

2017 • 2018  
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

## Masterthesis

De invloed van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichten geregelde kruispunten

PROMOTOR :  
prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

COPROMOTOR :  
dhr. Wouter VAN HAPEREN

Jordy Albert, Olivier Horckmans

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



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



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

## Masterthesis

De invloed van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichten geregelde kruispunten

**PROMOTOR :**

prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

**COPROMOTOR :**

dhr. Wouter VAN HAPEREN

**Jordy Albert, Olivier Horckmans**

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



**KU LEUVEN**



## Woord vooraf

In de laatste fase van de masteropleiding Industriële Ingenieurswetenschappen dienen de studenten een masterproef voor te dragen. De studenten hebben de keuze uit een lijst van onderwerpen. Er wordt dieper ingegaan op het gekozen onderwerp door middel van een literatuurstudie, maar vooral door een onderzoek uit te voeren. Hierin tracht men een antwoord te vinden op de onderzoeksvraag van het desbetreffende onderwerp.

Het onderzoek gekoppeld aan deze masterproef werd uitgevoerd door twee medestudenten. De literatuurstudie vond plaats in het eerste semester, waarna het eigenlijke onderzoek vooral in semester twee gebeurde. Onze gemeenschappelijke interesse in het wegennet en alle bijhorende verkeersinfrastructuren zorgde ervoor dat dit onderzoek met volle overgave werd uitgevoerd. Verder was de drang om iets bij te brengen aan de veiligheid in het verkeer de grootste motivatie. Wij hopen dan ook dat dit onderzoek, en bijgevolg het eindbesluit, hieraan voldoen.

Dit onderzoek was uiteraard niet mogelijk zonder de hulp en ervaring van enkele personen. Veel dank gaat daarom uit naar onze promotor, prof. dr. ir. A. Pirdavani. Zonder de kennis en ervaring omtrent simulatorstudies, waarover hij beschikt, was deze studie te complex voor de studenten om te analyseren. Door het gezamenlijke discussiëren over de doelen en methodes bracht hij ons in de juiste richting. De kritische feedback en tips die hij gaf waren cruciaal om dit onderzoek tot een succesvol einde te brengen.

Hiernaast hebben we ook veel te danken aan onze copromotor de heer W. van Haperen. Het feit dat wij altijd terecht konden bij hem voor technische vragen omtrent de codering van de simulator, dataverwerking en gehele structuur van het onderzoek, zorgde ervoor dat tal van beginnersfouten vermeden werden. Ook verkregen wij uitgebreide feedback over de scriptie. Hiernaast gaat er ook dank uit naar de heer M. Geraerts, die hulp bood bij het omzetten van de ruwe output data van de simulator naar werkbare Excel files.

Tenslotte willen wij al de proefpersonen bedanken die vrijwillig deelnamen aan de simulatorstudie. Vrienden, familie en medestudenten steunden ons enorm door interesse te tonen in ons onderzoek. Ze hielpen ons de nodige data verwerven en namen de studie ernstig. De kwaliteit van de resultaten is daarom volledig aan hen te danken. Om af te sluiten willen wij als onderzoekers ook elkaar bedanken. De goede samenwerking en de wederkerige motiverende factor zorgde voor een aangename en productieve sfeer doorheen het onderzoek.



# Inhoudsopgave

Woord vooraf .....	1
Lijst van tabellen .....	7
Lijst van figuren .....	9
Abstract .....	11
Abstract in English .....	13
1. Inleiding .....	15
2. Probleemstelling.....	17
2.1 Verkeersongevallen .....	17
2.2 Onderzoeksvraag .....	19
3. Doelstellingen .....	21
4. Literatuurstudie.....	23
4.1 Red-light warning.....	24
4.1.1 Stopafstand.....	24
4.1.2 Dilemmazone.....	25
4.2 Countdown timers.....	26
4.2.1 Eerder uitgevoerde experimenten.....	27
4.2.2 Samenvatting .....	36
4.3 Vehicle-to-infrastructure communicatie.....	37
4.3.1 V2I toepassingen.....	37
4.3.2 Gebeurtenissen .....	39
4.4 Implementatie van de red-light warning .....	41
5. Materiaal.....	43
5.1 Hardware.....	43
5.2 Software.....	43
6. Methode .....	45
6.1 Scenario's.....	45
6.2 Virtuele rijomgeving .....	45

6.3	De countdown timer .....	46
6.4	De rijtrajecten .....	47
6.5	De proefpersonen.....	48
6.6	Het experiment.....	48
6.7	Dataverzameling.....	49
7.	Resultaten.....	51
7.1	Proefpersonen .....	51
7.2	Dilemmazones.....	52
7.2.1	Aantal gestopte voertuigen.....	52
7.2.2	Snelheid.....	53
7.2.3	Acceleratie .....	55
7.2.4	Remafstand .....	57
7.2.5	MANOVA-analyse.....	59
7.3	Publieke perceptie.....	64
7.3.1	Impact op de veiligheid .....	64
7.3.2	Impact op de concentratie.....	65
8.	Bespreking resultaten en discussie .....	67
8.1	Dilemmazones.....	67
8.1.1	Illegale doorkruisingen .....	67
8.1.2	Benaderingssnelheid .....	67
8.1.3	Vertraging .....	68
8.2	Publieke perceptie.....	68
8.2.1	Impact op concentratie.....	68
8.2.2	Impact op verkeersveiligheid.....	69
8.3	Onderzoeksvraag .....	69
9.	Besluit.....	71
9.1	Rijsimulatoronderzoek en experiment.....	71
9.2	Dataverzameling en analyse .....	71
9.3	Implementatie.....	72

9.4 Verder onderzoek.....	72
Bibliografie .....	73
Bijlagen.....	77
Bijlage A: Voorbevraging .....	77
Bijlage B: Nabevraging .....	81
Bijlage C: Resultaten voorbevraging.....	83
Bijlage D: Resultaten nabevraging .....	89
Bijlage E: Individuele snelheidsprofielen .....	91
Bijlage E1: Geen countdown timer .....	91
Bijlage E2: Countdown timer .....	92
Bijlage F: Individuele acceleratieprofielen.....	93
Bijlage F1: Geen countdown timer.....	93
Bijlage F2: Countdown timer .....	94
Bijlage G: Statistische MANOVA-analyses.....	95
Bijlage G1: Puntenvergelijking: gestopt voor het kruispunt .....	95
Bijlage G2: Puntenvergelijking: doorgereden bij het kruispunt .....	96
Bijlage G3: Test of between-subjects effects: gestopte voertuigen.....	97
Bijlage G4: onderlinge puntenvergelijking: gestopte voertuigen .....	98





## Lijst van tabellen

Tabel 1: Ernst van het ongeval volgens wegtype en locatie op kruispunt.....	18
Tabel 2: Hoofdindicatoren per type weg (buiten bebouwde kom, binnen bebouwde kom of op de autostrade) .....	19
Tabel 3: Laattijdig stopratio bij een kruispunt met en zonder toepassing van een countdown timer.....	27
Tabel 4: Statistische vergelijking (GSCD vs. geen GSCD) m.b.t. de parameters die de beslissing om door te rijden beïnvloeden .....	28
Tabel 5: Statistische beschrijving van de stop/go beslissing van een bestuurder .....	33
Tabel 6: Benaderingssnelheid van voertuigen voor een kruispunt.....	36
Tabel 7: Overzicht van de rijtrajecten .....	48
Tabel 8: Overzicht van de benodigde parameters .....	50
Tabel 9: Aantal bestuurders dat de maximale vertraging heeft toegepast.....	56
Tabel 10: Ligging van de vergelijkingspunten ten opzichte van de stopstreep van het kruispunt .....	59
Tabel 11: MANOVA-analyse puntenvergelijking gestopte bestuurders .....	60
Tabel 12: MANOVA-analyse algemene vergelijking gestopte bestuurders .....	60
Tabel 13: MANOVA-analyse puntenvergelijking doorgereden bestuurders.....	61
Tabel 14: MANOVA-analyse algemene vergelijking doorgereden bestuurders ...	61
Tabel 15: Significantie gestopte bestuurders .....	62
Tabel 16: Significantie doorgereden bestuurders.....	62
Tabel 17: MANOVA-analyse: leereffect tussen de kruispunten .....	63



## Lijst van figuren

Figuur 1: Ongevallenernst per wegtype, volgens het gewest .....	17
Figuur 2: Stopafstand van een voertuig bij droog en nat weer .....	25
Figuur 3: Dilemmazone bij een oranje verkeerslicht.....	25
Figuur 4: Numerieke countdown timer in het voertuig geplaatst .....	26
Figuur 5: Dilemmazone van een kruispunt met en zonder toepassing van een countdown timer.....	28
Figuur 6: Aantal voertuigstops voor de verschillende timingsituaties .....	29
Figuur 7: Gemiddelde acceleratiecurve voor de bestuurders die stopten.....	30
Figuur 8: Gemiddeld snelheidsprofiel voor de bestuurders die stopten .....	30
Figuur 9: Rijscenario .....	31
Figuur 10: Stop/go beslissing van een bestuurder (met countdown timer).....	33
Figuur 11: Stop/go beslissing van een bestuurder (zonder countdown timer)...	34
Figuur 12: Spreidingsdiagram van de resultaten: a) Kruispunt 1, b) Kruispunt 2 .....	35
Figuur 13: Overzicht V2I toepassingen .....	38
Figuur 14: Algemene V2I communicatie .....	39
Figuur 15: Structuur van een rood licht applicatie .....	41
Figuur 16: Rijsimulator IMOB.....	43
Figuur 17: Virtuele rijomgeving in STISIM Drive .....	46
Figuur 18: Impressie van de countdown timer .....	46
Figuur 19: De countdown timer zoals geïmplementeerd in de rijsimulator.....	47
Figuur 20: Overzicht van de rijsimulatie .....	47
Figuur 21: Volgorde van het experiment.....	48
Figuur 22: Hoeveelheid gestopte en doorgereden voertuigen voor beide condities .....	52
Figuur 23: Gemiddelde snelheidscurve van de bestuurders die stopten voor het kruispunt.....	54
Figuur 24: Gemiddelde snelheidscurve van de bestuurders die doorreden bij het kruispunt.....	55
Figuur 25: Gemiddelde acceleratiecurves voor bestuurders die stopten voor het kruispunt.....	56
Figuur 26: Gemiddelde acceleratiecurves voor bestuurders die doorreden bij het kruispunt.....	57
Figuur 27: Boxplot van de remafstand ten opzichte van het kruispunt .....	58
Figuur 28: Gestopte bestuurders: statistische verschillen (links: snelheid; rechts: acceleratie).....	62
Figuur 29: Doorgereden bestuurders: statistische verschillen (links: snelheid; rechts: acceleratie) .....	63
Figuur 30: Nabevraging: remafstand.....	64
Figuur 31: Nabevraging: invloed op verkeersveiligheid.....	65
Figuur 32: Nabevraging: invloed benadering kruispunt.....	66
Figuur 33: Nabevraging: invloed countdown timer op de concentratie .....	66
Figuur 34: Individuele snelheidsprofielen: geen countdown timer & gestopt ....	91

Figuur 35: Individuele snelheidsprofielen: geen countdown timer & doorgereden .....	91
Figuur 36: Individuele snelheidsprofielen: countdown timer & gestopt.....	92
Figuur 37: Individuele snelheidsprofielen: countdown timer & doorgereden .....	92
Figuur 38: Individuele acceleratieprofielen: geen countdown timer & gestopt...	93
Figuur 39: Individuele acceleratieprofielen: geen countdown timer & doorgereden .....	93
Figuur 40: Individuele acceleratieprofielen: countdown timer & gestopt .....	94
Figuur 41: Individuele acceleratieprofielen: countdown timer & doorgereden ...	94

## Abstract

Het onderzoek naar *in-vehicle-countdown-timers* ter hoogte van verkeerslichten wordt alsmaar populairder. Echter zijn er slechts een beperkt aantal wetenschappelijke studies die het gedrag van automobilisten ter hoogte van een verkeerspuntengeregeld kruispunt onderzoeken met toepassing van zo'n systeem. Het kan gezien worden als een head-up display in de voorruit van de wagen, waarbij er wordt afgeteld van de groene naar oranje en tenslotte rode lichtfase. Het werkt volgens het principe van *vehicle-to-infrastructure* communicatie. Deze studie voerde een rijnsimulatoronderzoek uit van desbetreffend systeem bij 46 proefpersonen. De rijnsimulatorbenadering was de meest voor de hand liggende keuze aangezien *in-vehicle-countdown-timers* tot op heden nog niet worden toegepast in België. Het doel was om de invloed op de verkeersveiligheid te analyseren aan de hand van een vergelijkende analyse tussen twee condities, namelijk met en zonder timer. Het experiment bestond uit een voorbevraging, een simulatie en een nabevraging. De simulatie bevatte twee condities, die elk drie varianten hadden. De resultaten toonden aan dat het aantal stopbeslissingen quasi ongewijzigd bleef. Bij de snelheid en versnelling gedurende de laatste 250m voor het kruispunt waren er wel significante verschillen. Bestuurders gingen gemiddeld 70m eerder afremmen. Ook waren deze remmanoeuvres meer gedoseerd. Het aantal noodstops lag 20% lager dan wanneer er geen timer werd toegepast. De publieke perceptie van de proefpersonen bevestigde deze resultaten.



## Abstract in English

Research regarding in-vehicle-countdown-timers at traffic lights is becoming increasingly popular. However, there are only a limited number of scientific studies that investigate the behaviour of drivers at a traffic junction with the application of such a system. It can be seen as a head-up display in the windscreen of the car, which counts down from the green-light to amber-light and finally red-light phase. It works according to the principle of vehicle-to-infrastructure communication. This thesis conducted a driving simulator study of the relevant system using 46 subjects. The driving simulator approach was the most obvious choice as in-vehicle-countdown-timers are not yet used in Belgium. The aim was to analyse the influence on road safety by means of a comparative analysis between two conditions, namely with and without a timer. The experiment consisted of a pre-questioning, a simulation and a post-questioning. The simulation contained two conditions, each of which had three variants. The results showed that the number of stop decisions remained virtually unchanged. There were however significant differences at the speed and acceleration profiles during the last 250m before the intersection. On average, drivers slowed down 70m earlier. These braking manoeuvres were also more dosed. The number of emergency stops was 20% lower than when no timer was used. The public perception of the subjects confirmed these results.





# 1. Inleiding

Deze masterproef wordt u aangeboden door laatstejaarsstudenten van de opleiding Industrieel Ingenieur Bouwkunde, in samenwerking met het IMOB. IMOB, ook wel bekend als het Mobiliteit – Transportation Research Institute, werd in 2003 opgericht en is gelegen in het Wetenschapspark te Diepenbeek. Het combineert onderzoeks- en onderwijsactiviteiten binnen de domeinen van verkeersveiligheid, mobiliteit, gedrag, wegontwerp, toerisme en autonomie [1].

Het onderzoeksinstituut zal de basis vormen voor deze thesis. De ervaring doorheen de jaren, met tal van publicaties als resultaat, zal samen met de moderne apparatuur het rijnsimulatoronderzoek mogelijk maken. Het onderzoek naar de reactie van een bestuurder bij een waarschuwing voor een rood licht past perfect binnen de onderzoeksprioriteiten van het instituut. Het is een gelegenheid voor de studenten om mee te werken aan de optimalisatie van de veiligheid van het verkeersnet. Het domein waarin dit onderzoek zich dan ook voornamelijk gaat toespitsen kan het best beschreven worden als een combinatie van verkeersveiligheid, gedrag en wegontwerp [1].

De grote toename naar verkeersvraag [2] van de laatste jaren brengt ongewenste neveneffecten met zich mee. Een rechtstreeks gevolg hiervan zijn de congestieproblemen en de verkeersstroomefficiëntie in het algemeen. Filevorming tijdens de spitsuren is op weekdagen eerder de regel dan de uitzondering. Dit valt toe te wijten aan het feit dat de hoeveelheid verkeer de maximumcapaciteit van wegen en kruispunten ruim overschrijdt. Een ander gevolg van de toename naar verkeersvraag is de afname in verkeersveiligheid [3]. Stressvolle situaties en strakke tijdsplanningen zorgen ervoor dat bestuurders niet altijd de meest veilige en doordachte beslissingen maken bij verscheidene verkeerssituaties. Dit is onder andere het geval bij verkeerslichtengeregelde kruispunten. Bij een faseverandering van het verkeerslicht ligt er een grote verantwoordelijkheid bij de bestuurder.

Wereldwijd werden er tal van systemen [4] [5] [6] ontwikkeld om bestuurders bij te staan bij het nemen van de juiste beslissing. Een tijdige waarschuwing van de bestuurder bij het begin van de oranje en rode fase door middel van een numerieke afteltimer, ook wel countdown timer genoemd, is een mogelijke oplossing. Dit systeem doet niet meer dan de resterende tijd weergeven tot het begin van de volgende lichtfase. Het is vooral de mogelijkheid tot tijdig anticiperen van de bestuurder wat de veiligheid ten goede moet komen. Bestuurders kunnen via deze manier sneller reageren en aldus stoppen bij het begin van de oranje fase. Deze geleidelijke toenadering van het kruispunt zou de bruuske remmanoeuvres met kop-staartongevallen als gevolg kunnen voorkomen. Daarnaast kunnen ze ook zorgen voor een daling aan rood licht overtredingen, die dan weer ernstige flankongevallen met zich meebrengen.

Daar waar in het verleden al onderzoek werd verricht met countdown timers geplaatst ter hoogte van het verkeerslicht, wilt dit onderzoek zich onderscheiden

door het systeem te plaatsen in het voertuig zelf. Met een wederzijdse communicatie tussen het verkeerslicht en het voertuig kan de resterende tijd van de lichtfases worden weergegeven op een head-up display in de voorruit. Het onderzoek zal plaatsvinden in een rijnsimulator.

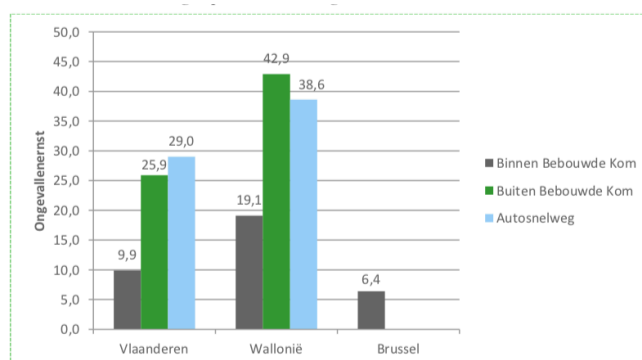
## 2. Probleemstelling

Ondanks de sterke toename in de veiligheid van auto's, gebeuren er elk jaar nog te veel dodelijke ongelukken. In 2016 kwamen er in België 328 autobestuurders om het leven [7]. Een groot deel van deze dodelijke ongevallen hebben als oorzaak het negeren van een rood verkeerslicht ter hoogte van een kruispunt [8]. De reden dat dit soort ongevallen vaak ernstige of fatale gevolgen hebben is vanwege de impacthoek. Die impacthoek is op een kruispunt in de meeste gevallen loodrecht, en dus op de flank van een van beide wagens. De flank, oftewel zijkant van de wagen, is het zwakste punt omdat de kreukelzone hier minimaal is. Deze overtreding kan vermeden worden mits een tijdige waarschuwing van het naderend rood licht, en het is daar waar dit onderzoek zich op toespitst.

### 2.1 Verkeersongevallen

Het Vias Institute, voorheen het Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid (BIVV), brengt jaarlijks een reeks statistische rapporten uit. De statistische rapporten bevatten een beperkt geheel van cijfers en statistieken, afkomstig van het Vias Institute in samenwerking met de nationale ongevallendatabank van de FOD Economie AD. In hetgeen wat volgt, wordt er nauwer gekeken naar ongevallen in functie van snelheid, locatie en ernst [9].

Figuur 1 hieronder weergegeven is gebaseerd op cijfers van 2015. Brussel buiten beschouwing gelaten kan men zien dat voor het Vlaams en Waals gewest de ongevallen ernst vele malen hoger ligt buiten de bebouwde kom en op de snelweg. Een hogere ongevallen ernst betekent dus een hoger aantal dodelijke slachtoffers in gebieden met een hogere maximumsnelheid. Deze eerste vaststelling zal meespelen in de keuze voor de optimale rijomgeving van het onderzoek [9].



Figuur 1: Ongevallenernst per wegtype, volgens het gewest [9]

Volgende tabellen zijn gebaseerd op cijfers van 2008. Uit Tabel 1 kan men afleiden hoe het dodental, zwaargewonden en lichtgewonden in verhouding met elkaar staan volgens het type weg en kruising. Bij het vergelijken van de wegtypes kan

er worden geconstateerd dat het dodental en het aantal zwaargewonden het hoogst ligt buiten de bebouwde kom. Er zijn echter meer lichtgewonden binnen de bebouwde kom en het totaal aantal gewonden ligt ook hoger binnen de bebouwde kom. Verder toont deze tabel aan dat het aantal gewonden het hoogste ligt op het doorlopend weggedeelte van een kruising. Het doorlopend weggedeelte van het een kruising is de weg die men volgt bij het naderen van de kruising en de weg die men volgt bij het wegrijden van de kruising [9].

Tabel 1: Ernst van het ongeval volgens wegtype en locatie op kruispunt [9]

		Doden 30 dagen	Zwaargewonden
		#	#
Type weg	Autosnelweg	139	1048
	Buiten de bebouwde kom	474	3080
	Binnen de bebouwde kom	274	2653
Kruising	Op doorlopend weggedeelte	389	2101
	Op kruispunt	80	927
	Op rotonde	5	52

Lichtgewonden	Totaal	Evolutie van de doden 30 dagen ten opzichte van 2007		Evolutie van de doden 30 dagen ten opzichte van 1998-2000	
#	#	#	%	#	%
4457	5644	-13	-8,6%	-79	-36,2%
21081	24635	-118	-19,9%	-357	-43,0%
32116	35043	-1	-0,4%	-133	-32,7%
12918	15408	-100	-11,5%	-364	-32,1%
7659	8666	-28	-14,7%	-153	-48,6%
503	560	+1	+9,1%	+5	+71,4%

Tabel 2 geeft extra verduidelijking van hoe het dodental, aantal zwaar- en lichtgewonden in verhouding met elkaar staan volgens het wegtype. Bijkomend valt het percentage en de ernst van de ongevallen volgens het type weg te zien op deze tabel. De ernst van het ongeval dat plaatsvindt op het wegtype waar de maximumsnelheid hoger ligt is beduidend hoger dan op het wegtype waar de snelheden lager liggen. Binnen de bebouwde kom bedraagt de ernst van ongeval 9,9 wat een factor 3 kleiner is dan de ernst voor een ongeval buiten de bebouwde kom en bijna een factor vier kleiner dan de ernst voor een ongeval op een autosnelweg [9].

Tabel 2: Hoofdindicatoren per type weg (buiten bebouwde kom, binnen bebouwde kom of op de autostrade) [9]

	Ongevallen		Doden 30 dagen		Zwaar-gewonden		Licht-gewonden		Ernst
	#	%	#	%	#	%	#	%	
Autosnelweg	3771	7,7%	139	14,7%	1048	15,5%	4457	7,7%	36,9
Buiten de bebouwde kom	17241	35,3%	474	50,2%	3080	45,4%	21081	36,6%	27,5
Binnen de bebouwde kom	27761	56,9%	274	29,0%	2653	39,1%	32116	55,7%	9,9
Onbekend	55	0,1%	57	6,0%	1	0,0%	1	0,0%	1036,4
Totaal	48827	100,0%	944	100,0%	6782	100,0%	57655	100,0%	19,3

Uit de cijfers van 2008 en 2015 [9] mag men besluiten dat de ernst van een ongeval vele male hoger ligt op wegen met een hogere maximumsnelheid en dat er meer ongevallen zijn op het doorlopend weggedeelte van een kruising. Het is om die rede dat de studie van deze masterproef zich gaat focussen op deze snelheden en op dit soort type weg. De effectiviteit van de countdown timer zal hier hoogstwaarschijnlijk het grootst zijn. Er wordt gekozen voor een omgeving in de vorm van een expresweg, met andere woorden een vierbaansweg met middenberm. Hier zal een continue maximumsnelheid van 90km/u gelden.

## 2.2 Onderzoeksvraag

*"Wat is de invloed van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichtengeregelde kruispunten, met betrekking tot de verkeersveiligheid?"*

Deze thesis tracht te onderzoeken wat de invloed is van een waarschuwing in een voertuig op de reactie van een bestuurder bij een rood licht. Met andere woorden kan de bestuurder beter anticiperen op de verkeerssituatie als hij op voorhand weet wanneer het licht rood gaat worden. Verder zal er ook onderzocht worden of er een vlotter verkeer wordt verkregen, in de vorm van minder bruske (rem)manoeuvres bij kruispunten, als de bestuurders een betere communicatie verkrijgen met de verkeersinfrastructuur.

Het probleem luidt als volgt: bestuurders zijn vaak niet tijdig op de hoogte bij een rood licht situatie. Dit resulteert vaak tot bruske remmanoeuvres met een verhoogde kans op kop-staartbotsingen als mogelijk gevolg. In enkele gevallen kan dit zelfs leiden tot het negeren van het rood licht met alle gevolgen van dien. Het zijn niet alleen de autobestuurders zelf die hier de consequenties van dragen, maar ook vaak de zwakke weggebruikers die er ongewild mee betrokken raken.

Naast het aspect veiligheid met ongevallen tot gevolg kan het probleem ook uitgebreid worden naar de vlotheid van het verkeer. Op gewestwegen met een maximumsnelheid van 90km/u is het vaak vermoeiend om last-minute remmanoeuvres te moeten uitvoeren voor het rood licht. Het zou de vlotheid van het verkeer ten goede komen als de bestuurder aan de hand van een *vehicle-to-infrastructure* communicatietoestel op de hoogte wordt gebracht binnen welke

tijdsperiode het licht op rood springt. Dit kan bijvoorbeeld een waarschuwing zijn die aan de hand van een countdown timer aftelt van acht seconden tot nul waarbij nul het moment is dat het verkeerslicht effectief rood is. Zo kan de bestuurder zijn snelheid aanpassen en het onnodig te hoeven stoppen voor het kruispunt, maar vooral het negeren van het verkeerslicht, vermijden. Verder heeft het ook gunstige gevolgen voor het milieu want er dient minder geaccelereerd te worden en dus ook minder brandstof te worden verbruikt.

### 3. Doelstellingen

De doelstelling van deze masterproef is om de invloed op vlak van verkeersveiligheid van een in-vehicle-countdown-timer te onderzoeken indien deze wordt toegepast bij verkeerslichtengeregelde kruispunten. Hierbij tracht men vooral te kijken naar wat de effectiviteit ervan is als *red-light warning*. Men wil het systeem, dat toe te schrijven valt onder het principe van vehicle-to-infrastructure communicatie, testen in een rijnsimulator met behulp van proefpersonen. Hiervoor dienen er virtuele rijtrajecten geïmplementeerd te worden in de software van de rijnsimulator. Deze rijtrajecten worden uitgebreid met een tool. Deze tool of countdown timer kan het best omschreven worden als een teller display die wordt weergegeven in de voorruit van de wagen als een soort head-up display. In overleg met het onderzoeksinstituut werd de wijze waarop de countdown timer geïntegreerd zal worden vastgelegd. Het was voornamelijk eerder onderzoek met countdown timers [5] dat deze keuze onderbouwde. Concreet zal de countdown timer aftellen tot het moment waarbij het verkeerslicht effectief rood wordt. De timer begint af te tellen vanaf acht seconden. De eerste drie seconden geven de groene lichtfase weer en de laatste vijf seconden geven de oranje lichtfase weer. Verder worden er twee kleuren gebruikt voor de cijfers van de timer. De cijfers hebben een groene kleur wanneer het verkeerslicht zich in de groene lichtfase bevindt en er dus nog voldoende marge is om het licht te halen. De kleur verandert naar rood wanneer de marge kleiner of onvoldoende wordt, met andere woorden vanaf het moment dat het verkeerslicht op oranje springt tot het uiteindelijk rood wordt.

Om de effectiviteit van de red-light warning te onderzoeken zal er gebruik gemaakt worden van volgend onderzoeksproces, dat hieronder beschreven wordt.

De eerste focus ligt op het uitvoeren van een literatuurstudie. Hierbij tracht men voornamelijk te leren uit de vaststellingen die eerdere gelijkaardige onderzoeken bekwamen. Dit zal ervoor zorgen dat deze studie een optimalisatie is van voorgaande studies, alsook het feit dat dit onderzoek een uniek onderdeel onderzoekt betreffende de toepassing van countdown timers. Hiernaast wordt er ook gekeken naar de manier waarop dit systeem kan geïmplementeerd worden. Het valt onder het principe van vehicle-to-infrastructure communicatie.

Vervolgens wordt de focus verlegd naar het ontwerp van de virtuele rijtrajecten en applicatie van een countdown timer in de rijnsimulator. Deze codering is tijdrovend en kan vooral gezien worden als een *trial-and-error* proces. Nadien vindt de uitvoering van het onderzoek plaats. De verschillende gevallen worden in de rijnsimulator onderzocht door proefpersonen. Er wordt een rechtstreekse vergelijking onderzocht tussen een rijtraject mét countdowntimer aan de kruispunten en een rijtraject zonder toepassing van dit systeem. Verder tracht men dit onderzoek kracht bij te zetten door enquêtes te laten invullen door de proefpersonen omtrent de effectiviteit van het red-light warning systeem.



