



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

Master in de handelswetenschappen

Masterthesis

**De impact van slimme verkeerslichten in België
voor vrachtverkeer op de weg**

Caro Gaethofs

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van
master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting
supply chain management

PROMOTOR:

Prof. dr. Mario Cools

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Voorwoord

Dit eindwerk is het sluitstuk van mijn opleiding Handelswetenschappen, met als afstudeerrichting Supply Chain Management. Ik heb dit onderwerp niet uit de keuzelijst gehaald, maar zelf voorgesteld. De keuze van het onderwerp leunt aan tegen deze opleiding en bovendien interesseert dit onderwerp me enorm. Daarom ben ik ook trots dat ik aan dit onderwerp kon werken, me er volledig in kon verdiepen, en daarbij ook nog er stevig wat van opstak.

Ik zou graag enkele personen willen bedanken. In eerste instantie mijn promotor Prof. dr. Mario Cools, die me bijstond met raad. Hij gaf me tips en diepgaandere inzichten zodat ik linken kon leggen. Deze overlegmomenten waren voor mij zeer waardevol.

Ook wens ik commissaris Gerry Peeters te bedanken. De Teams-gesprekken brachten me meer informatie bij en bovendien verwees hij me door naar enkele belangrijke contactpersonen. Ook de heer Sven Maerivoet wens ik te bedanken voor de kans die ik krijg om volledig betrokken te worden in het project CITRUS, alsook mij belangrijke documenten aan te reiken. Commissaris Jean Pierre Blocken wil ik ook graag bedanken voor de tijd die hij heeft gestoken in het interview. En zeker wens ik Chris Tampère en Ruben Corthout te bedanken voor de waardevolle en unieke informatie, dewelke ik kreeg aangereikt met betrekking tot het VLCC-project.

Ik wens mijn familie te bedanken, voor de fijne pauzes tussen de schrijfmomenten door en voor hun onnoemelijke steun.

Samenvatting

Tussen 2007 en 2020 steeg het aantal vrachtwagens, bestelwagens, tankwagens en landbouwtrekkers met 37,6 procent. Ook de wegedrukte is doorheen de jaren toegenomen; in 2014 was 83 procent van de gereden kilometers van vrachtwagens en personenwagens en werden er 58,9 miljard voertuigkilometers geteld. Tegen 2030 wordt in België verwacht dat het aantal tonkilometers stijgt met 44 procent en de gemiddelde snelheid in de spits daalt met 24 procent. Dit leidt tot congestie, frustratie, verminderde werkproductiviteit, leveringsvertragingen, luchtvervuiling, enzovoorts. Het verkeer dient aldus gemanaged te worden en slimme verkeerslichten kunnen een verbetering betekenen. Deze masterthesis onderzoekt de effectiviteit van slimme verkeerslichten voor vrachtvervoer op vlak van doorstroming, verkeersveiligheid en CO₂-uitstoot. Om de slimme verkeerslichten op de juiste plaatsen in België te implementeren, wordt eerst gekeken naar andere landen. Hieruit blijkt dat elk project zijn eigen testdoeleinden voor ogen heeft en daarom ook andere criteria hanteert om een locatie te kiezen. Speelt het vrachtvervoer een belangrijke rol, zoals bij TOVERgroen in Nederland? Of ligt de focus eerder op een evenwicht tussen gemotoriseerd verkeer en voetgangersverkeer, zoals in Griekenland? Worden de lichten geïmplementeerd door verkeerscongestie zoals in India, of eerder door milieuproblemen? De voordelen komen in deze situaties telkens in dezelfde vorm terug: de doorrijkans stijgt, het aantal rodelichtovertredingen daalt, het rijcomfort neemt toe, de schadelijke uitstoot vermindert, het aantal gevallen van dilemmazone en rodelichtnegatie daalt sterk en het aantal ongevallen neemt af. Één van de grootste bekommernissen voor het implementeren van slimme verkeerslichten is de dekking van het internet, het gebrek aan universele standaarden, de opslag van zware databestanden en de beveiliging van de gegevens. Er wordt ook gekeken naar de gerealiseerde en te realiseren projecten in België en de criteria van de implementatie van slimme verkeerslichten in België. Deze wordt bepaald door enerzijds de wetgeving, de stakeholders en de verkeerssituatie zelf. Drie projecten worden geanalyseerd en uitgediept, namelijk het CITRUS-project, het C-the-Difference-project en de verkeerslichtencoördinatiecomputer, dewelke met andere projecten en literatuur worden gestaafd of met een kritisch oog worden becommentarieerd.

De basis van het CITRUS-project, dat geïmplementeerd is in Halle, ligt op de prioritering van het vrachtvervoer met behulp van een app. De grootste impact op de verkeersveiligheid is niet de snelheidsaanpassing na een waarschuwingsbericht, doch wel de verhoogde alertheid van de bestuurder. Bovendien is er een aanzienlijke tijdswinst van gemiddeld 3,6 seconden per verkeerslicht op de hoofdweg N203a. Er wordt ook 37 gram minder uitlaatgassen uitgestoten door de vermindering van de acceleraties. Bij het C-the-Difference-project te Helmond en Bordeaux wordt zowel GLOSA als TSP via fasering toegepast. Enerzijds is er een duidelijke interactie tussen GLOSA en TSP, waarbij GLOSA een verwaarloosbare verandering teweeg brengt ten opzichte van de basissituatie en TSP daarentegen leidt tot opmerkelijke verbeteringen. Maar door GLOSA en TSP te combineren, zullen de prestatie-indicatoren bij GLOSA ongeveer gelijk blijven, doch bij de TSP gedeeltelijk of volledig teniet gedaan worden. Ondanks de positieve resultaten van deze twee projecten zijn er ook kritische bemerkingen. De app kan technologisch zo goed zijn ontwikkeld, alsnog zijn er afhankelijke variabelen, die bepalen of deze technologie ervoor gaat zorgen dat het veiliger is op de weg, zoals de beslissingen en het gedrag van de bestuurder, het al dan niet

gebruiken van de app, de app als afleiding tijdens het rijden, maar ook de weersomstandigheden, de hoeveelheid verkeer op de weg, de lading van de vrachtwagen, enzovoorts. Verder dient men te kijken naar de kenmerken van de individuele bestuurders: oudere bestuurders kampen met een motorische degradatie en zijn sneller afgeleid en verward door concurrerende informatiebronnen. Bij jongere bestuurders is er een verhoging van de maximumsnelheid en intensiteit van het uitvoeren van een secundaire taak. Een ander kritisch punt is de werking en de lay-out van de app. Deze moet uiterst precies zijn qua timing en consequent in zijn pictogrammen. Doch lijkt een integratie in het navigatiesysteem een betere oplossing. Met betrekking tot de veiligheid op de weg moet er opgelet worden voor het verschil in de reactie van de vrachtwagenbestuurder met een app in vergelijking met de andere weggebruikers die geen app hebben. Cybersecurity en gegevensbescherming is een absolute noodzaak.

Om deze reden wordt getracht een beeld te scheppen van een andere wijze waarop het verkeer geregeld wordt om de veiligheid en de doorstroming te verbeteren, met name de verkeerslichtencoördinatiecomputer van Antwerpen. De VLCC is een technologisch up-to-date en dynamische lichtregeling, die anticipeert op het verkeersaanbod, doch dit vanuit een andere invalshoek dan de projecten CITRUS en C-the-Difference. De VLCC is enorm dynamisch, want deze kan inspelen op diverse verkeerssituaties, afhankelijk van de gemeten verkeersdrukke. Het dynamische aspect is gestoeld op diverse afwegingen binnen de regelprincipes. De voornaamste afweging is het vermijden van de fileterugslag. Daarnaast zijn er ook de minimale kwaliteitseisen binnen de wenssnelheid en de vrije snelheid, de categorisering van het routenetwerk, waarbij voor elke vervoersmodi (fietser, voetganger, openbaar vervoer en auto) de wegen ingedeeld worden in categorieën, de indeling in de regelgebieden en geïsoleerde kruispunten. Bij de doelstelling om verkeersveiligheid te creëren, mikt men op het ontwerp van conflictvrije verkeerspunten waarbij de afweging moet worden gemaakt of de groene verkeersstroom wordt behouden (groencyclus) of dat deze net doorbroken wordt (flexibele/dynamische regeling op basis van het verkeersaanbod). De regelprincipes zijn gebaseerd op flexibiliteit en coördinatie. Telkens opnieuw zullen de verkeerslichten in regelgebieden geëvalueerd, en desnoods bijgestuurd worden, wat maakt dat de regeling telkens opnieuw maatwerk is. Binnen het VLCC project, wordt het vrachtverkeer niet opgenomen in de doelgroep, echter is dit hoogtechnologisch project een realistisch uitgewerkt idee om ook vrachtverkeer te betrekken in andere toekomstige projecten, zoals bijvoorbeeld de haven van Antwerpen.

Naar de toekomst kijken betekent een update van de V2V- en V2I-communicatie (zoals de stemcommando's in India), een dynamisch TSP-systeem dat gebruik maakt van een aankomstvoorspellingsmodel, of het gebruik van artificiële intelligentie. Bij dit laatste wordt data dat in de cloud zit en verrijkt is met camera's gebruikt om de verkeersstromen te voorspellen. Als er gesproken wordt over capaciteit en files in de stad, kan er ook nagedacht worden over het creëren van bijkomende ruimte, namelijk het luchtruim. Dit vereist een onbemand luchtverkeersbeheer in de hele stad, prototype sensorsystemen die de stadspolitie nodig heeft om de stad veilig te houden en een analyse van controlesystemen voor het vermijden van botsingen. Het geeft stof tot nadenken.

Er bestaan diverse hightech manieren om de slimme verkeerslichten te sturen, alsook de verschillende niveaus van intelligente regeling dat een verkeerslicht kan aannemen. Echter gaat

deze masterthesis hier niet diepgaand op in. Bovendien wordt er een vergelijking gemaakt met landen waar men reeds ervaring heeft met slimme verkeerslichten, zodoende is dit onderzoek gebaseerd op de ervaring en reeds bestaande onderzoeken en niet op een eigen onderzoek. Ook betreft dit een onderzoek dat tot stand is gekomen ten tijde van de corona-crisis. De maatregelen die door de overheid zijn opgelegd, zijn nog steeds van toepassing, wat ervoor zorgt dat het contact voor bijvoorbeeld feedbackmomenten, kritiek, sturing of verdere hulp hierdoor online dient te gebeuren. Ook het netwerken in deze sector moest gebeuren via digitale weg, wat het tot stand brengen van deze masterthesis heeft bemoeilijkt.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	1
Inhoudsopgave	4
Lijst van tabellen	6
Lijst van figuren	6
Bijlagen	6
Deel I: Theoretisch kader	7
Hoofdstuk 1: onderzoeksopzet	7
1.1 Definiëring van kernbegrippen	7
1.2 Probleemstelling	8
1.3 Doelstelling	12
1.4 Onderzoeksvragen	13
1.5 Onderzoeksaanpak en -methodologie	13
1.6 Beperkingen	14
Hoofdstuk 2: Literatuurstudie	16
2.1. Slimme verkeerslichten in andere landen	16
2.1.1. Kort samengevat	20
2.2. Implementatie van slimme verkeerslichten in België	21
2.2.1. Criteria die de implementatie van slimme verkeerslichten in België beïnvloeden	21
2.2.1.1. Wettelijke bepalingen	21
2.2.1.2. Stakeholders	22
2.2.1.2.1. De overheid	23
2.2.1.2.2. Agentschap Wegen en Verkeer (AWV)	23
2.2.1.2.3. De dienstverleners (service providers)	23
2.2.1.2.4. De transportsector	23
2.2.1.2.5. De eindgebruiker (professionele vrachtwagenchauffeurs)	23
2.2.1.3. Verkeerssituatie	24
2.3. Gerealiseerde en te realiseren projecten in België	25
2.4. Besluit	27
Deel II: Onderzoek en analyse	28
3. C-ITS	28
3.1. Het CITRUS-project	28
3.1.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie	28
3.1.2. Technische toelichting	29
3.1.3. De resultaten	36
3.2. C-the-Difference project	37
3.2.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie	38
3.2.2. Technische toelichting	39
3.2.3. De resultaten	41
3.2.3.1. Het effect van GLOSA	41
3.2.3.2. Het effect van TSP	42
3.2.3.3. De interactie tussen TSP en GLOSA	43

3.3. Kritische noot	44
3.4. Samenvatting	52
3.5. VLCC	52
3.5.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie	53
3.5.2. Wat is VLCC?	54
3.5.3. Hoe werkt VLCC?	55
3.5.4. De resultaten	58
3.5.5. Het vrachtverkeer en VLCC	58
3.5.6. Conclusie	59
3.5.7. Samenvatting	60
4. Implementatie van slimme verkeerslichten: een pad naar de toekomst	61
5. Conclusie	63
Bijlagen	65
Bronvermelding	84

Lijst van tabellen

Tabel 1: Grootte van het voertuigenpark.....	9
--	---

Lijst van figuren

Figuur 1: Evolutie van de drukte op de weg van 1985 tot 2010.....	9
Figuur 2: Vergelijking van de uitstoten voor en na de implementatie van slimme verkeerslichten	19
Figuur 3: Resultaten van de enquêtevraag 'Waarschuwingsmeldingen in mijn voertuig hebben zou handig zijn'	24
Figuur 4: Drie slimme verkeerslichten op de N203a te Halle	29
Figuur 5: Waarschuwing op de app bij naderende file	30
Figuur 6: Waarschuwing op de app voor een stilstaand voertuig	31
Figuur 7: Waarschuwing op de app voor (mobiele) wegenwerken.....	31
Figuur 8: Waarschuwing op de app bij naderende trucks aan verkeerslichten	32
Figuur 9: Waarschuwing op de app voor voertuigen die prioriteit hebben gekregen	32
Figuur 10: Waarschuwing op de app voor real-time verkeersinformatie.....	32
Figuur 11: Overzicht van de verschillende berichttypes die op de app worden afgebeeld (HMI) ...	33
Figuur 12: De architectuur van het CITRUS-project samengevat	35
Figuur 13: Het CITRUS-project samengevat in een schema	35
Figuur 14: De 62 kruispunten die in Helmond gemonitord worden.....	38
Figuur 15: De GLOSA app van Bordeaux	39
Figuur 16: De GLOSA-app van Helmond	40
Figuur 17: Analyse van de gemiddelde reistijd, stoptijd en aantal stops per passage	43
Figuur 18: Plaatsingsfouten in de GPS-signalen voor een westerlijk voertuig dat richting het noorden draait.....	50
Figuur 19: Plaatsgesteldheid en bereikbaarheid Antwerpen	53
Figuur 20: Indeling van de regelgebieden in Antwerpen	56

Bijlagen

Bijlage 1 Interview met Commissaris Gerry Peeters, Sectiechef Operationele coördinatie en Diensthoofd Interne werking van de Federale politie.....	65
Bijlage 2 Interview met Jean-Pierre Blocken, Eerste Commissaris, gepensioneerd diensthoofd Centrex, alsook zaakvoerder van het bedrijf Legevia	71
Bijlage 3 Interview met Rodric Frederix, expert in projecten omtrent verkeerslichten en verkeersmodellen.....	77

Deel I: Theoretisch kader

Hoofdstuk 1: onderzoeksopzet

1.1 Definiëring van kernbegrippen

Slimme verkeerslichten kunnen een oplossing zijn voor een overbezet wegennetwerk, waarbij veiligheid, doorstroming en de vermindering van de emissie voor ogen wordt gehouden. Dagelijks worden onze snelwegen overbelast met diverse vervoersvormen, doch vanuit het oogpunt van de afstudeerrichting Supply Chain Management te UHasselt, wordt gekeken naar de mogelijkheden die er bestaan om het vrachtverkeer hierin beter te managen. In het eerste deel van de literatuurstudie wordt gekeken naar de inzet van slimme verkeerslichten over de grenzen heen om nadien in te gaan op de criteria die bepalen op welke locatie in België slimme verkeerslichten geplaatst worden. Er wordt gekeken welke projecten reeds lopen of gaan worden opgezet in België.

