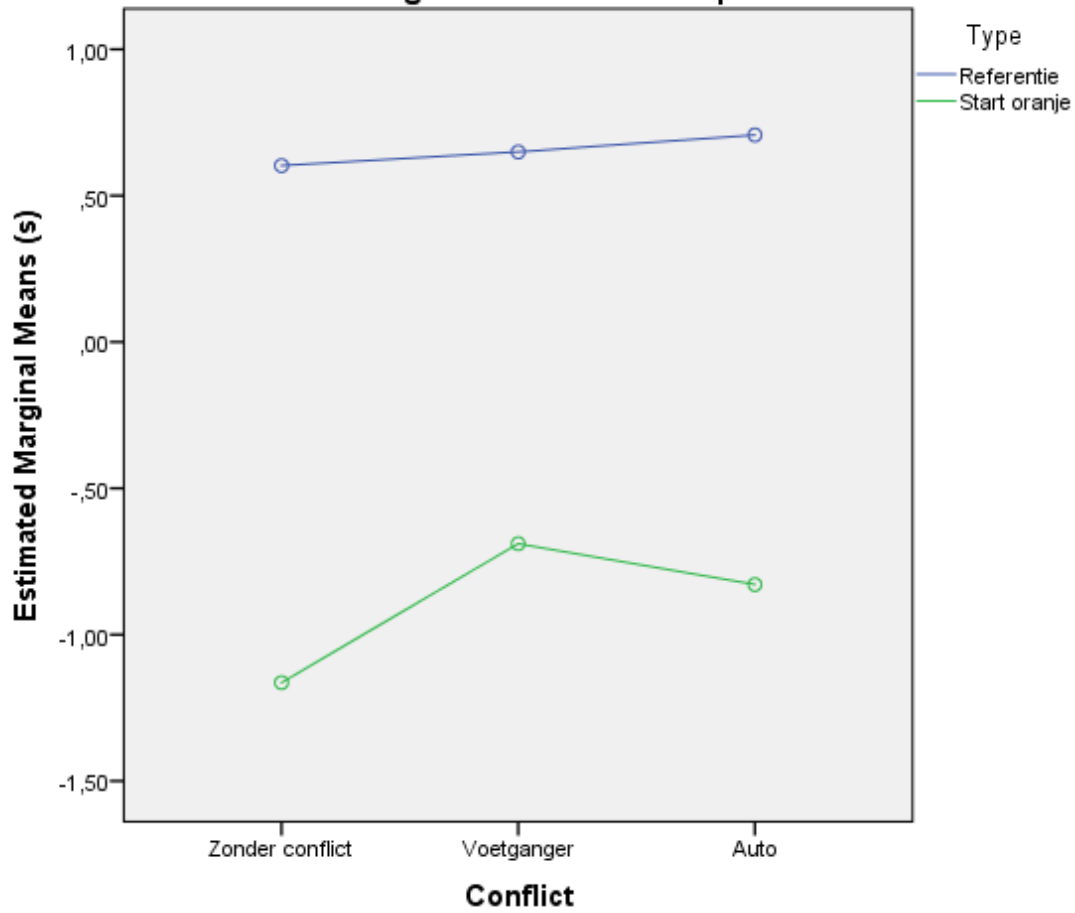
.....