Ten slotte vindt de interpretatie van de resultaten plaats. In de nazorgfase wordt er gekeken of het desbetreffende systeem effectief een verbetering in verkeersveiligheid teweegbrengt.

## 4. Literatuurstudie

De blijvende toename aan nood voor mobiliteit heeft een groot aandeel in de verzadiging van het wegennet. Het aantal files, en de lengte ervan, nemen alleen maar toe in de tijd. Bijkomend stijgt ook het aantal onverwachte accidenten en noodsituaties. Al deze vaststellingen leggen belangrijke pijnpunten bloot op vlak van mobiliteit en transport. De vraag naar de ontwikkeling van een veiliger of meer efficiënt mobiliteitssysteem is vandaag de dag meer relevant dan ooit tevoren. Een manier om op deze vraag te voldoen is om de recente ontwikkelingen op vlak van communicatie toe te passen op het gebied van transportbeheer. Cognitieve netwerkprincipes zijn hier het perfecte voorbeeld van. Ze laten de ontwikkeling toe van een transportbeheermechanisme, dat leervermogens bezit om op voorhand de perceptie van potentiële gevaren en dienovereenkomstige aanpassing van het gedrag van het voertuig mogelijk te maken. Dit principe valt onder het geheel van '*Intelligent Transportation Systems*' [10] [11].

Recent onderzoek in Intelligent Transportation Systems (ITS) heeft zich toegespitst op technieken die automatische ongevallendetectie toelaten. Gebruik makend van de geavanceerde draadloze netwerk- en sensorensystemen, kunnen moderne/recente auto's communiceren met elkaar alsook met componenten van de weginfrastructuur. Al dit onderzoek heeft een toename van de verkeersveiligheid voor ogen. De innovaties in transporttechnologie bieden het verkeersmanagementsysteem de mogelijkheid om gegevens te gebruiken die zijn verzameld door de voertuigen op de weg, om congestie en incidenten/ongevallen te detecteren. Als men de bestuurders van tevoren op de hoogte kan stellen van verkeersincidenten, kunnen verdere gevolgen vermeden worden [12].

Onder ITS kunnen veel toepassingen worden beschreven. De toepassingen zijn ook zeer uiteenlopend. Voor dit onderzoek zal er bijna zuiver gebruik gemaakt worden van '*vehicle-to-infrastructure communication*', een techniek die meer en meer wordt gebruikt. De vraag is nu wat deze systemen kunnen betekenen voor de red-light warning in de vorm van een in-vehicle-countdown-timer. De literatuurstudie zal eerst kijken naar de toepassing van een rood licht waarschuwing, waarbij de nodige begrippen worden behandeld. Dit zal later helpen in het toepassen van de meest efficiënte en effectieve methodologie. Bijkomend worden ook eerder uitgevoerde studies met countdown timers geanalyseerd. Hierna wordt er overgegaan naar de implementatie van de countdown timer. Deze implementatie valt toe te schrijven onder het principe van vehicle-to-infrastructure communicatie. De verschillende applicaties ervan alsook de manier waarop de implementatie gebeurt, zullen behandeld worden.

## 4.1 Red-light warning

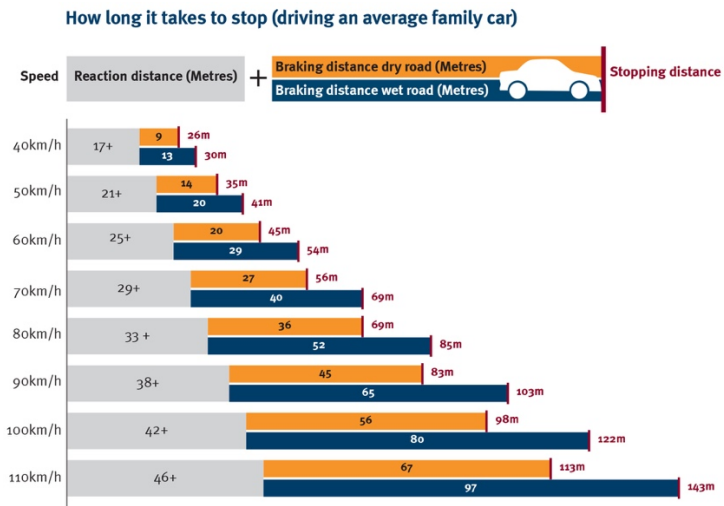
Vooraleer men een waarschuwing voor een rood verkeerslicht kan implementeren dient men eerst enkele begrippen goed te begrijpen. Het is noodzakelijk om deze begrippen juist te interpreteren aangezien de effectiviteit van het waarschuwingssysteem er sterk afhankelijk van zal zijn. Ze worden in volgende paragrafen toegelicht.

### 4.1.1 Stopafstand

Onder stopafstand verstaat men de lengte van de weg die een voertuig aflegt nadat de bestuurder het signaal ontving om te stoppen. De stopafstand is een som van twee deelafstanden, namelijk de reactieweg en de remweg. De reactieweg beschrijft de afstand die het voertuig aflegt tussen het moment dat de bestuurder het signaal ontving om te stoppen en het moment dat het remmen effectief wordt aangevat. De remweg aan de andere kant is de afstand die het voertuig aflegt terwijl er geremd wordt. Het is met andere woorden de afstand die het voertuig nodig heeft om van zijn huidige snelheid naar nul te vertragen exclusief de reactieweg [13].

Een eerste en tevens voornaamste parameter die de stopafstand bepaalt is de voortbewegingssnelheid van het voertuig. Dit wordt de aanvangssnelheid genoemd. Het spreekt voor zich dat voertuigen die zich aan een hogere snelheid voortbewegen, bijvoorbeeld 90km/u, een langere stopafstand zullen hebben dan voertuigen die zich aan een lage snelheid voortbewegen van bijvoorbeeld 50km/u. Een andere belangrijke parameter is het weer. Het weer heeft impact op de stopafstand omdat slechtweerscondities, beschouw een nat wegdek, zorgen voor minder grip tussen de banden van het voertuig en het wegdek. Men kan dit toeschrijven aan een afname van de wrijvingskracht tussen het oppervlak van de banden en het wegdek. De stopafstand zal dus toenemen aangezien de remweg vergroot [13].

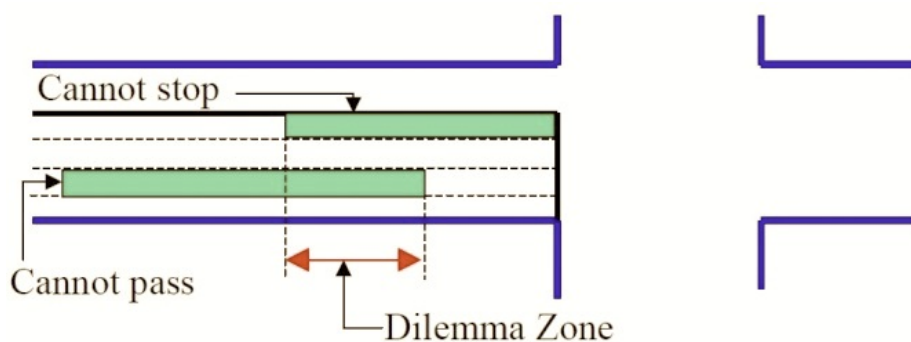
Er werden reeds tal van onderzoeken uitgevoerd naar de stopafstand van een voertuig. In onderstaande Figuur 2 kan men de resultaten terugvinden van een studie uitgevoerd in opdracht van de regering van Queensland (VS). De reactiewegen werden verkregen door uit te gaan van een gemiddelde reactietijd van 1,5s. Dat is de gemiddelde tijd die een bestuurder nodig heeft om te reageren. Voor een aanvangssnelheid van 90km/u, wat tevens de snelheid zal zijn gedurende het onderzoek van deze thesis, vindt men voor een droogweersituatie een gemiddelde stopafstand van 83m terug. Voor een natweersituatie (beschouw een nat wegdek) kwam men tot een gemiddelde afstand van 103m. Zoals eerder aangehaald is het dus enkel de remweg die variabel was tussen beide situaties, respectievelijk 45m en 65m voor droog en nat weer [13].



*Figuur 2: Stopafstand van een voertuig bij droog en nat weer [13]*

#### 4.1.2 Dilemmazone

De dilemmazone heeft een groot aandeel in het beslissingsgedrag van bestuurders bij het naderen van een oranje verkeerslicht. De zone beschrijft de theoretische locatie op een toegangsweg (= een van de kruispunttakken) waar de bestuurder een beslissing moet nemen bij faseverandering van het verkeerslicht naar oranje, namelijk stoppen of doorrijden. Het is de ruimte waar meer dan 10% en minder dan 90% van de bestuurders zullen besluiten te stoppen. De waarschijnlijkheid dat een bestuurder opteert om het kruispunt te doorkruisen gedurende een oranje licht situatie is afhankelijk van de benaderingssnelheid, de afstand van de stoplijn en de overblijvende tijd van het oorspronkelijk groen licht. Figuur 3 [14] hieronder geeft schematisch de dilemmazone weer [15] [16].



*Figuur 3: Dilemmazone bij een oranje verkeerslicht [14, p. 370]*

De dilemmazone en het oranje licht zorgen vaak voor onduidelijkheid bij de bestuurder. Volgens artikel [17] uit de Belgische wetgeving beschrijft wat de juiste handeling is bij een oranje lichtfase:

*"Vast oranjegeel licht betekent dat het verboden is de stopstreep of, zo er geen stopstreep is, het verkeerslicht zelf voorbij te rijden, tenzij de bestuurder bij het aangaan van dat licht het teken zo dicht genaderd is, dat hij niet meer op voldoende veilige wijze kan stoppen; zo dit licht bij een kruispunt geplaatst is, mag de bestuurder, die de stopstreep of het licht in dergelijke omstandigheden voorbijgereden is, het kruispunt evenwel slechts oversteken op voorwaarde de andere weggebruikers niet in gevaar te brengen."* (Artikel 61. Driekleurige verkeerslichten [17])

In werkelijkheid wordt het oranje licht vaak misbruikt [18]. De beslissing ligt namelijk volledig bij de bestuurder zelf. In plaats van af te remmen gaan in veel van de gevallen bestuurders hun snelheid verhogen om alsnog het licht te halen en het kruispunt te doorkruisen. Soms heeft dit zelfs een rood licht overtreding als gevolg. Er is een groot vermoeden dat het verlenen van bijkomende informatie aan de bestuurder, in de vorm van een countdown timer, de beslissing van het individu om te stoppen of te doorkruisen sterk kan beïnvloeden in de positieve zin.

## 4.2 Countdown timers

Afgelopen decennia werden reeds verscheidene countdown timers ontwikkeld. Het doel was in bijna alle gevallen hetzelfde, namelijk een nauwkeurige schatting geven aan de bestuurder betreffende de resterende tijd tot de volgende faseverandering van het verkeerslicht. Echter kan men twee verschillende toepassingen onderscheiden: enerzijds timers die voor ogen hebben af te tellen van de groene naar de oranje en vervolgens rode lichtfase en anderzijds zij die van de rode naar groene lichtfase aftellen (in sommige landen aangevuld met een tussenliggende oranje fase). Bijkomend is de manier hoe de countdown timer de aftelling weergeeft ook verschillend. Deze kan onderverdeeld worden onder de numerieke aftelling met een exacte weergave van de resterende tijd (zie Figuur 4), of de 'afbeeldingstimers' die een meer symbolische weergave gebruiken die interpretatie vereist. Dit kan aan de hand van een laadbalkje [19].



*Figuur 4: Numerieke countdown timer in het voertuig geplaatst [19]*

Om ervoor te zorgen dat dit onderzoek relevant is en hopelijk nieuwe besluiten met zich meebrengt werd er eerst gekeken naar eerder uitgevoerde experimenten met countdown timers. De conclusies die uit deze experimenten volgden, kunnen eventuele fouten preventief voorkomen voor dit onderzoek. Verder is het ook een controle om ervoor te zorgen dat dit specifiek onderzoek uniek is. In volgend hoofdstuk worden deze experimenten kort samengevat alsook beoordeeld.

## 4.2.1 Eerder uitgevoerde experimenten

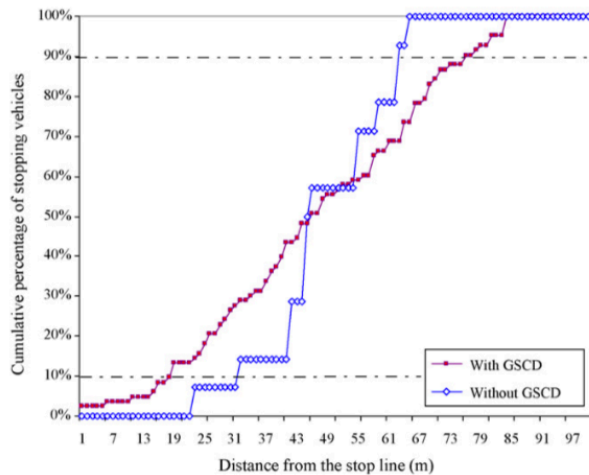
### 4.2.1.1 *Reactie van bestuurders bij groen- en rood-licht-fase countdown displays: veiligheids- en efficiëntieaspecten*

Volgende studie, uitgevoerd in opdracht van de de National Chiaeo Tung University en hun Institute of Traffic and Transportation, verrichte onderzoek naar de effecten van onder andere green signal countdown displays (GSCD) op het rijgedrag, en dus ook op de veiligheid en efficiëntie van kruispunten. De GSCD telt de resterende tijd van het groene en oranje lichtsignaal af. Echter is de timer niet geplaatst in de wagen maar aan het verkeerslicht zelf. Desondanks kunnen er belangrijke conclusies uit deze studie getrokken worden die relevant zijn voor dit onderzoek. Er werd vooral onderzocht naar het gedrag van bestuurders bij het naderen van een kruispunt in de zin van het laattijdig stopratio, de dilemmazone en de beslissing om al dan niet door te rijden [4].

*Tabel 3: Laattijdig stopratio bij een kruispunt met en zonder toepassing van een countdown timer [4, p. 1059]*

Distance from the stop line as red phase begins (m)		0-5	6-10	11-15	16-20
With GSCD	Number of late-stopping vehicles	9	2	1	5
	Total number of vehicles	26	10	7	16
	Percentage	34.62	20.00	14.29	31.25
Without GSCD	Number of late-stopping vehicles	5	1	1	2
	Total number of vehicles	6	2	4	4
	Percentage	83.33	50.00	25.00	50.00

Resultaten tonen aan dat, hoewel countdown timers het laattijdig stopratio verminderen zoals weergegeven in Tabel 3, de dilemmazone met circa 28m verhoogd wordt. Dit kan teruggevonden worden in Figuur 5 op volgende pagina [4].



Figuur 5: Dilemmazone van een kruispunt met en zonder toepassing van een countdown timer [4, p. 1060]

Eenzijds is de beslissing om al dan niet over te steken meer inconsistent tussen de naderende voertuigen. Deze twijfel die uitgelokt wordt bij de bestuurders kan leiden tot een potentieel groter risico van kop-staartongevallen. Anderzijds gaven vergelijkingen tussen vier observatieperioden (met telkens 1,5 maand tussen) weer dat het aantal voertuigen die het kruispunten (illegaal) doorkruisen sterk verminderde door toepassing van een countdown timer [4].

Tabel 4: Statistische vergelijking (GSCD vs. geen GSCD) m.b.t. de parameters die de beslissing om door te rijden beïnvloeden [4, p. 1060]

Key factors	Statistics	With GSCD	Without GSCD
Distance from stop line (m)	Max	90	70
	Min	0	0
	Average	28.31	28.92
Approach speed (km/h)	Max	72.12	72.00
	Min	3.62	7.20
	Average	27.95	35.45
Green countdown (seconds) (remaining green + yellow)	Max	10.00	10.00
	Min	0.00	0.00
	Average	4.82	5.30
Decision to cross (Yes/No)	Yes	568	267
	No	2171	997
	Total	2739	1064

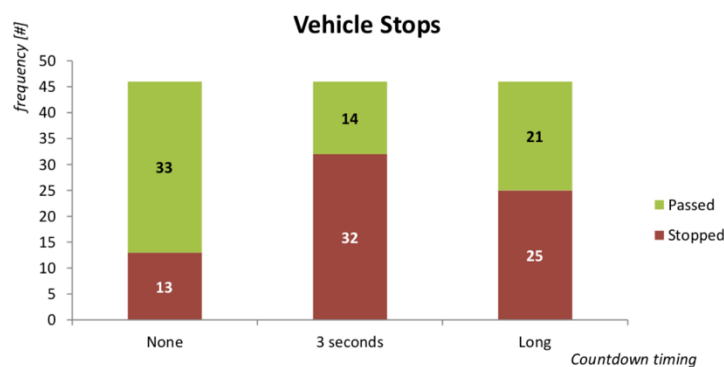
Elk voertuig werd gemiddeld vijf keer geobserveerd. Een statistische vergelijking van de voornaamste parameters die de beslissing om door te rijden beïnvloeden is weergegeven in Tabel 4. Merk op dat de gemiddelde benaderingssnelheid van het kruispunt bij applicatie van een GSCD lager ligt. Dit heeft een positieve invloed op de veiligheid. Verder vertellen de meetresultaten ook dat het kruisingspercentage (beslissing om al dan niet illegaal door te rijden) haast ongewijzigd blijft, namelijk 26,2% (GSCD) vs. 26,8% (geen GSCD) [4].

Er kan besloten worden dat de (positieve) invloed op de veiligheid van een GSCD controversieel is. Er zijn namelijk ook resultaten, en bijgevolg vaststellingen, die eerder een negatieve invloed weergeven. De vraag luidt nu of een plaatsing van de countdown timer in de wagen zelf betere resultaten met zich meebrengt op vlak van veiligheid. De voordelen wegen volgens dit onderzoek namelijk niet voldoende af tegen de nadelen [4].

#### 4.2.1.2 *Het effect van countdown timers op de verkeersstroomveiligheid*

Dit onderzoek werd uitgevoerd door W. van Haperen in samenwerking met het Onderzoeksinstituut voor Mobiliteit (IMOB) en de Universiteit Hasselt. De studie onderzocht de effecten van numerieke countdown timers bij verkeerslichten op het rijgedrag in België. Zowel de verkeersstroomefficiëntie als de verkeersveiligheidsaspecten werden geanalyseerd [5].

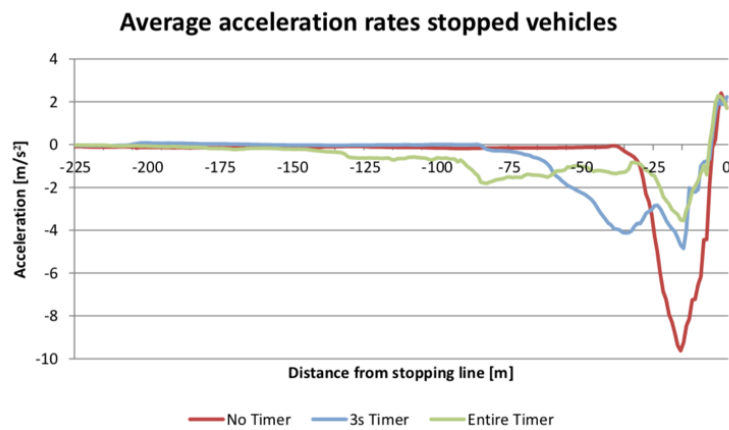
Er werd voor deze rij simulatorstudie gebruik gemaakt van een 'within-subject' ontwerp om zes unieke omstandigheden te vergelijken. De proefpersonen werden met kruispunten geconfronteerd die al dan niet met een countdown timer waren geïmplementeerd. Er werden ook meerdere soorten countdown timers getest, namelijk timers voor de gehele groene lichtfase en timers voor enkel de laatste drie seconden van diezelfde fase [5].



*Figuur 6: Aantal voertuigstops voor de verschillende timingsituaties [5, p. 50]*

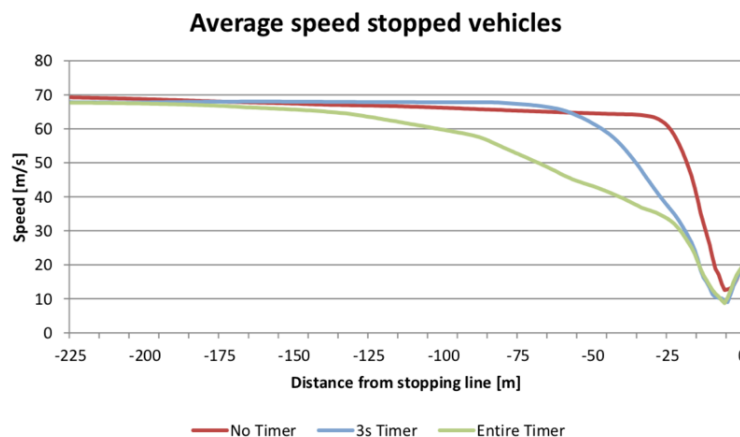
Voor de scenario's van de dilemmazone werd vastgesteld dat het aantal voertuigen dat effectief stopte voor het verkeerslicht aanzienlijk toenam na toepassing van countdown timers. Dit wordt weergegeven in Figuur 6. Dit had echter wel een negatieve invloed op de verkeersstroomefficiëntie, maar wel een verbetering voor de verkeersveiligheid. De maximale gemiddelde vertragingkracht nam af van bijna 10 m/s<sup>2</sup> tot minder dan 5 m/s<sup>2</sup> voor de laatste fase en minder dan 4m/s<sup>2</sup> voor de hele fasetimer. Deze vaststelling wordt toegelicht in Figuur 7 op volgende pagina [5].





*Figuur 7: Gemiddelde acceleratiecurve voor de bestuurders die stopten [5, p. 53]*

Een andere belangrijke observatie was dat bestuurders die besloten om te stoppen voor de gehele afteltimer, hun snelheid al 175 meter voor het kruispunt begonnen te verlagen. Figuur 8 geeft dit visueel weer [5].



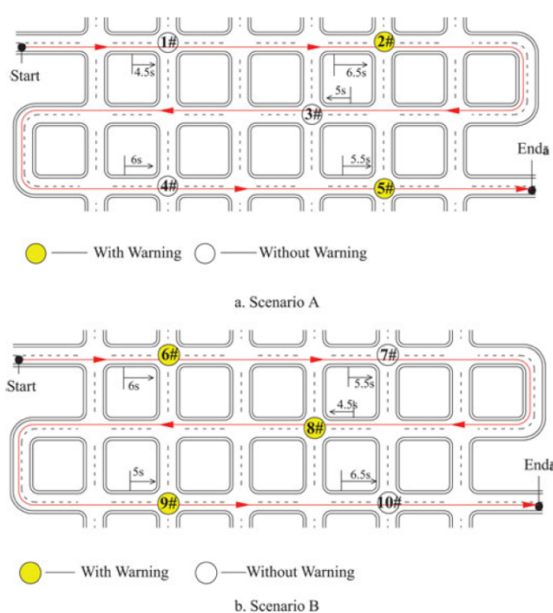
*Figuur 8: Gemiddeld snelheidsprofiel voor de bestuurders die stopten [5, p. 55]*

Er werden geen positieve of negatieve effecten waargenomen met betrekking tot de verkeersveiligheidsaspecten in de gevallen dat er een countdown timer werd toegepast. Echter in het geval van de verkeersstroomefficiëntie waren de timers eerder nadelig. Verder werd er ook geen statistisch significant verschil tussen de twee countdown-timers gevonden [5].

### 4.2.1.3 Auditieve red-light waarschuwing

De studie werd uitgevoerd in december 2013 door XUEDONG YAN, YANG LIU, en YONGCUN XU in China. Het doel van deze studie was het onderzoeken van het effect van een red-light warning onder de vorm van een auditief signaal. [6].

Het effect van dit signaal werd onderzocht door gebruik te maken van een high-fidelity rijnsimulator. Dit wil zeggen dat er werd gewerkt met een zeer realistische simulator bestaande uit een reëel dashboard van een auto. Het concept van de red-light warning is zo dat wanneer een voertuig een kruispunt nadert en het veranderen naar oranje fase van het licht, het tijdsinterval van het voertuig tot het kruispunt groter is dan het resterende tijdsinterval van de oranje fase van het licht, dan zal de red-light warning in werking treden door middel van het auditieve signaal [6].



Figuur 9: Rijscenario [6, p. 50]

De studie werd ontworpen voor individuele voertuigbestuurders. Dit wil zeggen dat alleen wanneer het tijdsinterval vereist tot naderen van het kruispunt (waar het verkeerslicht verandert naar oranje fase) groter is dan het resterende tijdsinterval van het oranje licht, dan zal de auditieve waarschuwing in werking treden. Elke deelnemer zal twee rij situaties doorlopen. Beide scenario's bevinden zich in een stedelijke omgeving bestaande uit een serie van kruispunten en de rijstroken bestaan uit twee rijvakken. De snelheidslimiet is beperkt tot 80km/u. Bovenstaande Figuur 9 geeft beide scenario's weer [6].

Als output van de testen werden enkele parameters gemeten; de snelheid waarmee het voertuig het kruispunt benaderd, stop/go-decision, RLR (=red light running, wanneer de bestuurder door het rood licht is gegaan), BRT (=brake response time, de tijd die de bestuurder nodig had om te remmen vanaf het punt dat de oranjefase van het verkeerslicht begon), (de)acceleratie, RET (red-entry

time, het tijdsinterval vanaf het moment het verkeerslicht rood was tot het moment het voertuig de stoplijn bereikte) [6].

In het algemeen toonde deze studie aan dat een red-light warning de kans op een rood licht overtreding drastisch vermindert. Er waren geen significante verschillen tussen vrouwelijke, mannelijke en professionele bestuurders. De kans op een overtreding wordt verminderd met  $\pm 84\%$ . De studie toont ook aan dat de remreactietijd vermindert en het vertragingratio verhoogt. Dit willen zeggen dat er minder bruuske remmanoeuvres plaatsvinden [6].

#### *4.2.1.4 Het effect van countdown timers op het gedrag van bestuurders gedurende de oranje lichtfase*

Dit onderzoek kwam tot stand door een samenwerking van de 'Changsha University of Science and Technology' en de 'University of Tennessee'. Aangezien er weinig bestaand onderzoek was naar het effect van countdown timers aan kruispunten met verkeerslichten, gingen beide instellingen hier verder op in. Ze gingen als volgt te werk [20]:

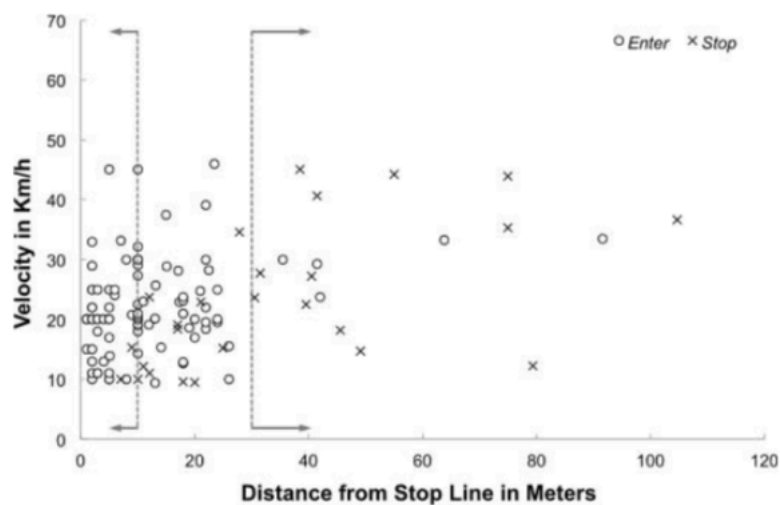
Signaalfasering en verkeersoperaties werden gefilmd op vier vergelijkbare gesignaleerde kruispunten onder normale omstandigheden. Microscopische details werden met de hand geëxtraheerd bij 25 Hz om 24 uur aan gegevens te verkrijgen over het begin van het oranje licht, starttijd van het rode licht, locatie van de bestuurder en acties na het begin van het oranje, red-light violations, etc. Voor vergelijkbare kruispunten met en zonder countdown timers, werd het gedrag van de bestuurder gemeten. Aan de hand van de beslissing van de bestuurder (stop of go) en de voertuiginvoertijd (wanneer het voertuig de stoplijn passeert) werd dit gedrag geanalyseerd met respectievelijk binaire logistische regressie (BLR) en een niet-parametrische test. Het grote verschil met het onderzoek van deze thesis, is dat de countdowntimer geplaatst werd ter hoogte van het verkeerslicht zelf. Met andere woorden was er geen countdown timer aanwezig in de voertuigen. Desondanks kunnen hier relevante vaststellingen uit worden afgeleid [20].

Uit de resultaten kwam voort dat na het begin van het oranje licht ter hoogte van een kruispunt (zonder countdown timer), er meer voertuigen waren die de stoplijn van het kruispunt doorkruisten dan die effectief stopten. Respectievelijk 58,7% vs. 41,2%, zoals te zien valt in Tabel 5 [20] op volgende pagina. Bij kruispunten, waar wel een countdown timer geplaatst werd, lag het aantal voertuigen dat de stoplijn doorkruiste na aanvang van het oranje licht beduidend hoger. Hier was er een groter verschil op te merken, namelijk 78,8% reed door en slechts 21,1% stopte voor het de stoplijn gedurende de oranje lichtfase. Ook dit valt te zien in Tabel 5 [20].