In deel twee richt deze masterthesis zich op drie casestudies, namelijk CITRUS, een proefproject in Halle, C-the-Difference in Helmond en Bordeaux, en VLCC in Antwerpen. Naast de plaatsgesteldheid, het technische aspect en de resultaten van deze projecten wordt telkens een kritische kijk gegeven die verder blik dan louter de resultaten en analyses zelf.

Ten slotte worden er ook enkele denkpistes meegegeven over de mogelijke toepassingen in de toekomst.

Omtrent de de impact van slimme verkeerslichten in België voor vrachtverkeer op de weg worden hieronder enkele kernbegrippen nader toegelicht.

Slimme verkeerslichten: Deze lichten spelen in op de diverse weggebruikers op een kruispunt, aan de hand van informatie die ter plekke gegenereerd wordt door sensoren, detectoren, applicaties enzovoorts (Vlaams Verkeerscentrum, 2020). Door deze informatie te gebruiken, door te geven aan de volgende lichten en dus de lichten aan elkaar te schakelen, wordt de groencyclus geoptimaliseerd (Ghazal, EIKhatib, Chahine & Kherfan, 2016). Dit kan op verschillende intelligente regelniveaus, namelijk de mini-dynamische regeling, de dynamische regeling en het voldynamisch verkeersbeheer of 'Talking Traffic' (Depré et al., 2018). Door dit te realiseren, wordt het verkeer beter gemanaged en kan de file enorm verminderd worden. Groencycli kunnen hierdoor bijvoorbeeld worden verlengd indien er voertuigen worden gedetecteerd, of net overgeslagen worden indien er geen voertuig op een groencyclus aan het wachten is (Vlaams Verkeerscentrum, 2020). Andere toepassingen zijn bijvoorbeeld dat vrachtwagens kunnen zien hoelang het verkeerslicht nog rood blijft. Hierdoor moet de vrachtwagen niet remmen en weer gas geven (wat een impact heeft op de luchtkwaliteit), maar wordt er een suggestiesnelheid weergegeven die ervoor zorgt dat de vrachtwagen net op tijd een verkeerslicht in groenfase nadert en dus niet moet afremmen (Depraetere, 2018). Ook bussen kunnen via een cloudsysteem communiceren met kruispunten. Indien de bus achterloopt op schema, wordt deze informatie in realtime doorgegeven aan de slimme verkeerslichten en krijgt de bus dus prioritair groen licht om zo zijn tijd in te halen. Als de bus te vroeg is, kan het slimme verkeerslicht aan andere weggebruikers langer voorrang geven (mobilidata, n.d.).

Vanuit het veiligheidsperspectief, kunnen slimme verkeerslichten de minder belangrijke wegen (zoals zijstraten) voorrang geven, en hierdoor conflicten vermijden. De groencyclus kan dus onderbroken worden, indien er bijvoorbeeld verkeer uit een zijstraat komt (Mhatre et al., 2020). Slimme verkeerslichten kunnen dus in ontzettend veel aspecten worden toegepast. In deze masterthesis wordt er toegespitst op de toepassingen in verband met het vrachtverkeer op de weg. *Vrachtverkeer*: Het verkeer dat instaat voor het vervoer van goederen. Met vrachtverkeer wordt specifiek bedoeld het vervoer over de weg door vrachtwagens, bestelwagens, terreinwagens, tankwagens en trekkers met oplegger (Statbel, n.d.; Tavasszy & De Jong, 2014).

1.2 Probleemstelling

Bij het analyseren van de hoeveelheid verkeer in 1990 blijkt dat het verkeer met 43 procent is toegenomen. Sinds 2000 stijgt het aantal personenauto's met 21,7 procent en het aantal bedrijfsvoertuigen met 44,4 procent. Het totaal aantal voertuigen kent een hogere stijging (26,6 procent) ten opzichte van de bevolkingsgroei (8,7 procent) (Statistiek Vlaanderen, 2016). Als er wordt gekeken naar de grootte van het voertuigenpark van 2007 tot 2020 (zie tabel 1) blijkt dat het totaal aantal motorrijwielen en het aantal personenauto's telkens gestegen is met respectievelijk 37,9 procent en 16,6 procent. Ook het aantal vrachtwagens, bestelwagens, tankwagens en landbouwtrekkers neemt constant toe in deze periode met 37,6 procent tussen 2007 en 2020. Doch de trekkers kennen enkel een stevige stijging in 2007, waarna het aantal van 2008 tot en met 2015 stevig afneemt (Statbel, n.d.). Na 2015 wordt deze daling terug ingehaald en overstegen. Voor het vrachtverkeer zijn de schommelingen traditioneel groter want zij staan sterker in verband met de economische situatie (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Directoraat-generaal Duurzame Mobiliteit en Spoorbeleid, Directie Mobiliteit, 2018). Over het algemeen is er van 2007 tot 2020 een stijging van het aantal voertuigen van 6 339 711 naar 7 651 138 aantal voertuigen (Statbel, n.d.).

Grootte van het voertuigenpark

Jaren (1)	Personen-wagens	Autobussen en autocars	Bedrijfsvoertuigen (2)		Landbouw-trekkers (3)	Speciale voertuigen	Algemeen totaal	Motorrijwielen
			Vrachtwagens bestelwagens terreinwagens tankwagens	Trekkers (3)				
1980	3.158.737	19.560	267.669	31.415	127.449	35.858	3.640.688	113.057
1990	3.864.159	15.644	343.241	37.138	152.696	42.006	4.454.884	139.174
2000	4.678.376	14.722	502.979	45.452	162.123	53.544	5.457.196	277.838
2008	5.130.578	15.992	662.780	49.109	174.709	60.585	6.093.753	388.280
2009	5.192.566	16.061	676.644	47.418	176.522	61.638	6.170.849	403.940
2010	5.276.283	16.226	690.837	46.673	177.989	62.142	6.270.150	418.915
2011	5.407.015	16.100	714.370	46.844	180.174	63.316	6.427.819	433.958
2012	5.443.807	16.031	726.237	46.774	182.056	64.562	6.479.467	441.324
2013	5.493.472	15.822	739.402	45.000	183.638	65.640	6.542.974	450.793
2014	5.555.499	15.976	752.266	44.693	184.722	66.570	6.619.726	456.512
2015	5.623.579	16.094	770.508	44.851	186.334	67.910	6.709.276	465.786
2016	5.712.061	16.040	796.930	45.749	188.122	69.538	6.828.440	473.326
2017	5.785.447	16.062	826.742	47.478	189.938	71.754	6.937.421	481.984
2018	5.853.782	16.125	856.096	50.230	192.187	74.257	7.042.677	490.495
2019	5.889.210	16.542	885.487	52.694	194.399	76.640	7.114.972	499.110
2020	5.888.589	16.422	910.356	52.802	196.504	78.469	7.143.142	507.996

(1) Tot 1951 werd de statistiek van de motorvoertuigen opgemaakt door het Ministerie van Financiën. De toenmalige cijfers verstrekken het aantal bij de verkeersbelasting in de loop van een jaar aangegeven voertuigen. Vanaf 1 augustus 1966 is de statistiek opgemaakt op basis van de documentatie verstrekt door het Ministerie van Verkeerswezen. Deze documentatie behelst alle door de Dienst van het Wegverkeer ingeschreven voertuigen, of er verkeersbelasting voor betaald is of niet. Van 1956 af heeft deze statistiek betrekking op het voertuigenpark in gebruik op 1 augustus.

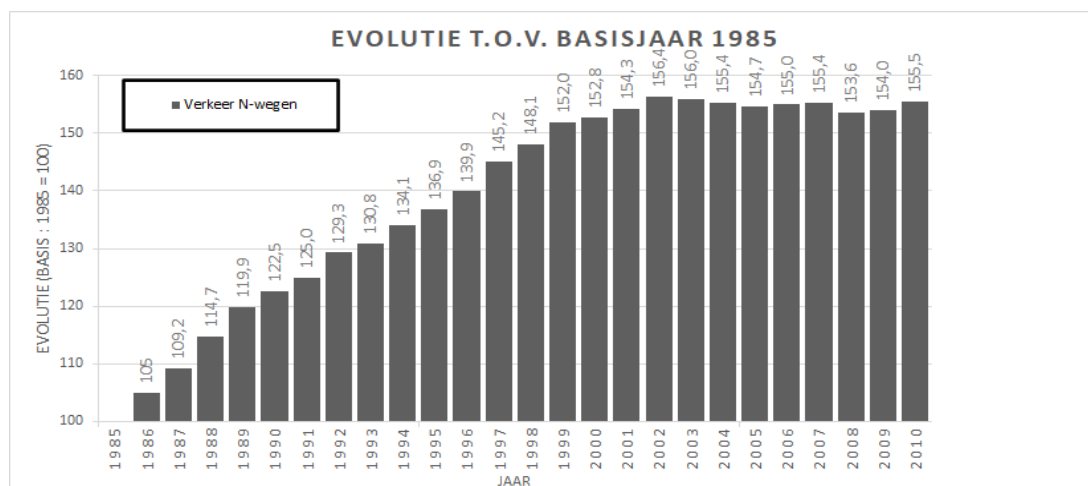
(2) Vóór 1966 had deze statistiek betrekking op alle voor goederentransport bestemde voertuigen waarvoor de verkeersbelasting betaald werd. Sinds 1966 bevat deze rubriek alle bedrijfsvoertuigen, ongeacht of er verkeersbelasting voor betaald werd.

(3) De Dienst van het Wegverkeer heeft niet telkens kunnen vaststellen of een trekker al dan niet in de rubriek "landbouwtrekkers" moest ondergebracht worden. Sedert 1968 worden de cijfers in beide rubrieken in de mate van het mogelijke aangepast aan de werkelijke toestand.

Vanaf het jaar 1994 worden de voertuigen met handelaars- of proefrittenplaten niet meer opgenomen.

Tabel 1: Grootte van het voertuigenpark (Statbel, n.d.)

Bijgevolg is de drukte op de wegen doorheen de jaren ook toegenomen. Deze tellingen, dewelke opgesteld worden door de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken, Agentschap Wegen en Verkeer, Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Sectie Verkeersparameters (2010) zijn up-to-date tot 2010. Deze tellingen leren ons dat er een enorme stijging is sinds 1985 (zie figuur 1).



Figuur 1: Evolutie van de drukte op de weg van 1985 tot 2010 (Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken, Agentschap Wegen en Verkeer, Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Sectie Verkeersparameters, 2010).

Volgens (Statistiek Vlaanderen, 2016) neemt de verkeersintensiteit op de autowegen de voorbije jaren sterk toe. In 2014 was 83 procent van de kilometers die werden gereden op auto- en gewestwegen van vrachtwagens en personenwagens. Ook de bezettingsgraad per voertuig daalt sinds 2000 en blijft sindsdien ongeveer hetzelfde, namelijk een gemiddelde van 1,35 personen per auto in 2014. De daling van de bezettingsgraad per voertuig betekent een stijging in het verkeersvolume, want minder personen in een auto zorgt ervoor dat er meer auto's op de weg zijn.

Volgens Depré et al. (2018) zijn er 80 procent meer files van 100 kilometer en 800 procent meer files van 400 kilometer tussen 2011 en 2017. In 2014 werden er 58,9 miljard voertuigkilometers geteld (Statistiek Vlaanderen, 2016). De Federale Overheid Mobiliteit en Vervoer maakte in 2018 een overzicht van de evolutie van het wegverkeer. In 2017 hebben de Belgische personenwagens in totaal 84,1 miljard kilometers afgelegd. In 2017 legden de Belgische bestelwagens opvallend meer kilometers af dan in 2016 (een stijging van 3,6 procent), terwijl de vrachtwagens 2,3 procent minder en de opleggetrekkers 4,2 procent meer kilometers afgelegd hebben. Opmerkelijk is de enorme vermeerdering van 45 procent van het aantal afgelegde kilometers door bestelwagens ten opzichte van 2003. Dit zijn cijfers van in België geregistreerde voertuigen. Ze houden dus geen rekening met bijvoorbeeld buitenlandse voertuigen op het Belgische wegennet. Hierdoor geven de cijfers dus geen totaalbeeld van het verkeer op de Belgische wegen. In de categorie vrachtwagens en opleggetrekkers vormen buitenlandse voertuigen een groot aandeel van het wegverkeer (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Directoraat-generaal Duurzame Mobiliteit en Spoorbeleid, Directie Mobiliteit, 2018). Zelfs Depré et al. (2018) argumenteren dat het aantal tonkilometers in België tegen 2030 met 44 procent zal toenemen.

De filezwaarte houdt de lengte en de duur van een file in. De sterkste stijging van de filezwaarte is waargenomen in 2013. In de periode 2012 tot 2015 is in Vlaanderen de filezwaarte gestegen met 18 procent voor wat de ochtendfiles betreft en met 33 procent wat de avondfiles betreft (Statistiek Vlaanderen, 2016). Het fileprobleem werd door het Vlaams Verkeerscentrum onderzocht en cijfermatig weergegeven in hun rapport Verkeersindicatoren Snelwegen Vlaanderen 2019. Een gemiddelde ochtendfile in België in 2019 bedraagt 155 kilometer, wat 5 kilometer langer is dan in 2018 (Vlaams Verkeerscentrum, 2020). De filezwaarte van 2019 is met 2 procent gestegen ten opzichte van 2018. De stijgende verkeersdruk betekent dat de verzadigde stukken zijn uitgegroeid tot structurele filezones. Een voorbeeld hiervan is de fileduur op werkdagen op de R1 richting Gent ter hoogte van Antwerpen-Oost die 50 minuten meer file bedraagt dan in 2018, de E313 richting Antwerpen in Wommelgem en de E40 richting Brussel tussen Sterrebeek en St.-Stevens-Woluwe, wat een stijging van 40 minuten bedraagt (Vlaams Verkeerscentrum, 2020). Volgens Depré et al. (2018) zal de gemiddelde snelheid op de Belgische wegen tegen 2030 tijdens spitsperiodes dalen met 24 procent en tijdens dalperiodes met 10 procent.

Files zijn dus een groot probleem dat de mensen dagelijks moeten ondergaan. De bottlenecks tijdens de piekuren kunnen zorgen voor druk en frustraties voor de bestuurders (Bedi et al., 2007). Voor een pendelaar betekent file tijdsverspilling, gemiste kansen en frustratie. Voor een werknemer betekent dit minder werkproductiviteit, minder handelsmogelijkheden, leveringsvertragingen en

hogere kosten (Wen, 2008). Novaco et al. (1979) onderzochten 61 mannen en 39 vrouwen met een gemiddelde leeftijd van 36,8 jaar. Uit deze zelfrapportage bleek dat hoe hoger de mate van verkeersopstopping is, hoe meer ongemak, minder tevredenheid met woon-werkverkeer en een grotere wens om van woonplaats te veranderen. De diverse gemoedstoestanden, zoals hogere opwindings, heeft een invloed op de taakuitvoering en -prestaties. Levelt (2003) voegt eraan toe dat file ook kan leiden tot boosheid en zelfs spijt omdat men juist die route heeft gekozen en daardoor in een file is terecht gekomen.