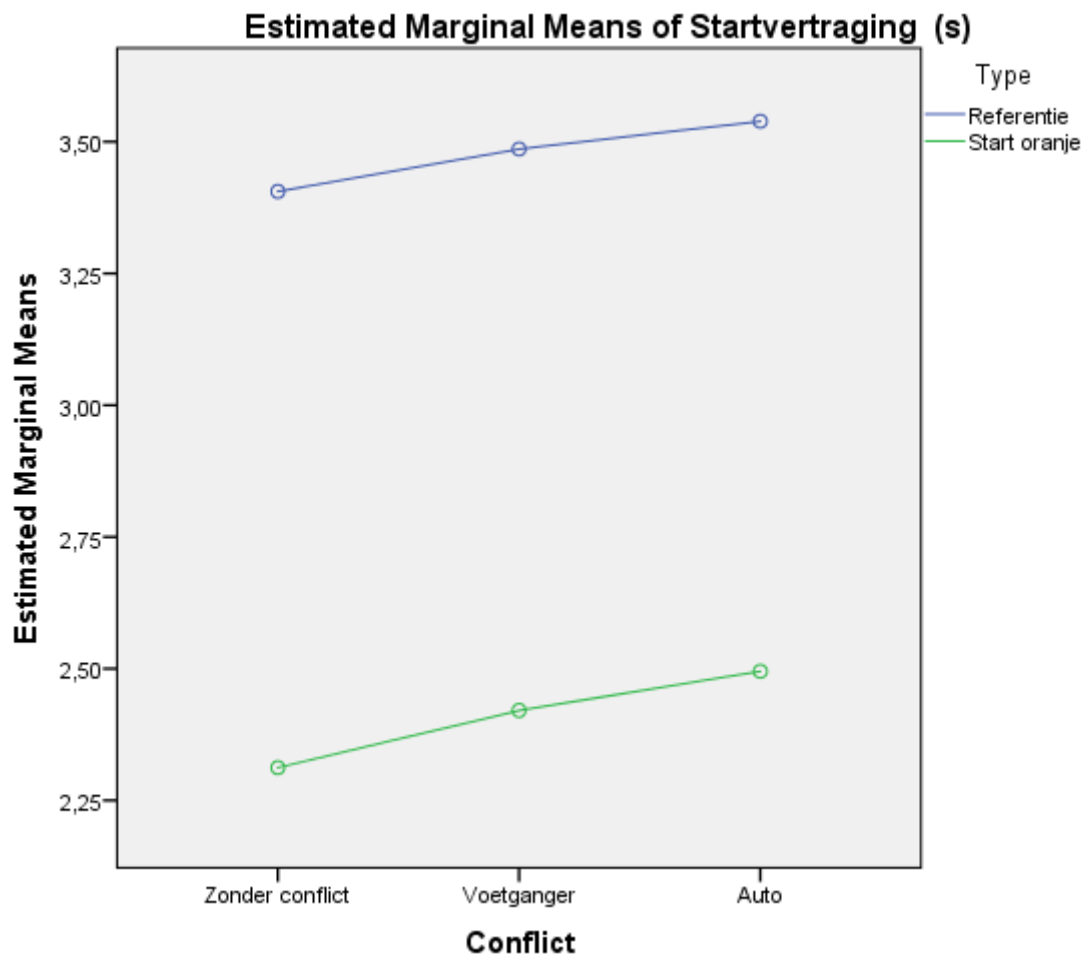
.....