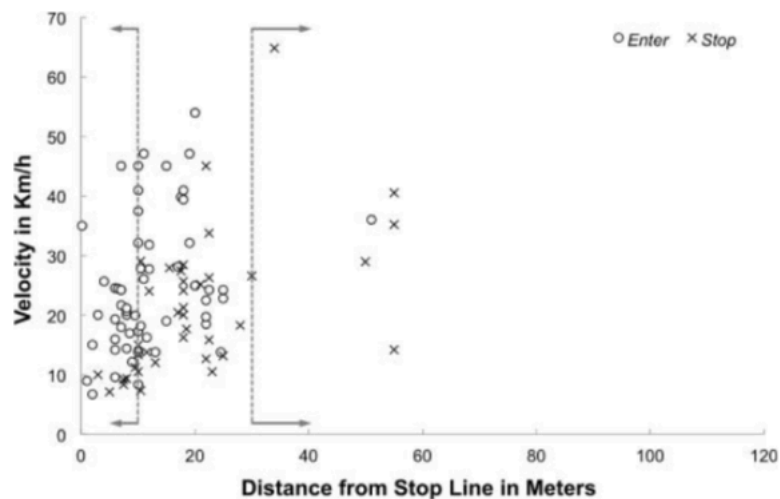
Tabel 5: Statistische beschrijving van de stop/go beslissing van een bestuurder [20, p. 542]

Statistics	With timer			Without timer		
	Go	Stop	Run red	Go	Stop	Run red
Distance to stop line (m)						
Average	9	33.4	24.0	10.5	20.0	22.9
Std. deviation	6.7	21.7	13.6	5.8	13.3	13.1
Velocity (km/h)						
Average	19.9	23.3	20.1	26.0	20.9	21.1
Std. deviation	9.35	12.4	8.0	11.9	11.8	8.6
Frequency	78	26	19	49	40	8
Percentage (%)	63.4	21.1	15.4	50.5	41.2	8.2

Voor alle onderzochte kruispunten gold dat wanneer de afstand tot de stoplijn kleiner dan 10m was, de meeste bestuurders er voor opteerden om het kruispunt te doorkruisen los van de huidige snelheid van hun voertuig. Wanneer deze afstand tot 30m toenam, stopte de meerderheid. In de zone van 10m tot 30m kruiste de meerderheid het kruispunt bij aanwezigheid van countdown timer, zoals weergegeven in onderstaande Figuur 10. Wanneer er in deze zone geen countdown timer aanwezig was, waren de resultaten gemengd. Dit wordt weergegeven in Figuur 11 [20] op volgende pagina.



Figuur 10: Stop/go beslissing van een bestuurder (met countdown timer) [20, p. 541]



Figuur 11: Stop/go beslissing van een bestuurder (zonder countdown timer) [20, p. 541]

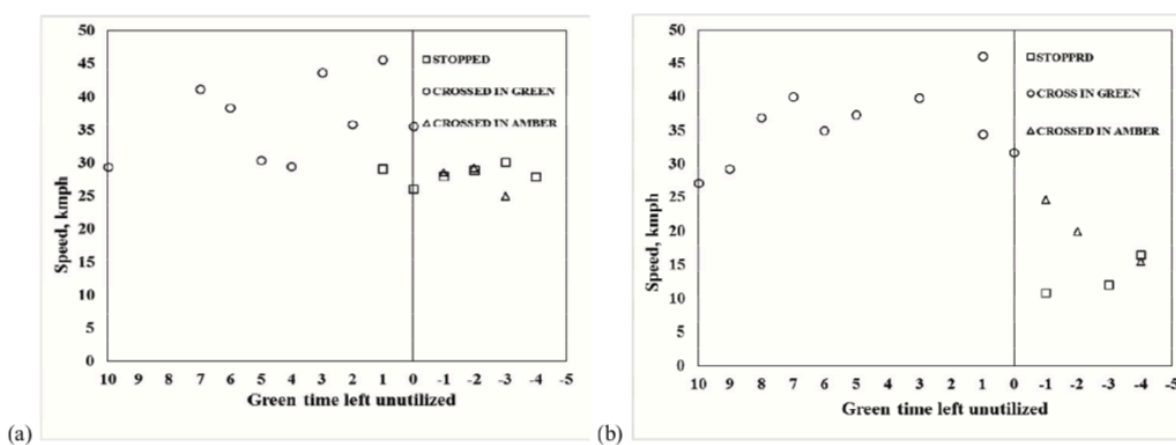
Tabel 5 laat ook zien dat de gemiddelde afstanden tot de stoplijn, voor bestuurders die besloten te stoppen, 33,4m was met aanwezigheid van countdown timers en 20m zonder. Aan de andere kant, voor bestuurders die ervoor kozen om over te steken, waren de afstanden respectievelijk 9 en 10,5 m. Bestuurders die ervoor kozen om te stoppen met afteltimer-uitgeruste kruispunten waren verder weg van de stoplijn dan de controlegroep. Bestuurders die ervoor kozen om over te steken op countdown timer uitgeruste kruispunten waren iets dichterbij de stoplijn. Het lijkt erop dat de informatie die door de countdown timers werd verstrekt, een aanzienlijk aantal bestuurders naar verschillende beslissingen leidde op verschillende afstanden van de stoplijn. Zonder aanwezigheid van countdown timers lijkt het erop dat bestuurders minder goed in staat waren de verandering van de fase te voorspellen en daardoor meer willekeur in hun beslissingen toonden. Dit kan worden geverifieerd door de Figuur 10 en Figuur 11 te vergelijken, waarbij de gegevenspunten van 2 bestuurdersbeslissingsgroepen in Figuur 10 duidelijker van elkaar zijn gescheiden dan die in Figuur 11. Wanneer de afstand tot de stoplijn groter was dan 20m, kon men vaststellen dat het aantal bestuurders dat een rood licht overtreding beging beduidend hoger lag bij aanwezigheid van een countdown timer dan wanneer dit systeem niet aanwezig was [20].

Al deze resultaten leiden tot volgende conclusie: Countdown timers kunnen leiden tot een verhoogd aantal doorkruisingen van een kruispunt (met verkeerslichten) in latere fases van het oranje licht of zelfs het rode licht in sommige gevallen. Deze bevinding roept dus zeker op tot verder onderzoek over hoe deze systeem al dan niet dienen toegepast te worden [20].

#### 4.2.1.5 *Het effect van countdown timers op de benaderingssnelheid van bestuurders bij verkeerslichtengeregelde kruispunten*

Countdown timers worden geïnstalleerd op verschillende grote kruispunten in India, zonder rekening te houden met de invloed ervan op de veiligheid en efficiëntie van desbetreffende kruispunten met verkeerslichten. Deze studie, die tot stand kwam in samenwerking met het 'Department of Civil Engineering, IIT Roorke', tracht te onderzoeken wat de invloed is van groen licht countdown timers op de naderende snelheid waarmee het kruispunt wordt benaderd door voertuigen. Er werden twee (verkeerslichtengeregelde) kruispunten onderzocht, zowel zonder als met countdown timer. De verkregen resultaten worden beschreven in volgende alinea [21].

Bij het naderen van een kruispunt (met aanwezigheid van countdown timer) lag de gemiddelde snelheid van de voertuigen die doorkruisten gedurende de laatste tien seconden van de groen licht fase beduidend hoger dan wanneer er geen countdown timer aanwezig was. Echter de benaderingssnelheid waarmee het kruispunt gedurende een oranje fase voor gestopt of doorkruist werd, lag hoger bij afwezigheid van een countdown timer. Met andere woorden de gemiddelde benaderingssnelheid van voertuigen voor een kruispunt gedurende een oranje fase van het verkeerslicht zakte significant bij aanwezigheid van een countdown timer. Deze resultaten kunnen teruggevonden worden in onderstaande Figuur 12 [21].



Figuur 12: Spreidingsdiagram van de resultaten: a) Kruispunt 1, b) Kruispunt 2 [21, p. 923]

In Tabel 6, terug te vinden op volgende pagina, worden de resultaten van de benaderingssnelheid van de kruispunten uitgezet voor de overgangsfase (groen→oranje). Hier kan men zien dat voor beide situaties (timer/geen timer) de voertuigen afremmen wanneer ze het kruispunt naderen (speedtrap s3 → s1). Echter ligt de benaderingssnelheid bij aanwezigheid van countdown timer hoger [21].

Tabel 6: Benaderingssnelheid van voertuigen voor een kruispunt [21, p. 924]

Speed Trap	Site 2- Without timer			Site 1- With timer		
	Mean (kmph)	Std. deviation (kmph)	Std. error mean (kmph)	Mean (kmph)	Std. deviation (kmph)	Std. error mean (kmph)
s3	42.17	10.37	1.11	50.14	9.69	1.64
s2	38.60	12.21	1.31	46.45	12.09	2.04
s1	34.95	13.81	1.48	43.23	12.98	2.20
s0	35.39	15.32	1.66	39.01	16.91	2.86

Uit deze studie kan besloten worden dat countdown timers niet altijd de gewenste doelen invullen. Er zijn namelijk neveneffecten, zoals het feit dat bestuurders hun snelheid in sommige gevallen gaan opdrijven om nog net voor het rode licht het kruispunt te doorkruisen. Een goede studie over de correcte uitvoering en toepassing van het systeem is ook hier de conclusie [21].

#### 4.2.2 Samenvatting

Countdown timers kunnen worden toegepast om bestuurders te helpen bij hun beslissing om te stoppen bij het begin van de oranje en rode lichtfase. Het gebruik ervan wordt alsmat populairder. Desondanks is het wetenschappelijk onderzoek ernaar eerder beperkt, zeker in het geval dat men te maken heeft met een in-vehicle-countdown-timer. Eerder behandelde studies hadden bijna allemaal betrekking op timers die geplaatst waren ter hoogte van een verkeerslicht zelf. Het kan niet bewezen worden dat de effecten op het gedrag van de bestuurders analoog zijn voor wanneer er gebruik gemaakt wordt in-vehicle-countdown-timers. Desalniettemin kan er nuttige informatie uit worden afgeleid voor de implementatie en interpretatie van de countdown timer die dit onderzoek behandelt.

De resultaten van eerdere studies waren uiteenlopend en niet eenduidig. Drie van de vijf studies kwamen overeen dat het aantal voertuigen dat het kruispunt gedurende de oranje fase doorkruiste afnam door toepassing van een countdown timer. Echter waren er twee die dit tegenspraken. Dit gold ook voor de benaderingssnelheid en het al dan niet eerder remmen van de voertuigen: enkele onderzoeken beweerden dat deze afnam door toepassing van een countdown timer, terwijl de andere dan het exact tegenovergestelde vaststelden. Hier was er spraken van 'racen-tegen-de-klok' om alsnog het kruispunt te doorkruisen, in sommige gevallen zelfs door het rode licht. Ook zorgde de countdown timer voor meer twijfel en meer spreiding in de beslissingen gedurende de dilemmazones. Men kan dus besluiten dat de resultaten erg controversieel zijn. Dit kan voornamelijk toegeschreven worden aan de verschillende (rij-)omgevingen waarin de onderzoeken plaatsvonden. Ook werd er geen gebruik gemaakt van in-vehicle-countdown-timers. Het is dus zeer moeilijk om de studies eenduidig te vergelijken.

## 4.3 Vehicle-to-infrastructure communicatie

Vehicle-to-infrastructure, ook wel V2I of v2i genoemd, is een communicatiemodel dat voertuigen de mogelijkheid geeft om informatie uit te wisselen met de infrastructuurcomponenten van een wegennet. De communicatie tussen de componenten kan in twee richtingen gebeuren; met andere woorden van de infrastructuur naar de wagen en van de wagen naar de infrastructuur. De V2I architectuur zorgt ervoor dat de snelheid en positie van een voertuig verzonden wordt naar een centrale server. Deze server of netwerk, waar zowel de infrastructuurcomponent als het voertuig mee verbonden is, wil zoveel mogelijk gegevens van verscheidene voertuigen bewaren. Hoe meer gegevens de server tot zijn beschikking heeft, des te beter zijn doeltreffendheid zal zijn. Beide componenten kunnen signalen in verband met hun huidige toestand of situatie hierop uploaden. De informatie op dit netwerk kan vervolgens op een slimme manier, met behulp van intelligente transportsystemen, gebruikt worden om zo beter te anticiperen op gebeurtenissen die zullen plaatsvinden. De toepassingen van dit principe zijn uiteenlopend en kunnen zowel gericht zijn op vlak van veiligheid als op vlak van mobiliteit. De systemen kunnen in de meeste gevallen onderverdeeld worden in vijf verschillende groepen. De paragraaf "V2I toepassingen", die hierop volgt, gaat er verder op in [11] [22] [23].

### 4.3.1 V2I toepassingen

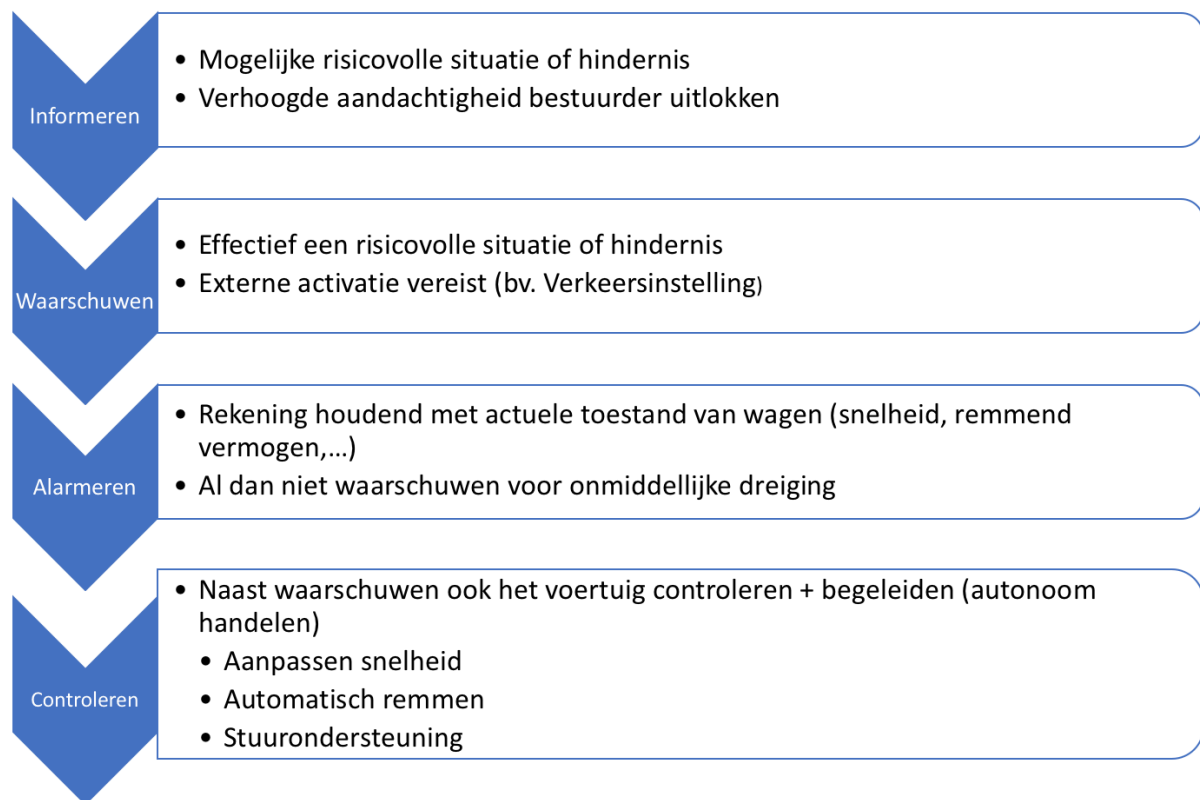
Een eerste toepassing is de informatie-applicatie. Dit is niet meer dan een elektronische waarschuwing aan de bestuurder dat een risicovolle situatie of hindernis mogelijk nadert. Het doel van deze toepassing is eerder om een verhoogde aandachtigheid van de bestuurder uit te lokken zodat hij beter op de hoogte is van wat er zich afspeelt op de weg. De waarschuwing gebeurt meestal aan de hand van een elektronische display of audiotoon. Bijkomend kunnen ze de actuele wegsignalisatieborden weergeven op deze display [23].

De waarschuwingsapplicatie daarentegen, verschilt met eerdergenoemde doordat hij meer nauwkeurige informatie kan geven. Er is hier effectief sprake van een risicovolle situatie of hindernis. Voorbeelden van deze alarmen zijn files en gladde wegen. Opdat deze applicaties correct kunnen werken hebben ze noodzaak aan een externe activatie. Deze activatie informeert de wagen dan met welke hindernis of risico er gaande is [23].

Aanvullend bestaat er ook een alarmeringsapplicatie. Deze bevat elektronische alarmen en signalen die rekening houden met de actuele toestand van de wagen. Rekening houdend met de (omgeving)situatie gaan ze de bestuurder al dan niet alarmeren voor een onmiddellijke dreiging. Eigen aan deze situatie is dat ze gebaseerd is op de actuele snelheid van het voertuig alsook bijkomende parameters zoals het remmend vermogen [23].

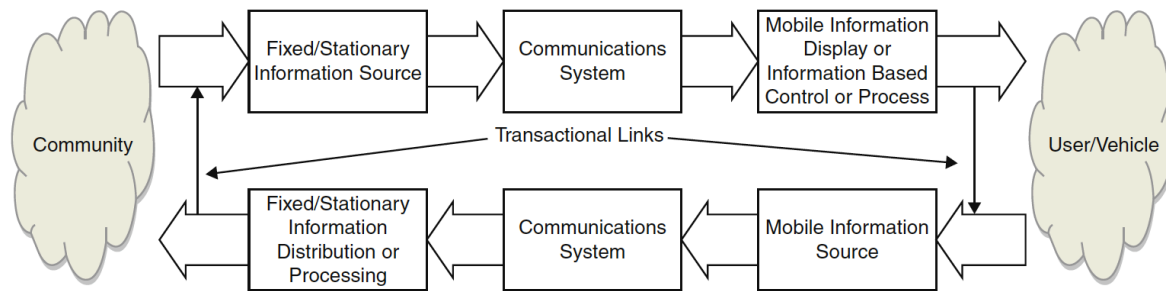


Een andere toepassing is de controle-applicatie. Deze applicatie kan naast het waarschuwen ook effectief het voertuig controleren en begeleiden in een gevaarlijke situatie om zo ongelukken te vermijden. Onder deze controle-applicaties vallen meerdere gevallen maar de voornaamste zijn: het aanpassen van de snelheid, automatisch remmen (rekening houdend met de signalisatie) en stuurondersteuning. Met andere woorden is het voertuig in staat autonoom te handelen en reageren nadat het getriggerd werd door een gevaarlijke situatie. Figuur 13 hieronder geeft een overzicht weer van de verschillende toepassingen [23].



*Figuur 13: Overzicht V2I toepassingen*

De laatste toepassing van vehicle-to-infrastructure communicatie kan men beschrijven onder de data uitwisseling applicatie. Data wordt hierbij uitgewisseld tussen het voertuig en een server van dienstverleners. Deze uitwisseling kan zowel statisch als dynamisch gebeuren. Statische uitwisselingen bevatten niet noodzakelijk een verzoek of notificatie. Ze vinden eerder plaats ten gevolge van een interne trigger, zoals bijvoorbeeld wanneer een bepaalde hoeveelheid data is overschreden. De dynamische variant aan de andere kant, bevat een uitwisseling van minstens twee boodschappen. Men kan het zien als een schema dat een verzoek en een antwoord bevat, zoals weergegeven in Figuur 14 [23].



Figuur 14: Algemene V2I communicatie [23, p. 1124]

Algemeen gezien gaan V2I applicaties ofwel informatie leveren omtrent de verkeerssituatie, zodat het voertuig de bestuurder kan waarschuwen, ofwel gaan de systemen de controle van het voertuig overnemen om een hindernis of risicovolle situatie te ontwijken. De informatie-, alarm- en waarschuwingsapplicaties werken aan de hand van een trigger of gebeurtenis. Deze trigger kan een hindernis zijn, die locatie gebonden is, waarna de applicatie dan moet kiezen of er al dan niet tot actie moet worden overgegaan. Concreet zijn deze triggers of gebeurtenissen statisch of dynamisch. In volgende paragrafen wordt er dieper ingegaan op deze soorten gebeurtenissen [23].

#### 4.3.2 Gebeurtenissen

##### 4.3.2.1 Statische gebeurtenissen

Statische gebeurtenissen, ook wel evenementen genoemd, zijn ten alle tijden toepasbaar, en dit gedurende een bepaalde tijdsperiode (bijv. enkele dagen). De evenementen worden ondersteund door de wegsignalisatie die al dan niet permanent aanwezig is. Een typisch statische gebeurtenis is een risico op de weg. Voor dit risico wordt er dan een waarschuwing melding gecreëerd en rondgestuurd door een weginstantie. Deze instantie zal meestal het beherende verkeerscentrum zijn. De boodschap wordt rondgestuurd naar de voertuigen die zich in de algemene nabijheid bevinden van desbetreffend risico. Enkele voorbeelden van statische evenementen zijn: stopbord-gestuurde kruispunten, gevaarlijke bochten, steile afdalende hellingen, niet-gesignaleerde kruispunten, naderende rotondes, snelheidsdrempels, smalle doorgangen en schoolzones [23].

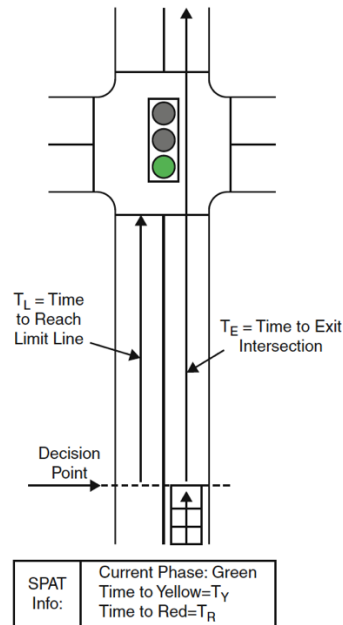
Aangezien de boodschap de locatie van het risico bevat, kan het ontvangende systeem in het voertuig dan lokaal bepalen of het al dan niet een effectieve dreiging is. Dit is bijvoorbeeld cruciaal bij de bepaling of het risico aanwezig is op desbetreffende rijstrook van het verplaatsende voertuig. Ook de richting waarin het voertuig zich verplaatst is hierin belangrijk. Als het risico dan een effectieve dreiging vertegenwoordigd, zal het systeem in het voertuig een van eerdergenoemde informatie-, alarm- of waarschuwingsapplicaties uitvoeren. Welke applicatie in dat geval het meest aan de orde is hangt vooral af van de

nabijheid van het risico. Als de afstand nog groot is zal het systeem de bestuurder eerder alarmeren. Op die manier is hij tijdig op de hoogte. Bij kortere afstanden tussen voertuig en risico, aangevuld door het laattijdig reageren van de bestuurder, zal het systeem de bestuurder waarschuwen en de juiste actie voorstellen. Bij de controle-applicaties gaat men zelfs verder en zal de controle over het voertuig deels worden overgenomen [23].

#### 4.3.2.2 *Dynamische gebeurtenissen*

De dynamische variant verschilt met voorgaande omdat hij zeer tijdelijk is. Het risico is met andere woorden slechts periodiek aanwezig. De informatie van een statisch evenement is relevant nadat het slechts eenmalig ontvangen is. Bij een dynamisch evenement dient de informatie regelmatig ontvangen te worden aangezien het evenement of gebeurtenis vaak wijzigt doorheen de tijd. Een andere mogelijkheid is dat de gebeurtenisinformatie overgebracht dient te worden zodat de applicatie vervolgens hieruit, aan de hand van de huidige tijd en info, de huidige toestand van de gebeurtenis kan achterhalen. Enkele typische dynamische gebeurtenissen zijn: naderende wegenwerken, wegomleidingen, verkeersongeval waarschuwingen, wegafsluitingen, weerinformatie, de slagboom- & verkeerslichtsituatie aan een spoorwegovergang, schoolzone op basis van tijdstip & dag van de week, en dieren die de weg oversteken [23].

Een belangrijk type van dynamische evenementen zijn kruispunten met verkeerslichten. De waarschuwingsapplicatie voor een kruispunten is vergelijkbaar met die van een wegrisico, alleen is het risico hier de actuele toestand van het kruispunt. De timing van de verkeerslichten zorgt ervoor dat de situatie varieert van geen risico (groen licht), bescheiden gevaar (oranje licht) tot zelfs een naderende stop (rood licht). Het is dus cruciaal dat de waarschuwingsberichten informatie betreffende tot de timing van de verkeerslichten bevatten. Deze waarschuwingsberichten, ook wel SPaT (Signal Phase and Timing [23]) genoemd, zijn gegenereerd door een 'signaal-controller'. Deze controller baseert zich op de actuele situatie van het kruispunten en dus de verkeerslichten. Hij zendt zijn gegevens uit naar de nabijgelegen voertuigen. Het desbetreffende ontvangende voertuig kan dan voorspellen wat de toestand van het verkeerslicht zal zijn wanneer hij zich aan de in- en uitgang van het kruispunt bevindt. Enerzijds, wanneer beide toestanden indiceren dat het kruispunt veilig is (bijv. groen licht bij ingang en oranje licht bij uitgang), zal het systeem niets ondernemen. Anderzijds, wanneer de voorspellingen indiceren dat een veilige doorgang niet mogelijk is (uitgang is geen groen of oranje licht), dan zal het systeem de bestuurder in het voertuig waarschuwen. Figuur 15 geeft deze structuur visueel weer [23].



Figuur 15: Structuur van een rood licht applicatie [23, p. 1128]

#### 4.4 Implementatie van de red-light warning

De red-light warning, zoals onderzocht zal worden, is een voorbeeld van eerdergenoemde waarschuwingapplicaties. Rekening houdend met de omgevingssituatie (toestand van het verkeerslicht aan het naderende kruispunt) gaat men de bestuurder al dan niet waarschuwen voor een onmiddellijke dreiging in de vorm van een rood verkeerslicht. Het werkt aan de hand van dynamische gebeurtenissen. Die gebeurtenis is in dit geval de fase waarin het verkeerslicht zich bevindt. Het doel van de waarschuwing is dat de bestuurder op de hoogte wordt gebracht in welke lichtfase het naderend kruispunt zich bevindt. Aan de hand van voertuigsensoren en de data van de infrastructuurcomponenten zal het systeem de bestuurder al dan niet waarschuwen voor een dreigend risico of overtreding van de rood licht fase. Het systeem combineert SPaT van de verkeerslichten en de geometrische gegevens van het kruispunt met de kinetische data van het voertuig. De kinetische data, in de vorm van de huidige snelheid van het voertuig (men beschouwt de geldende maximumsnelheid), staat de applicatie vervolgens toe om de potentiële overtreding van een rood licht te voorspellen [23] [24].



## 5. Materiaal

### 5.1 Hardware

Doordat er in de thesis wordt samengewerkt met de onderzoeksinstelling IMOB is er een rijnsimulator tot de beschikking. Figuur 16 geeft een visueel beeld van de opstelling. De rijnsimulator zorgt ervoor dat het onderzoek zo nauw mogelijk met de werkelijkheid aansluit zonder de testkandidaten, net als alle omstaande personen, in gevaar te brengen. De rijnsimulator vormt de hardware. Echter zonder gebruik te maken van goede software zal het onderzoek niet realiseerbaar zijn. Het is namelijk de software die ervoor zorgt dat de werkelijkheid zo reëel mogelijk voorgesteld kan worden en gecodeerd kan worden naar de eisen van het onderzoek.



*Figuur 16: Rijnsimulator IMOB [1]*

### 5.2 Software

De software die gebruikt zal worden is STISIM Drive 3. STISIM geeft de mogelijkheid om verschillende scenario's te schrijven. De proefpersonen kunnen zo worden blootgesteld aan verschillende omgevingen. De keuze voor STISIM lag voor de hand. De software werd de afgelopen 30 jaar al wereldwijd gebruikt om studies uit te voeren in een divers gamma van industrieën en toepassingen zoals: farmaceutisch onderzoek, automobiel ontwerp, cognitieve en menselijke factoren, etc. Onderzoekers in de grote Amerikaanse universiteiten, eveneens het onderzoekscentrum van de U Hasselt, IMOB, gebruiken deze software om data te verwerven. De software heeft in voorgaande onderzoeken met de rijnsimulator reeds zijn effectiviteit bewezen. Door het feit dat STISIM Drive een open, programmeerbare en flexibele software is, is dit de te gebruiken software bij uitstek. De software kan telkens verder worden uitgebreid en genereert een

volledig interactieve virtuele realiteit. Vanwege het feit dat men niet beperkt is te werken met voorgeprogrammeerde situaties en trajecten, wordt de gewenste realiteit in de rijnsimulator zeer goed benaderd en zijn de uitgevoerde studies representatief [25].

## 6. Methode

Zoals eerder aangehaald, werd na analyse van de ongevallencijfers besloten om te onderzoeken in een rijomgeving die kruispunten gelegen op een expresweg omvat. De in-vehicle-countdown-timer kan hier optimaal getest worden omdat dit de gevallen zijn waar de grootste remmanoeuvres dienen uitgevoerd te worden. Countdown timers worden in België tot op heden nog niet toegepast. Wereldwijd bestaan er wel al toepassingen van dit systeem, maar onderzoeken naar een countdown timer geplaatst in het voertuig zélf (met het principe van V2I) zijn extreem schaars. Dit onderzoek zal zich daarom onderscheiden door het effect van een countdown timer op de reactie van een bestuurder bij een naderend verkeerslicht te onderzoeken, en dat in een rijnsimulator.