File zorgt er ook voor dat een deel van de werkuren worden gespendeerd op de baan, wat een tegengestelde impact heeft op de economie. Het zorgt ook voor luchtvervuiling en geluidsoverlast, en verslechtert de omgevingsstandaard (Mahmud et al., 2012). Donkers (1991) meldt in zijn onderzoek De Bijdrage van het Autoverkeer aan de Luchtvervuiling, dat tweederde van de kooldioxide-uitstoot afkomstig is uit de verbranding van fossiele brandstoffen. Dit betekent dat 14 procent van de kooldioxide-emissie van auto's komt. Per liter benzine is dit 200 gram CO per passagierskilometer voor een benzinewagen en 170 gram voor een dieselwagen. Ter vergelijking met andere vervoersmiddelen: fiets 0 gram; trein 60 gram; metro, tram en bus 80 gram en vliegtuig 300 gram. Zhang en Batterman (2013) tonen met hun studie aan dat luchtvervuiling, die voortkomt uit congestie een ernstige impact heeft op de gezondheid. Hun studie maakte gebruik van een incrementele analyse om de effecten van vervuiling in te schatten en gezondheidsrisico's te karakteriseren die worden veroorzaakt door congestie. Congestie kan de risico's vergroten voor personen die op snelwegen en verkeersaders rijden en voor personen die in de buurt van wegen wonen of werken. De incrementele risico's voor de verkeerspopulatie in de ochtendspits waren 20 procent tot 45 procent hoger dan die in de middagspits (Zhang & Batterman, 2013). Depré et al. (2018) beweren dat in 2017 in België 8 340 vroegtijdige overlijdens zijn vastgesteld door blootstelling aan fijnstof van vrachtverkeer.

Er blijft met andere woorden alsnog veel verkeer op onze Belgische wegen aanwezig, en dit dient gemanaged te worden. Door simpelweg de infrastructuur van de weg uit te breiden, zal de congestie alleen maar verergeren doordat het reizen met de auto dan terug gestimuleerd wordt (Seghers et al., 2006; Wen, 2008; Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005; Peeters, 2014). Deze extra capaciteit zal snel terug opgesoupeerd zijn. Daardoor zal de congestie niet afnemen, deze zal zich eerder in de spitsuren spreiden over een groter gebied. Er wordt dus beter geopteerd voor een inbreiding in plaats van een uitbreiding (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2005, p. 471). Verschillende landen werken aan het onderhouden van de reeds bestaande transportsystemen om de mobiliteit, veiligheid en verkeersstroom te verbeteren, door onder andere het gebruik van slimme verkeerslichten met daaraan een technologische vooruitgang gekoppeld (Wen, 2008). Als vrachtwagenchauffeurs voorzien zijn met de juiste apparatuur, dewelke gekoppeld zijn aan de slimme verkeerslichten, dan kunnen er dankzij de data-uitwisseling meer toepassingen ontwikkeld worden. Bijvoorbeeld een vrachtwagen met een gevaarlijke lading kan prioritair groen licht aanvragen om zo snel voorbij drukke punten te geraken. Ander voordeel is de waarschuwing op zijn route met betrekking tot een ongeval, een panne, een filestaart, een dier op de weg, ladingverlies, een spookrijder,... waardoor de vrachtwagenchauffeurs hun verplaatsing beter kunnen inschatten en sneller kunnen anticiperen op de situatie. Een derde voorbeeld is de praktische informatie die ze

kunnen raadplegen over de beschikbaarheden van parkeerterreinen voor vrachtwagens (mobilidata, n.d.). Vlaanderen dient hierin nog bij te benen aangezien de Vlaamse overheid nog niet zo lang als bijvoorbeeld Nederland bezig is met het onderzoek naar oplossingen met slimme verkeerslichten, alsook omwille van de onderinvesteringen in het verleden (Rooms, 2020).

Rooms (2020) vermeldt dat er in Hasselt op de kruising van de Slachthuiskaai met de ventweg langs de Singel en bij de uitrit van de politie en brandweer aan de Slachthuiskaai in 2020 slimme verkeerslichten worden geïnstalleerd. De primaire doelstellingen van deze installatie zijn de verhoging van de veiligheid (conflicten oplossen) en de verbetering van de doorstroming (Rooms, 2020). De doorstroming wordt afgeleid door het observeren van een bepaald deel van de weg in enkele richting met twee telstations (Maerivoet, 2001; Willekens, 2020). Deze slimme verkeerslichten zijn volgens zelfs een meerwaarde voor het welzijn van de weggebruiker (minder frustraties, meer geduld, etc). De fietser krijgt, dankzij de slimme verkeerslichten sneller groen licht bij regenweer (S-LIM, 2020). Anderzijds krijgen hulpdiensten sneller doorgang als zij moeten uitrukken dankzij een signaal vanuit de ambulance dat ervoor zorgt dat de baan vrij is. De slimme verkeerslichten kunnen gelinkt worden aan slagbomen van een ondergrondse parking. Als er plots veel auto's uit de garage moeten rijden, dan kunnen de verkeerslichten zo ingesteld worden dat de doorstroming uit de garage voorrang krijgt (S-LIM, 2020).

Samengevat komt het erop neer dat het fileprobleem enorm veel nadelen met zich meebrengt. Inzet op verkeersmanagement is hier van belang. De slimme verkeerslichten kunnen een verbetering betekenen voor deze problematiek. De bedoeling is om via deze masterthesis aan te tonen dat de verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming met slimme verkeerslichten kan verbeterd worden.

1.3 Doelstelling

Deze masterthesis heeft als doel het onderzoeken van de effectiviteit van de inzet van slimme verkeerslichten, meer specifiek voor vrachtvervoer over de weg en dit op vlak van verkeersmanagement. Op die manier kunnen er conclusies worden getrokken met betrekking tot de doorstroming van vrachtverkeer op de weg. De effectiviteit van de inzet van de slimme verkeerslichten wordt gemeten aan de hand van verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming.

De resultaten van dit onderzoek zijn zeer relevant voor de beleidsverantwoordelijken binnen het luik verkeer, maar zeker ook binnen het economische luik. De burger langs de andere kant kan, bij positieve resultaten, hierbij mee genieten van de voordelen op zowel verkeerskundig vlak als op economisch vlak.

1.4 Onderzoeksvragen

Gelet op de probleemstelling en de doelstelling wordt de volgende vraag als centrale onderzoeksvraag gesteld:

Heeft de inzet van slimme verkeerslichten voor vrachtwagens, bestelwagens, terreinwagens, tankwagens en trekkers met oplegger een invloed op de verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming?

Vermits we in België achterlopen op vlak van de inzet van slimme verkeerslichten (Rooms, 2020), bestuderen we eerst de invloed van slimme verkeerslichten in andere landen.

Om deze kernvraag te ondersteunen worden er ook een aantal deelvragen gesteld. Deze informatie kan teruggevonden worden in eerdere onderzoeken, papers enzovoorts. Bovendien wordt de kennis en expertise van deskundigen terzake ontleend. De deelvragen luiden:

Deelvraag 1

Welke positieve en/of negatieve invloeden betekenen de slimme verkeerslichten in andere landen?

Deelvraag 2

Op welke plaatsen in België kunnen slimme verkeerslichten, gelet op alle voor- en nadelen, het best geïmplementeerd worden?

Deelvraag 3

Heeft de voorgestelde implementatie zoals gevonden in deelvraag 2 een invloed op de weg, meer specifiek op vlak van de verkeersveiligheid, CO₂-uitstoot en doorstroming?

Deze deelvraag zal een antwoord bieden op reeds lopende projecten in België en Nederland.

1.5 Onderzoeksaanpak en -methodologie

Om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen, zal er gebruik gemaakt worden van de volgende onderzoeksmiddelen:

Verkennen van het onderwerp

De verdieping in het onderwerp gebeurt op basis van literatuurstudie (deskresearch). Via een literatuurstudie zullen alle fases van de onderzoekscyclus doorlopen worden, namelijk probleemstelling, methodologie, literatuurstudie, interpretatie, conclusie en publicatie (De Jong et al., 2012). Enerzijds wordt er gebaseerd op boeken, tijdschriften, artikels, documenten, online consultaties enzovoorts. Hierbij gebeuren de opzoekingen binnen de databronnen U Hasselt (Scopus), Google Scholar, ResearchGate, ScienceDirect, IEEE, Elseviers, enzovoorts. Het doorzoeken van vier of meer digitale databases verhoogt sterk de waarschijnlijkheid dat de literatuurstudie alle relevante studies beschouwt (Kitchenham & Charters, 2007). Anderzijds worden er contacten gelegd met deskundigen terzake om meer informatie te verkrijgen. Voor een volledige integratie in de materie, wordt er een online interview via Microsoft Teams gevoerd met Commissaris Gerry Peeters, Sectiechef Operationele coördinatie en Diensthoofd Interne werking van de Federale politie. Dit werd ook via Microsoft Teams gedaan met Jean-Pierre Blocken, Eerste Commissaris, gepensioneerd diensthoofd Centrex, alsook zaakvoerder van het bedrijf Legevia. Alsook via Google Meet met Rodric Frederix, expert in projecten omtrent verkeerslichten en verkeersmodellen, met een specialisatie in

Antwerpen. Deze interviews zijn terug te vinden in bijlage 1, 2 en 3. Er worden exclusieve rapporten en onderzoeken aangevraagd bij verschillende onderzoekers/ contactpersonen van de verschillende projecten, met name Dirk Goelen, Ruben Corthout, Chris Tampère (VLCC), Sven Maerivoet, Lydia Peeters (CITRUS), Jaco Van Veldhuijzen, Marleen Meijers (Goed Op Weg), Kitty Van Gastel, Ine Janssen (C-the-Difference), Tineke Posno (PrioPilot Helmond) en Femke Mureau (Talking Traffic), Bovendien wordt er ook contact gelegd met Geert Derycke en Tomas Van Beersel (MOW Vlaanderen), Dienst Wegen en Verkeer, Ninatrans, Marc Keppens (Arcadis), Tom Bellemans, Tom Brijs, Willy Miermans (UHasselt) en Rijkswaterstaat Nederland.

Verwoorden van een theoretisch kader

Om de juiste plaatsen in België te kunnen vinden om de slimme verkeerslichten te implementeren, wordt eerst gekeken naar de locaties in andere landen. Bij het bestuderen van de diverse projecten in het buitenland, komt duidelijk naar voren dat elk project zijn eigen testdoeleinden voor ogen heeft en om die reden ook andere criteria hanteert om een locatie te kiezen. Speelt het vrachtvervoer een belangrijke rol, zoals bij TOVERgroen in Nederland? Of ligt de focus eerder op een evenwicht tussen gemotoriseerd verkeer en voetgangersverkeer vinden, zoals in Griekenland? Worden de lichten geïmplementeerd door de verkeerscongestie zoals in India, of eerder omwille van de milieuproblemen? Ook worden de gerealiseerde en te realiseren projecten in België opgesomd. Drie projecten worden verder geanalyseerd en uitgediept, met name het CITRUS-project in Halle, het C-the-Difference-project in Helmond en Bordeaux en het VLCC te Antwerpen, dewelke met andere projecten en literatuur worden gestaafd of met een kritisch oog worden becommentarieerd.

Conclusies en aanbevelingen

De resultaten en conclusies van dit onderzoek kunnen gebruikt worden bij evaluatie en implementatie van slimme verkeerslichten in België. Daarenboven kunnen de bemerkingen in de rubriek "Kritische Noot" meegenomen worden naar toekomstige projecten, doch ook inzicht bieden welke baten deze nieuwe technologie heeft voor de modale burger. Verder kan dit werk inzicht bieden in meer mogelijkheden tot prioritering van het vrachtverkeer, zoals bijvoorbeeld de vrachtwagenbestuurders in het project VLCC.

1.6 Beperkingen

In eerste instantie beperkt deze eindverhandeling zich tot de impact van slimme verkeerslichten op het vrachtverkeer. Het accent zal niet liggen op de invloed op personenwagens, autobussen en autocars, landbouwtrekkers, speciale voertuigen en motorrijwielen. De uiteindelijke bedoeling is namelijk om met deze eindverhandeling binnen de richting Master in de Handelswetenschappen een meerwaarde te bieden voor de verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming van het vrachtvervoer op het Belgisch wegennet. De resultaten van deelvraag 3 geven hier meer uitsluitsel over. Omtrent methodes, concepten en metingen van slimme verkeerslichten wordt er gefilterd op recente bronnen, dit wil zeggen bronnen vanaf 2016 omdat de technologie binnen C-ITS op korte termijn sterk vernieuwend is. Bij het selecteren van de bronnen werd vooral gekeken naar de publicatiedatum, de relevantie en de sleutelwoorden. Deze sleutelwoorden zijn vooral termen uit de

rapporten van de drie cases die onder de loep worden genomen en verder onderzoek vereisen. Voorbeelden hiervan zijn GLOSA, TSP, Time-to-green/time-to-red, C-ITS, traffic app, enzovoorts. De opzoekingen gebeuren in het Nederlands, Engels en Frans. Deze literatuurstudie is gelimiteerd tot een specifieke verkeerscontext, omdat de context mogelijks grote impacten op de resultaten hebben. De geografische impact van het mobiliteitsgedrag in bijvoorbeeld Amerika kan verschillen van Europese landen door de verschillen in het openbaar vervoerssysteem, brandstofprijzen, enzovoorts, wat verantwoordt om deze literatuurstudie te baseren op enkel Europese landen en landen die hierbij aansluiten (Wee & Banister, 2015). In deze thesis ligt de focus niet op de diverse technologische hoogstandjes. Er bestaan diverse hightech manieren om de slimme verkeerslichten te sturen, alsook de verschillende niveaus van intelligente regeling dat een verkeerslicht kan aannemen. Echter gaat deze masterthesis hier niet diepgaand op in.

Om relevante journals niet te verwerpen, wordt er gebruik gemaakt van een Excel-tabel als houvast. Hierin werden relevante studies en journals overzichtelijk weergegeven met de titel van de studie, de auteurs, de belangrijkste kernwoorden en de link. Tijdens het selecteren van studies en journals, wordt er ook gekeken naar de referenties van de relevante studies. Hierbij werd backward en forward snowballing toegepast (Wee & Banister, 2015). De analyse van deze referenties brengt vaak doorslaggevende informatie op, die de volledigheid van deze masterthesis verhoogt. Ook Kitchenham en Charters (2007) bevelen het gebruik van een dergelijke bijkomende zoekstrategie aan.

Bovendien wordt er een vergelijking gemaakt met landen waar men reeds ervaring heeft met slimme verkeerslichten, zodoende is dit onderzoek gebaseerd op de ervaring en reeds bestaande onderzoeken en niet op een eigen onderzoek.

Tenslotte betreft dit een onderzoek dat tot stand is gekomen ten tijde van de corona-crisis. De maatregelen die door de overheid zijn opgelegd, zijn nog steeds van toepassing, wat ervoor zorgt dat het contact voor bijvoorbeeld feedbackmomenten, kritiek, sturing of verdere hulp hierdoor online dient te gebeuren. De communicatie gebeurt fysiek op een afstand, via Skype, Teams en Google Meet of via andere digitale weg. Ook het netwerken in deze sector moest gebeuren via digitale weg, wat het tot stand brengen van deze masterthesis heeft bemoeilijkt. Hierdoor wordt in het onderzoek enkel gebruik gemaakt van een deskresearch.