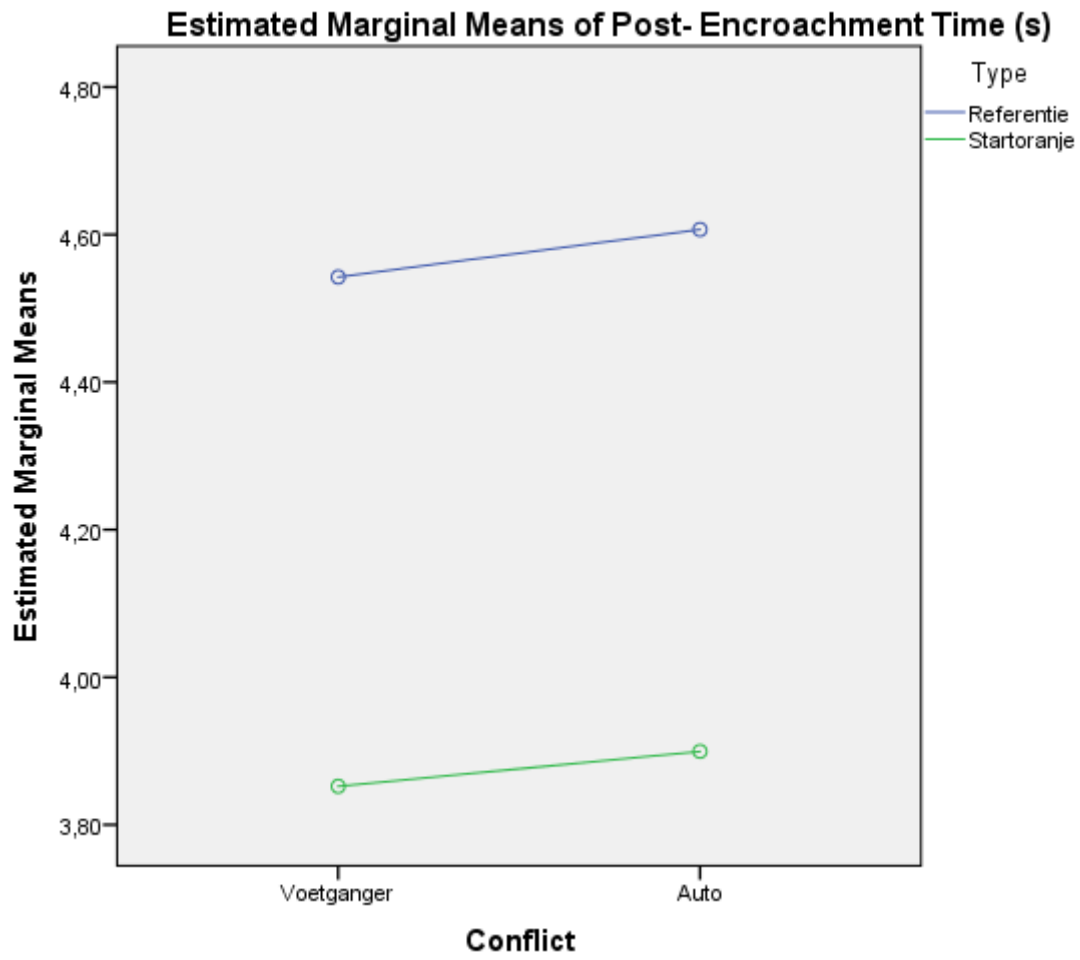
.....

13. Bijlage 1: Extra grafieken resultaten

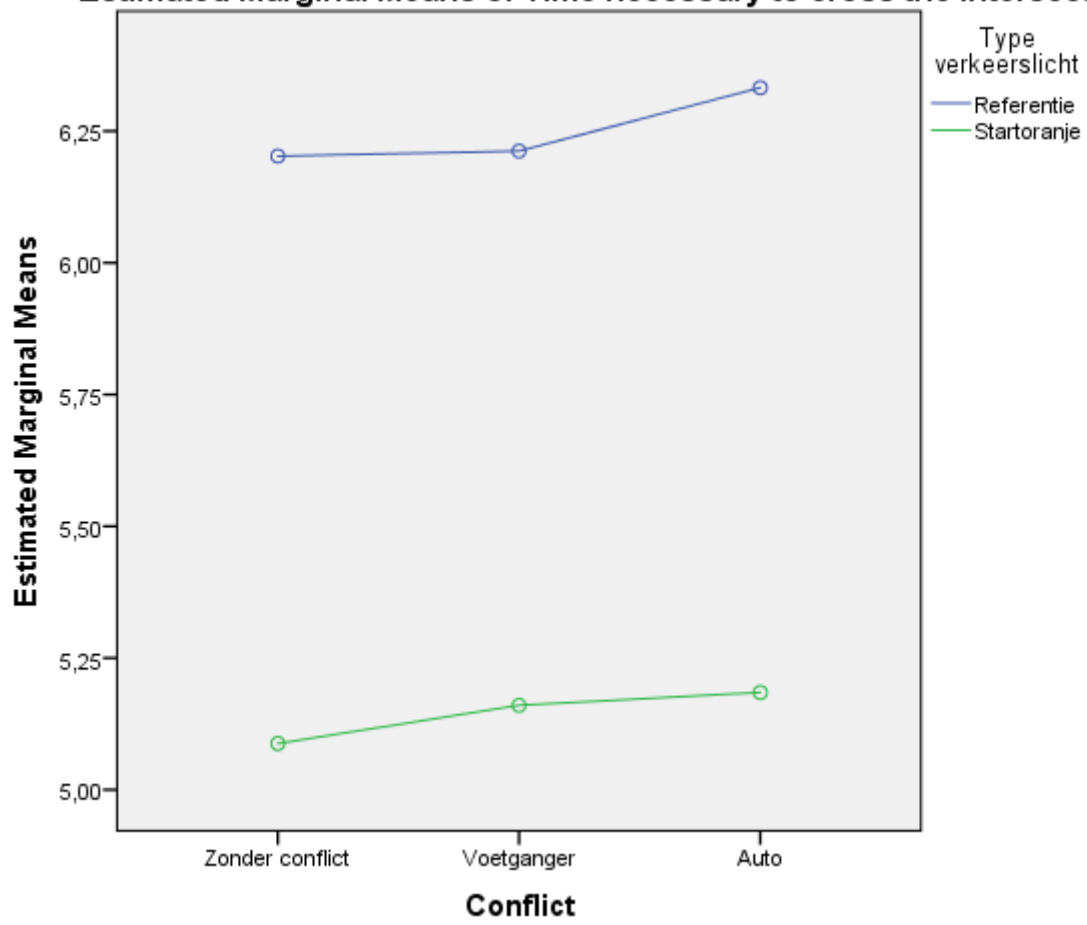
Estimated Marginal Means of Perception Reaction Time