### 6.1 Scenario's

De simulatie kan onderverdeeld worden in twee condities, namelijk één met toepassing van een geïntegreerde countdown timer in het voertuig in de vorm van een head-up display op de virtuele voorruit en één zonder toepassing van dit systeem. Het onderzoek is met andere woorden een perfect voorbeeld van een *'within-subject design'*. Er vindt een rechtstreekse vergelijking plaats tussen de handelingen van de bestuurder met en zonder applicatie van een countdown timer aan het kruispunt.

### 6.2 Virtuele rijomgeving

Er werd getracht een zo nauwkeurig mogelijke kopie te creëren van een vierbaansweg met middenberm (expresweg) zoals deze in de meeste gevallen in België wordt toegepast. De afmetingen van de rijstroken en rijmarkeringen werden rekening houdend met de nationale normen gecodeerd in de software. Verder werden er ook bomen en gebouwen toegevoegd om een zo realistisch mogelijke situatie te creëren. Hiernaast werd ook verkeer toegevoegd, en dit in beide richtingen alsook kruisend verkeer ter hoogte van de kruispunten. In de huidige rijrichting werd het verkeer tot een minimum beperkt om afleiding en irrelevante resultaten te vermijden. Het kruispunt zelf wordt vooral gedefinieerd door de verkeerslichten zoals te zien valt op Figuur 17 op volgende pagina.

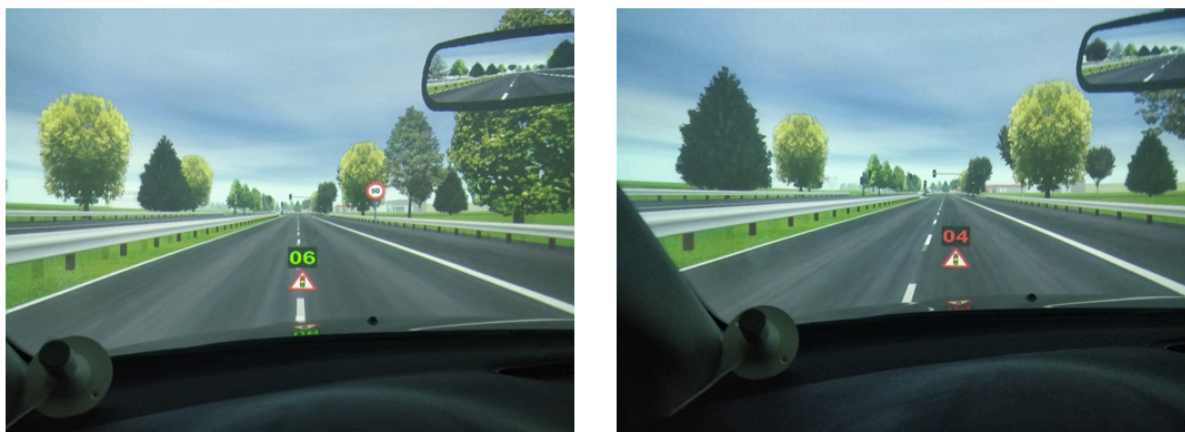




*Figuur 17: Virtuele rijomgeving in STISIM Drive*

### 6.3 De countdown timer

Er werd gekozen voor een numerieke countdown timer. Deze timer telt van acht tot nul seconden waarbij eerst drie seconden worden weergegeven van de groene lichtfase aan de hand van groene cijfers. Voor de laatste vijf seconden gaat men over naar de oranje lichtfase. Voor een expresweg van 90km/u schrijft de Belgische wetgeving een oranje lichtfase van vijf seconden voor. Deze laatste vijf seconden worden ook in de rode kleur weergegeven. De Figuur 18 hieronder geeft weer hoe de countdown timer werd geïmplementeerd in de virtuele omgeving van de rij simulator. De cijfers werden achtereenvolgens weergegeven van acht naar nul zoals te zien valt in Figuur 19. Bijkomend werd een afbeelding van een verkeerslichtbord toegevoegd. Dit om duidelijk te maken dat de cijfers betrekking hebben tot het naderend verkeerslicht.



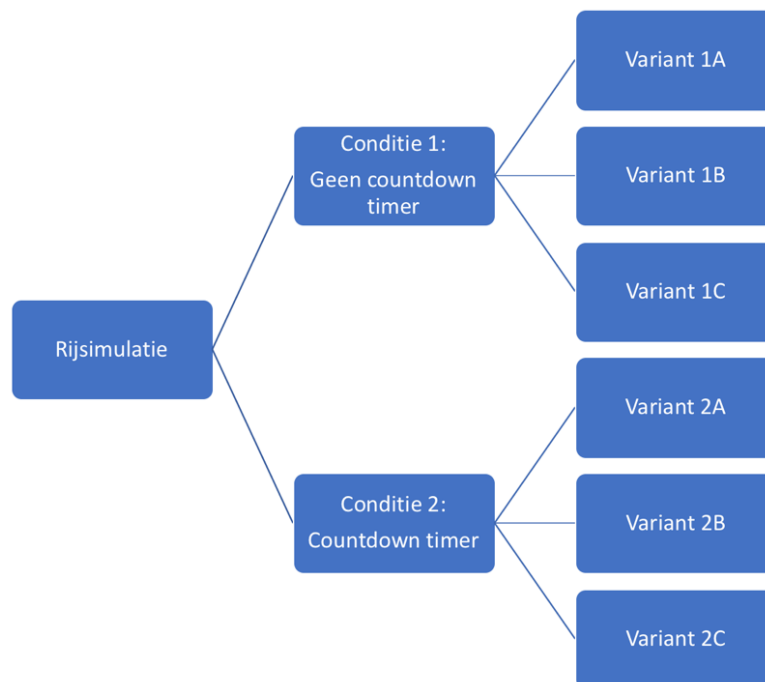
*Figuur 18: Impressie van de countdown timer*



*Figuur 19: De countdown timer zoals geïmplementeerd in de rijssimulator*

## 6.4 De rijtrajecten

De rijtrajecten kan men onderverdelen in twee gevallen. Het eerste geval betreft een traject zonder toepassing van een countdown timer voor de verkeerslichten, terwijl het tweede geval wel gebruikt maakt van deze toepassing. Er werden in totaal zes trajecten gecodeerd in de software; drie met countdown timer en drie zonder. Elke trajectvariant bevat vijf kruispunten, waarbij er tussen de kruispunten een willekeurige opvulling voorzien werd. Met deze opvulling wordt bedoeld een bocht, gedefinieerd door de richting en een bepaalde boogstraal, of een heuvel. Veelvuldig trial-and-error testen van het traject door de onderzoekers garandeerde dat het een realistische ervaring geeft aan de proefpersonen. Bochten werden niet te scherp gecodeerd om zoveel mogelijk gevallen van simulatorziekte te vermijden. Van deze vijf kruispunten werd er slechts data verzameld voor de drie identieke kruispunten met een dilemmazone zoals uitgelegd in paragraaf 5.2.2. Figuur 20 hieronder en Tabel 7 op volgende pagina geven een overzicht weer van de verschillende gevallen.



*Figuur 20: Overzicht van de rijssimulatie*

Tabel 7: Overzicht van de rijtrajecten

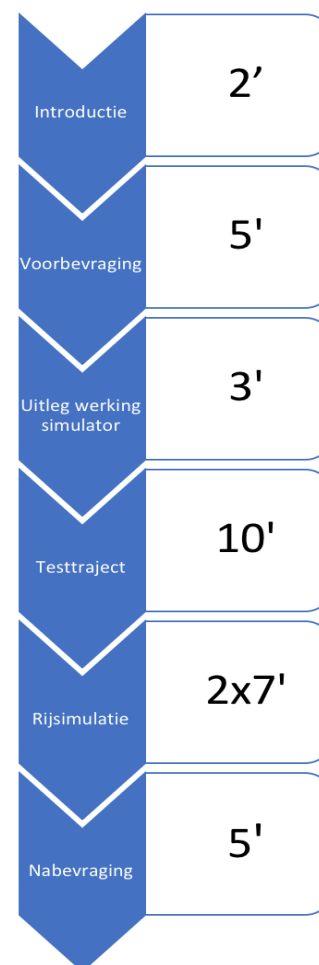
	Klassiek traject (#)	Countdown timer traject (#)
<b>Aantal varianten</b>	3	3
<b>Dilemma-kruispunten</b>	3	3
<b>Kruispunten groen licht</b>	1	1
<b>Kruispunten rood licht</b>	1	1

## 6.5 De proefpersonen

De proefpersonen, ook wel deelnemers genoemd, van het experiment dienden door de onderzoekers zelf verzameld te worden. Er werd een totaal van 46 proefpersonen verkregen, waarvan er twee werden uitgesloten. Paragraaf 7.1 gaat hier verder op in. De vereisten voor deel te nemen waren de Belgische nationaliteit hebben en het in bezit zijn van minstens een geldig rijbewijs B. Er werden geen verdere eisen opgelegd. Door te focussen op mensen met een Belgische nationaliteit werd ervoor gezorgd dat de mensen zeker gewend waren aan de Belgische rijcultuur. Het doelpubliek waren vooral studenten en recentelijk afgestudeerden.

## 6.6 Het experiment

Vooraleer de proefpersonen werden onderworpen aan het eigenlijke testtraject werd hij onderworpen aan een voorbevraging (zie Bijlage A). Van zodra deze voorbevraging succesvol werd afgerond, ging men over naar de simulator. De werking van de pedalen en het stuur werden toegelicht. Ook trachtte men de proefpersoon in een comfortabele en correcte zitpositie te brengen. Belangrijk om aan te halen is het feit dat de proefpersoon herhaaldelijk op de hoogte werd gebracht van de ernst van het onderzoek. Hiermee bedoelt men dat er aan de proefpersonen werd gevraagd om het onderzoek serieus te nemen en niet te bezien als een spel. Eens de proefpersoon uitgebreid op de hoogte werd gebracht van de werking van de simulator, werd er overgegaan naar het testtraject. Het testtraject heeft als enig doel om de proefpersoon te laten gewoon worden aan de besturing van de simulator. Er werden hier dus geen gegevens verzameld. Deze rit nam, afhankelijk van persoon tot persoon, ongeveer 10 minuten in beslag. Door de proefpersonen op voorhand te laten gewoon worden aan de simulator werd er gezorgd dat de eigenlijke testen veel meer representatief zouden zijn. De proefpersonen waren dan immers al op de hoogte van de werking en dienden zich enkel te focussen op de naderende verkeerssituaties.



Figuur 21: Volgorde van het experiment

Na het testtraject volgden beide rijtrajecten waarbij het onderzoek plaatsvond en er aldus gemeten werd. De proefpersoon werd eerst onderworpen aan het klassieke rijtraject gevolgd door het countdown timer traject. De onderzoekers stonden ook stil bij de negatieve invloed van het effect van leren op volgorde. Mensen kunnen hun gedrag aanpassen voor een volgend kruispunt op basis van hun ervaringen met eerder benaderde kruispunten. Indien er eenzelfde traject werd gebruikt voor alle deelnemers, met andere woorden slechts één variant, kan dit leren door volgorde de resultaten negatief beïnvloeden. In het ergste geval kan het leiden tot incorrecte besluiten. Om deze negatieve invloed te vermijden werden er dus meerdere varianten gecodeerd voor beide gevallen. De desbetreffende rijtrajectvariant werd volledig willekeurig vastgelegd door een loting.

Ten slotte werden de proefpersonen na succesvol afronden van de rijtrajecten onderworpen aan een nabevraging (zie Bijlage B). Het was hier belangrijk dat de proefpersoon niet beïnvloed werd door omstanders. Pas na het invullen van de bevraging werd er kort overlegd en gevraagd naar de opmerkingen van de deelnemer. Figuur 21 geeft de volgorde van het experiment schematisch weer. Bijkomend geeft het een gemiddelde weer van de tijdsduur van de verschillende onderdelen in minuten. Het experiment nam circa 40 minuten per persoon in beslag.

## 6.7 Dataverzameling

Het vergaren van de nodige parameters is cruciaal voor een complete verzameling van data te verkrijgen. Indien er op voorhand niet werd nagedacht welke parameters vereist zijn voor het kunnen analyseren van de gewenste handelingen van de proefpersonen bij het naderen van een kruispunt (al dan niet met toepassing van een countdown timer), dan kon dit na de onderzoeken niet meer aangepast worden. Concreet werd er op voorhand bepaald wat er geanalyseerd diende te worden. Aan de hand van deze omlijsting werd er vervolgens vastgelegd welke parameters hiervoor gemeten dienden te worden.

Volgende handelingen van de proefpersonen wenst men te analyseren voor beide gevallen:

- het al dan niet stoppen voor het kruispunt bij oranje lichtfase;
- afstand ten opzichte van het kruispunt op dewelke het remmanoeuvre wordt ingezet;
- een snelheidsprofiel van de aankomstsnelheid van de bestuurder vanaf een afstand van 250m voor het kruispunt, waarbij er een onderscheid wordt gemaakt tussen bestuurders die doorreden en zij die stopten;
- de (acceleratie) aan de hand van een acceleratiecurve waarbij men kan zien hoe 'hard' de bestuurders remmen over een afstand vanaf 250m voor het kruispunt.

De vereiste parameters om bovenstaande handelingen te kunnen analyseren worden weergegeven in onderstaande Tabel 8.

*Tabel 8: Overzicht van de benodigde parameters*

<b>Parameter</b>	<b>Eenheid</b>
Tijd	s
Afstand	m
Snelheid	km/u
De(acceleratie)	$m/s^2$
Throttle-input	%
Rem-input	%

## 7. Resultaten

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de beschrijvende en statistische analyses. De onbewerkte ruwe output data afkomstig van de simulatorsoftware STISIM Drive is geïmporteerd in Microsoft Excel voor verwerking. Excel is hoofdzakelijk gebruikt voor het sorteren en visualiseren van de resultaten. Op basis van deze grafische weergaven is vervolgens een beschrijvende analyse uitgevoerd. Hiernaast is er ook gebruik gemaakt van het programma SPSS. SPSS geeft naast het visualiseren van enkele resultaten vooral de mogelijkheid tot het uitvoeren van statistische analyses. Om te bepalen of de waargenomen verschillen statistisch significant zijn, is een MANOVA-analyse uitgevoerd in dit programma.

Er wordt gestart met een korte beschrijving van de proefpersonen. De steekproefpopulatie wordt verklaard, alsook de uitsluiting van enkele gegevens. Vervolgens wordt er stilgestaan bij het gedrag van de proefpersonen bij de dilemmazones. Hierbij wordt de beschrijvende analyse ondersteund met statistische tests om te beoordelen of de waargenomen verschillen significant waren op het betrouwbaarheidsniveau van 95%.

### 7.1 Proefpersonen

Er namen in totaal 46 proefpersonen deel aan het experiment. Hiervan werden twee proefpersonen achteraf uitgesloten. Eén ervan ondervond gedurende de simulatie tekenen van simulatorziekte. De andere werd geclassificeerd als een statistische uitschieter met behulp van een t-toets. De resterende deelnemers, 44 in totaal, bestonden uit 41 mannen en drie vrouwen. Hun leeftijd varieerde tussen 20 en 65 jaar oud. Alle deelnemers hadden de Belgische nationaliteit, waarvan de meerderheid woonachtig was in de provincie Limburg. De proefpersonen werden gevraagd hoelang zij in het bezit waren van een geldig rijbewijs B. Indien dit minder dan vijf jaar bedroeg, werden zij beschouwd als onervaren rijder. Uit de bevraging bleek dat 31 van de 44 deelnemers onervaren bestuurders waren. Driekwart van de deelnemers was student. 30% van alle deelnemers draagt in het dagelijkse leven een bril of lenzen. Ook werd er gevraagd naar het jaarlijks aantal afgelegde kilometers met de wagen. Hier bleek dat de meerderheid, namelijk 70%, minder dan 14,999km per jaar aflegt.

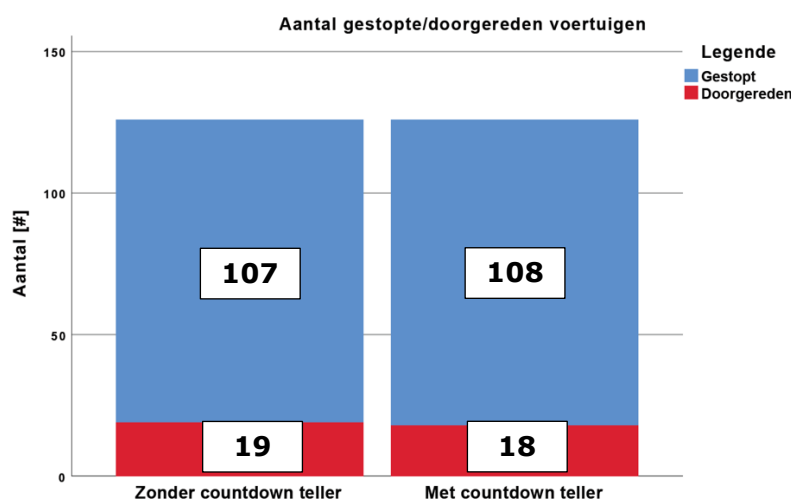
Verder gaven 18 van de 44 deelnemers aan gebruik te maken van een radar waarschuwingssysteem. 70% van alle deelnemers duidde aan dat ze de snelheid niet altijd respecteren in het dagelijkse leven. Tenslotte werd er ook nog gevraagd naar de betrokkenheid met een ongeval in het verleden. Hierbij bleek dat de helft van alle deelnemers nog nooit betrokken was met een ongeval. 19 deelnemers hadden al te maken met een ongeval met enkel materiële schade. Er was slechts één deelnemer die betrokken was met een ongeval met zwaargewonden. Bijlage C bevat een visuele beschrijving van de resultaten van het vooronderzoek bij de proefpopulatie.

## 7.2 Dilemmazones

Zoals eerder aangehaald, zal de analyse van het gedrag van de bestuurders bij het naderen van de kruispunten met dilemmazones gebaseerd zijn op verschillende prestatie maatstaven. Op basis van de verschillen in het aantal gestopte of niet gestopte voertuigen, de hoeveelheid versnelling, de toenaderingssnelheid en de remafstand ten opzichte van het kruispunt kunnen conclusies getrokken worden omtrent de doeltreffendheid van de countdown timer op vlak van verkeersveiligheid. Belangrijk om op te merken is het feit dat er een onderscheid is gemaakt tussen de bestuurders die stopten en de bestuurders die besloten om het kruispunt te doorkruisen gedurende de oranje lichtfase. In dit hoofdstuk zullen deze resultaten daarom afzonderlijk worden besproken.

### 7.2.1 Aantal gestopte voertuigen

Het verschil in aantal voertuigen dat stopte voor de dilemma-kruispunten is een belangrijke indicator om de countdown timer te beoordelen op vlak van verkeersveiligheid maar ook op vlak van verkeersstroomefficiëntie. Herinner u dat de kruispunten zo werden gecodeerd dat het mogelijk was om op een veilige manier te stoppen voor het kruispunt ondanks de dilemmazone. Dit was voor alle scenario's identiek. Door het oranje licht rijden is dus volgens de wetgeving illegaal in deze gevallen. Er werd verwacht dat er meer bestuurders zouden stoppen voor het verkeerslicht bij aanwezigheid van een countdown timer in de wagen, aangezien er meer informatie tot de beschikking van de bestuurder is en deze vooral tijdiger kan beslissen om actie te ondernemen. De beslissing zou minder impulsief kunnen zijn.



Figuur 22: Hoeveelheid gestopte en doorgereden voertuigen voor beide condities

Figuur 22 op vorige pagina geeft de resultaten weer voor beide condities. Elke conditie bevatte drie dilemmazones. Bij het klassieke traject, zonder toepassing van een timer, besloten de bestuurder in 84,92% van de gevallen te stoppen voor het kruispunt. Bij het andere geval, waar er wél een countdown timer aanwezig was in het voertuig, stopten de bestuurders in 85,71% van de gevallen.

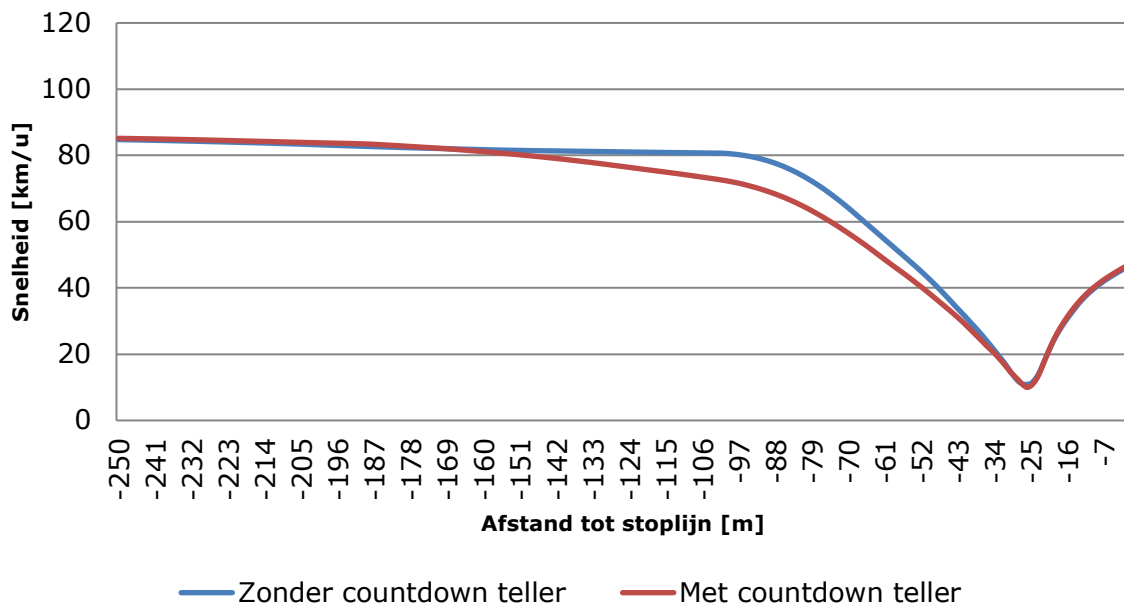
## 7.2.2 Snelheid

Zoals eerder aangehaald in de literatuurstudie kunnen countdown timers invloed hebben op de toenaderingssnelheid voor het kruispunt. Men zou kunnen vermoeden dat bestuurders bij benadering van het kruispunt hun snelheid eerder minderen aangezien ze tijdiger op de hoogte worden gesteld van de volgende lichtfase. Deze studie onderzocht de toenaderingssnelheid van de bestuurders tijdens de laatste 250m voor het kruispunt, en dit voor beide condities. Bijkomend werd er een onderscheid gemaakt tussen de bestuurders die stopten en de bestuurders die besloten door te rijden.

### 7.2.2.1 *Gestopte bestuurders*

Er werd een gemiddelde uitgezet van alle individuele snelheidsprofielen gedurende de laatste 250m voor het kruispunt in Figuur 23. De gemiddelde snelheidscurve overschrijdt de maximumsnelheid van 90km/u niet bij het begin van het interval voor beide condities. Een eerste duidelijk verschil in beide situaties valt waar te nemen op een afstand van ca. 160m voor het kruispunt. Bij aanwezigheid van countdown timer valt te zien dat de snelheid vanaf dit punt al geleidelijk aan afneemt. In de klassieke situatie is dit pas het geval op een afstand van ca. 90m voor het kruispunt. Dit valt waarschijnlijk toe te wijten aan de lichtfaseverandering van groen naar oranje, die op een afstand van 100m plaatsvindt. Voor de klassieke situatie, zonder toepassing van een countdown timer, valt ook op dat de snelheid meer abrupt afneemt in vergelijking met de situatie met toepassing van countdown timer. De curves geven dit verschil weer. Ten slotte kunnen de individuele snelheidsprofielen teruggevonden worden in Bijlage E.

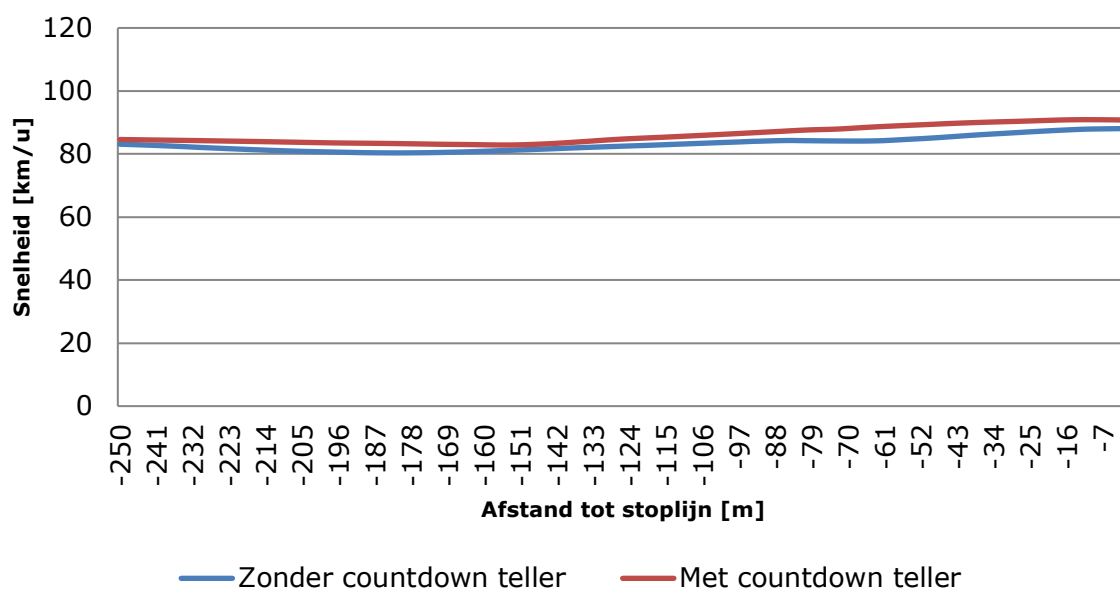




*Figuur 23: Gemiddelde snelheidscurve van de bestuurders die stopten voor het kruispunt*

#### 7.2.2.2 Doorgereden bestuurders

Figuur 24 geeft een visueel beeld van het gemiddelde van alle individuele snelheidsprofielen, en dat voor beide situaties. Voor het geval dat de bestuurders beslisten om door te rijden bij het kruispunt valt te zien dat voor beide condities de snelheid lichtjes begint toe te nemen vanaf 140m voor het kruispunt. Dit is nog voor de oranje lichtfase. Echter blijven de snelheden wel nog binnen de opgelegde snelheidsbeperking van 90km/u. Wanneer de oranje lichtfase van actief is, dit is vanaf 100m voor het kruispunt, blijven de snelheden voor beide gevallen toenemen. Belangrijker om op te merken is echter het feit dat de snelheid in het geval met toepassing van countdown timer meer toeneemt en ook hoger ligt dan in het geval waar geen countdown timer werd toegepast. De toename in snelheid voor de countdown timer situatie is gemiddeld 6km/u. Tenslotte kunnen de individuele snelheidsprofielen van alle bestuurders teruggevonden worden in Bijlage E.



Figuur 24: Gemiddelde snelheidscurve van de bestuurders die doorreden bij het kruispunt

### 7.2.3 Acceleratie

Naast de toenaderingssnelheid, is de acceleratie of versnelling een zeer belangrijke indicator voor het verkeersveiligheidsniveau. De versnelling gedurende de oranje lichtfase kunnen we in dit geval beter vertraging noemen, aangezien ze in de meeste gevallen een negatieve waarde zal hebben. Er is een vermoeden dat het gebruik van een countdown timer kan leiden tot minder bruske remmanoeuvres. Hierbij wordt bedoeld dat er minder remkracht dient uitgeoefend te worden, omdat bestuurders het aftellen als een verlenging van de oranje lichtfase kunnen gaan beschouwen. De vraag is nu of dit kan leiden tot minder kop-staartbotsingen, wat zou resulteren in een toename op vlak van verkeersveiligheid. Om dit te onderzoeken werden alle individuele acceleratiecurves uitgezet voor de bestuurders ter hoogte van de dilemma-kruispunten vanaf 250m voor het kruispunt. Hiervan werd vervolgens een gemiddelde curve gecreëerd, en dit voor beide condities. Zoals eerder besproken werd er een onderscheid gemaakt tussen bestuurders die stopten en bestuurders die doorreden.