Hoofdstuk 2: Literatuurstudie

2.1. Slimme verkeerslichten in andere landen

Nederland wilt in de provincie Noord-Brabant zakelijk en economisch verkeer faciliteren. Daarom werd het project TOVERgroen (TOepassen Voorzieningen voor vrachtverkeER) opgestart. Dit project detecteert vrachtwagens om deze indien mogelijk prioriteit te verlenen door hun groenfase te verlengen. Er werden een aantal problemen inzake detectie van de vrachtwagens erkend tijdens de implementatie van TOVERgroen, waarbij vrachtwagens niet werden herkend, ofwel verkeerde voertuigen als vrachtwagens werden gedetecteerd, bijvoorbeeld een auto met caravan, mobilhomes, enz... Desondanks concludeerde men in dit onderzoek dat er heel wat voordelen zijn zoals de stijging van de doorrijkans voor vrachtwagens met 5 à 10 procent. Het aantal rodelichtovertredingen door zwaar verkeer vermindert met 30 procent. Doordat vrachtwagenchauffeurs minder vaak moeten stoppen voor het rode licht, neemt hun rijcomfort toe, want het onnodig stoppen, wachten en schakelen wordt vermeden. Dit heeft dan ook weer voordelen voor het milieu, want een vrachtwagen die vanuit stilstand vertrekt, en moet optrekken, verbruikt aanzienlijk meer brandstof en stoot meer schadelijke stoffen uit dan een vrachtwagen die zijn snelheid kan behouden. Ook zorgt dit voor een hoge tevredenheid bij de vrachtwagenchauffeurs: 65 procent van de geënquêteerde vrachtwagenchauffeurs gaf in een vijfpuntenschaal aan tevreden tot zeer tevreden te zijn van de inzet van deze slimme verkeerslichten. Bovendien verhoogt het ook de verkeersveiligheid, want vrachtwagenchauffeurs komen minder snel in de dilemmazone terecht en zelfs de roodlichtnegatie vermindert. Het probleem van de vrachtwagenchauffeur is dat hij niet weet of hij tijdens het groen licht de stopstreep zal halen. De kans bestaat immers dat hij niet voldoende tijd heeft en dus door het rood rijdt: de dilemmazone. De slimme verkeerslichten spelen hierop in waardoor de vrachtwagenchauffeur weet dat hij zijn snelheid kan behouden en erop kan vertrouwen dat hij groen licht heeft. Dit heeft een aanzienlijke impact op de verkeersveiligheid, want de kans op een aanrijding met een vrachtwagen die door het rode licht is gereden, is kleiner. Wetende dat de impact van een aanrijding met een vrachtwagen meestal ernstiger is dan tussen personenauto's, is dit voordeel een zeer belangrijk voordeel. Evenals de roodlichtnegatie: de vrachtwagenbestuurder die aan het einde van het groene of oranje verkeerslicht beslist om toch door het rode verkeerslicht te rijden. Tijdens het project TOVERgroen nam het aantal gevallen van roodlichtnegatie af. Ook lieten de onderzoekers van TOVERgroen weten dat de baten hoger zijn dan de (installatie)kosten. De N302, een provinciale weg in Nederland, werd gebruikt als proef. Deze verloopt vanaf Lelystad via Harderwijk naar Kootwijk en is 40 kilometer lang. Daaruit kwam naar voren dat de gemiddelde verliestijd voor vrachtvervoer op de hoofdweg afneemt van 24 seconden naar 15 seconden (een daling van 36 procent) doch de gemiddelde verliestijd voor vrachtvervoer op de zijwegen toeneemt met 50 procent. De gemiddelde verliestijd voor personenwagens op de hoofdweg blijft gelijk, doch stijgt met 11 procent op de zijwegen (De Mol et al., 2009).

Zweden heeft het LHOVRA-project opgestart. De letters staan voor de afkortingen die gebruikt worden in de verkeersregeling en lichten tegelijkertijd het project toe. De letter 'L' staat in het Zweeds voor vrachtverkeerprioriteit, waarbij de problematiek van de dilemmazone wordt aangepakt. De letter 'H' staat voor hoofdwegprioriteit: de groenfase voor de hoofdrichting wordt verlengd totdat

de maximumgroentijd is verstreken. De letter 'O' staat voor de ongevallenreductie door dilemmazonemeting. De letter 'V' staat voor variabel oranje, waarmee wordt bedoeld dat mocht een voertuig toch nog doorrijden tijdens oranje, deze oranjetijd wordt verlengd met 5 seconden. De letter 'R' staat voor roodlichtnegatiebeveiliging door het verlengen van de ontruimingstijd. Indien voertuigen na het verlengen van de groen- en de oranjefase toch door het rode licht rijden, dan wordt de ontruimingstijd verlengd. Bij de conflictrichtingen wordt dan het groen licht uitgesteld, waardoor de kans op ongevallen sterk daalt. De letter 'A' staat voor de alles-roodfunctie. Bij afwezigheid van verkeer zullen de verkeerlichten automatisch naar rood gaan. In hun werk *10 years with LHOVRA - what are the experiences?* schrijft Engström (1994) de evaluatie neer van LHOVRA. Er is een gemiddelde daling van 25 procent van het aantal ongevallen op wegen met zowel een snelheidsbeperking van 50 km per uur als 70 km per uur. Bovendien is de ernst van de ongevallen niet gestegen, doch blijft deze hetzelfde als in stedelijke gebieden. Er waren aanvankelijk veel kop-staartaanrijdingen, dewelke nu ernstig gedaald zijn. De reden hiervan is mede dankzij de enorme daling van het aantal bestuurders die door het oranje en rode licht rijden. Bovendien laat het systeem toe om het aantal voertuigen op de wegen eenvoudig en zeer correct te tellen. Ook zijn er metingen gedaan van vertraagde en gestopte voertuigen en hun brandstofverbruik. Er werden zelfs andere componenten van de exploitatiekosten van het voertuig berekend. Als de traditionele verkeerslichten worden ingezet, liggen de kosten voor vertraging en de exploitatiekosten van het voertuig 11 procent hoger. Dankzij de prioriteit van het vrachtvervoer liggen deze kosten 6 procent lager, wat al een enorme proportie is van het geheel. Het LHOVRA-project is succesvol. Zowel de gehele techniek als delen ervan worden zowel in stedelijke als in landelijke gebieden gebruikt in Zweden, maar ook in andere Scandinavische landen (Engström, 1994). In 2012 evalueerde Homayoun Harirforoush in *Evaluation of the LHOVRA O-function using the microsimulation tool VISSIM* de LHOVRA-techniek (Harirforoush, 2012). De metingen tonen aan dat de reistijd en de vertragingen op de hoofdweg verminderd zijn ten opzichte van het gebruik van traditionele verkeerslichten, maar in de zijwegen was dit gestegen. De gemiddelde rijlengte op de hoofdwegen is dankzij de LHOVRA-techniek verminderd en de gemiddelde rijlengte op de zijwegen is hetzelfde gebleven ten opzichte van het gebruik van traditionele verkeerslichten. De capaciteit ligt met de LHOVRA-techniek hoger. Archer (2004) toont in zijn studie aan dat de O-functie in de LHOVRA-techniek wel effectief roodlichtovertredingen voorkomt, wat een groot effect heeft op de veiligheid. Het gebruik van de O-functie toont een vermindering van het aantal kop-staartaanrijdingen met gemiddeld 22 procent.

Ook Almuraykhi en Akhlaq (2014) zijn overtuigd van de voordelen van de slimme verkeerslichten in STLS: Smart Traffic Lights System for Emergency Response Vehicles. De slimme verkeerslichten zijn volgens deze onderzoekers een oplossing voor het oude systeem van verkeerslichten die onnodige vertragingen veroorzaken. Ook zij beweren dat het verminderen van de files en vertragingen minder ongelukken zal veroorzaken en zal leiden tot minder brandstofverbruik, wat dan weer beter is voor het milieu. Zij vermelden dat 70 procent van de overledenen konden worden gered, als het medisch team sneller kon interveniëren. Bovendien zagen zij een voordeel in de mogelijkheid tot verkeerscoördinatie door bijvoorbeeld verkeerslichten gecoördineerd te plaatsen, zodat bestuurders diverse malen groene verkeerslichten passeren. De slimme verkeerslichten leveren ook informatie op voor toekomstig wegontwerp en -aanleg en zelfs voor noodzakelijke of dringende verbeteringen

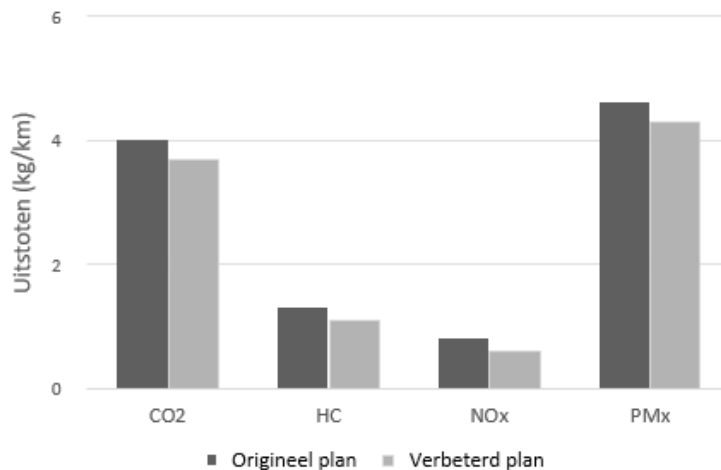
op knooppunten (Almuraykhi & Akhlaq, 2014). Echter hebben Almuraykhi en Akhlaq ook enkele bedenkingen. Zo moet het mogelijk zijn om het niveau van noodgeval te kunnen bepalen indien er twee of meerdere hulpverleningsvoertuigen tegelijkertijd het verkeerslicht naderen. Bovendien is het noodzakelijk dat bij verschillende verkeerslichten achtereen het hulpverleningsvoertuig niet enkel groen licht heeft bij het eerste verkeerslicht, maar ook bij de daaropvolgende verkeerslichten. En hierbij is het ook belangrijk dat deze verkeerslichten inspelen op de snelheid van het voertuig. Als de snelheid van het hulpverleningsvoertuig afneemt, moet het verkeerslicht langer zijn groen licht behouden. Zij concluderen dat de evaluatie van hun volledig operationeel prototype in Saoedi-Arabië laat zien dat het voorgestelde systeem zeer hoge prestaties neerzet en 100 procent betrouwbaar is.

Kanungo et al. (2014) namen in Smart Traffic Lights Switching and Traffic Density Calculation using Video Processing de stad Chandigarh (India) als casestudy. Chandigarh heeft het grootste aantal voertuigen per persoon van de bevolking in India. En terwijl het aantal voertuigen in een hoog tempo toeneemt, kan de infrastructuur in de stad deze groei niet aan. Verkeersopstoppingen tijdens de spits worden een routine-aangelegenheid. Dus trachten Kanungo et al. (2014) het probleem aan te pakken. Zij concluderen in hun onderzoeksrapport dezelfde positieve elementen: onnodige vertraging, een daling van het aantal ongevallen en een vermindering van het brandstofverbruik, wat beter is voor het milieu. Zij halen zelfs aan dat de installatiekosten relatief laag zijn, als er al een voorziening aanwezig is van bestaande camera's. Dit is meestal wel het geval in grootsteden en drukke knooppunten. Ook de onderhoudskosten zijn verwaarloosbaar, omdat hun systeem geen extra hardwarecomponenten omvat in vergelijking met andere verkeerscoördinatiesystemen.

Al-Turki et al. (2020) voerden hun onderzoek in Dhahran, Saoedi-Arabië op de Prince Faisal Bin Fahd road, waarbij zij vier gelijktijdige doelstellingen voor ogen hadden: de gemiddelde voertuigvertraging, aantal stops, gemiddeld brandstofverbruik en de uitstoot van de voertuigen. De studieresultaten gaven aan dat de voorgestelde methode effectief de doelstellingen verbeterden vergeleken met de huidige verkeerssituatie. De gemiddelde voertuigvertraging is met ruim 19 procent verbeterd, terwijl het aantal stops met ongeveer 16 procent verminderde ten opzichte van de bestaande verkeerssituaties. Bovendien was er een vermindering van 22,5 procent van het gemiddelde brandstofverbruik en een daling van ongeveer 17 procent van de totale voertuiguitstoot. (Al-Turki et al., 2020)

Ook Malaga stad werd ingezet als casestudy. Bravo et al. (2016) zijn van mening dat niet één slim verkeerslicht in Malaga de verkeerssituatie kan veranderen, dus pakken ze alle verkeerslichten in Malaga aan. Ze zijn van mening dat een aaneenschakeling het beste resultaat zou geven. In figuur 2 worden de resultaten weergegeven.

Vergelijking van de uitstoten voor en na de implementatie van slimme verkeerslichten



Figuur 2: Vergelijking van de uitstoten voor en na de implementatie van slimme verkeerslichten (Bravo et al., 2016).

Er is op basis van verschillende vervuiling indicators (CO₂, HC, NO_x, en PM_x) een vergelijking gemaakt tussen het originele plan en het verbeterde plan met de inzet van slimme verkeerslichten. Er is dus sprake van een vermindering van de uitstoot.

In Brazilië gaat men zelfs nog een stapje verder. Oliveira, Manera en Luz (2019) concluderen in Smart Traffic Light Controller System dat de slimme verkeerslichten nog meer kunnen verbeterd worden en verkeerslichtbeheersystemen kunnen zijn. Deze verkeerslichtbeheersystemen detecteren blokkering door bijvoorbeeld een ongeval en creëren alternatieve routes, niet alleen om files te vermijden maar ook om nieuwe ongelukken te vermijden (Oliveira, Manera & Luz, 2019).

Anastasiadou en Vougiaris (2019) onderzoeken de inzet van slimme verkeerslichten in Griekenland, Thessaloniki. Zij kiezen voor deze stad omwille van de aanwezigheid van een groot aantal toeristen, het gebrek aan openbaar vervoer, de opbouw van de metro dat voor overlast zorgt, enz.... Het probleem is dat toeristen in bijvoorbeeld de Tsimiski Str. illegaal oversteken, ondanks de auto's groen licht hebben. Hierdoor beslissen de onderzoekers om niet slimme verkeerslichten te plaatsen, maar duurzame slimme verkeerslichten. De slimme verkeerslichten zouden in dit scenario zorgen voor voorrang van gemotoriseerd verkeer ten opzichte van voetgangers om zo de reistijden van de voertuigen te verlagen. Echter wordt dan de wachttijd van de voetganger verlengd doordat hun groencycli wordt verkort. Het gevolg hiervan is dat het illegaal oversteken door de voetgangers wordt bevorderd en stijgt als gevolg het veiligheidsrisico voor hen. De duurzame slimme verkeerslichten in Thessaloniki daarentegen beschouwen de voetgangers evenwaardig als het gemotoriseerd verkeer. "Slim zijn is niet voldoende, een duurzaam slimme stad verbetert de levensstandaard van de burger, door de noden van de burgers als basisprincipe te plaatsen van de verkeersregeling." luidt het. Het gebruik van slimme verkeerslichten moet op een efficiënte manier gebeuren, die aangepast is aan de behoeften en bijzonderheden van elke stad (Anastasiadou, Vougiaris, 2019). In Thessaloniki ligt de focus op de grote hoeveelheid voetgangers (Sharifi, 2018).

Deze casestudy benadrukt de noodzaak van een evenwichtigere dienstverlening tussen gemotoriseerd verkeer en voetgangersverkeer.

De stad Kopenhagen installeerde 380 slimme verkeerslichten met artificiële intelligentie, die automatisch voorrang geven aan het openbaar vervoer en fietsers. Hun doelstelling is de reistijd van bussen te verminderen met 20 procent en die van de fietsers met 10 procent. De slimme verkeerslichten blijven 30 seconden langer groen voor bussen die achter zitten op schema. Op sommige fietspaden zijn deze slimme verkeerslichten zo geprogrammeerd dat fietsers die een snelheid aanhouden van 19 kilometer per uur nooit aan een rood verkeerslicht staan (Depré et al., 2018; Cardwell, 2014).