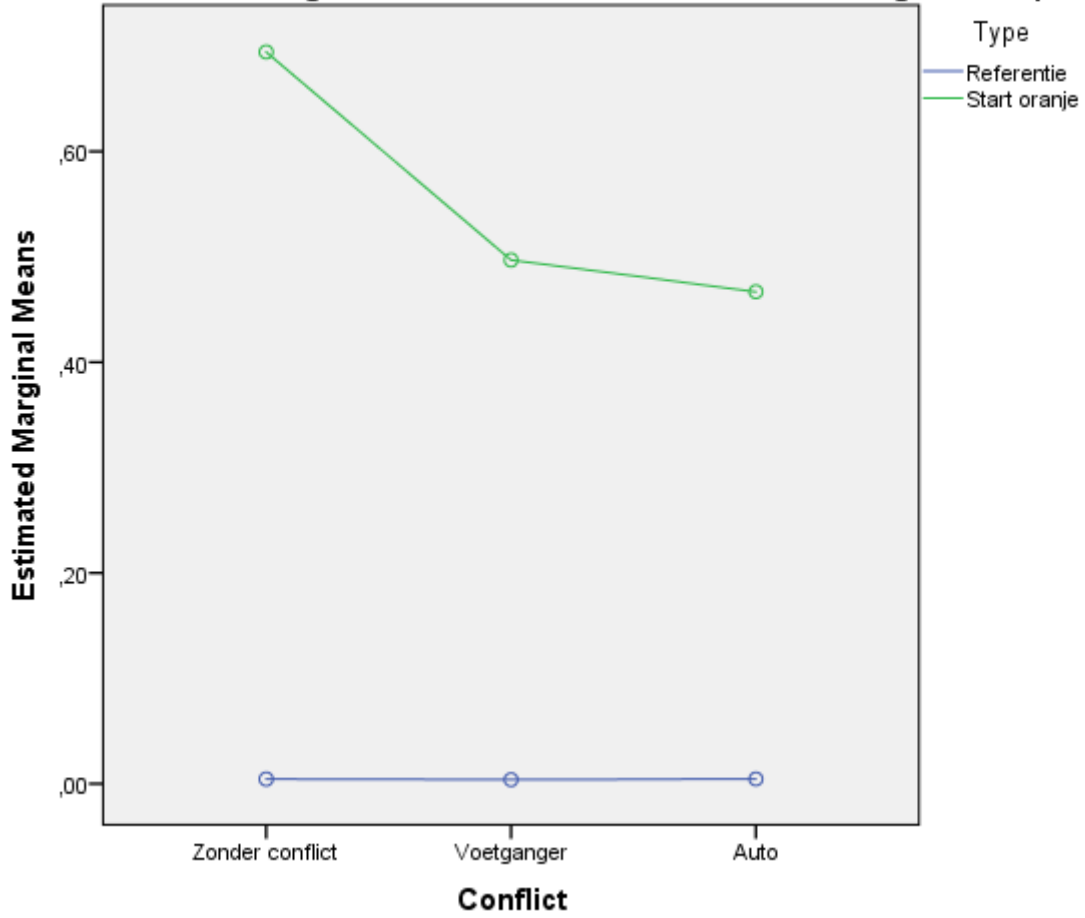


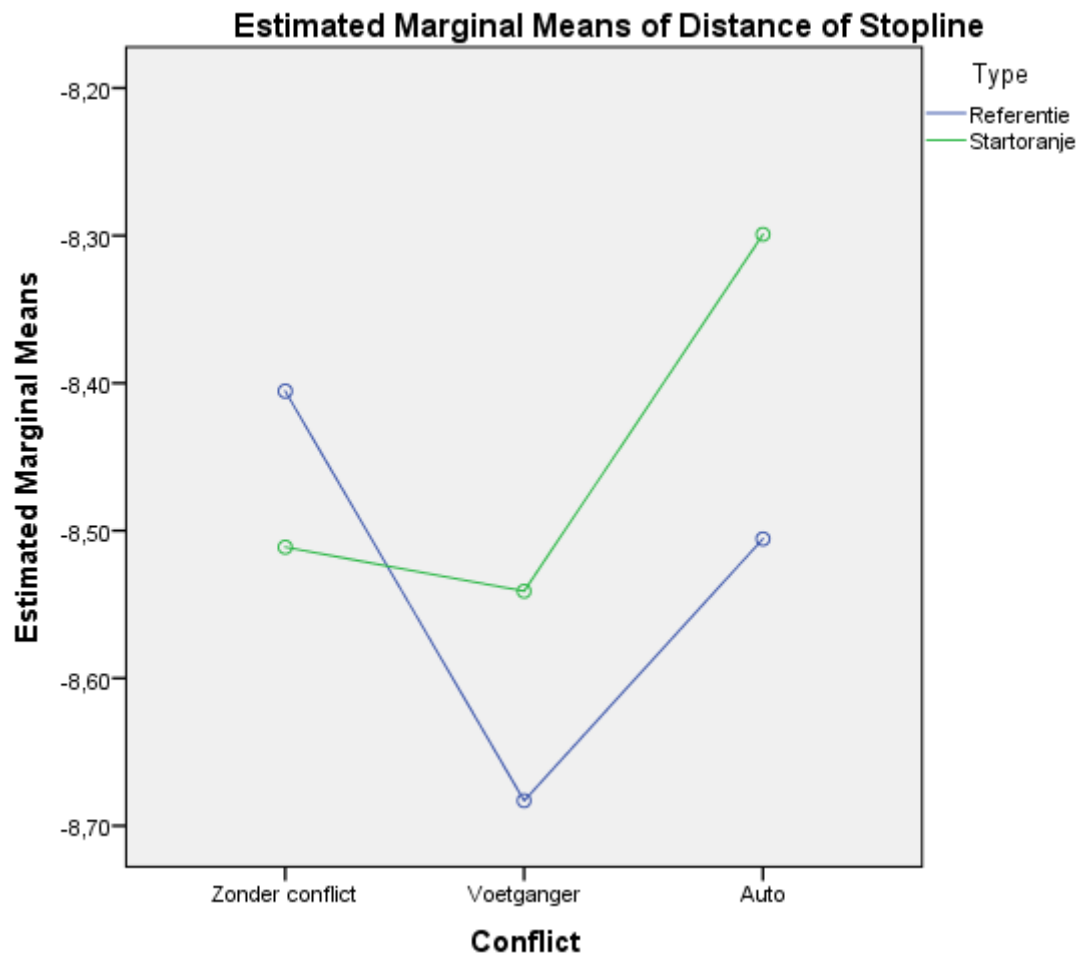


Estimated Marginal Means of Time necessary to cross the intersection



Estimated Marginal Means of Distance travelled during the red phase





Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Het Startoranje-Model: Effecten op Doorstroming en Verkeersveiligheid

Richting: **master in de mobiliteitswetenschappen-verkeersveiligheid**
Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Spelmans, Brent

Datum: **4/06/2016**