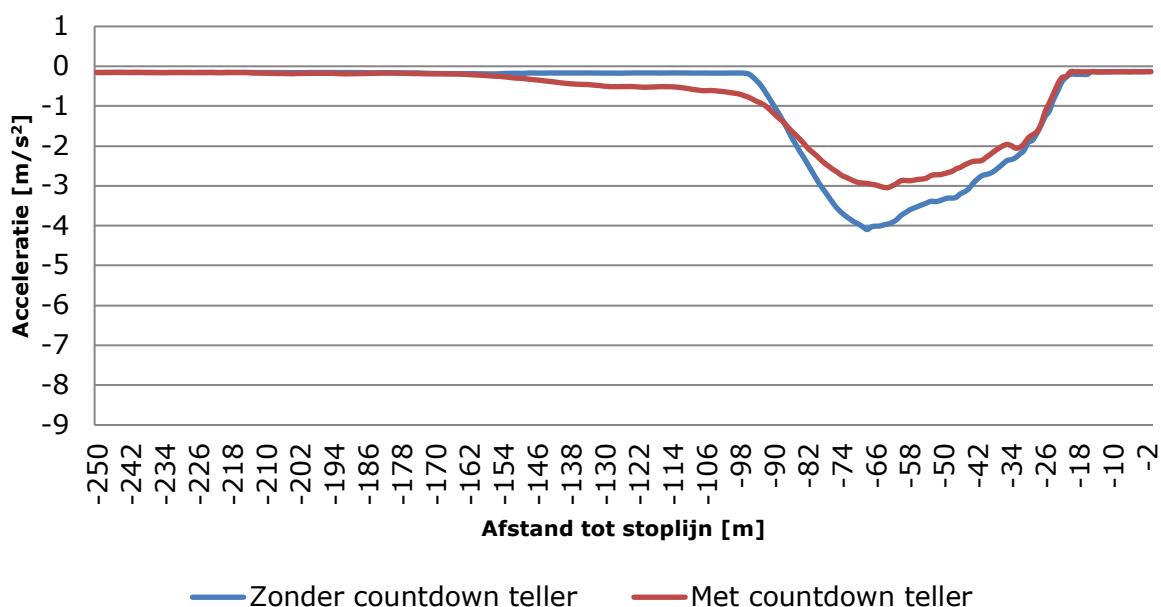
#### 7.2.3.1 Gestopte bestuurders

Algemeen wordt aangenomen dat een comfortabel remmanoeuvre overeenkomt met een vertraging van  $3\text{m/s}^2$  [26]. De maximale remkracht in het geval van de simulator, hiermee wordt bedoeld het volledig intrappen en dus blokkeren van de remmen (noodstop), komt overeen met een vertraging van ca.  $8\text{m/s}^2$ . Het aantal deelnemers dat deze maximale remkracht heeft toegepast ligt beduidend hoger voor het geval dat er geen countdown timer werd toegepast. Tabel 9 vat deze resultaten samen.

Tabel 9: Aantal bestuurders dat de maximale vertraging heeft toegepast

	# maximale vertraging	% maximale vertraging	# gestopt
Geen CT	34	31,78	107
Countdown timer	11	10,19	108

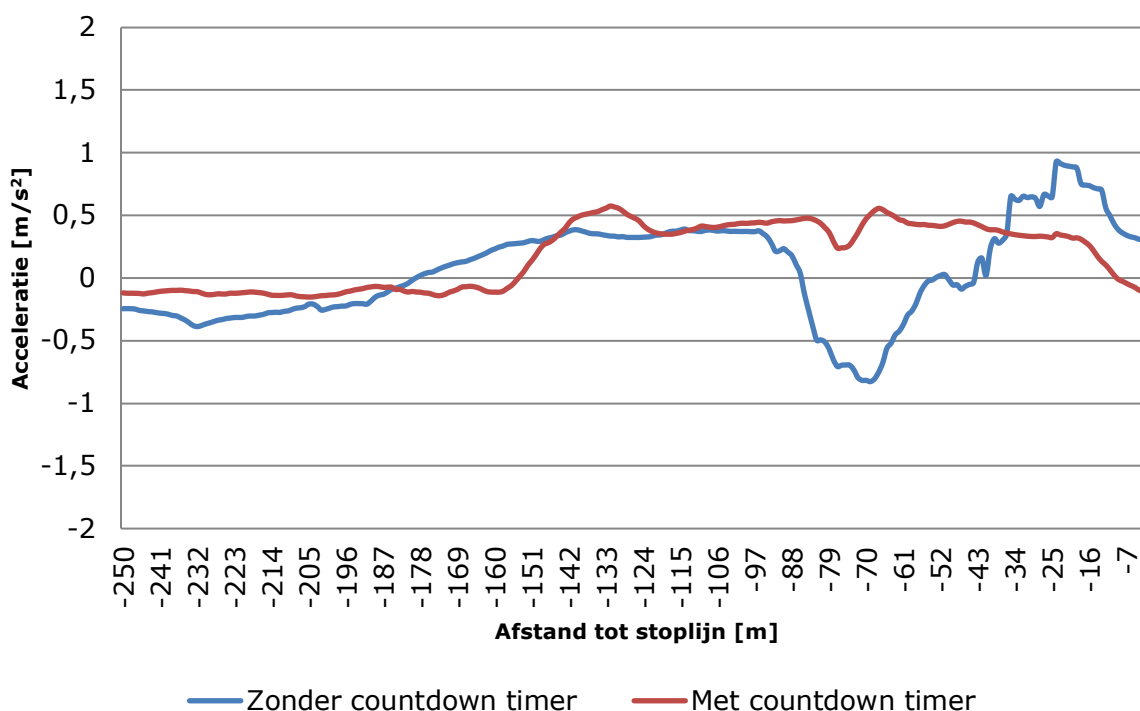
Verder valt deze vaststelling ook terug te vinden op de visuele uitzetting van alle individuele acceleratieprofielen voor beide condities, die teruggevonden kunnen worden in Bijlage F. Als we het gemiddelde uitzetten van alle individuele profielen in Figuur 25 voor beide condities wordt deze trend bevestigd. Indien de bestuurders meer en eerder informatie tot hun beschikking krijgen, wordt er comfortabeler geremd. Verder valt ook op te merken dat de vertraging eerder plaatsvindt, met andere woorden wordt het remmen eerder aangevat. In het geval met countdown timer begonnen bestuurders met remmen ca. 160m voor het kruispunt. In het klassieke geval, zonder toepassing van countdown timer was dit pas op ca. 95m voor het kruispunt. Dit is logisch aangezien de faseverandering van het verkeerslicht plaatsvindt op 100m voor het kruispunt. Ook zien we dat bij toepassing van een countdown timer de gemiddelde maximale remkracht de comfortabele waarde van  $-3\text{m/s}^2$  niet overschreden wordt. In het klassieke geval is dit wel zo. Dit gemiddelde maximale vertraging is hier ca.  $-4\text{m/s}^2$ .



Figuur 25: Gemiddelde acceleratiecurves voor bestuurders die stopten voor het kruispunt

### 7.2.3.2 Doorgereden bestuurders

Er werd ook gekeken naar de individuele acceleratieprofielen voor de bestuurders die doorreden bij het kruispunt. Deze resultaten kunnen worden teruggevonden in Bijlage F. Wanneer men hier een gemiddelde van alle verschillende profielen van uitzet voor beide condities zoals weergegeven in Figuur 26, kunnen hier enkele verschillen in worden teruggevonden. Wat niet verschilt is het feit dat er voor beide condities geaccelereerd wordt. Deze (positieve) acceleratie begint eerder voor het geval dat er geen countdown timer is toegepast. Verder is het grote verschil vooral het feit dat er een twijfeling aanwezig is in het geval dat er geen timer werd toegepast. Eerst wordt er vertraagd om dan vervolgens alsnog te accelereren en het oranje licht te doorkruisen. Deze twijfeling is niet waar te nemen indien er een countdown timer werd toegepast. Het lijkt alsof de bestuurders hier meer vastberaden zijn in hun beslissing gedurende de dilemmazone. Belangrijk om op te merken is het feit dat de grootte van de (positieve) acceleraties beperkt is. Het is de vraag of dit kan beschreven worden onder het 'racen-tegen-de-klok' principe.

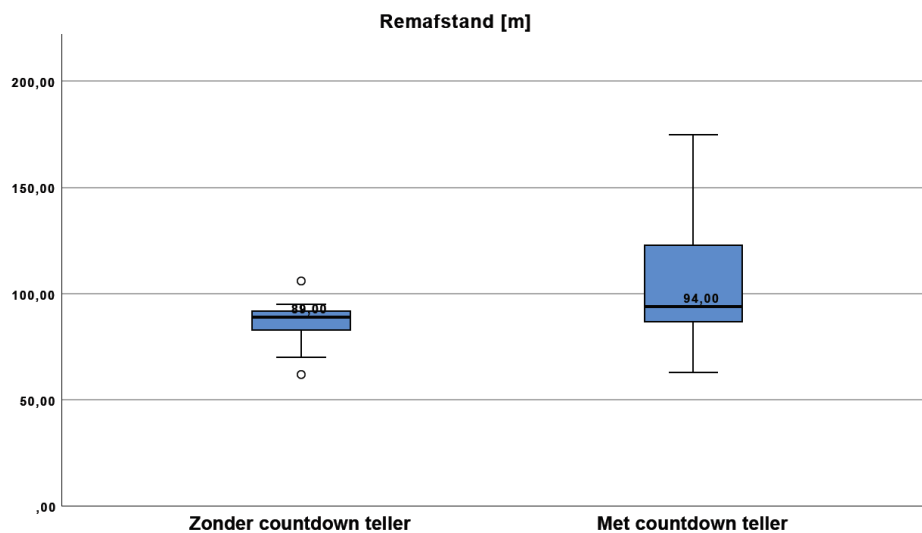


Figuur 26: Gemiddelde acceleratiecurves voor bestuurders die doorreden bij het kruispunt

### 7.2.4 Remafstand

Met het begrip remafstand wordt bedoeld de afstand ten opzichte van het kruispunt waarop het remmanoeuvre wordt ingezet. Herinner dat de faseverandering van het verkeerslicht van groen naar oranje plaatsvindt op een afstand van 100m voor het kruispunt. Er wordt verwacht dat het remmanoeuvre in het geval met toepassing van countdown timer reeds voor deze faseverandering wordt aangevat. In het klassieke geval is de kans zeer klein dat er al geremd zou worden voor deze faseverandering. Figuur 27 geeft een visualisatie weer van de

resultaten in de vorm van een boxplot. Het eerste wat opvalt is het feit dat de remafstanden voor de countdown timer situatie veel meer verspreid zijn dan in het klassieke geval. De blauwgekleurde zones geven dit verschil in spreiding weer. Hierbij zou men kunnen stellen dat de beslissingen van de bestuurders gedurende de dilemmazone meer verschillen indien er een countdown timer werd toegepast.



*Figuur 27: Boxplot van de remafstand ten opzichte van het kruispunt*

Bijkomend valt te zien dat de mediaan van de remafstanden met 94m hoger ligt dan de mediaan van de remafstanden voor het klassieke geval, die hier 89m bedraagt. In het geval zonder countdown timer zijn er ook twee uitschieters terug te vinden. Deze werden enkel weergegeven maar niet in beschouwing genomen. Als men vervolgens de minimum- en maximumwaardes (zonder uitschieters) vergelijkt voor beide condities valt op te merken dat de minimumwaarde voor de countdownsituatie lager is dan voor het klassieke geval. Dit gaat tegen de verwachtingen in. Het feit dat de maximumwaarde voor de countdown situatie hoger bedraagt sluit wel aan bij de verwachtingen.

### 7.2.5 MANOVA-analyse

Vorige paragrafen gaven een beschrijvende analyse van de resultaten door middel van grafische weergaven. Echter belangrijk om op te merken is dat deze beschrijving van de al dan niet verschillen in de resultaten tussen de condities niet statistische gestaafd is. Door een MANOVA-analyse uit te voeren op de resultaten kunnen deze verschillen wel worden gestaafd. De statistische analyse geeft weer of de eerder gevonden verschillen al dan niet significant waren. Bijkomend kan men ook zien of er interactie-effecten waren tussen de verschillende variabelen.

De verschillen tussen de acceleratie- en snelheidscurves die zichtbaar zijn op eerder besproken figuren, worden behandeld met de MANOVA-analyse. Hiervoor wordt er gewerkt met verschillende punten. Een rechtstreekse vergelijking tussen beide condities van het gedrag van de proefpersonen op desbetreffende posities kan zo geanalyseerd worden. Het eerste punt is vastgelegd op 175m van de stopstreep van het kruispunt. Verder dan 175m het kruispunt zijn er namelijk nog geen zichtbare verschillen op te merken. Vervolgens wordt er om de 25m een punt genomen. Tabel 10 hieronder weergegeven geeft een overzicht van de posities van de punten.

*Tabel 10: Ligging van de vergelijkingspunten ten opzichte van de stopstreep van het kruispunt*

Punt	Afstand tot kruispunt [m]
1	175
2	150
3	125
4	100
5	75
6	50
7	25
8	0

Beide condities worden in volgende paragrafen rechtstreeks met elkaar vergeleken op vlak van benaderingssnelheid en vertraging. Het gedrag van een proefpersoon in beide condities is met andere woorden vergeleken. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen de situaties dat de bestuurders stopten op doorheden bij het kruispunt.

#### 7.2.5.1 Gestopte bestuurders

Wanneer de snelheid en acceleratie wordt geanalyseerd voor beide condities in het geval dat de bestuurders stopten voor het kruispunt, zien we dat er voor punt één, twee en acht geen significant verschil op te merken valt voor beide parameters. Voor punt twee is er wel al een significant verschil op vlak van acceleratie. Vanaf punt drie t.e.m. punt vijf is de significantie groot. Punt 6 beschrijft enkel een significant verschil op vlak van snelheid. Tabel 11 op volgende pagina geeft de meest bepalende resultaten weer. De p-waardes zijn voor deze gevallen kleiner dan 0,05. De overige resultaten kunnen teruggevonden worden in Bijlage G.

Tabel 11: MANOVA-analyse puntenvergelijking gestopte bestuurders

Punt 3		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	4,180 <sup>*</sup>	1,049	,000	2,112	6,248	
	Met teller	Zonder teller	-4,180 <sup>*</sup>	1,049	,000	-6,248	-2,112	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,344 <sup>*</sup>	,077	,000	,192	,497	
	Met teller	Zonder teller	-,344 <sup>*</sup>	,077	,000	-,497	-,192	

Punt 4		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	7,904 <sup>*</sup>	1,383	,000	5,179	10,629	
	Met teller	Zonder teller	-7,904 <sup>*</sup>	1,383	,000	-10,629	-5,179	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,505 <sup>*</sup>	,090	,000	,326	,683	
	Met teller	Zonder teller	-,505 <sup>*</sup>	,090	,000	-,683	-,326	

Punt 5		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	7,955 <sup>*</sup>	1,793	,000	4,421	11,489	
	Met teller	Zonder teller	-7,955 <sup>*</sup>	1,793	,000	-11,489	-4,421	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,893 <sup>*</sup>	,240	,000	-1,366	-,419	
	Met teller	Zonder teller	,893 <sup>*</sup>	,240	,000	,419	1,366	

De statistische analyse bevestigt met andere woorden de vaststellingen die werden gedaan bij de beschrijvende analyse. Bijkomend is er ook gekeken of de teller een significante invloed had over de laatste 175m in het algemeen. Hierbij is elke meter in rekening gebracht. Tabel 12 geeft deze analyse weer. Er valt te zien dat op vlak van snelheid het verschil in beide condities significant was voor de laatste 175m in totaal. Bij de acceleratie is dit niet het geval. De p-waarde is hier groter dan 0,05.

Tabel 12: MANOVA-analyse algemene vergelijking gestopte bestuurders

		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	3,349 <sup>*</sup>	1,231	,007	,934	5,764	
	Met teller	Zonder teller	-3,349 <sup>*</sup>	1,231	,007	-5,764	-,934	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,075	,082	,358	-,235	,085	
	Met teller	Zonder teller	,075	,082	,358	-,085	,235	

### 7.2.5.2 Doorgereden bestuurders

Wanneer men nu de snelheid en acceleratie analyseert voor beide condities in het geval dat de bestuurders doorreden bij het kruispunt, valt er slechts voor twee punten een significant verschil waar te nemen. Punt vijf en zes verschillen significant op vlak van snelheid, zoals terug te zien in Tabel 13. Dit komt volledig overeen met de snelheidscurve die eerder werd behandeld bij de beschrijvende analyse. Bestuurders verhogen hun snelheid bij toepassing van countdown timer. De overige analyses zijn terug te vinden in Bijlage G.

Tabel 13: MANOVA-analyse puntenvergelijking doorgereden bestuurders

Punt 5		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-4,482 <sup>*</sup>	1,520	,006	-7,569	-1,396	
	Met teller	Zonder teller	4,482 <sup>*</sup>	1,520	,006	1,396	7,569	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,581	,303	,064	-1,197	,035	
	Met teller	Zonder teller	,581	,303	,064	-,035	1,197	

Punt 6		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-9,070 <sup>*</sup>	3,555	,015	-16,286	-1,853	
	Met teller	Zonder teller	9,070 <sup>*</sup>	3,555	,015	1,853	16,286	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,212	,308	,497	-,837	,413	
	Met teller	Zonder teller	,212	,308	,497	-,413	,837	

Net als bij het vorige geval is er ook nu gekeken of de teller een significante invloed had over de laatste 175m in het algemeen. Hierbij is elke meter in rekening gebracht. Tabel 14 geeft deze analyse weer. Er valt te zien dat op vlak van snelheid het verschil in beide condities significant was voor de laatste 175m in totaal. Bij de acceleratie is dit niet het geval. De p-waarde is hier groter dan 0,05.

Tabel 14: MANOVA-analyse algemene vergelijking doorgereden bestuurders

		Pairwise Comparisons						
Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>		
						Lower Bound	Upper Bound	
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-5,444 <sup>*</sup>	1,144	,000	-7,696	-3,192	
	Met teller	Zonder teller	5,444 <sup>*</sup>	1,144	,000	3,192	7,696	
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,086	,059	,149	-,203	,031	
	Met teller	Zonder teller	,086	,059	,149	-,031	,203	

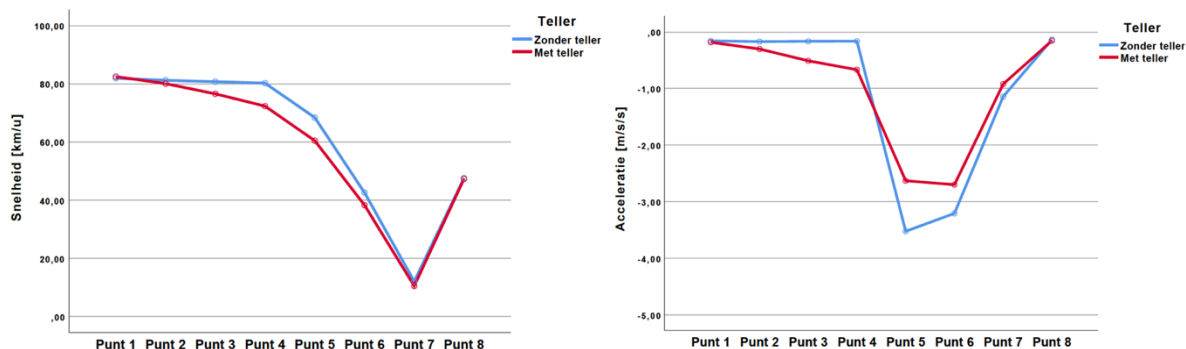


Een overzicht van de eindresultaten van de MANOVA-analyse voor beide gevallen (gestopt/doorgereden) wordt ten slotte weergegeven in onderstaande Tabel 15 en Tabel 16. Bijkomend geven Figuur 28 en Figuur 29 dit grafisch weer.

Tabel 15: Significantie gestopte bestuurders

Punt	Afstand tot kruispunt [m]	Vershil Snelheid	Vershil acceleratie
1	175	Niet sig.	Niet sig.
2	150	Niet sig.	Significant
3	125	Significant	Significant
4	100	Significant	Significant
5	75	Significant	Significant
6	50	Significant	Niet sig.
7	25	Niet sig.	Niet sig.
8	0	Niet sig.	Niet sig.

Figuur 28 geeft een visueel beeld van de statistische verschillen. De significante verschillen zijn duidelijk zichtbaar voor zowel de snelheid (links) en de acceleratie (rechts).

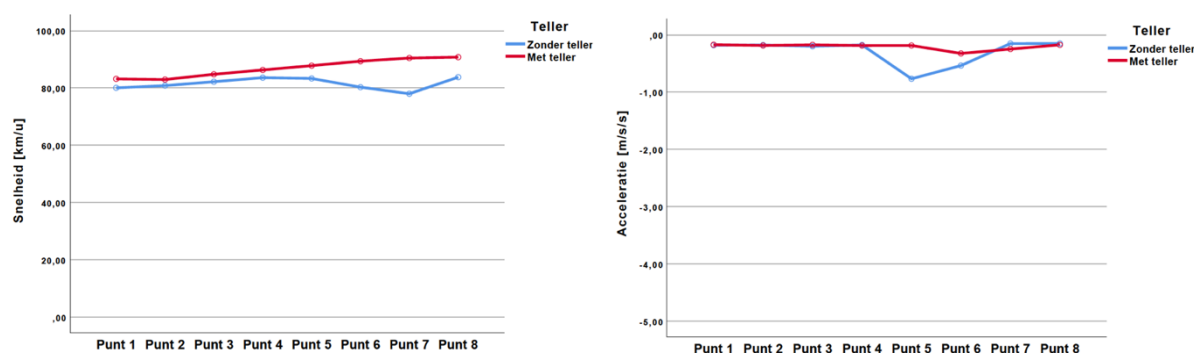


Figuur 28: Gestopte bestuurders: statistische verschillen (links: snelheid; rechts: acceleratie)

Tabel 16: Significantie doorgereden bestuurders

Punt	Afstand tot kruispunt [m]	Vershil Snelheid	Vershil acceleratie
1	175	Niet sig.	Niet sig.
2	150	Niet sig.	Niet sig.
3	125	Niet sig.	Niet sig.
4	100	Niet sig.	Niet sig.
5	75	Significant	Niet sig.
6	50	Significant	Niet sig.
7	25	Niet sig.	Niet sig.
8	0	Niet sig.	Niet sig.

Ook voor de doorgereden bestuurders werd een grafiek uitgezet van de statistische verschillen. Deze zijn terug te vinden in Figuur 29 hieronder weergegeven.



Figuur 29: Doorgereden bestuurders: statistische verschillen (links: snelheid; rechts: acceleratie)

### 7.2.5.3 Leereffect

Met het leereffect wordt bedoeld dat bestuurders anders zouden kunnen gaan reageren naargelang ze vaker/herhaaldelijk blootgesteld worden aan de countdown timer. In het geval dat deze stelling zou kloppen is dit terug te zien in de analyse van de snelheid en acceleratie van de verschillende kruispunten. In deze analyse wordt er gekeken naar de bestuurders die zijn gestopt en naar de kruispunten waar de countdown timer actief was.

Er valt te zien dat er voor de acceleratie geen significant verschil is op te merken tussen de verschillende kruispunten. Voor de snelheid zijn er wel verschillen op te merken, maar deze zijn niet significant. Tabel 17 hieronder geeft de analyse weer. Hieruit kunnen we besluiten dat het leereffect geen invloed heeft gehad op de uitgevoerde testen en de bekomen resultaten.

Tabel 17: MANOVA-analyse: leereffect tussen de kruispunten

Pairwise Comparisons							
Dependent Variable	(I) Kruispunt	(J) Kruispunt	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Kruispunt 1	Kruispunt 2	2,474	2,162	,759	-2,712	7,659
		Kruispunt 3	2,272	2,103	,840	-2,771	7,316
	Kruispunt 2	Kruispunt 1	-2,474	2,162	,759	-7,659	2,712
		Kruispunt 3	-,201	2,134	1,000	-5,321	4,918
	Kruispunt 3	Kruispunt 1	-2,272	2,103	,840	-7,316	2,771
		Kruispunt 2	,201	2,134	1,000	-4,918	5,321
Acceleratie	Kruispunt 1	Kruispunt 2	-,119	,130	1,000	-,431	,192
		Kruispunt 3	-,010	,126	1,000	-,313	,293
	Kruispunt 2	Kruispunt 1	,119	,130	1,000	-,192	,431
		Kruispunt 3	,109	,128	1,000	-,199	,416
	Kruispunt 3	Kruispunt 1	,010	,126	1,000	-,293	,313
		Kruispunt 2	-,109	,128	1,000	-,416	,199

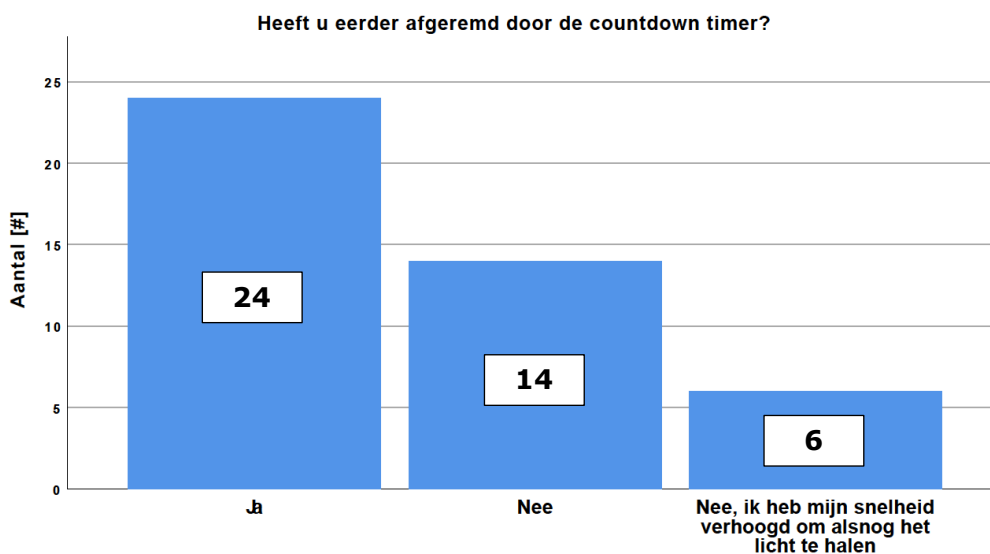
## 7.3 Publieke perceptie

Het experiment werd afgerond met een nabevraging. Deze bevraging, die terug te vinden is in Bijlage B, gaf de onderzoekers een idee over de publieke perceptie omtrent de voor- en nadelen van een countdown timer. In hetgeen wat volgt wordt er een beschrijvende analyse uitgevoerd.

Er werd gestart door te vragen of het rijgedrag in de simulator overeenkwam met de werkelijkheid. De grote meerderheid, 32 van de 44 deelnemers, gaf aan dat het rijgedrag min of meer overeenkwam met de werkelijkheid. Acht personen gaven aan dat het gedrag enigszins afweek. Ten slotte gaven er slechts vier personen aan dat het gedrag sterk afweek. Uit deze resultaten kan er besloten worden dat de resultaten verkregen in de rijsimulator representatief zijn voor de werkelijkheid.

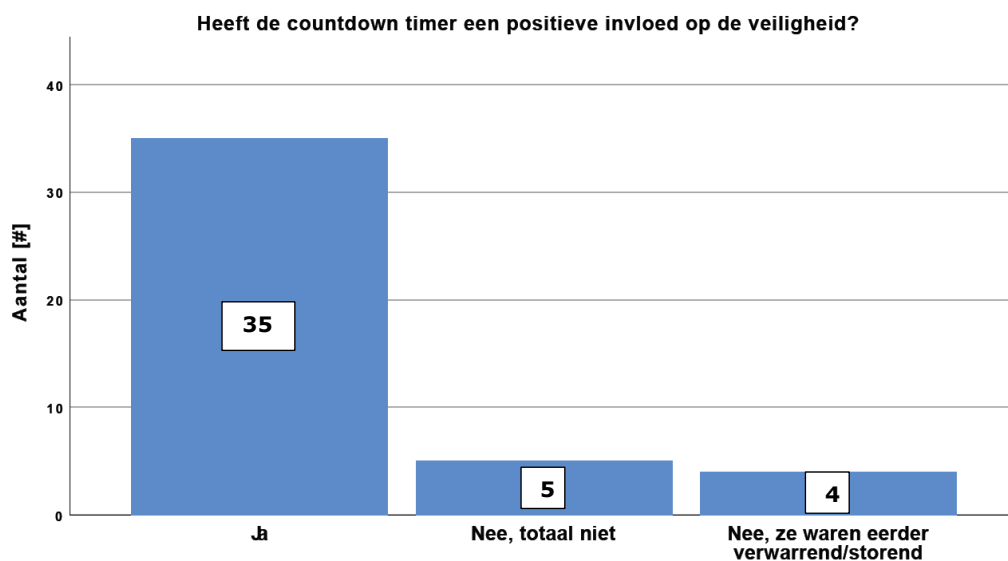
### 7.3.1 Impact op de veiligheid

Zoals eerder aangehaald is het punt waarop het remmanoeuvre wordt aangevat ten opzichte van het kruispunt een belangrijke indicator voor het verkeersveiligheid niveau. Eerder remmen betekent minder hard remmen. Minder hard remmen heeft op zijn beurt dan weer een positieve invloed op het aantal kopstaart botsingen. De resultaten van de publieke perceptie, die weergegeven worden in Figuur 30, bevestigen in dit geval de numerieke resultaten die eerder al geanalyseerd werden. 54,5% gaf te kennen eerder geremd te hebben, met andere woorden op een grotere afstand van het kruispunt. 31,8% gaf aan dat dit niet geval was volgens hun. Belangrijk is vooral het feit dat er zes personen waren die aangaven dat ze hun snelheid verhoogd hebben om alsnog het kruispunt te doorkruisen gedurende de oranje lichtfase. Hier werd gedurende de literatuurstudie al voor gewaarschuwd, bestuurders zouden namelijk willen racen voor alsnog het oranje licht te behalen



Figuur 30: Nabevraging: remafstand

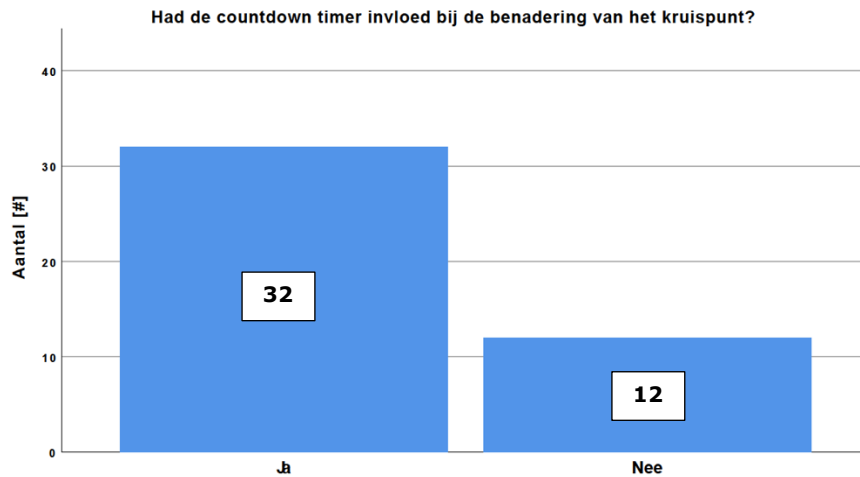
Bijkomend werd er aan de proefpersonen gevraagd wat hun mening was over de invloed van een countdown timer op vlak van verkeersveiligheid. Deze resultaten kunnen worden visueel voorgesteld in Figuur 31. Geruststellend was het feit dat ca. 80% te kennen gaf dat ze de toepassing van een countdown timer in het voertuig een positieve invloed vonden op de verkeersveiligheid. Vijf personen waren van mening dat het geen positieve invloed had, maar dat het wel niet storend was. Vier personen daarentegen gaven aan dat dit wel het geval was, het systeem werd eerder verwarrend en storend bevonden voor het nemen van een beslissing gedurende de dilemmazone.