Enkele papers hebben echter een kritische kijk op de implementatie van slimme verkeerslichten. Miz en Hahanov (2014) halen aan in Smart traffic light in terms of the Cognitive road traffic management system (CTMS) based on the Internet of Things bij hun onderzoek in Kiev (Oekraïne) dat er een aantal complexe ingenieurs- en wetenschappelijke problemen dienen opgelost te worden, dewelke aan de basis liggen van computer engineering, computer science, electrical engineering en telecommunicatie. Eén van de grootste bekommernissen is de dekking van het internet en een gebrek aan universele standaarden (Miz & Hahanov, 2014).

Formisano et al. (2015) schrijven in The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities hun bedenking neer betreffende het managen van de grote hoeveelheid data in quasi realtime wat zeker van belang is als moderne grootsteden een hoge kwaliteit willen bieden. De data flow gerelateerd aan de slimme verkeerslichten brengt een aantal uitdagingen met zich mee met betrekking tot de opslag van zware databestanden, veilige toegangen en het gebruik en exploitatie van de gegevens. Dit brengt meer en meer ingewikkelde structuren met zich mee. De huidige cloudtechnologie kan hierbij helpen (Formisano et al., 2015; Palsa et al., 2019).

Minister Hilde Crevits (2012) meent dat de implementatie van slimme verkeerslichten kan gebeuren zonder omvangrijke infrastructuurwerken.

2.1.1. Kort samengevat

In diverse landen wordt de inzet van slimme verkeerslichten reeds toegepast. De voordelen komen in deze situaties telkens in dezelfde vorm terug: een stijging van de doorrijkans, het aantal rodelichtovertredingen vermindert, het rijcomfort neemt toe, minder schadelijke uitstoot, het aantal gevallen van dillemmazone en rodelichtnegatie vermindert sterk, het aantal ongevallen vermindert en de kosten voor vertraging en de exploitatiekosten van het voertuig liggen lager. De inzet van slimme verkeerslichten levert ook informatie op voor toekomstig wegontwerp en -aanleg en zelfs voor noodzakelijke of dringende verbeteringen op knooppunten. Bovendien zouden de installatiekosten relatief laag zijn indien er reeds een voorziening aanwezig is van bestaande camera's, evenals de onderhoudskosten.

Enkele kritische bedenkingen van de inzet van slimme verkeerslichten zijn er echter ook. Het moet mogelijk zijn om het niveau van noodgeval te kunnen bepalen indien er twee of meerdere hulpverleningsvoertuigen tegelijkertijd het slimme verkeerslicht naderen. Bovendien is het noodzakelijk dat bij verschillende verkeerslichten achtereen het hulpverleningsvoertuig niet enkel groen licht heeft bij het eerste verkeerslicht, maar ook bij de daaropvolgende verkeerslichten. En

hierbij is het ook belangrijk dat deze verkeerslichten inspelen op de snelheid van het voertuig. Eén van de grootste bekommernissen is de dekking van het internet en een gebrek aan universele standaarden. De data flow gerelateerd aan de slimme verkeerslichten brengt een aantal uitdagingen met zich mee met betrekking tot de opslag van zware databestanden, veilige toegangen en het gebruik en exploitatie van de gegevens, doch hierbij verwijst men als oplossing al onmiddellijk naar de cloudtechnologie. Het nadeel van de slimme verkeerslichten op een kruispunt is dat ingevolge een langere groentijd voor de ene rijrichting, de wachttijden op de conflicterende richtingen toeneemt.

2.2. Implementatie van slimme verkeerslichten in België

Om de juiste plaatsen in België te kunnen vinden om de slimme verkeerslichten te implementeren, werd eerst gekeken naar de locaties in andere landen. Bij het bestuderen van de diverse projecten in het buitenland, komt duidelijk naar voren dat elk project zijn eigen testdoeleinden voor ogen heeft en om die reden ook andere criteria hanteert om een locatie te kiezen. In Nederland, bij het project TOVERgroen moet de testlocatie een weguitrusting en verkeersstromen hebben die typisch zijn voor een provinciale weg in Noord-Brabant. Bovendien moet vrachtverkeer een groot deel uitmaken van het wegverkeer. TOVERgroen wenst op twee verschillende plaatsen testen uit te voeren: een kruispunt met een 2x1-rijrichting en een kruispunt met een 2x2-rijrichting (De Mol et al., 2009). In Griekenland, in Thessaloniki ligt de focus op een ander probleem, namelijk het grote aantal toeristen, pendelaars en bezoekers van de stad, waardoor men kiest voor een evenwicht tussen gemotoriseerd verkeer en voetgangersverkeer (Anastasiadou & Vougiyas, 2019). In India, in Chandigarh kijkt men naar de verkeersdichtheid, zodat deze verkeerslichten de weg openen voor die rijrichting die te zwaar belast is (Kanungo et al., 2014). Het project in Dhahran is gekozen als studiegebied omwille van verschillende redenen, doch de meest doorslaggevende is dat zij een enorme verkeerscongestie hebben in de stad waardoor zij geconfronteerd worden met alarmerende milieubedreigingen (Al-Turki et al., 2020).

2.2.1. Criteria die de implementatie van slimme verkeerslichten in België beïnvloeden

2.2.1.1. Wettelijke bepalingen

Eerste commissaris en gepensioneerd diensthoofd Centrex Jean-Pierre Blocken licht toe dat er in België wettelijke voorschriften (Koninklijke besluiten, ministeriële besluiten en dienstorders), normen en richtlijnen uitgeschreven zijn over de plaatsbepaling van verkeerslichten. De wetgeving betreft onder meer het Koninklijk Besluit van 1 december 1975 houdende het algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg ("het verkeersreglement") en het ministerieel besluit houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens ("het Reglement voor de wegbeheerder") (Belgisch Staatsblad, 1975; Belgisch staatsblad, 1976). De richtlijnen staan uitgeschreven in het vademecum Veilige Wegen en Kruispunt (2009) en in het Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2020 (Agentschap Wegen en Verkeer, 2009; Agentschap Wegen en Verkeer 2020). De dienstorders handelen onder andere over de richtwaarden voor de plaatsing van verkeerslichten, de aanleg en

zichtbaarheid van verhoogde verkeerseilanden en rotondes, de fietsgeleiding op kruispunten, enzovoorts (Agentschap Wegen en Verkeer, 2020).

Deze richtlijnen worden volgens Commissaris Gerry Peeters Sectiechef Operationele coördinatie en Diensthoofd Interne werking van de Federale politie ook toegepast op de slimme verkeerslichten. Deze handboeken bevatten verschillende schema's om te berekenen of het implementeren van een verkeerslichtenregeling nuttig is, en dit aan de hand van kruispuntentellingen of wachtrijmetingen. Eén van de wetgevende criteria voor de inzet van een kruispunt is de zichtbaarheid, waarmee de zichtbaarheid van het verkeerslicht en overzichtelijkheid van het kruispunt wordt bedoeld. Er is een voldoende brede uitrit, de voetgangers verhinderen het verkeer niet en de weggebruikers hebben voldoende zicht op de conflicterende voorrangrichting. Een ander wetgevend criterium zijn de bochten, waarbij de boogstralen van de binnenbocht (zowel links- als rechtsaf) niet te kort mogen zijn, opdat men vlot kan afslaan, doch ook niet te ruim, opdat de bestuurder nog voldoende dient af te remmen om de verkeersveiligheid te verhogen. De boogstralen variëren meestal tussen 12 en 25 meter.

2.2.1.2. Stakeholders

De implementatie van verkeerslichten kan ook worden tegengehouden, omdat men om de verkeerde reden deze verkeerslichten wenst. Dit wordt beargumenteerd door de verschillende stakeholders.

Commissaris Gerry Peeters Sectiechef Operationele coördinatie en Diensthoofd Interne werking van de Federale politie licht toe dat op de grens van Aarschot en Scherpenheuvel-Zichem op het kruispunt van de Schansstraat en de Schoonderbeukenweg de buurtactievoerders een rond punt vroegen, terwijl de politici verkeerslichten verkozen naar aanleiding van een aantal verkeersongevallen op dat kruispunt. In maart 2011 sprak men zelfs van een dodelijk ongeval (Het Nieuwsblad, 2011). De implementatie van een verkeerslicht is hier niet de beste beslissing, aangezien de verkeersintensiteit van de zijas de vermindering van de hoofdas-doorstroming niet rechtvaardigt. In deze situatie is een slim verkeerslicht dus niet de oplossing, maar moeten er andere maatregelen worden getroffen. Zo werd het sluipverkeer in de zijas aangepakt en werd de zijas opnieuw ingezet waarvoor ze aanvankelijk dient, namelijk voor het bestemmingsverkeer. Na deze ingreep zijn er geen noemenswaardige ongevallen meer gebeurd. Vaak worden ook snelheidsmatigende maatregelen ingezet als oplossing.

Naast de wetgevende bepalingen hebben de stakeholders een grote impact op het wel of niet implementeren van een slim verkeerslicht op een bepaalde plaats. In Zaventem, rond de luchthaven, is er gekozen voor de implementatie van slimme verkeerslichten, die er in normale omstandigheden in het voorjaar van 2020 zouden staan. De sector tussen de passagiersluchthaven en de Brucargoparking gaat gebruikt worden als een plaats waar de shuttles doorrijden, tezamen met veel bussen van De Lijn en heel wat kleine luchthaventransporten. Bovendien sluiten daarop ook een aantal wegen aan, zoals de gemeenteweg naar Machelen. De doelstelling is de shuttles te beveiligen met slimme verkeerslichten. Het project is vooruitgeschoven omwille van de Corona-crisis, doch ook omdat de firma, die de shuttles zou voorzien, de veiligheidsvoorschriften van de shuttles, die in de werkgroep waren opgelegd, niet kon waarmaken.

Primaire stakeholders zijn bijvoorbeeld de overheid, Agentschap Wegen en Verkeer, de dienstverleners (service providers), de transportsector en de eindgebruiker (de vrachtwagenchauffeurs) (Logghe et al., 2020).

2.2.1.2.1. De overheid

De overheid heeft de belangrijke taak om een effectief, veilig en duurzaam mobiliteitssysteem uit te werken, dat alle vervoerswijzen omvat en het optimaal gebruik van bestaande capaciteiten mogelijk maakt. Overheidsinstanties in het algemeen zijn erop gebrand innovatieve benaderingen en het gebruik van nieuwe technologieën te verkennen en te faciliteren. Zij kunnen relevante projecten faciliteren en er zelfs actief aan deelnemen (Logghe et al., 2020).

2.2.1.2.2. Agentschap Wegen en Verkeer (AWV)

Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) is de wegbeheerder van de autosnelwegen en gewestwegen in Vlaanderen. Het geeft uitvoering aan het beleid op het gebied van mobiliteit op de hoofdwegen in Vlaanderen. Het verbinden van de bestaande infrastructuur, het verwerken en uitwisselen van data en het opzetten van de keten door de organisatie vergt investeringen. De wegbeheerders zullen dus grote investeringen moeten doen om meer data te genereren en data-uitwisselingen op te zetten. Het rendement van investeringen moet zijn: veiligere, efficiëntere en duurzamere wegen. Een wegbeheerder wil een efficiënte, veilige en duurzame verkeersstroom. Om dit te realiseren moet een wegbeheerder alle veiligheidsgerelateerde gegevens (gratis) van alle andere belanghebbenden beschikbaar hebben. (Logghe et al., 2020).

2.2.1.2.3. De dienstverleners (service providers)

De dienstverleners genereren toegevoegde waarde door het uitwisselen van data en deze vervolgens te vertalen in informatie die de andere stakeholders kunnen gebruiken. (Logghe et al., 2020). Ze zorgen voor de connectiviteit tussen private gebruikers, maar ook voertuigen en openbare instellingen zoals steden en wegbeheerders (V2I en V2V communicatie) (Maerivoet & Ons, 2020a). Voorbeelden zijn navigatie, verkeersinformatie, enzovoort. De weggebruiker is hierdoor beter verbonden met het openbaar verkeersmanagementproces, met als gevolg meer effectieve strategieën voor openbaar verkeersbeheer en een grotere impact op het beïnvloeden van de bestuurders. Dienstverleners kunnen waarde toevoegen aan beide kanten van de keten. (Logghe et al., 2020).

2.2.1.2.4. De transportsector

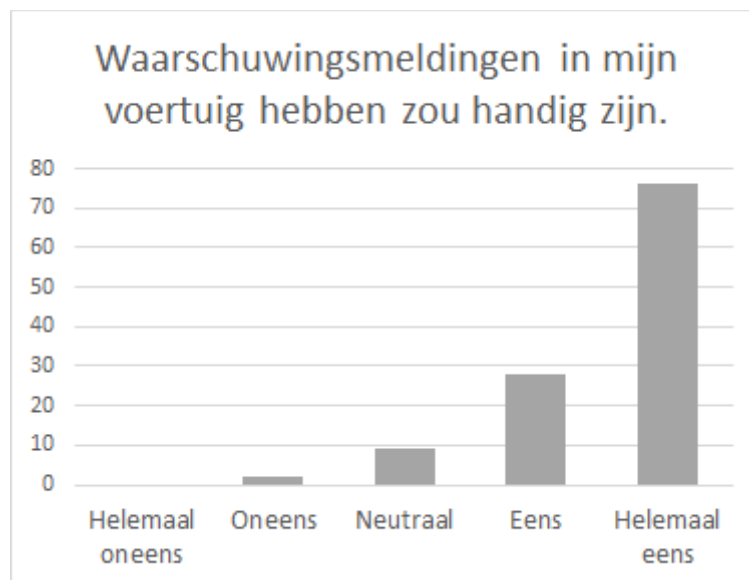
De belangrijkste reden waarom transport- en logistieke bedrijven veel belang hebben bij het gebruik van slimme verkeerslichten, is een real-time zichtbaarheid van hun wagenpark. Daarnaast is er een visie op de huidige uitdagingen (congestie, wegenwerken,...) op het wegennet die een meerwaarde biedt aan hun dagelijkse planning en uitvoering. De mogelijke kostenbesparingen in deze dagelijkse planning zullen resulteren in de bereidheid om een financiële bijdrage te leveren. Zij kunnen de 'killer clients' zijn, aangezien het tijd-is-geld-principe zeer belangrijk is, terwijl zowel de (on)veiligheid op de weg als het worstelen met congestie belangrijke kostenfactoren zijn, die ook de tevredenheid van de chauffeur en de kwaliteit van leven beïnvloeden (Logghe et al., 2020).

2.2.1.2.5. De eindgebruiker (professionele vrachtwagenchauffeurs)

De interactie tussen professionele vrachtwagenchauffeurs en de slimme verkeerslichten is voor deze vrachtwagenchauffeur/eindgebruiker topprioriteit, met voorwaarde dat dit langs de meest bedekte

wegsegmenten wordt toegepast, en dus niet enkel lokaal. Deze voorwaarde bepaalt dus of de eindgebruiker mee is in het verhaal of niet. (Logghe et al., 2020).

Maerivoet & Ons bevroegen 109 ervaren vrachtwagenbestuurders voor het CITRUS-project. In deze enquête zijn de vragen gebaseerd op enkele algemene onderzoeksvragen, zoals 'Hoe waarderen chauffeurs de waarschuwingmeldingen?', 'Hebben chauffeurs het gevoel dat de waarschuwingmeldingen hun gedrag beïnvloeden' of 'Denken chauffeurs dat de waarschuwingmeldingen hun algemene reiskwaliteit beïnvloedt?'. Hieruit bleek dat het grootste deel van de ondervraagden (helemaal) openstaan voor waarschuwingmeldingen in hun voertuig (Maerivoet & Ons, 2020a, 30 oktober). Hiervoor wordt verwezen naar figuur 3.