*Figuur 31: Nabevraging: invloed op verkeersveiligheid*

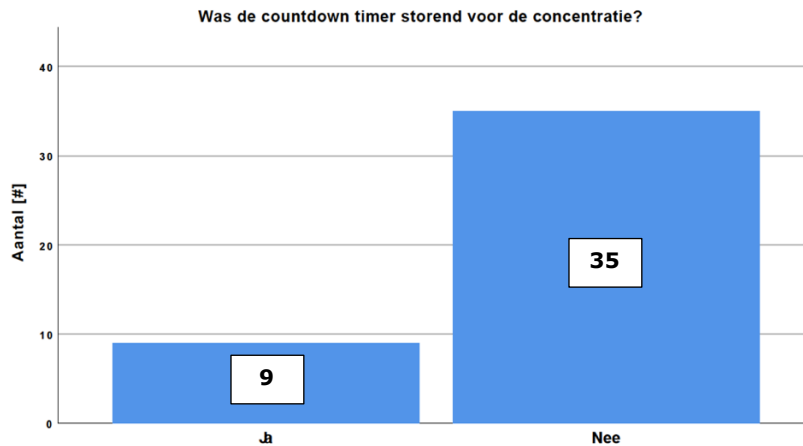
### 7.3.2 Impact op de concentratie

Door het implementeren van een countdown timer in het voertuig zelf, zou het mogelijk zijn dat bestuurders afgeleid kunnen worden door de cijfers die worden geprojecteerd op hun voorruit. De vraag is of deze invloed mogelijks negatief kan zijn voor de concentratie, en aldus de beslissing gedurende de dilemmazone moeilijker maken. Vooraleer aan de proefpersonen te vragen naar deze invloed op de concentratie, ging men na of de bestuurders hun benadering anders was indien er een countdown timer werd toegepast. Figuur 32 op volgende pagina geeft dit weer.



*Figuur 32: Nabevraging: invloed benadering kruispunt*

72,7% van de proefpersonen gaf aan dat hun benadering van het kruispunt bij toepassing van een countdown timer in de wagen wel degelijk gewijzigd was, dan wanneer dit niet het geval bleek. Deze overduidelijke meerderheid zegt echter niets over de invloed van het systeem op de concentratie en aldus de beslissing gedurende de dilemmazone. Figuur 33 behandelt deze vraag wel. Hier antwoorde bijna 80% dat de countdown timer, toegepast in de vorm van een head-up display in de voorruit, geen storende invloed had op de concentratie.



*Figuur 33: Nabevraging: invloed countdown timer op de concentratie*

## 8. Bespreking resultaten en discussie

Dit hoofdstuk zal dieper ingaan op de resultaten die werden voorgesteld in hoofdstuk 7. De resultaten worden kritisch geïnterpreteerd waarbij men in het achterhoofd houdt wat de invloed ervan is op vlak van verkeersveiligheid. Ook wordt er nagedacht over wat er eventueel geoptimaliseerd kan worden. Tenslotte wordt er beoordeeld of er voldaan is aan de onderzoeksvraag.

### 8.1 Dilemmazones

#### 8.1.1 Illegale doorkruisingen

Desondanks stoppen voor het verkeerlichtengeregelde kruispunt perfect mogelijk was tegen de opgelegde maximumsnelheid, waren er bestuurders die opteeden voor door te rijden. Men kan dit bestempelen als een illegale doorkruising van het kruispunt, afgaande op de regelgeving omtrent een oranje verkeerslicht. Het aantal illegale doorkruisingen bleef zo goed als ongewijzigd voor beide condities. De in-vehicle-countdown-timer had met andere woorden geen invloed op de bestuurders hun beslissing om al dan niet te stoppen voor het kruispunt. In dit geval is er dus geen sprake van een positieve invloed op vlak van verkeersveiligheid, maar ook geen negatieve.

#### 8.1.2 Benaderingssnelheid

Indien er gekeken werd naar de benaderingssnelheid van de bestuurders gedurende de laatste 250m ten opzichte van het kruispunt, gaf dit een perfecte kijk op het gedrag van de proefpersonen gedurende de dilemmazone. Voor de bestuurders die opteeden te stoppen voor het kruispunt, viel duidelijk op te merken dat zij hun snelheid eerder begonnen te minderen voor het kruispunt indien er een countdown timer werd toegepast. De statistische analyse bevestigde deze verschillen, en gaf aan dat ze significant waren. Verder gebeurde de afname in snelheid ook meer geleidelijk. Dit kan een positieve invloed hebben op het aantal kop-staartbotsingen. Deze zouden hierdoor kunnen afnemen.

In het andere geval, waarbij bestuurders besloten om het kruispunt (illegaal) te doorkruisen, was er ook een verschil op te merken tussen beide condities. Bestuurders besloten hier om hun snelheid te verhogen in beide condities. Echter in het geval dat er een countdown timer werd toegepast was deze verhoging in snelheid groter dan in het klassieke geval. Dit was in de zone van 80-45m ten opzichte van het kruispunt, en dus al ruim in de oranje fase gevorderd die al op 100m begon. Het verschil ertussen kan ook als significant beschouwd worden. Dit viel af te leiden uit de statistische MANOVA-analyse. Deze waarneming in de resultaten valt toe te schrijven onder het 'racen-tegen-de-klok' principe en heeft

een negatieve invloed op de verkeersveiligheid. De bestuurders verhogen hun snelheid om alsnog het kruispunt te doorkruisen vooraleer het licht op rood springt. De vraag stelt zich of het plaatsen van een flitspaal ter hoogte van het kruispunt deze feiten had kunnen vermijden.

### 8.1.3 Vertraging

Bij het analyseren van de acceleratie of vertraging gedurende de laatste 250m ten opzichte van het kruispunt is er sprake van significante verschillen tussen beide condities. De resultaten die waargenomen zijn bij het analyseren van de snelheidscurve, worden bevestigd. In het geval er een countdown timer is toegepast wordt de vertraging eerder ingezet. Er wordt minder hard geremd en meer gedoseerd over een langere afstand. Het aantal personen dat laattijdig een stop moest uitvoeren met maximale remkracht ligt ook beduidend lager. Al deze vaststelling hebben een positieve invloed op vlak van verkeersveiligheid, vooral als men kijkt naar het aantal kop-staartbotsingen. Belangrijk om op te merken echter is het feit dat de remmanoeuvres gemiddeld eerder werden ingezet indien er een countdown timer werd toegepast, maar dat de spreiding hierop veel groter was dan in het klassieke geval. De keuze met betrekking tot welk punt men het remmen aanvat, is minder eenduidig met aanwezigheid van countdown timer. De dilemmazone wordt dus groter. De vraag stelt zich of de countdown timer nog te veel verantwoordelijkheid legt bij de bestuurder. Deze dient namelijk nog altijd zelf te beslissen of het al dan niet haalbaar is het kruispunt te doorkruisen afgaande op de weergegeven getallen van de timer. Een waarschuwing in de vorm van symbolen, die éénduidig zeggen of het haalbaar is of niet, zouden dit fenomeen eventueel kunnen vermijden.

## 8.2 Publieke perceptie

Aan de hand van de nabevraging kon er gepeild worden naar de perceptie van de proefpersonen omtrent de doeltreffendheid van een in-vehicle-countdown-timer. Naast de impact ervan op de concentratie van de bestuurders wordt er vooral stilgestaan bij de impact op vlak van verkeersveiligheid. Beide onderdelen worden in volgende paragrafen besproken.

### 8.2.1 Impact op concentratie

Bijna 80% van de proefpersonen gaf aan dat de toepassing van een in-vehicle-countdown-timer in de vorm van een head-up display niet storend was voor de concentratie gedurende de benadering van een verkeerslichtengeregeld kruispunt. Meer dan 70% gaf wel aan dat de countdown timer een invloed had op de benadering van zo een kruispunt. Deze invloed kan zodus in de overgrote meerderheid van de gevallen niet als negatief worden beschouwd. Deze resultaten ontkrachten dus het vermoeden dat bestuurders te fel afgeleid zouden zijn wanneer ze een kruispunt benadering terwijl een countdown timer in werking is.

### 8.2.2 Impact op verkeersveiligheid

Meer dan 50% gaf te kennen dat ze eerder hebben afgeremd voor het kruispunt indien er een countdown timer werd toegepast. Dit werd bevestigd door de meetresultaten. Ca. 30% gaf aan dat hun remmanoeuvre niet eerder werd aangevat, maar ook niet later. Zes van de 44 proefpersonen gaven aan dat ze niet eerder hebben afgeremd voor het kruispunt, en zelfs hun snelheid hebben verhoogd om alsnog het kruispunt (illegaal) te doorkruisen. Deze perceptie volledig bevestigd door de eerder geanalyseerde resultaten. Het verschil is zelfs als significant bestempeld. Het feit dat de proefpersonen dit na de simulatie toegaven op de nabevraging, geeft aan dat het een bewuste keuze was. Men kan hier dus spreken van het racen-tegen-de-klok principe, wat absoluut een negatieve invloed heeft op de verkeersveiligheid. Echter mag men niet vergeten dat het hier ging om slechts 1,36% van de bestuurders. In de meerderheid was de invloed positief op de verkeersveiligheid, terwijl het voor de overige bestuurders neutraal bleek.

Geruststellend was dan ook het feit dat 80% van de proefpersonen aangaven dat de toepassing van een in-vehicle-countdown-timer een positieve invloed had op verkeersveiligheid ter hoogte van verkeerslichtengeregelde kruispunten. Slechts 0,9% van de proefpersonen vond dat countdown timers storend en verwarrend waren, en aldus een negatieve invloed hadden op de verkeersveiligheid. De rest van de proefpersonen had geen eenduidige mening en vond de invloed van countdown timers op vlak van verkeersveiligheid neutraal.

## 8.3 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag die deze studie beschrijft luidde als volgt:

*"Wat is de invloed van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichtengeregelde kruispunten, met betrekking tot de verkeersveiligheid?"*

Afgaande op de verkregen resultaten en vaststellingen is het moeilijk om hier een éénduidig antwoord op te geven. In-vehicle-countdown timers blijken in de grote meerderheid van de gevallen een positieve invloed te hebben op de verkeersveiligheid door de dilemmazone te veranderen en de vertragingsfase meer geleidelijk te maken. Echter waren er ook gevallen waar de countdown timers misbruikt werden, in die zin dat bestuurders gingen racen tegen de klok. Door de timers enkel toe te passen in combinatie met flitspalen ter hoogte van de kruispunten zou deze negatieve invloed op de verkeersveiligheid sterk kunnen afnemen. Verder zouden de countdown timers minder verantwoordelijkheid en keuze leggen bij de bestuurders indien er symbolisch werd weergegeven of het doorkruisen van het kruispunt op dat moment nog veilig mogelijk is, in plaats van enkel de tijd af te tellen tot het einde van de lichtfase. Er is met andere woorden geen eenduidig antwoord op de onderzoeksvraag.





## 9. Besluit

Deze studie onderzocht de effecten van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichtengeregelde kruispunten, met betrekking tot de verkeersveiligheid. De timers werden getest met behulp van dilemmazone scenario's. Dit hoofdstuk besluit de resultaten van het onderzoek. Hiernaast worden de gebruikte analysetechnieken nog kort aangehaald. Ten slotte geeft men nog enkele aanbevelingen met betrekkingen tot verder onderzoek.

### 9.1 Rijsimulatoronderzoek en experiment

Zoals eerder uitgelegd werd er geopteerd voor een rijsimulator als methode voor het verzamelen van data. In-vehicle-countdown-timers worden tot op heden nog niet toegepast in België. De simulator is vandaar de meest nauwkeurige benadering. Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat de resultaten slechts een indicatie zijn van de werkelijkheid. De verschillen van de rijcultuur in de virtuele omgeving en werkelijkheid, zorgen ervoor dat de resultaten van dit experiment niet voldoen om de werkelijke invloed van in-vehicle-countdown-timers te beoordelen. Er is nood aan reële gegevens van experimenten in België om deze resultaten te kunnen valideren.

Het rijsimulatie-experiment werd mogelijk gemaakt door 46 proefpersonen. Na uitzuivering van de resultaten bleven hier 44 proefpersonen van over. Eerst werden de proefpersonen ontvangen met een kleine introductie. Vervolgens dienden ze een voorbevraging in te vullen. Hierna werd de werking van de simulator uitgelegd. De proefpersonen kregen de kans een proefrit uit te oefenen. Daarna vond de eigenlijke simulatie plaats in twee delen; een met implementatie van countdown timer en een zonder dit systeem. Ten slotte werd er afgerond met een nabevraging.

### 9.2 Dataverzameling en analyse

De data werd verzameld met behulp van de simulatorsoftware STISIM Drive. De ruwe output data werd omgezet in Excel-bestanden. Hierbij werden de gegevens gerangschikt op afstand. De resultaten van de voor- en nabevraging werden verwerkt met het programma SPSS. Figuren van de gegevens van de simulatie werden zowel verkregen met Excel als SPSS. Excel werd hierin voornamelijk gebruikt om de gegevens uit te zuiveren en te sorteren. Naast het creëren van figuren voor een beschrijvende analyse van de resultaten, gaf SPSS vooral de mogelijkheid voor het uitvoeren van een statistische analyse. Deze MANOVA-analyse werd gebruikt om de verschillen tussen beide condities, die zichtbaar waren in de figuren, te beoordelen. Slechts als deze verschillen significant waren kon hier een concreet besluit omtrent gevormd worden. Verder werd deze

MANOVA-analyse ook gebruikt om het leereffect van de proefpersonen te onderzoeken doorheen de simulatie. Er bleek hier geen sprake van een leereffect.

### 9.3 Implementatie

De resultaten van deze studie tonen aan dat in-vehicle-countdown-timers het verkeersveiligheid niveau ter hoogte van verkeerslichtengeregelde kruispunten zouden kunnen verbeteren. Bestuurders remden eerder af voor het rode verkeerslicht wanneer deze timers werden toegepast. Ze waren al op de hoogte van de faseverandering van het verkeerslicht voor de oranje lichtfase zelf actief was. Naast het feit dat ze eerder afremden, werd er ook meer gedoseerd afgeremd. De timers zouden dus voor minder rood licht overtredingen kunnen zorgen alsook minder kans op kop-staartbotsingen. Desondanks durft men geen eenduidig advies te geven over de toepassing van in-vehicle-countdown-timers. Bestuurders die het kruispunt doorkruisten ondanks de oranje lichtfase en toepassing van timer, verhoogden hun snelheid. Deze verhoging in snelheid was gering, maar wel significant groter dan wanneer er geen timer werd toegepast. Dit werd beoordeeld als racen tegen de klok, wat absoluut een negatieve invloed heeft op de verkeersveiligheid ter hoogte van kruispunten. Echter waren deze gevallen in de overgrote minderheid. Een mogelijke oplossing zou kunnen zijn door in-vehicle-countdown-timers enkel toe te passen in combinatie met flitspalen ter hoogte van de verkeerslichtengeregelde kruispunten.

### 9.4 Verder onderzoek

Zoals eerder aangehaald zijn in-vehicle-countdown-timers nog niet in een echte rijomgeving onderzocht in België. Dit wordt dan ook sterk aangeraden door de onderzoekers. Resultaten van dit (mogelijk) toekomstig onderzoek zouden verder uitsluitsel kunnen bieden omtrent de invloed van in-vehicle-countdown-timers. Hiernaast vond huidig onderzoek plaats in een klassieke statische rijsimulator. Men zou in de toekomst kunnen overwegen om de simulatie te laten plaatsvinden in een high-fidelity rijsimulator. Deze bootsen de werkelijke simulatie nog meer nauwkeurig na door gebruik te maken van fysieke bewegingen. Deze bewegingen trachten de krachten in bochten en acceleraties na te bootsen.

Ten slotte kan het onderzoek van de toepassing van in-vehicle-countdown-timers ook worden uitgebreid naar bochten. Dit principe, wat gekend staat onder curve speed warning (CSW) [27], is niet meer dan het waarschuwen van de bestuurder bij het naderen van een (scherpe) bocht. Hierbij gaat het voertuig zich (mogelijk) aan een te hoge snelheid begeven, waardoor het veilig doorlopen van desbetreffende bocht een potentieel gevaar vormt. Het systeem zal de bestuurder op voorhand waarschuwen zodat deze een geschikte maatregel kan treffen, in de zin van de actuele snelheid van het voertuig te verminderen. Verder onderzoek zou de effecten van deze waarschuwing kunnen onderzoeken in een rijsimulator.

## Bibliografie

- [1] IMOB, „Instituut voor mobiliteit,” [Online]. Available: <https://www.uhasselt.be/imob>. [Geopend 2017].
- [2] S. Maerivoet en I. Yperman, „Analysie van de verkeerscongestie in België,” Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, 2008. [Online]. Available: <http://www.tmlleuven.be/project/congestieprobleem/congestie-in-belgie-2008-10-15-nl.pdf>. [Geopend April 2018].
- [3] A. Schoeters, A. Carpentier en S. Briers, „Jaarrapport Verkeersveiligheid 2014: Analyse van verkeersveiligheidsindicatoren in Vlaanderen tot en met 2014,” Steunpunt Verkeersveiligheid & Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid, 2016. [Online]. Available: [https://www.vias.be/publications/Jaarrapport%20Verkeersveiligheid%202014/Jaarrapport\\_Verkeersveiligheid\\_2014.pdf](https://www.vias.be/publications/Jaarrapport%20Verkeersveiligheid%202014/Jaarrapport_Verkeersveiligheid_2014.pdf). [Geopend April 2018].
- [4] Y.-C. Chiou en C.-H. Chang, „Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects,” Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University, 2009. [Online]. [Geopend Maart 2018].
- [5] W. v. Haperen, „The effect of countdown timers on traffic flow and safety,” School for Transportation Sciences - Universiteit Hasselt - IMOB, 2015. [Online]. [Geopend Maart 2018].
- [6] X. Yan, Y. Liu en Y. Xu, „Effect of Audio In-vehicle Red Light-Running Warning Message on Driving Behavior Based on a Driving Simulator Experiment,” April 2014. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/261369364\\_Effect\\_of\\_Audio\\_In-vehicle\\_Red\\_Light-Running\\_Warning\\_Message\\_on\\_Driving\\_Behavior\\_Based\\_on\\_a\\_Driving\\_Simulator\\_Experiment](https://www.researchgate.net/publication/261369364_Effect_of_Audio_In-vehicle_Red_Light-Running_Warning_Message_on_Driving_Behavior_Based_on_a_Driving_Simulator_Experiment). [Geopend December 2017].
- [7] J.N.S., „Aantal verkeersdoden op Belgische wegen met 13 procent gedaald,” 2017. [Online]. Available: [http://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20170607\\_02914919](http://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20170607_02914919). [Geopend 2017].
- [8] Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid, „Een kruispunt is geen jungle,” [Online]. Available: <http://webshop.bivv.be/frontend/files/products/pdf/29d7044e89a67de159085dd43d063f8e/een-kruispunt-is-geen-jungle.pdf>. [Geopend April 2018].
- [9] N. N. en C. Y., „Statistieken verkeersveiligheid 2008,” [Online]. Available: <http://www.vias.be/publications/Statistieken%20verkeersveiligheid%202008/Statistieken%20verkeersveiligheid%202008.pdf>.

- [10] G. Dimitrakopoulos en P. Demestichas, „Intelligent Transportation Systems - Systems based on cognitive networking principles and management functionality,” IEEE Vehicular Technology Magazine (Wireless World Research Forum), Maart 2012. [Online]. [Geopend Februari 2018].
- [11] J. Miller, „Vehicle-to-vehicle-to-infrastructure (V2V2I) Intelligent transportation System Architecture,” Departments of Computer systems Engineering, University of Alaska. [Online]. [Geopend 2018].
- [12] O. Popescu, S. Mohammad, H. Abdel-Wahab, D. Popescu en S. El-Tawab, „Automatic Incident Detection in Intelligent Transportation Systems Using Aggregation of Traffic Parameters Collected Through V2I Communications,” IEEE Intelligent Transportation Magazine, 20 April 2017. [Online]. [Geopend Februari 2018].
- [13] Queensland Government, „Stopping distances: speed and braking,” November 2016. [Online]. Available: <https://www.qld.gov.au/transport/safety/road-safety/driving-safely/stopping-distances#>. [Geopend Maart 2018].
- [14] F. A. Al-Nasser en M. S. Mahmoud, „Wireless Sensors Network Application: A Decentralized Approach for Traffic Control and Management,” INTECH, 2012. [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/books/wireless-sensor-networks-technology-and-applications/wireless-sensors-network-application-a-decentralized-approach-for-traffic-control-and-management>. [Geopend April 2018].
- [15] E. Polders, J. Cornu, T. D. Ceunynck, S. Daniels, K. Brijs, T. Brijs, E. Hermans en G. Wets, „Schrik niet, u wordt gefotografeerd,” IMOB - Universiteit Hasselt, 2015. [Online]. Available: <https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/18876/1/polderssschrik.pdf>. [Geopend Maart 2018].
- [16] Y. C. Chiou en C. H. Chang, „Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects,” Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University, December 2009. [Online]. [Geopend April 2018].
- [17] Wegcode, „Driekleurige verkeerslichten,” 1975. [Online]. Available: <https://wegcode.be/wetteksten/secties/kb/wegcode/243-art61>. [Geopend April 2018].
- [18] U. S. Department of Transportation, „Yellow-Light Timing,” 2011. [Online]. Available: <http://atsol.com/wp-content/uploads/2013/10/ATS-Yellow-Light-Time-Cutsheet-201309-v04.pdf>. [Geopend April 2018].
- [19] B. Howard, „Hands on with Audi’s exciting (no, really) traffic light countdown timer,” EXTREMETECH, 2016. [Online]. Available: <https://www.extremetech.com/extreme/240264-hands-audis-exciting-no-really-traffic-light-countdown-timer>. [Geopend Maart 2018].

- [20] K. Long, L. D. Han en Q. Yang, „ Effects of Countdown Timers on Driver Behavior After the Yellow Onset at Chinese Intersections,” Changsha University of Science and Technology; Department of Civil & Environmental Engineering, University of Tennessee, Oktober 2011. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/51697899\\_Effects\\_of\\_Countdown\\_Timers\\_on\\_Driver\\_Behavior\\_After\\_the\\_Yellow\\_Onset\\_at\\_Chinese\\_Intersections?enrichId=rgreq-0270465874277d663f46950d4ecaf852-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzUxNjk3ODk5O0FTOjM0ODc2MTA0Mjc2N](https://www.researchgate.net/publication/51697899_Effects_of_Countdown_Timers_on_Driver_Behavior_After_the_Yellow_Onset_at_Chinese_Intersections?enrichId=rgreq-0270465874277d663f46950d4ecaf852-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzUxNjk3ODk5O0FTOjM0ODc2MTA0Mjc2N). [Geopend Februari 2018].
- [21] J. Devalla, S. Biswas en I. Ghosh, „The effect of countdown timer on the approach speed at signalised intersections,” Procedia Computer Science - Elsevier, Mei 2015. [Online]. Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). [Geopend Maart 2018].
- [22] M. Rouse, „Vehicle to infrastructure (V2I or v2i),” Maart 2017. [Online]. Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/vehicle-to-infrastructure-V2I-or-V2X>. [Geopend November 2017].
- [23] S. Andrews, „Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to- Infrastructure (V2I) Communications and Cooperative Driving,” 2012. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/302372360\\_Vehicle-to-Vehicle\\_V2V\\_and\\_Vehicle-to-Infrastructure\\_V2I\\_Communications\\_and\\_Cooperative\\_Driving](https://www.researchgate.net/publication/302372360_Vehicle-to-Vehicle_V2V_and_Vehicle-to-Infrastructure_V2I_Communications_and_Cooperative_Driving). [Geopend November 2017].
- [24] NOCoE, „V2I SAFETY APPLICATION IMPLEMENTATION VALUE,” 28 Maart 2016. [Online]. Available: <https://transportationops.org//publications/v2i-safety-application-implementation-value>. [Geopend November 2017].
- [25] STISIM Drive, [Online]. Available: <http://stisimdrive.com>. [Geopend 2017].
- [26] A. K. Maurya en P. S. Bokare, „Study of deceleration behaviour of different vehicle types,” epartment of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Juli 2012. [Online]. Available: [http://ijtte.com/uploads/2012-10-01/5ebd8343-9b9c-b1d4IJTTE%20vol2%20no3%20\(7\).pdf](http://ijtte.com/uploads/2012-10-01/5ebd8343-9b9c-b1d4IJTTE%20vol2%20no3%20(7).pdf). [Geopend Mei 2018].
- [27] Intelligent Transport Systems, „Curve Speed Warning (CSW),” [Online]. Available: <http://www.transport-intelligent.net/products-services/article/curve-speed-warning-csw??lang=en>. [Geopend December 2017].



## Bijlagen

### Bijlage A: Voorbevraging

#### **Algemene informatie**

1. Geslacht?  Man  
 Vrouw
2. Geboortedatum? ..... / ..... / ..... (dag/maand/jaar)
3. Woonplaats? ..... (postcode + gemeente)
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. Wat is uw beroep?
- Bediende
  - Arbeider
  - Zelfstandige
    - Student
    - Niet beroepsmatig actief
  - Ander:.....



**Rij-informatie**

6. Welk type rijbewijs bezit u en sinds wanneer?

B, sinds ..... (jaartal)

C, sinds ..... (jaartal)

D, sinds ..... (jaartal)

7. Hoeveel kilometer rijdt u gemiddeld per jaar als bestuurder?

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

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

Ja

Nee

9. Draagt u tijdens dit onderzoek een bril of contactlenzen?

Ja

Nee

10. Rijdt u meestal handgeschakeld of via automatische versnelling?

Handgeschakeld

Automatisch

11. Beschikt u over een radarwaarschuwingssysteem (vb Coyote)?

Ja

Nee

12. Respecteert u steeds de maximale snelheid?

Ja

Nee

**Verkeersveiligheid**

13. Hoe vaak bent u als bestuurder betrokken geweest bij een ongeval?

Nog nooit

..... keer met enkel materiële schade

..... keer met lichtgewonden

..... keer met zwaargewonden

..... keer met doden



## Bijlage B: Nabevraging

1. Wat is volgens u het doel van dit onderzoek?

.....  
.....

2. 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?

.....  
.....

3. Indien u ooit al eens betrokken was bij een ongeval, op welke plaats vond het ongeval plaats?

Op een kruispunt

Op een wegvak

In een bocht

Nooit betrokken geweest

4. Indien u al eens betrokken was bij een ongeval, had dit te maken met negeren van een rood licht?

Ja

Nee

5. Heeft de aanwezigheid van een countdown timer invloed gehad op uw benadering van kruispunten?

Ja

Nee

6. Heeft de aanwezigheid van een countdown timer ervoor gezorgd dat u eerder heeft afgeremd voor een naderend kruispunt?

Ja

Nee

Nee, ik heb mijn snelheid verhoogd om alsnog het licht te halen

7. Heeft de invloed van een waarschuwing (in de vorm van een countdown timer) volgens u een positieve invloed op de veiligheid van een kruispunt?

Ja

Nee, totaal niet

Nee, ze waren eerder verwarrend/storend

.....