Figuur 3: Resultaten van de enquêtevraag 'Waarschuwingmeldingen in mijn voertuig hebben zou handig zijn' (Maerivoet & Ons, 2020)

2.2.1.3. Verkeerssituatie

Naast de wettelijke bepalingen en het standpunt van de stakeholders, zijn er nog elementen die bepalen of de plaatsing van een slim verkeerslicht een juiste beslissing is. Zo wordt er ook gekeken naar de verkeersstromen. Momenteel staan er slimme verkeerslichten aan het kruispunt van de Citadellaan (R26) en de Nijverheidslaan, alsook op de Leuvensesteenweg (N2) in Vlaams-Brabant die adaptief zijn aan de verkeersstromen. Dit is noodzakelijk omdat dit punt momenteel wordt omgevormd tot een rotonde (Vlaanderen.be, 2009). Men houdt rekening met de verkeersintensiteit en monitort de verkeersstromen met camera's om te voorkomen dat de zijtak, komende van Assent centrum, onnodig groen krijgt indien er geen verkeer is. Omgekeerd geven de lichten een signaal om de cyclus aan te passen indien het verkeer richting Leuven en Diest opbouwt.

Criteria zoals te moeilijke en ingrijpende operaties, te hoge kosten of te veel onteigeningen, etc worden telkens van situatie tot situatie geëvalueerd. Ook wordt het plaatsen van slimme verkeerslichten afgewogen ten opzichte van alternatieve methodes, bijvoorbeeld een rotonde. Hier wordt rekening gehouden met de ligging van het kruispunt (bevindt het kruispunt zich binnen of buiten de bebouwde kom?), de doorstroming, de snelheid, de verkeersintensiteiten, de aard van de verkeersdeelnemers, de veiligheid, en het aantal en aard van de ongevallen op dat kruispunt (Wegenverkeer.be, n.d.).

Indien deze criteria niet van toepassing zijn, wordt er eerst gekeken of de intensiteiten van de zijassen voldoende doorwegen om het plaatsen van een verkeerslicht te rechtvaardigen. In bepaalde situaties is het bijvoorbeeld opportuener om een rotonde te plaatsen, ondanks dit impliceert dat er zo op vier assen wachttijden worden gecreëerd. Rotondes verbeteren immers de bereikbaarheid van de handelszaken (Vlaanderen.be, 2009). In sommige situaties zorgen rotondes ook voor meer veiligheid en een vlottere doorstroming. Hierdoor moeten bussen bijvoorbeeld niet meer op de rijweg stoppen, en houden ze aldus het achterliggend verkeer minder op (Neesen, 2020).

Om een doorslaggevend effect te creëren wat de doorstroming, de CO₂-emissie en de verkeersveiligheid betreft, wordt er ook rekening gehouden om de slimme verkeerslichten in de nabijheid van industrieterreinen te plaatsen (Mobiliteitsbrief Vlaanderen, 2018). Dit vooral zodat de verkeersstromen die erbij gebaat moeten zijn, het vrachtvervoer dus, vlotter zijn bestemming bereikt. In deze masterthesis wordt dit verder uitgediept door middel van het project CITRUS, C-The-Difference en de VLCC.

Rekening houdend met de diverse wettelijke bepalingen, de impact van de stakeholders en het belang van de bestaande verkeerssituatie, wordt de onderzoeksvraag "op welke plaatsen in België kunnen slimme verkeerslichten gelet op de voor- en nadelen, het best geïmplementeerd worden?" verder bestudeerd door eens te kijken naar gerealiseerde en te realiseren projecten in België.

2.3. Gerealiseerde en te realiseren projecten in België

In 2012 start Leuven met een verkeersregelsysteem dat zich kan aanpassen aan de hand van een coördinatie tussen zeven kruispunten. Men startte in 2009 met een simulatie, nadien werden alle kruispunten voorzien van nieuwe detectoren en in 2012 werkt het verkeersregelsysteem passief, zonder effectieve beïnvloeding van de verkeersregeling. Op 3 maart 2014 werd het verkeersregelsysteem actief ingezet. Echter in 2016, na evaluatie, beweert Ben Weyts, Vlaams Minister van Mobiliteit, Openbare Werken, Vlaamse Rand, Toerisme en Dierenwelzijn in het Vlaams Parlement dat er in dit UTOPIA-project ruimte is voor verbetering door de regelstrategie aan te passen en bijkomende detectie in te zetten (Brouwers, 2016).

In Berchem wilt men een vlotte doorstroming van de tramlijn vijftien bekomen aan de hand van de inzet van slimme verkeerslichten op vijf kruispunten, dewelke op elkaar zijn afgestemd. Bovendien heeft men in Antwerpen ook tien kruispunten waarop men slimme lichtenregeling heeft geplaatst, waaronder onder andere de VIIde-Olympiadelaan met de Boomsesteenweg, de Doornstraat met de Krijgslaan (Universiteitsplein), de Leien, enz. (Palmers, 2019).

Sterker nog, de stad Antwerpen is sinds 2018, in samenwerking met Agentschap Wegen en Verkeer, de lokale politie en De Lijn, bezig met de implementatie van een nieuwe verkeerslichtencoördinatiecentrale (VLCC). Deze nieuwe verkeerscomputer zal 373 verkeerslichten in Antwerpen aansturen, om het verkeer veiliger en efficiënter te laten verlopen. Dit project zal volledig klaar zijn in 2025 (Wegenenverkeer.be, n.d.; Depré et al., 2018).

Ook in Gent past men een proefproject met slimme verkeerslichten toe. Een team van experts van de KU Leuven bevelen aan om meer detectielussen per rijstrook aan te brengen en de ontruimingstijden aan te passen in Dendermonde op het lichtengeregelde kruispunt van de N17 met

de N41, en dit gecoördineerd met de verkeersregelaars op de stadsring R40 in Gent (Depré et al., 2018).

In Brussel werden op 17 belangrijke verkeersassen slimme verkeerslichten geplaatst zoals bijvoorbeeld de Industrielaan, de Keizer Karellaan, de Wetstraat en de Kleine Ring. In dit Agoria-project worden de verkeerslichten op elkaar afgestemd en houdt men rekening met het tijdstip van de dag en de verkeersdruk. Deze verkeerslichten zijn 's morgens en 's avonds anders geregeld dan gedurende de dag en op werkdagen anders dan in het weekend. Bovendien is er een voorrangregeling voor de hulpdiensten. Telkens kan er in real-time worden bijgestuurd en kan men inspelen op specifieke situaties zoals bijvoorbeeld een Europese top. Het Brussels gewest wint met dit project in 2018 een Agoria Smart City Award, want de doorstroming op die wegen is met 30 procent verbeterd (Konings, 2019). Dit betekent specifiek dat de tijdswinst stadinwaarts is verbeterd met 30 procent (dit wil zeggen 185 verliesuren minder per werkdag en 50 000 file-uren minder per jaar) en de tijdswinst staduitwaarts is verbeterd met 15 procent (dit wil zeggen 530 verliesuren minder per werkdag en 140 000 file-uren minder per jaar) (Depré et al., 2018). "De files verminderen er en de betere doorstroming zorgt ook voor minder vervuiling," zegt René Konings, Chief Brussels Region van Agoria. "Slimme verkeerslichten hebben hun nut al bewezen en in de toekomst kunnen we met artificiële intelligentie nog meer." (Konings, 2019; Crevits, 2012).

Het Agentschap Wegen en Verkeer is zeer recent, in eind november 2020, van start gegaan met de voorziening van slimme verkeerslichten aan zes kruispunten tussen de Westerring en de Hoevenzavellaan te Genk. Ook daar worden de slimme verkeerslichten op elkaar afgestemd om de doorstroming te optimaliseren. Van zodra de werkzaamheden klaar zijn, komt er eerst een observatieperiode, en wordt er nog bijgestuurd daar waar nodig blijkt (Wegenenverkeer.be, 2020). Om een vlotte doorstroming tussen Hasselt en Diepenbeek te bezorgen, worden ook daar slimme verkeerslichten geplaatst in het najaar van 2020. De slimme verkeerslichten zijn afgestemd op de nabijgelegen kruispunten van de N702 met de Grote Ring, de Trichterheideweg en de Campuslaan. Bovendien werd bij het ontwerp van dit nieuwe kruispunt ook rekening gehouden met de mogelijke doorvoering van het Spartacusproject zodat de spartacustram eenvoudig kan opgenomen worden in het vernieuwde kruispunt (Wegenenverkeer.be, 2020).

In Halle loopt er momenteel een proefproject van slimme verkeerslichten ten voordele van het vrachtvervoer. De slimme verkeerslichten werden geplaatst in de buurt van de depots van de Colruyt. De bedoeling is dat de goederen op filevermijdende wijze worden geleverd, en dit op basis van real-time verkeersinformatie (Commissaris Gerry Peeters).

In het Vlaams Parlement werd in 2013 een visienota opgesteld voor de slimme verkeerslichten in België, waarin men noteert dat starre regelingen tot het verleden behoren. In Vlaanderen worden de halfstarre regelingen (deze hebben een voertuigafhankelijke groentijdverdeling, doch met een vaste cyclustijd) ingezet waar de verkeerslichten van opeenvolgende kruispunten gecoördineerd werken. Ondertussen gaat het Agentschap Wegen en Verkeer aan de hand van diverse proefprojecten kennis opdoen met andere verkeerslichtenregelingen, want deze zijn voorlopig te weinig aangetoond, want men heeft op dat moment nog geen zicht op de beheersnadelen en de kostenimplicaties (Vlaamsparlement.be, 2017).

Vlaams minister van Mobiliteit Ben Weyts laat in 2015 in het Vlaams Parlement weten dat hij de eerstvolgende vier jaar 350 kruispunten wenst uit te rusten met slimme verkeerslichten. Hij wenst

op termijn alle 1 365 kruispunten en oversteekplaatsen op de gewestwegen maximaal aan te passen aan de reële verkeerssituatie en dit aan de hand van de installatie van camera's en meetlussen in het wegdek. (Vandenbroucke, 2016).

2.4. Besluit

Op basis van de wettelijke bepalingen, de impact van de stakeholders en de bestaande verkeerssituatie wordt er in België beslist op welke locaties slimme verkeerslichten best geplaatst worden. Diverse steden in België zijn ondertussen reeds van start gegaan, zij het in de werkelijkheid, ofwel als pilootproject. Zo hebben onder andere Brussel, Antwerpen, Gent, Hasselt, Genk, Berchem en Leuven hun eerste stappen in de richting van de slimme verkeerslichten reeds gezet. In Halle loopt een proefproject, waarin het vrachtverkeer een hoofdrol speelt en waarbij de aanlevering van goederen gebeurt op basis van real-time verkeersinformatie, via de app en via aangestuurde verkeerslichten. Dit project is een perfect antwoord op deelvraag 2: op welke plaatsen in België kunnen slimme verkeerslichten, gelet op de voor- en nadelen, het best geïmplementeerd worden? Project CITRUS in Halle, C-The-Difference in Helmond en Bordeaux en de VLCC te Antwerpen worden gebruikt als casestudies in deze masterthesis als uitwerking van deelvraag 3: heeft de voorgestelde implementatie een invloed op de weg op vlak van verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming?

Deel II: Onderzoek en analyse

3. C-ITS

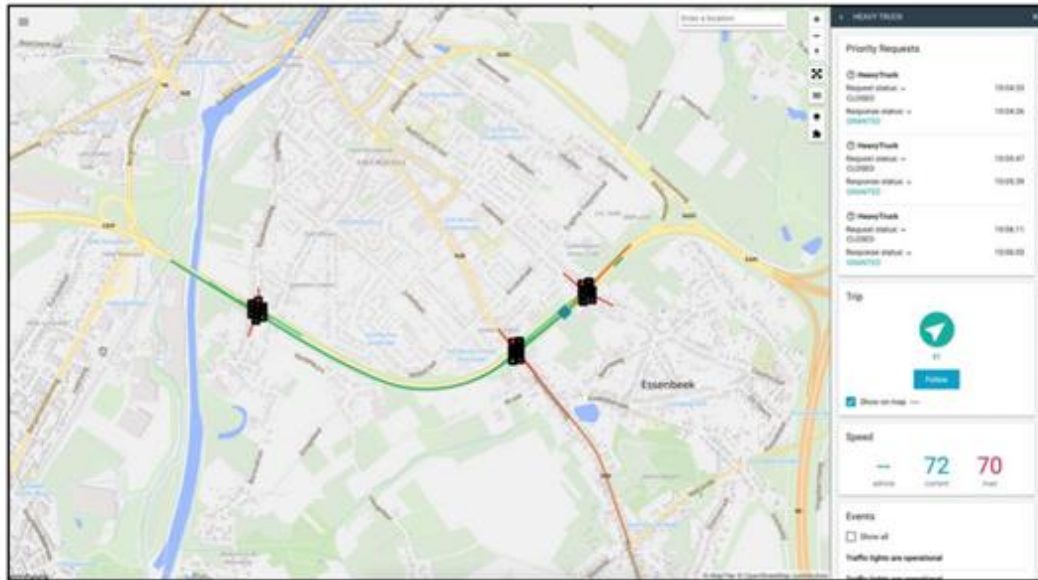
Coöperatieve intelligente vervoerssystemen (C-ITS) hebben betrekking op vervoerssystemen, waarbij meerdere ITS-subsystemen gecoördineerd worden. Met ITS-subsystemen wordt bijvoorbeeld bedoeld: de app op de eigen smartphone (persoonlijk ITS-subsysteem), de slimme verkeerslichten (infrastructureel ITS-subsysteem), de centrale dispatching, enzovoorts. Er worden namelijk gegevens uitgewisseld waardoor interactie leidt tot betere resultaten. Deze samenwerking wordt gekaderd in een richtlijn van de Europese Commissie (richtlijn 2010/40/EU, aangenomen op 7 juli 2010) om de uitrol van innovatieve vervoerstechnologieën te versnellen in heel Europa. Deze richtlijn geeft de vrijheid aan de individuele lidstaten om te beslissen in welke systemen moet worden geïnvesteerd. Prioritair ligt de focus op het verminderen van de emissies en het verbeteren van de verkeersveiligheid, de verkeersefficiëntie en het rijcomfort. Dit kan door de bestuurder te helpen zich beter aan te passen aan de verkeerssituatie en de juiste beslissingen te nemen, of uiteindelijk door het voertuig zelf in staat te stellen menselijke tekortkomingen te compenseren.

In het kader van deze Europese richtlijn werd in België het project Citrus geïmplementeerd (Citrus-project.eu, 2017).

3.1. Het CITRUS-project

3.1.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie

In 2018 heeft Halle twee slimme verkeerslichtengeregelde kruispunten geplaatst in de nabijheid van de Colruyt depots. Deze is gelegen op de verbinding tussen de RO en de E19, en de E429 richting Henegouwen, visueel weergegeven in figuur 4. De weg heeft twee rijstroken in elke rijrichting, gelegen in de nabijheid van allerlei kruispunten en verkeerslichten. Deze weg is de belangrijkste (inter)nationale transportslagader in Vlaanderen. Ze vertegenwoordigt een significant deel van de files, wegwerkzaamheden en veiligheidsgerelateerde ongevallen (De Coster, 2011). Daarnaast dient de N203a als hoofddoorgang voor zwaar verkeer tussen Brussel en de Franse grens. In deze regio van Halle zijn er veel distributiecentra van de projectpartner Colruyt. Dagelijks gebeuren er meer dan duizend transfers, die de N203a tussen de depots en de lokale supermarkten bezetten. Deze regio wordt gekenmerkt door een hoge bevolkingsdichtheid, met industriële en commerciële zones. Hierdoor ondergaat de N203 talrijke 'residentiële' verkeersovergangen en aanzienlijke goederenstromen. Ondanks eerdere pogingen om de verkeersstroom te verbeteren, blijft de situatie op de N203a problematisch met dagelijkse files en een hoge frequentie van verkeersongevallen (Citrus-project.eu, 2017). Veiligheidsmaatregelen dienen dus te worden getrokken. Er worden slimme verkeerslichten gezet op drie kruispunten op de N203a.



Figuur 4: Drie slimme verkeerslichten op de N203a te Halle (Logghe et al., 2020, p. 15)

Op deze slimme verkeerslichtkruispunten wordt er rekening gehouden met de aankomende en vertrekkende vrachtwagens van Colruyt, maar ook de gebruikers van de Citrus-app, dewelke meer informatie krijgen over de wegomgeving. De plaatskeuze van de slimme verkeerslichten werd eerst in twijfel getrokken door burgemeesters en schepenen. 'Waarom zou je voorrang claimen aan vrachtverkeer?'. De interactie tussen verkeerslichten en vrachtwagens zal de doorstroming van niet alleen het vrachtverkeer, maar als gevolg ook het andere verkeer bevlotten. Hoe minder vrachtwagens in de file staan, hoe meer plaats er wordt vrijgemaakt voor het andere verkeer. Bovendien versnellen auto's vanuit stilstand 3,9 km/u per seconde, terwijl dit bij vrachtwagens slechts 2,8 km/u per seconde is (Brooks, 2012). En CEO Mark van der Drift van Cornelissen NV beweert dat elke keer als een truck moet optrekken, deze een liter brandstof verbruikt om weer op reguliere snelheid te komen. (De Weerd, 2018; Walraevens, 2018).

Het is de bedoeling dat het CITRUS-project op lange termijn in heel Europa wordt toegepast.

3.1.2. Technische toelichting

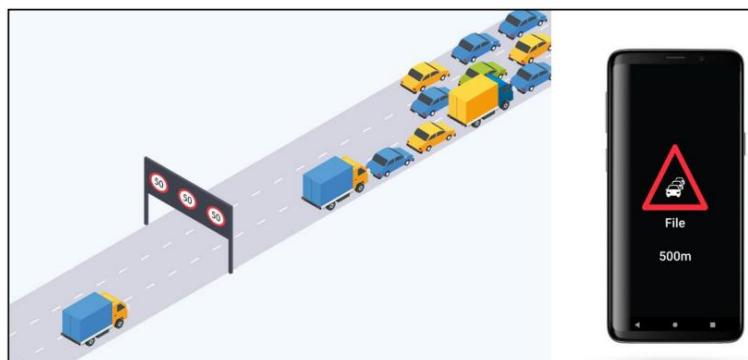
Diverse stakeholders sloegen de handen bij elkaar om (verkeers-)data in te zamelen om deze nadien efficiënt te gebruiken. Deze data zijn een combinatie van gebruikersgegevens (van bijvoorbeeld smartphone data), dewelke werden geanonimiseerd, en wegkantdata, dewelke werden ingezameld aan de hand van verkeerslichten, signalisatievoertuigen, detectielussen enzovoorts. Met smartphone data wordt de data bedoeld die onze smartphones vrijgeven in het verkeer via het netwerk (Laurila et al., 2013), zoals waar men juist rijdt, hoe snel men rijdt en op welk rijvak. Het bundelen van deze data, geeft een up-to-date zicht op het verkeer op gelijk welke locatie. Het CITRUS-project maakt gebruik van deze gegevens door deze gedetailleerde verkeersinformatie aan de vrachtwagenchauffeurs aan te bieden (Logghe et al., 2020).

Eén van de grootste oorzaken van voertuigongevallen is de plotselinge vertraging van het verkeer, en dit vooral op snelwegen met beperkte zichtbaarheid. Deze ongevallen kunnen veroorzaakt worden

door andere ongevallen, wegniswerken, enzovoorts Celesti et al. (2018). Een onjuiste snelheid in een bochtige weg is de hoofdoorzaak van kantelongevallen van zware voertuigen (Chu et al., 2018). Vaste verkeerssensoren, die op de wegen geïnstalleerd zijn en die communiceren met de mobiele app van bestuurders via het 4G-netwerk, kunnen volgens Celesti et al. (2018) een dergelijk probleem verminderen.

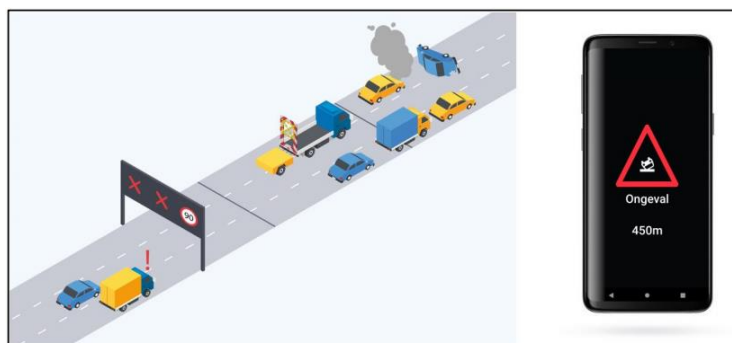
Het CITRUS-project behelst zes verschillende situaties waar de app (of human-machine-interface HMI) inzetbaar is, om deze oorzaken van ongevallen te verminderen of vermijden. Deze zes situaties moeten tezamen twee doelstellingen behalen, namelijk het stijgen van de verkeersveiligheid en het verminderen van de emissies van het truckverkeer (cfr. De Europese richtlijn 2010/40/EU, aangenomen op 7 juli 2010) (Logghe et al., 2020). Deze zes situaties zijn:

1. Waarschuwing voor een naderende file: de bedoeling is om de aandacht van de bestuurder (terug) volledig in te winnen wanneer hij een staart van een file nadert. Celesti et al. (2018) menen dat vooral op snelwegen een plotse vertraging van het verkeer een grote oorzaak is van ongevallen tussen gemotoriseerde voertuigen. Wanneer een personenwagen vertraagt, kan een grote vrachtwagen dit maar voor 70 procent benaderen (Benneson & McCoy, 1994; McGill & Jacobson, 1998) en bij een abrupte stop is dit zelfs 80 procent (Hughes, 2000). Volgens Van Driel, Hoedemaeker, en Van Arem (2007) kan verkeersstabiliteit in termen van minder 'shockwaves' verbeterd worden dankzij de waarschuwing voor een naderende file (van Driel, Hoedemaeker, van Arem; 2007).



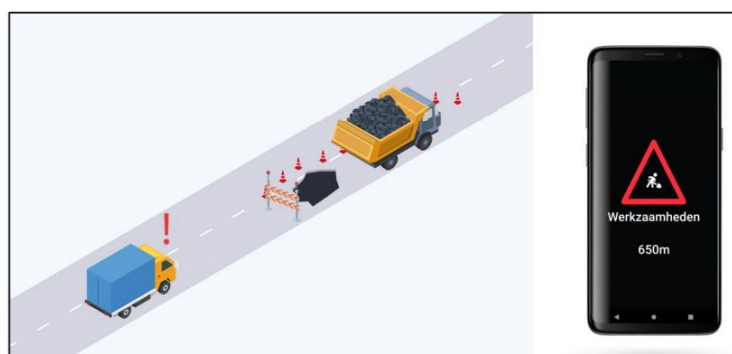
Figuur 5: Waarschuwing op de app bij naderende file
(Logghe et al., 2020, p. 12)

2. Waarschuwing voor een stilstaand voertuig: De bestuurder wordt tijdig geïnformeerd over stilstaande voertuigen op de pechstrook (Logghe et al., 2020). Volgens de studie over de European Truck Accident Causation (ETAC) is 20,6 procent van alle vrachtwagenongevallen een ongeval met een ander voertuig. Ongevallen in de file worden in 22,1 procent van de gevallen veroorzaakt door niet-aangepaste snelheid, 12,8 procent door onoplettendheid en 2,3 procent door vermoeidheid (IRU, 2007).



Figuur 6: Waarschuwing op de app voor een stilstaand voertuig (Logghe et al., 2020, p. 13)

3. Waarschuwing voor (mobiele) wegenwerken: De bestuurder krijgt informatie over relevante wegeniswerken (Logghe et al., 2020). Volgens de studie over de European Truck Accident Causation (ETAC) is 7,4 procent van alle vrachtwagenongevallen een ongeval met de infrastructuur. De waarschuwing voor wegenwerken dient het aantal ongevallen te verminderen (IRU, 2007).

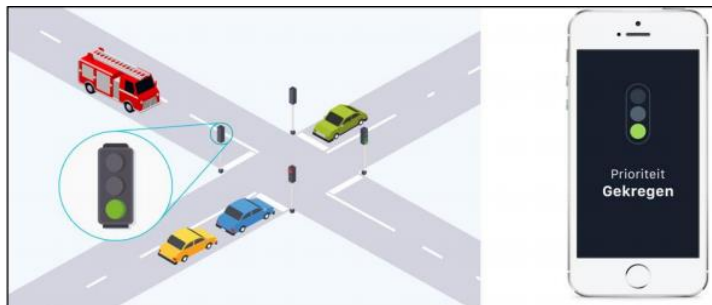


Figuur 7: Waarschuwing op de app voor (mobiele) wegenwerken (Logghe et al., 2020, p. 13)

4. Waarschuwing voor naderende trucks aan verkeerslichten, inclusief prioritering voor speciale voertuigen: Dit betreft communicatie tussen de app en de verkeerssignalen. Door deze communicatie worden verkeersverlichten geoptimaliseerd aan de hand van de detectie van naderende vrachtwagens. Ook worden door de communicatie via deze app de verkeerslichten geïnformeerd. Bovendien maakt verkeerslichtenprioriteit voor speciale voertuigen zoals brandweervoertuigen of trucks met zware lading hiervan deel uit (Logghe et al., 2020). Uit een onderzoek van Elmitiny et al. (2010) blijkt dat de beste voorspellers voor de stop/go-beslissing en de roodlichtnegatie de huidige snelheid is, maar ook de positionering in de verkeersstroom en de afstand van de truck tot het kruispunt bij de aanvang van een geel verkeerslicht. De meeste ongevallen met hulpverleningsvoertuigen die de blauwe zwaailichten en sirene hebben op staan, doen zich voor bij een roodlichtnegatie (Bieker-Walz & Behrisch, 2019; Bieker, 2015).



Figuur 8: Waarschuwing op de app bij naderende trucks aan verkeerslichten (Logghe et al., 2020, p. 14)



Figuur 9: Waarschuwing op de app voor voertuigen die prioriteit hebben gekregen (Logghe et al., 2020, p. 14)

5. Real-time verkeersinformatie voor de vrachtwagenbestuurder: De vrachtwagenchauffeur wordt geïnformeerd over bijkomende verkeersinformatie in realtime, zoals een brug die open staat (zie figuur 9) (Logghe et al., 2020). Real-time verkeersinformatie speelt een belangrijke rol in verschillende toepassingen van intelligente transportsystemen (ITS), zoals geavanceerde verkeersmanagementsystemen (ATMS), geavanceerde reizigersinformatiesystemen (ATIS), noodmanagementsystemen (EMS), enzovoorts (Lee et al., 2010). Biem et al. (2010) hebben een infrastructuur samengesteld om verkeersstromen in de stad Stockholm te screenen om grote hoeveelheden realtime sensorgegevens te verwerken, waaruit nuttige verkeersinformatie kan worden afgeleid. Hieruit kwam naar voren dat er een grote behoefte is aan realtime verkeersinformatiebeheer vanwege de enorme variabiliteit in verkeersomstandigheden in een stad zoals Stockholm.



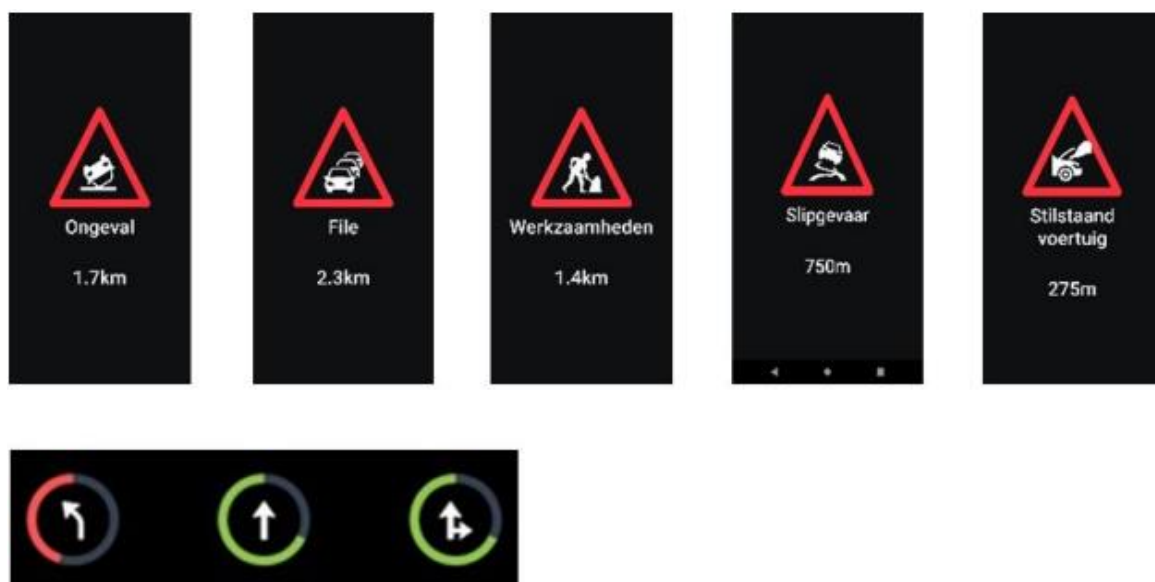
Figuur 10: Waarschuwing op de app voor real-time verkeersinformatie (Logghe et al., 2020, p. 15)

6. Real-time informatie vanuit een centrale dispatching: Een communicatiekanaal tussen de app en het dispatching platform. Een rijdend voertuig kan door de centrale dispatcher worden geselecteerd (om bijvoorbeeld nieuwe instructies door te geven). Een extra optie is om alle vrachtwagens binnen een geografisch gebied te selecteren en een bericht aan verschillende chauffeurs op hetzelfde moment te richten. Deze berichten kunnen in het systeem worden ingevoerd en rechtstreeks naar de apps van de eindgebruikers worden verzonden. Het centraliseren van alle verkeers- en vrachtwagengegevens in een centrale dispatch geeft zicht op het brede scala aan opties om transportactiviteiten op een real-time en intelligente manier sturen (Logghe et al., 2020).

Wat de human-machine-interface (HMI) betreft, werden enkele belangrijke elementen duidelijk na een enquête met de betrokken vrachtwagenbestuurders van de Colruyt. De app moet vooral prioriteit geven aan veiligheid, de werklast van de bestuurder tijdens het rijden niet verhogen en de informatie moet worden weergegeven in een eenduidige manier (CITRUS, 2017).

Deze vereisten leiden tot een HMI-ontwerp waarbij een waarschuwing vanaf 3 kilometer wordt weergegeven door knipperende driehoekige waarschuwingsborden (zie figuur 11). De knipperende tekens hebben verschillende symbolen voor de verschillende cases. Het knipperen zorgt ervoor dat de aandacht van de bestuurder voorzichtig wordt getrokken. In de loop van het naderen van de gebeurtenis stopt het knipperen op een afstand van 750 meter. Op een afstand van 250 meter wordt het display gewist omdat de bestuurder nu zeker al heeft moeten anticiperen op de waarschuwing en elk weergegeven signaal zou alleen maar tot afleiding leiden (Starkey et al., 2020). Dit in vergelijking met het project Green Driver, waarbij dit 300 meter voor het verkeerslicht of het laatste stilstaand voertuig bedraagt (Apple et al., 2011).