8. De invloed van een countdown timer was storend voor de concentratie en dus ook voor de veiligheid.

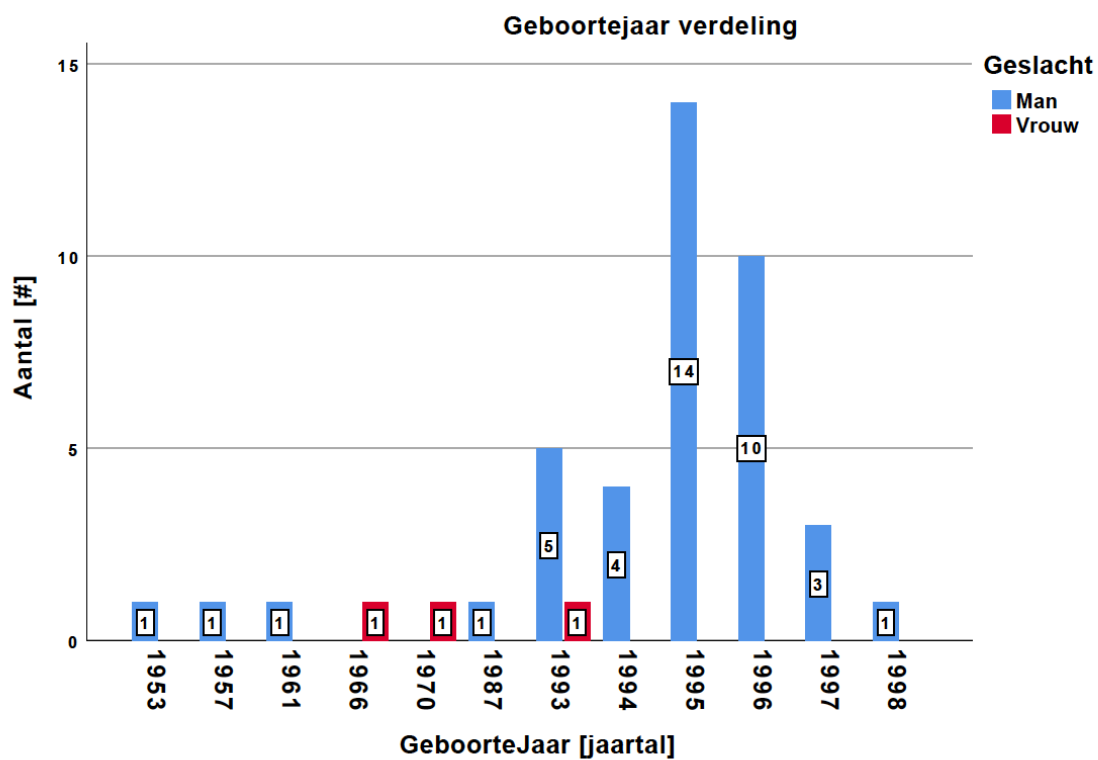
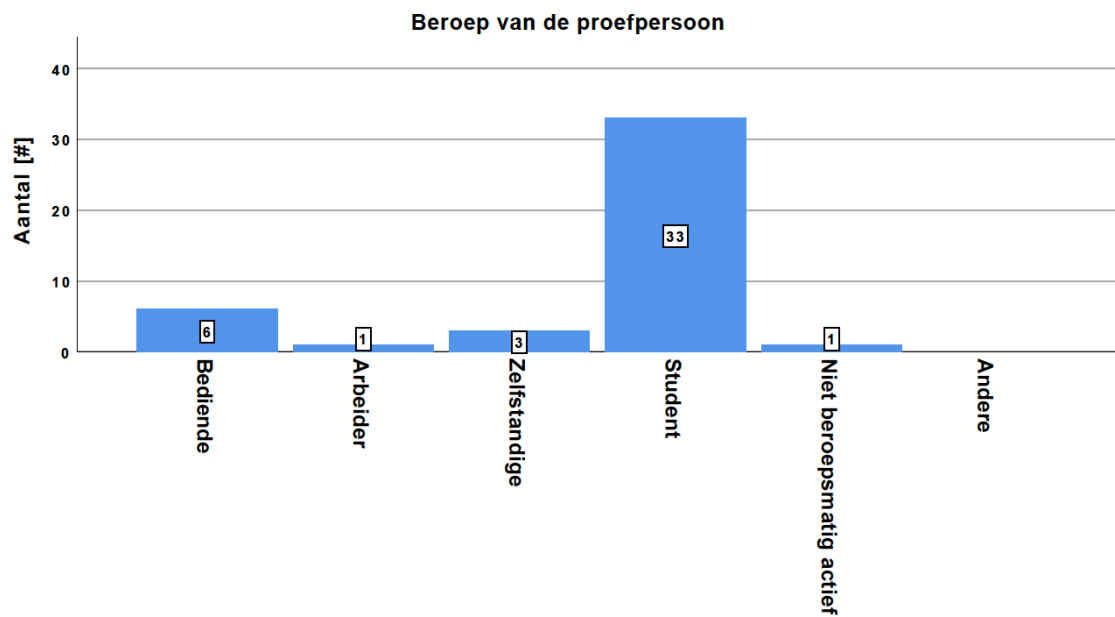
Ja,  
omdat.....

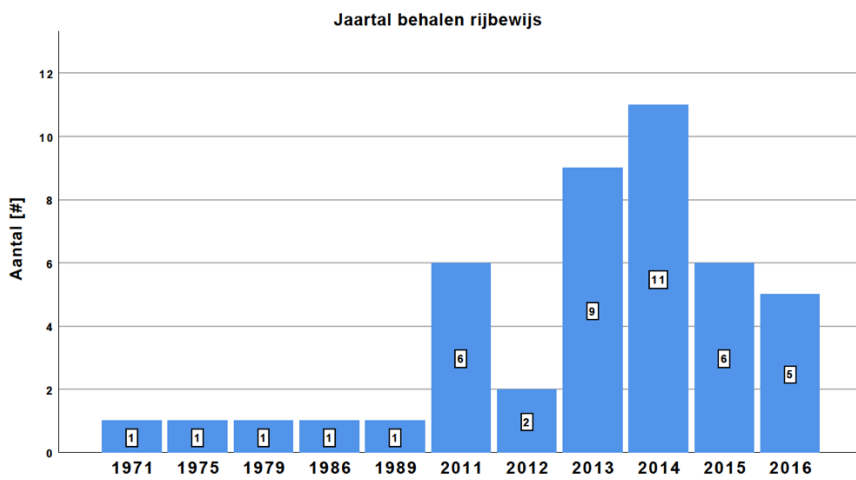
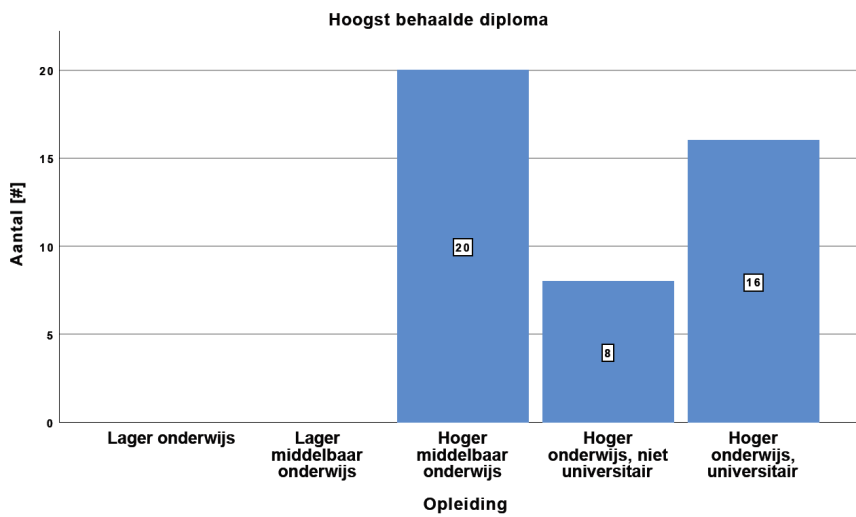
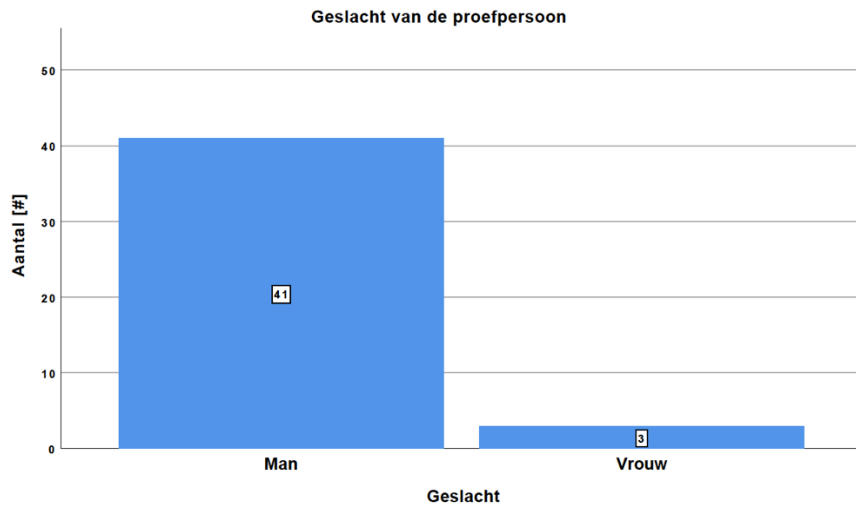
Nee, totaal niet

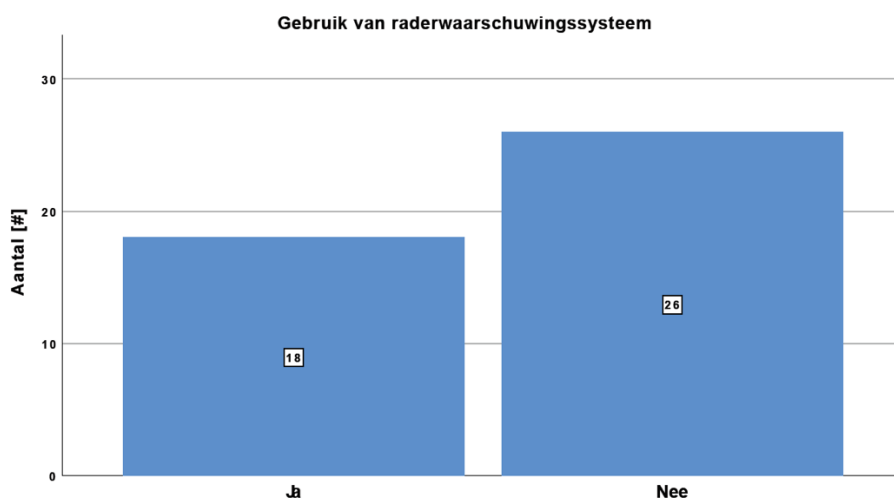
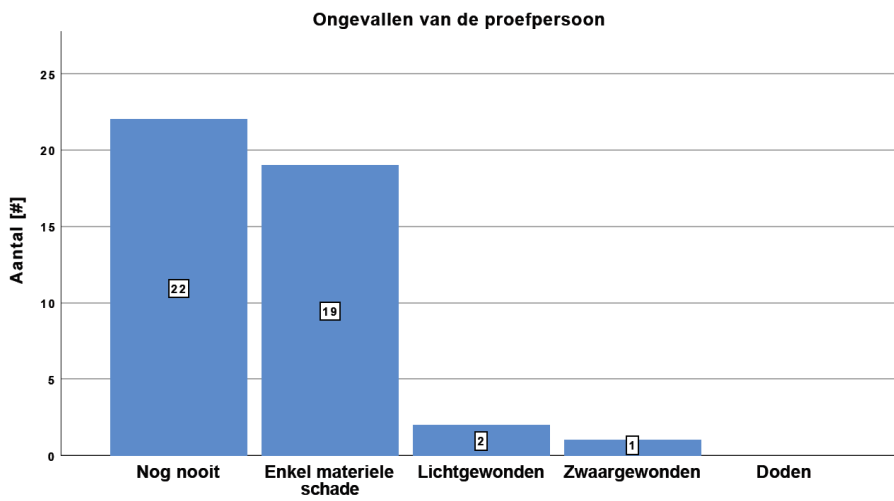
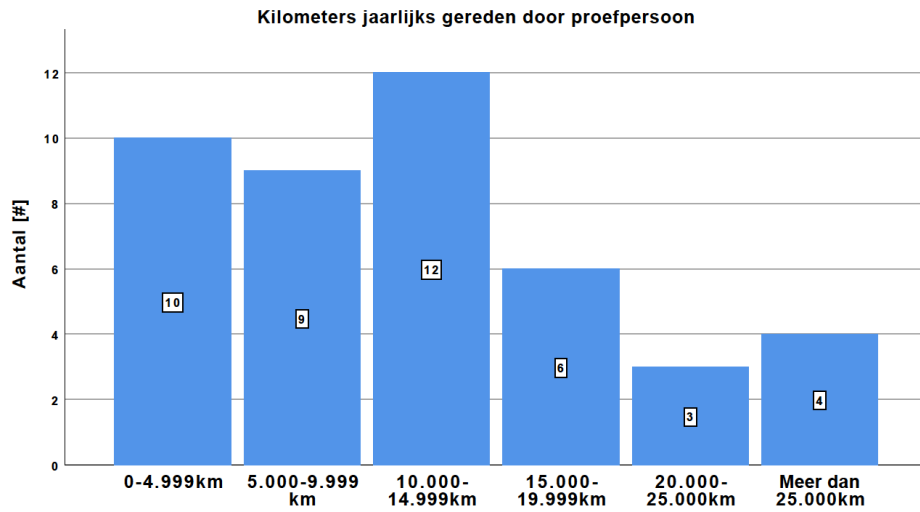
9. Heeft u verder nog opmerkingen?

.....  
.....

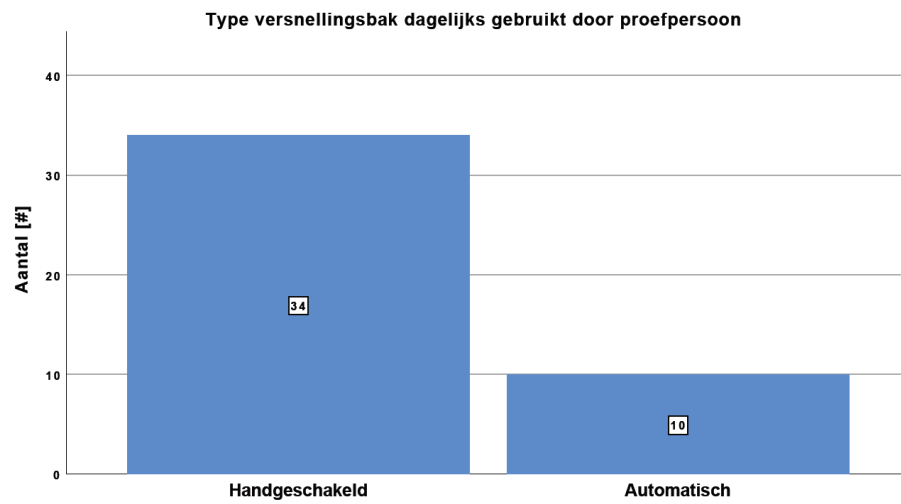
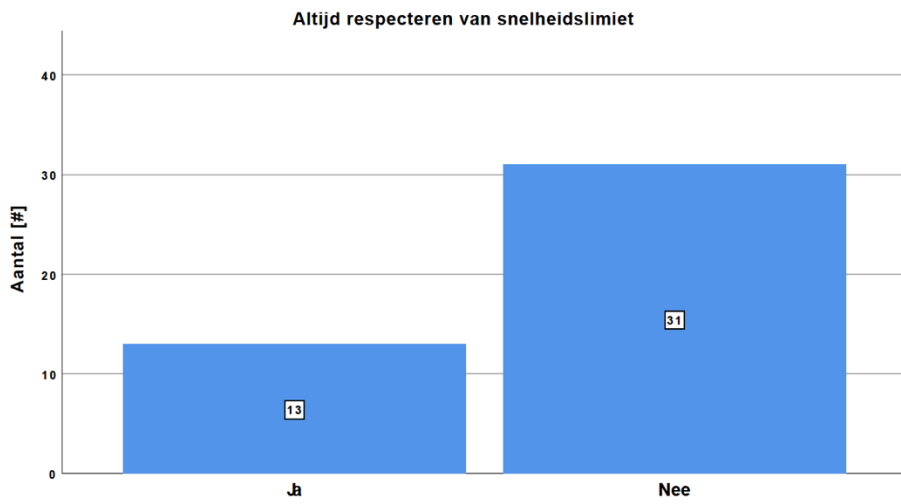
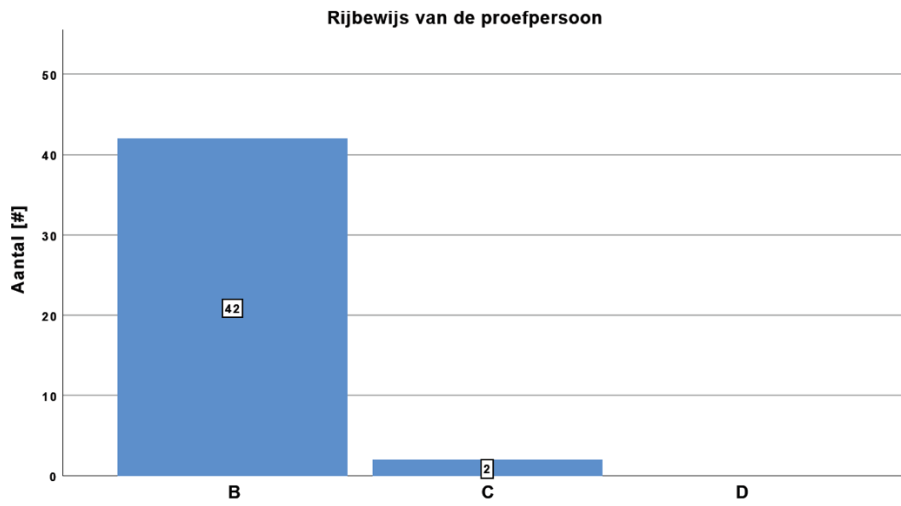
## Bijlage C: Resultaten voorbevraging



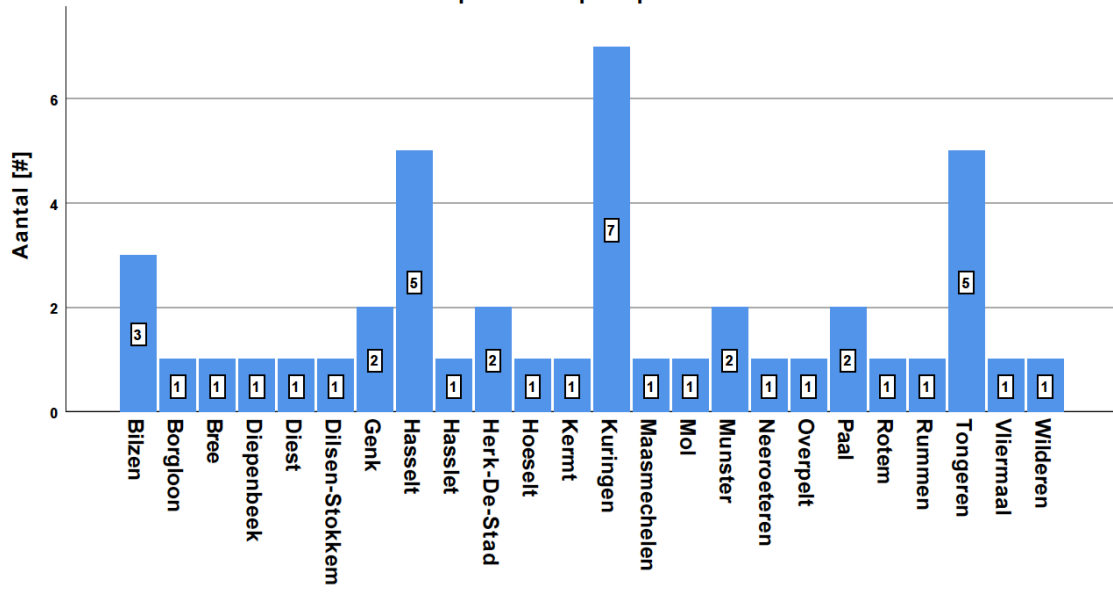






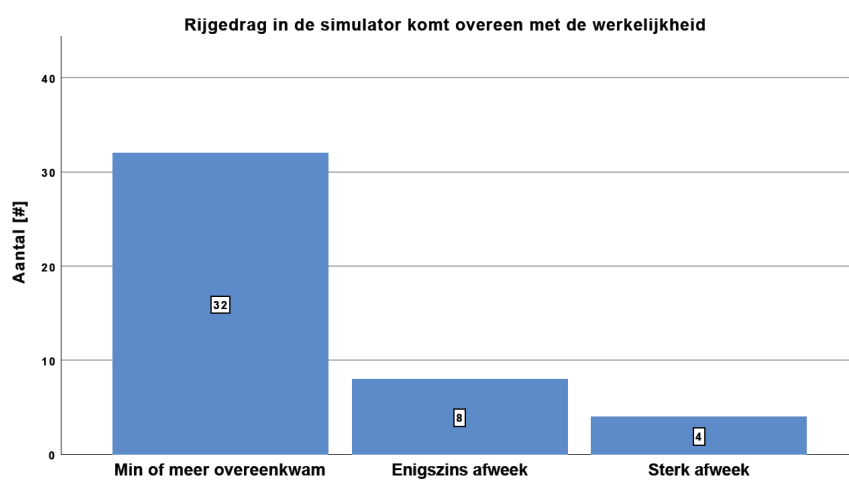
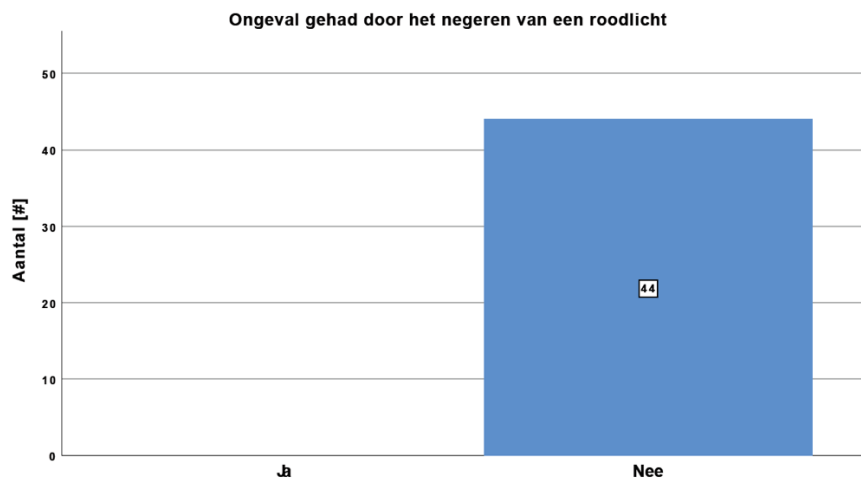
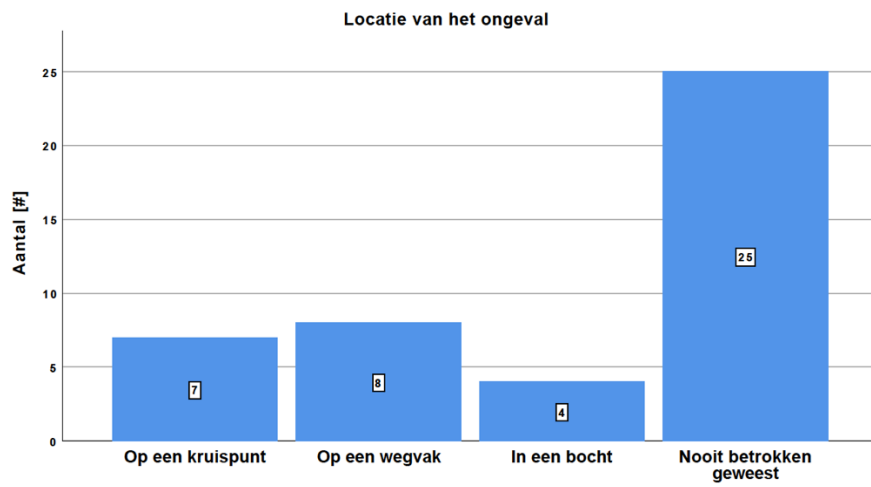


Woonplaats van proefpersonen





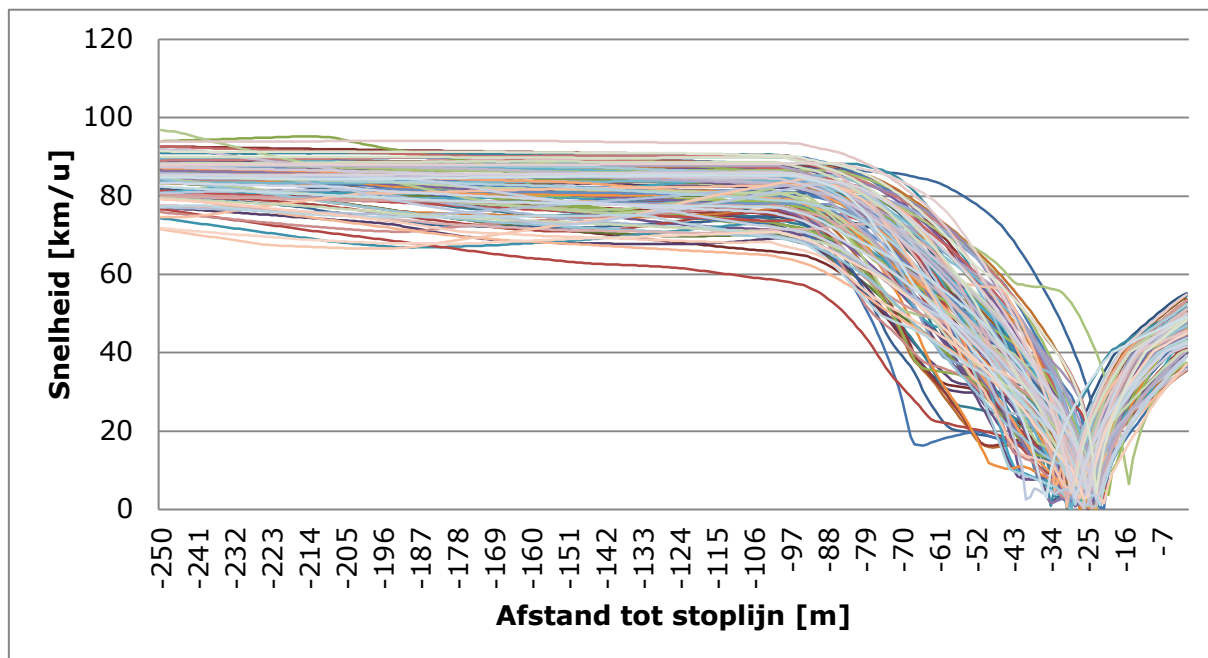
## Bijlage D: Resultaten nabevraging



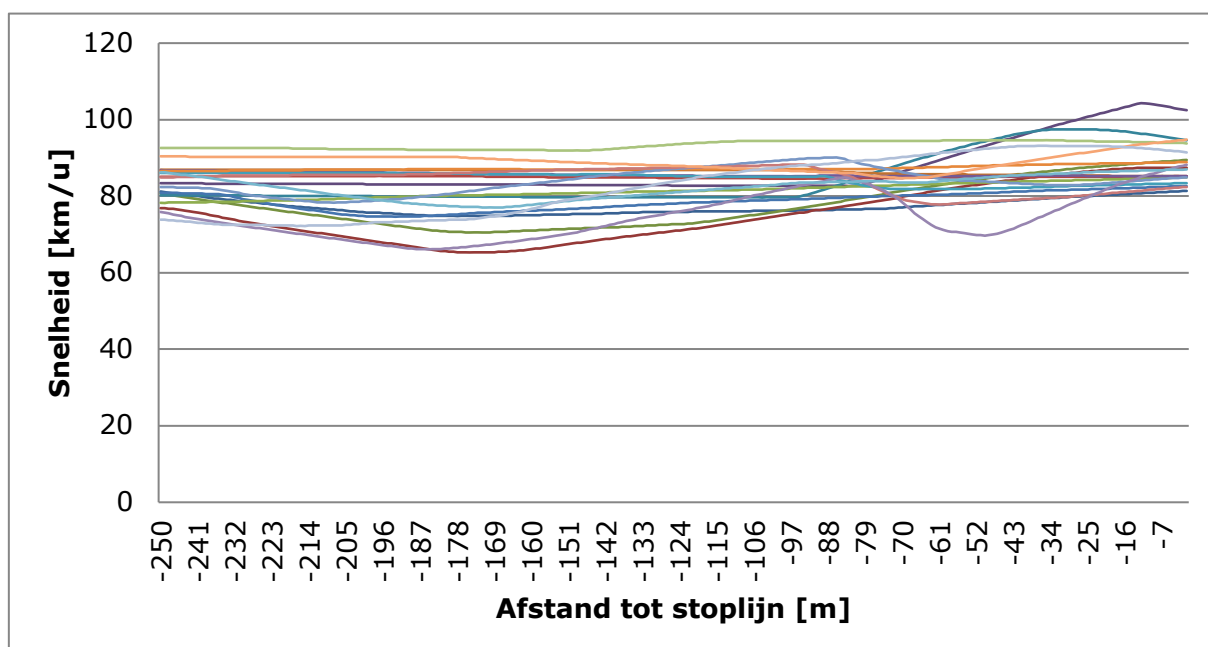


## Bijlage E: Individuele snelheidsprofielen

### Bijlage E1: Geen countdown timer

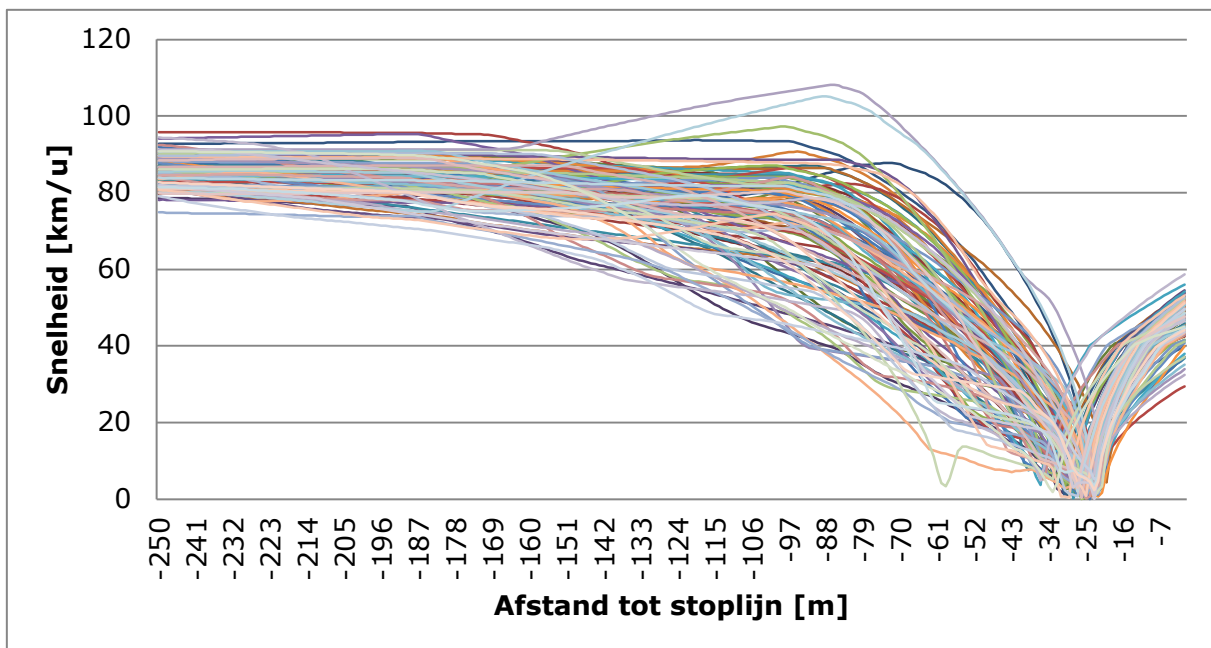


*Figuur 34: Individuele snelheidsprofielen: geen countdown timer & gestopt*

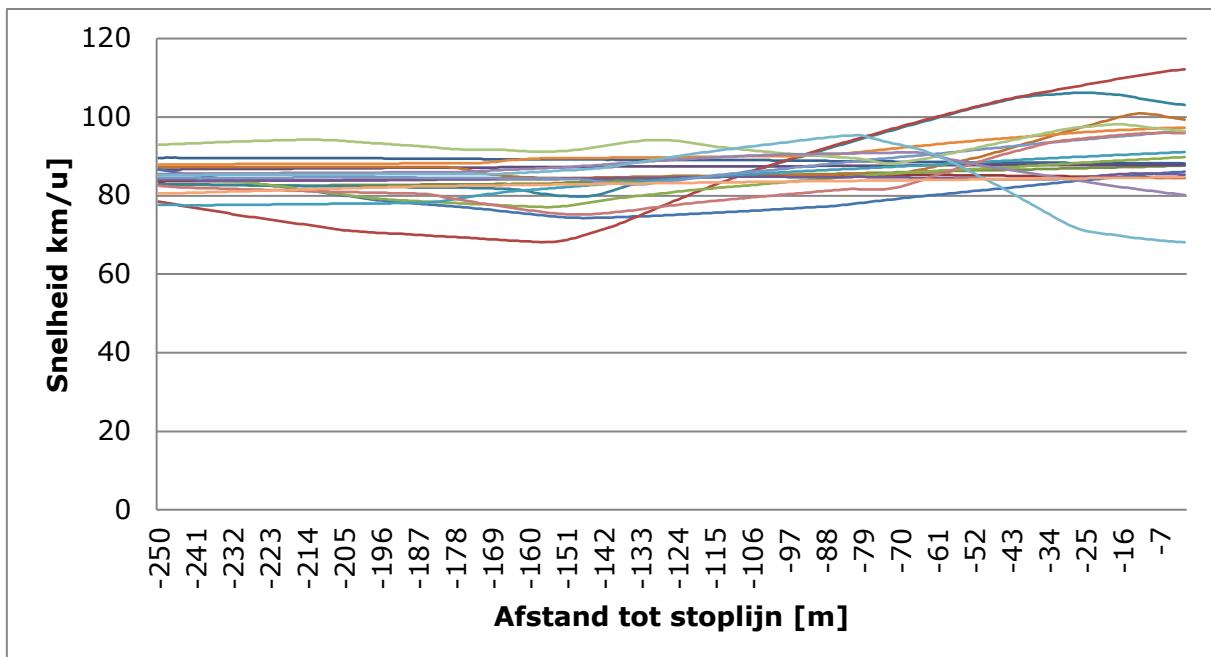


*Figuur 35: Individuele snelheidsprofielen: geen countdown timer & doorgereden*

## Bijlage E2: Countdown timer



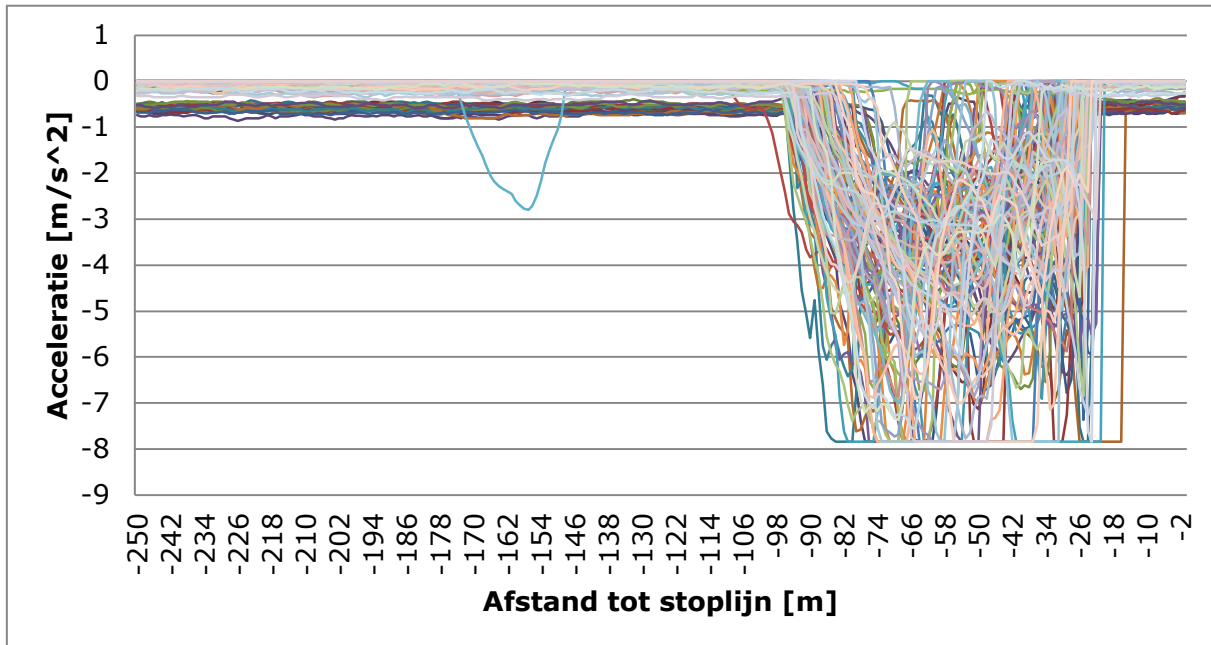
*Figuur 36: Individuele snelheidsprofielen: countdown timer & gestopt*



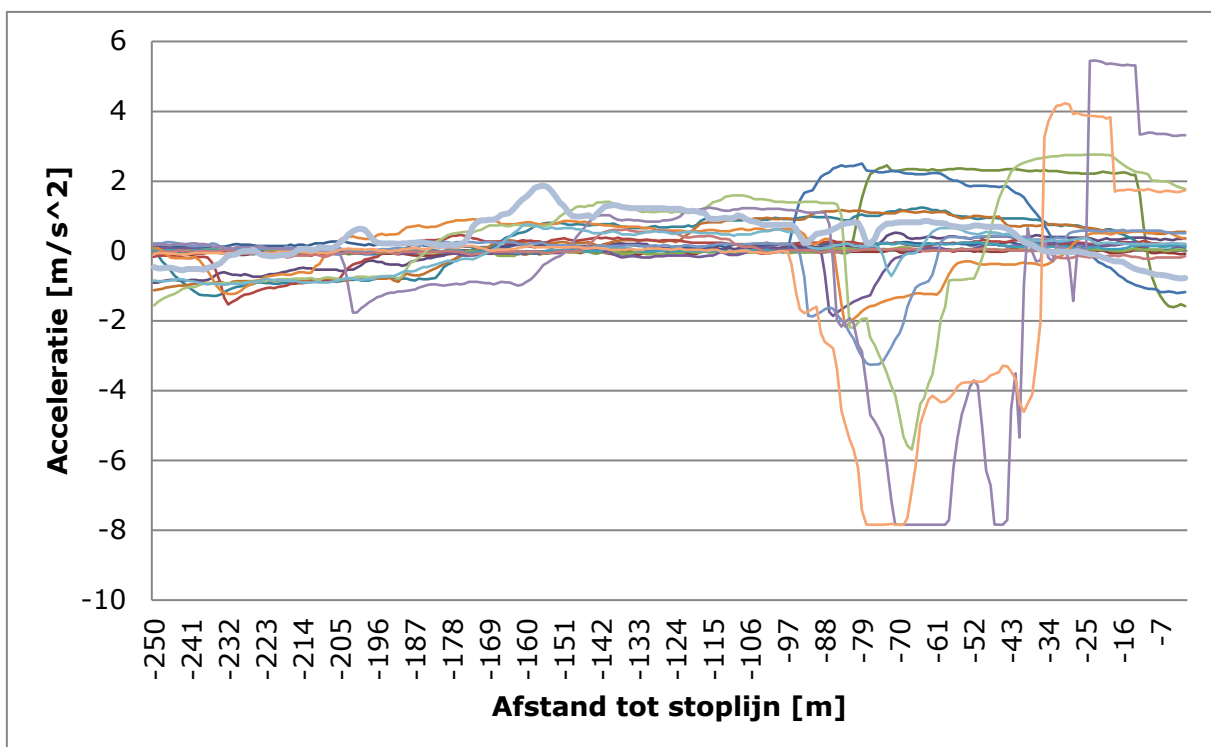
*Figuur 37: Individuele snelheidsprofielen: countdown timer & doorgereden*

## Bijlage F: Individuele acceleratieprofielen

### Bijlage F1: Geen countdown timer



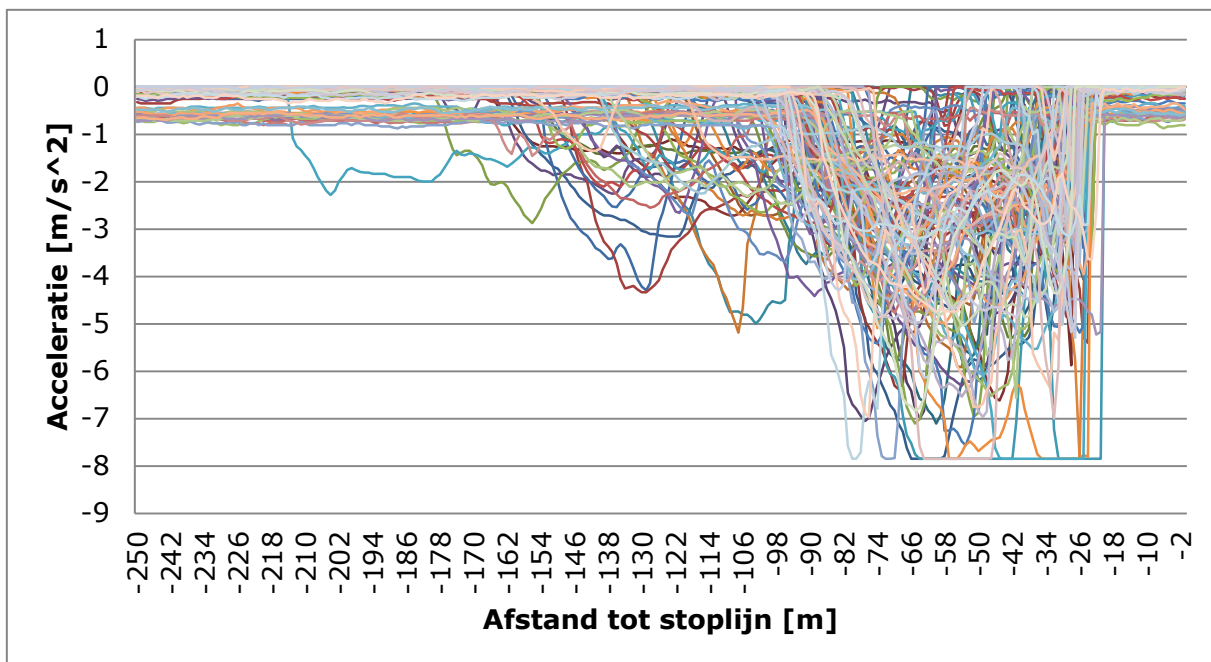
Figuur 38: Individuele acceleratieprofielen: geen countdown timer & gestopt



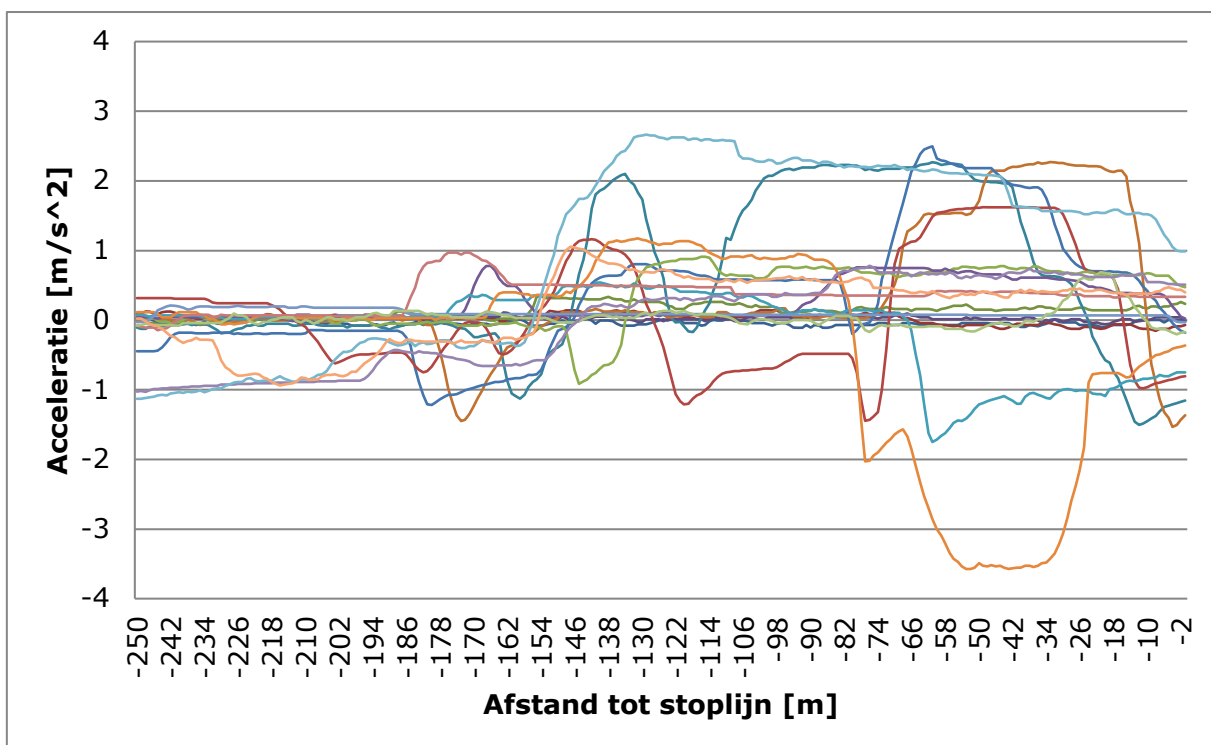
Figuur 39: Individuele acceleratieprofielen: geen countdown timer & doorgereden



## Bijlage F2: Countdown timer



Figuur 40: Individuele acceleratieprofielen: countdown timer & gestopt



Figuur 41: Individuele acceleratieprofielen: countdown timer & doorgereden

## Bijlage G: Statistische MANOVA-analyses

### Bijlage G1: Puntenvergelijking: gestopt voor het kruispunt

#### Punt 1

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-,542	,761	,478	-2,042	,959
	Met teller	Zonder teller	,542	,761	,478	-,959	2,042
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,024	,036	,509	-,048	,096
	Met teller	Zonder teller	-,024	,036	,509	-,096	,048

#### Punt 2

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	1,137	,861	,188	-,561	2,834
	Met teller	Zonder teller	-1,137	,861	,188	-2,834	,561
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,131 <sup>*</sup>	,050	,009	,032	,229
	Met teller	Zonder teller	-,131 <sup>*</sup>	,050	,009	-,229	-,032

#### Punt 6

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	4,305 <sup>*</sup>	1,775	,016	,806	7,804
	Met teller	Zonder teller	-4,305 <sup>*</sup>	1,775	,016	-7,804	-,806
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,508	,278	,069	-1,057	,041
	Met teller	Zonder teller	,508	,278	,069	-,041	1,057

#### Punt 7

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	1,569	1,433	,275	-1,256	4,393
	Met teller	Zonder teller	-1,569	1,433	,275	-4,393	1,256
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,221	,251	,379	-,716	,274
	Met teller	Zonder teller	,221	,251	,379	-,274	,716

#### Punt 8

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	,286	,916	,755	-1,520	2,091
	Met teller	Zonder teller	-,286	,916	,755	-2,091	1,520
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,019	,035	,594	-,051	,088
	Met teller	Zonder teller	-,019	,035	,594	-,088	,051

## Bijlage G2: Puntenvergelijking: doorgereden bij het kruispunt

### Punt 1

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-3,125	2,193	,163	-7,576	1,327
	Met teller	Zonder teller	3,125	2,193	,163	-1,327	7,576
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,009	,067	,894	-,145	,127
	Met teller	Zonder teller	,009	,067	,894	-,127	,145

### Punt 2

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-2,121	2,121	,324	-6,427	2,186
	Met teller	Zonder teller	2,121	2,121	,324	-2,186	6,427
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,008	,065	,907	-,124	,140
	Met teller	Zonder teller	-,008	,065	,907	-,140	,124

### Punt 3

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-2,602	1,784	,154	-6,223	1,019
	Met teller	Zonder teller	2,602	1,784	,154	-1,019	6,223
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	-,024	,066	,717	-,158	,110
	Met teller	Zonder teller	,024	,066	,717	-,110	,158

### Punt 4

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-2,695	1,509	,083	-5,760	,369
	Met teller	Zonder teller	2,695	1,509	,083	-,369	5,760
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,010	,064	,872	-,119	,140
	Met teller	Zonder teller	-,010	,064	,872	-,140	,119

### Punt 7

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-12,473	6,345	,057	-25,353	,408
	Met teller	Zonder teller	12,473	6,345	,057	-,408	25,353
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,096	,080	,239	-,067	,259
	Met teller	Zonder teller	-,096	,080	,239	-,259	,067

### Punt 8

#### Pairwise Comparisons

Dependent Variable	(I) Teller	(J) Teller	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>a</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>a</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Zonder teller	Met teller	-6,988	3,527	,055	-14,149	,173
	Met teller	Zonder teller	6,988	3,527	,055	-,173	14,149
Acceleratie	Zonder teller	Met teller	,024	,065	,715	-,108	,155
	Met teller	Zonder teller	-,024	,065	,715	-,155	,108

## Bijlage G3: Test of between-subjects effects: gestopte voertuigen

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Snelheid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	973090,58 <sup>a</sup>	47	20704,055	227,977	,000
Intercept	6217058,49	1	6217058,49	68457,412	,000
Kruispunt	237,527	2	118,763	1,308	,271
Teller	4844,130	1	4844,130	53,340	,000
Punt	957289,831	7	136755,690	1505,847	,000
Kruispunt * Teller	1074,695	2	537,348	5,917	,003
Kruispunt * Punt	1707,746	14	121,982	1,343	,174
Teller * Punt	4061,441	7	580,206	6,389	,000
Kruispunt * Teller * Punt	747,476	14	53,391	,588	,876
Error	151845,089	1672	90,816		
Total	7350523,51	1720			
Corrected Total	1124935,67	1719			

a. R Squared = ,865 (Adjusted R Squared = ,861)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Acceleratie

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2489,512 <sup>a</sup>	47	52,968	36,598	,000
Intercept	1871,528	1	1871,528	1293,127	,000
Kruispunt	6,433	2	3,216	2,222	,109
Teller	2,472	1	2,472	1,708	,191
Punt	2335,454	7	333,636	230,525	,000
Kruispunt * Teller	2,044	2	1,022	,706	,494
Kruispunt * Punt	29,222	14	2,087	1,442	,126
Teller * Punt	75,891	7	10,842	7,491	,000
Kruispunt * Teller * Punt	32,087	14	2,292	1,584	,077
Error	2419,866	1672	1,447		
Total	6788,915	1720			
Corrected Total	4909,378	1719			

a. R Squared = ,507 (Adjusted R Squared = ,493)

## Bijlage G4: onderlinge puntenvergelijking: gestopte voertuigen

### Pairwise Comparisons

Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
						Lower Bound	Upper Bound
Snelheid	Punt 1	Punt 2	1,576	0,945	1,000	-1,382	4,534
		Punt 3	3,577*	0,945	0,004	0,619	6,535
		Punt 4	5,957*	0,945	0,000	2,999	8,915
		Punt 5	17,807*	0,945	0,000	14,849	20,765
		Punt 6	41,790*	0,945	0,000	38,832	44,748
		Punt 7	70,955*	0,945	0,000	67,997	73,913
		Punt 8	34,780*	0,945	0,000	31,822	37,738
		Punt 2	Punt 1	-1,576	0,945	1,000	-4,534
	Punt 3		2,001	0,945	0,965	-0,957	4,959
	Punt 4		4,381*	0,945	0,000	1,423	7,339
	Punt 5		16,231*	0,945	0,000	13,273	19,189
	Punt 6		40,214*	0,945	0,000	37,256	43,172
	Punt 7		69,379*	0,945	0,000	66,421	72,337
	Punt 8		33,204*	0,945	0,000	30,246	36,162
	Punt 3		Punt 1	-3,577*	0,945	0,004	-6,535
		Punt 2	-2,001	0,945	0,965	-4,959	0,957
		Punt 4	2,380	0,945	0,334	-0,578	5,338
		Punt 5	14,230*	0,945	0,000	11,272	17,188
		Punt 6	38,213*	0,945	0,000	35,255	41,171
		Punt 7	67,378*	0,945	0,000	64,420	70,336
		Punt 8	31,203*	0,945	0,000	28,245	34,161
		Punt 4	Punt 1	-5,957*	0,945	0,000	-8,915
	Punt 2		-4,381*	0,945	0,000	-7,339	-1,423
	Punt 3		-2,380	0,945	0,334	-5,338	0,578
	Punt 5		11,850*	0,945	0,000	8,892	14,808
	Punt 6		35,833*	0,945	0,000	32,875	38,791
	Punt 7		64,998*	0,945	0,000	62,040	67,956

	Punt 8	28,823*	0,945	0,000	25,865	31,781
Punt 5	Punt 1	-17,807*	0,945	0,000	-20,765	-14,849
	Punt 2	-16,231*	0,945	0,000	-19,189	-13,273
	Punt 3	-14,230*	0,945	0,000	-17,188	-11,272
	Punt 4	-11,850*	0,945	0,000	-14,808	-8,892
	Punt 6	23,983*	0,945	0,000	21,025	26,941
	Punt 7	53,148*	0,945	0,000	50,190	56,106
	Punt 8	16,973*	0,945	0,000	14,015	19,931
Punt 6	Punt 1	-41,790*	0,945	0,000	-44,748	-38,832
	Punt 2	-40,214*	0,945	0,000	-43,172	-37,256
	Punt 3	-38,213*	0,945	0,000	-41,171	-35,255
	Punt 4	-35,833*	0,945	0,000	-38,791	-32,875
	Punt 5	-23,983*	0,945	0,000	-26,941	-21,025
	Punt 7	29,165*	0,945	0,000	26,207	32,123
	Punt 8	-7,010*	0,945	0,000	-9,968	-4,052
Punt 7	Punt 1	-70,955*	0,945	0,000	-73,913	-67,997
	Punt 2	-69,379*	0,945	0,000	-72,337	-66,421
	Punt 3	-67,378*	0,945	0,000	-70,336	-64,420
	Punt 4	-64,998*	0,945	0,000	-67,956	-62,040
	Punt 5	-53,148*	0,945	0,000	-56,106	-50,190
	Punt 6	-29,165*	0,945	0,000	-32,123	-26,207
	Punt 8	-36,175*	0,945	0,000	-39,133	-33,217
Punt 8	Punt 1	-34,780*	0,945	0,000	-37,738	-31,822
	Punt 2	-33,204*	0,945	0,000	-36,162	-30,246
	Punt 3	-31,203*	0,945	0,000	-34,161	-28,245
	Punt 4	-28,823*	0,945	0,000	-31,781	-25,865
	Punt 5	-16,973*	0,945	0,000	-19,931	-14,015
	Punt 6	7,010*	0,945	0,000	4,052	9,968
	Punt 7	36,175*	0,945	0,000	33,217	39,133

Acceleratie	Punt 1	Punt 2	0,065	0,118	1,000	-0,305	0,435
		Punt 3	0,167	0,118	1,000	-0,202	0,537
		Punt 4	0,246	0,118	1,000	-0,124	0,616
		Punt 5	2,905*	0,118	0,000	2,535	3,274
		Punt 6	2,781*	0,118	0,000	2,411	3,151
		Punt 7	,860*	0,118	0,000	0,491	1,230
		Punt 8	-0,026	0,118	1,000	-0,395	0,344
		Punt 2	Punt 1	Punt 1	-0,065	0,118	1,000
Punt 3	0,102			0,118	1,000	-0,267	0,472
Punt 4	0,181			0,118	1,000	-0,189	0,550
Punt 5	2,839*			0,118	0,000	2,470	3,209
Punt 6	2,716*			0,118	0,000	2,346	3,086
Punt 7	,795*			0,118	0,000	0,426	1,165
Punt 8	-0,091			0,118	1,000	-0,460	0,279
Punt 3	Punt 1			Punt 1	-0,167	0,118	1,000
		Punt 2	-0,102	0,118	1,000	-0,472	0,267
		Punt 4	0,078	0,118	1,000	-0,291	0,448
		Punt 5	2,737*	0,118	0,000	2,367	3,107
		Punt 6	2,614*	0,118	0,000	2,244	2,983
		Punt 7	,693*	0,118	0,000	0,323	1,063
		Punt 8	-0,193	0,118	1,000	-0,563	0,177
		Punt 4	Punt 1	Punt 1	-0,246	0,118	1,000
Punt 2	-0,181			0,118	1,000	-0,550	0,189
Punt 3	-0,078			0,118	1,000	-0,448	0,291
Punt 5	2,659*			0,118	0,000	2,289	3,028
Punt 6	2,535*			0,118	0,000	2,165	2,905
Punt 7	,615*			0,118	0,000	0,245	0,984
Punt 8	-0,271			0,118	0,610	-0,641	0,098
Punt 5	Punt 1			Punt 1	-2,905*	0,118	0,000
		Punt 2	-2,839*	0,118	0,000	-3,209	-2,470
		Punt 3	-2,737*	0,118	0,000	-3,107	-2,367
		Punt 4	-2,659*	0,118	0,000	-3,028	-2,289

	Punt 6	-0,123	0,118	1,000	-0,493	0,246
	Punt 7	-2,044*	0,118	0,000	-2,414	-1,674
	Punt 8	-2,930*	0,118	0,000	-3,300	-2,560
Punt 6	Punt 1	-2,781*	0,118	0,000	-3,151	-2,411
	Punt 2	-2,716*	0,118	0,000	-3,086	-2,346
	Punt 3	-2,614*	0,118	0,000	-2,983	-2,244
	Punt 4	-2,535*	0,118	0,000	-2,905	-2,165
	Punt 5	0,123	0,118	1,000	-0,246	0,493
	Punt 7	-1,921*	0,118	0,000	-2,290	-1,551
	Punt 8	-2,807*	0,118	0,000	-3,176	-2,437
Punt 7	Punt 1	-,860*	0,118	0,000	-1,230	-0,491
	Punt 2	-,795*	0,118	0,000	-1,165	-0,426
	Punt 3	-,693*	0,118	0,000	-1,063	-0,323
	Punt 4	-,615*	0,118	0,000	-0,984	-0,245
	Punt 5	2,044*	0,118	0,000	1,674	2,414
	Punt 6	1,921*	0,118	0,000	1,551	2,290
	Punt 8	-,886*	0,118	0,000	-1,256	-0,516
Punt 8	Punt 1	0,026	0,118	1,000	-0,344	0,395
	Punt 2	0,091	0,118	1,000	-0,279	0,460
	Punt 3	0,193	0,118	1,000	-0,177	0,563
	Punt 4	0,271	0,118	0,610	-0,098	0,641
	Punt 5	2,930*	0,118	0,000	2,560	3,300
	Punt 6	2,807*	0,118	0,000	2,437	3,176
	Punt 7	,886*	0,118	0,000	0,516	1,256

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.



# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**De invloed van in-vehicle-countdown-timers op het rijgedrag van automobilisten ter hoogte van verkeerslichten geregelde kruispunten**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**  
Jaar: **2018**

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,

**Albert, Jordy**

**Horckmans, Olivier**

Datum: **4/06/2018**