De HMI van de groene- en rode-tijdinformatie is als volgt ontworpen: wanneer een voertuig bij de verkeerslichten langs de N203a passeert, zal een groene of rode cirkel de resterende tijd visualiseren. Een volle groene cirkel betekent dus een volledig groene tijdcyclus. Dit fenomeen wordt ook time-to-green TTG/ time-to-red TTR genoemd (Bauer et al., 2015).



Figuur 11: Overzicht van de verschillende berichttypes die op de app worden afgebeeld (HMI) (Logghe et al., 2020, p. 21)

Er is ook een prioritering van de berichtgeving. Wanneer een vrachtwagenbestuurder stuit op een file, zal prioritair de waarschuwing verschijnen voor naderende file. Wanneer er geen file wordt gemonitord, zal de waarschuwing verschijnen voor stilstaand voertuig. Dit geldt ook als de vrachtwagenbestuurder stuit op een file die veroorzaakt is door een verkeersongeval. Prioritair zal de waarschuwing voor naderende file verschijnen, doch wanneer er geen file is gemonitord, zal de waarschuwing voor ongeval verschijnen op de display. Hetzelfde geldt voor de wegenwerken: de waarschuwing voor file krijgt steeds voorrang (Logghe et al., 2020).

Het gehele CITRUS-project is gebaseerd op 4 componenten (Logghe et al., 2020; Vojdovic et al., 2017), zoals geïllustreerd in figuur 12, wat de architectuur van het CITRUS-project is, namelijk:

1. Het centrale ITS-station. Deze verbindt de andere C-ITS-stations met elkaar, namelijk de road-, voertuig- en personal ITS-stations. Ook zijn gegevens en informatie door andere centrale platforms zoals het datasysteem van Be-Mobile en de verkeersinformatie beschikbaar. Vanuit het centraal station worden de gegevens naar de Colruyt dispatchers verdeeld aan de hand van een webapplicatie.
2. De Road ITS-stations. Binnen CITRUS maakt men als ITS-stations op de weg gebruik van verkeerslichten, variabele berichtenborden (variable message signs VMS) en beweegbare bruggen.
3. Het voertuig ITS-station behelst de systemen die in het voertuig zijn ingebouwd. Binnen het CITRUS-project werd er een dempingsysteem in de trucks gemonteerd. Dit fenomeen wordt ook in het project CarTALK2000 toegepast via een actieve gaspedaal. De gaspedaal geeft dan tegenkracht wanneer de snelheid volgens het systeem te hoog is, bij bijvoorbeeld het naderen van een file (van Driel, Hoedemaeker, van Arem; 2007).
4. De personal ITS-stations. De apparaten voor vrachtwagenchauffeurs en de smartphonetoepassing die wordt gebruikt voor buschauffeurs en bestuurders van noodvoertuigen kunnen uit het voertuig worden gehaald (Logghe et al., 2020).

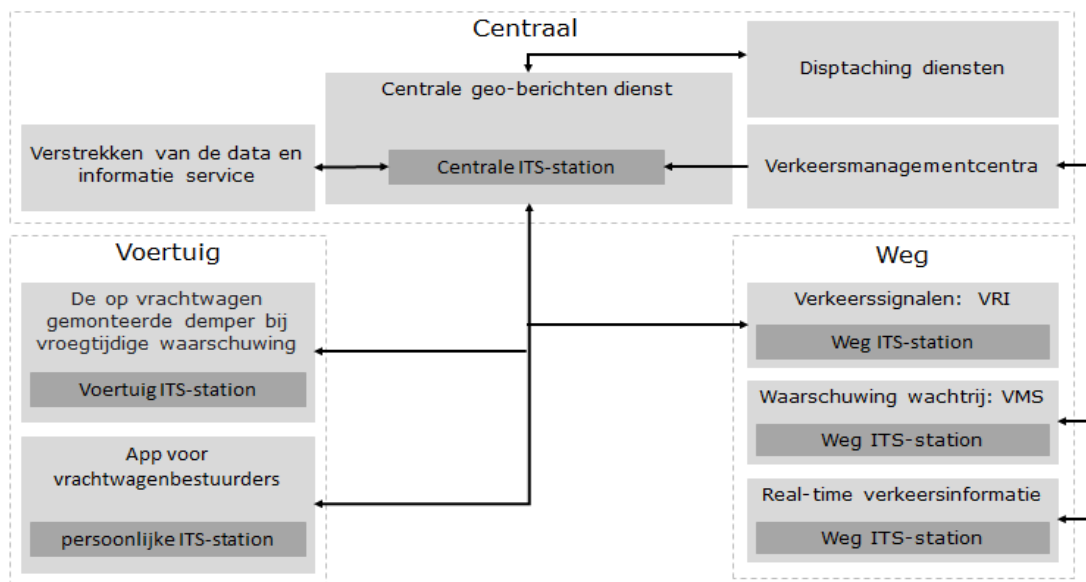
Met betrekking tot de communicatie tussen de verschillende ITS-stations onderling, wordt gebruik gemaakt van beveiligde punt-tot-punt verbindingen (telecommunicatie). De communicatie tussen het centraal ITS-station en de voertuigen gaat via cellulaire communicatie. De communicatie tussen de road ITS-stations en het centrale ITS-station gebeurt via vaste lijn.

De functionele protocols voor alle systeeminteracties zijn gebaseerd op bestaande ITS-normen. De verkeerslichten gebruiken ETSI C-ITS-normen aan de hand van MapEM voor de geolocatie-gegevens (Logghe et al., 2020). MapEM is een elektromagnetisch monitoringssysteem, dat een uitgebreid overzicht geeft van elektromagnetische veldniveaus die een groot gebied bestrijken, zoals een stad. Dit systeem kan op een voertuig worden geïnstalleerd om de intensiteit van het elektrische veld (V/m) te meten terwijl het door de straten rijdt, wat uiteindelijk een real-time lokalisatie van deze voertuigen in het hele gebied oplevert en alzo, door de sterkte van de velden, de drukte kan meten (Rufino et al., 2018; Rondinone & Correa, 2018; Parella, 2019).

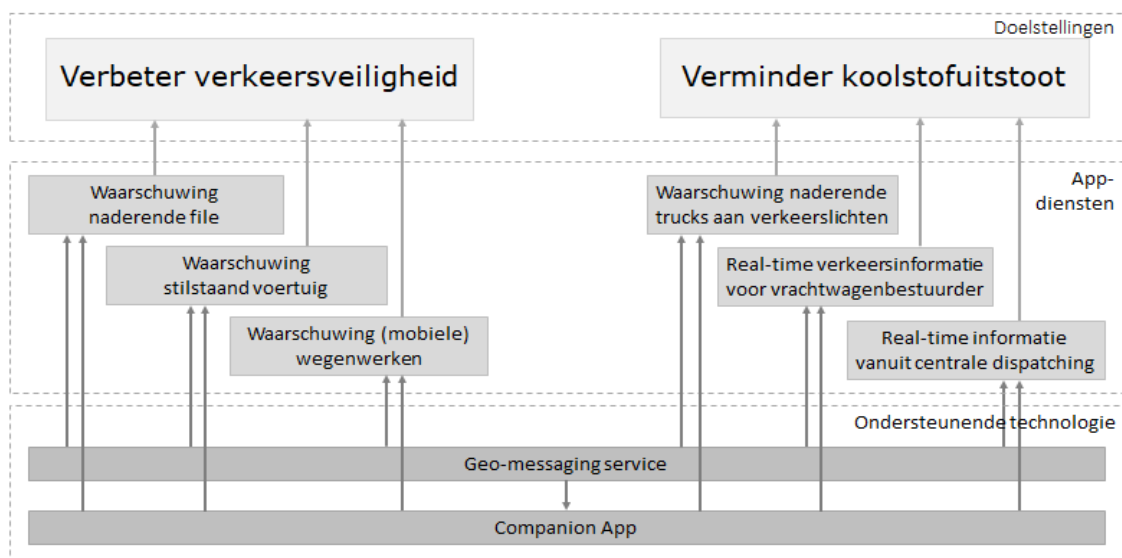
Om de kruispuntstatus door te geven aan voertuigen die een kruispunt naderen, wordt de Signal Phase and Timing Message (SPATEM) gebruikt (Logghe et al., 2020). Deze zendt I2V-berichten met dynamische informatie over de toestand van een gesignaleerd kruispunt en geeft informatie over de huidige verkeerslichtensituatie, de voorspellingen over deze situaties, snelheidsadvies, file-informatie en of er een prioriteitsaanvraag is. Kortom wordt SPATEM gebruikt voor het signaleren

en de gegevens met betrekking tot de timing (Rondinone & Correa, 2018; Annex richtlijn 2010/40/EU, 2019).

Single request message (SRM) en single state message (SSM) wordt gebruikt voor de interactie met de noodvoertuigen (Loghe et al., 2020; Festag, 2014). De gegevens worden vanuit de voertuigen gecommuniceerd naar het centrale systeem via CAM-berichten. CAM staat voor Cooperative Awareness Message. Deze berichten worden uitgewisseld tussen C-ITS-stations met de bedoeling om onderling van elkaar op de hoogte te zijn en te blijven, maar ook om de coöperatieve prestaties van voertuigen die gebruik maken van het wegennet te ondersteunen. CAM-berichten geven informatie over de aanwezigheid, de positie, de dynamiek (snelheid, versnelling, vertraging) en de basiskennmerken van het zendstation (het voertuig) opdat het ontvangend station (het centrale station) bijvoorbeeld een aanrijdingsrisico kan inschatten (Rondinone & Correa, 2018; Unibaso et al, 2010; Elhenawy et al. 2018). De human-machine-interface, of de app op de smartphone, zal dan een waarschuwing geven voor de bestuurder, zodat hij gepast kan reageren (Elhenawy et al. 2018).



Figuur 12: De architectuur van het CITRUS-project samengevat (Loghe et al., 2020)



Figuur 13: Het CITRUS-project samengevat in een schema (CITRUS, 2017)

3.1.3. De resultaten

De resultatenanalyse van de implementatie van de Citrus-app is gebaseerd op enerzijds de alertheid van de bestuurder voor het komende gevaar op de weg en anderzijds het rijgedrag van de vrachtwagenbestuurder. De relatie tussen de alertheid van de bestuurder en de waarschuwingsservice wordt gemeten aan de hand van vragenlijsten voor de gebruikers (aanvaardbaarheid en aanvaarding). Anderzijds wordt het rijgedrag gemeten op basis van de snelheid, o.a. door te zien of het verminderen van de snelheid gebeurt door het gaspedaal te lossen en zachtjes af te remmen of het oncomfortabel bruusk remmen voor de minder alerte bestuurders. De snelheid van de trucks is waarneembaar door GPS-sporen te volgen. Een gevoelige parameter is immers de snelheid van de truck net vóór en net na het eerst ontvangen waarschuwingsbericht. Deze vindt plaats op een afstand van 3 kilometer. Bestuurders die zich niet laten leiden door de app, laten het gaspedaal dan niet los, of zetten de truck niet uit cruise control (Logghe et al., 2020).

Met betrekking tot de analyse van de snelheid werd enkel gekeken naar de snelheidsaanpassing na de waarschuwingsberichten voor een naderende file en voor de mobiele wegenwerken. Uit analyse blijkt dat er wel degelijk een vertraging in snelheid is als het waarschuwingsbericht wordt ontvangen en dit met gemiddeld 0,6 meter per seconde. Echter concludeert men dat er geen verbetering in de verkeersveiligheid is hierdoor, noch in de doorstroming. De grootste impact op de verkeersveiligheid vloeit immers voort uit de verhoogde alertheid van de bestuurders (Logghe et al., 2020). Een verminderde alertheid, afleiding en slechte concentratie op de weg en wegomgeving zijn de belangrijkste risicofactoren voor ongevallen met vrachtwagenchauffeurs (Jamroz & Smolarek, 2013). Bij de aanvaardbaarheid van de gebruikers geloofde 90 procent ervan dat de app nuttig zou zijn. Echter bleek bij de resultaten van de vragenlijsten over de aanvaarding dat 52,1 procent bijna altijd zijn snelheid aanpast na een waarschuwing via de app en 34,9 procent doet dit vaak. 52,3 procent vergroot onmiddellijk zijn afstand tot zijn voorligger na een waarschuwing via de app. 34,8 procent van de gebruikers voelt zich meer op zijn gemak tijdens de rit, 26,6 procent voelt zich veiliger, 53,2 procent is alerter en 24,8 procent voelt zich minder bezorgd dankzij het gebruik van de app. Ervan uitgaand dat 50 procent van de bestuurders alerter zijn dankzij de waarschuwingsberichten, betekent dit een vermindering van 5,5 procent op het aantal ongevallen met trucks. Volgens ERSO (2018) sterven jaarlijks 58 personen in België in een ongeval met een truck (voertuig dat zware goederen draagt, lichter dan 3,5 ton). Met 5,5 procent betekent dit dat er jaarlijks 3,2 levens kunnen gered worden (Logghe et al., 2020).

Bij de vrachtwagens die voorzien waren van een time-to-green/time-to-red service, was er een tendens van een hogere snelheid en meer versnellingen als een truck een verkeerslicht naderde. De tijdswinst hierin was opmerkelijk groot: gemiddeld wint een vrachtwagen 3,6 seconden per verkeerslicht op de hoofdweg N203a (Logghe et al., 2020). Wu et al. (2010) lichten toe in hun onderzoek dat dankzij de implementatie van ADAS (Advanced Driving Alert Systems) met informatie omtrent TSS (Traffic Signal Status) manoeuvres zoals het hard remmen als reactie op plotse veranderingen op de weg kunnen voorkomen worden, zodat de energieverpilling en emissies verminderen, maar de reistijd of vertragingen onder normale verkeersomstandigheden niet verhogen. Deze conclusie wordt ook getrokken in het project 'C the difference' in Helmond en

Bordeaux (Europese Commissie, 2018). Ook Taale et al. (2020) zeggen dat dit voor het individu een positief effect heeft op de reistijd, omdat er minder moet gestopt worden. Afhankelijk van de drukte is er op een stuk weg van 30 km met 15 verkeerslichten een reistijdwinst van 12 procent tot 15 procent (Willekens, 2018).

In het CITRUS-project bleek met betrekking tot de uitlaatgassen dat de testgroep 37 gram meer koolstof uitstoot dan de groep met de applicatie (Logghe et al., 2020). Echter is dit geen nieuw gegeven. In het project CATALYST werken 40 partners samen. Zij presenteren hun rapport met de resultaten over de impact van brandstofverbruik en vervuilende uitlaatgassen door vrachtvervoer die verkeerslichtengeregelde kruispunten passeren. In dit onderzoek zijn 6 vervoersmaatschappijen betrokken, waarbij de trucks worden gelogd gedurende 25 weken (van kwartaal 3/2019 tot en met kwartaal 1/2020). In totaal wordt er 353 000 kilometer gelogd, 100 000 liter diesel wordt verbruikt tijdens dit project en in totaal wordt er 274 000 kilometer geregistreerd op zowel autowegen als provinciale wegen waar men sneller dan 75 kilometer per uur rijdt. Er worden 6800 uren van gegevens geregistreerd. Zij maken een statistische vergelijking tussen drie rijscenario's: trucks die moeten stoppen (stop cluster), trucks die vertragen (slow down cluster) en trucks die hun snelheid niet moeten wijzigen aan een verkeerslicht (non-stop cluster). Het gemiddelde verschil in brandstofgebruik tussen de stop-cluster (0,662 liter) en de non-stop cluster (0,538 liter) is 0,124 liter. Rekening houdend met 2 618 kilogram CO₂ per liter diesel (Menkveld, 2001; Jakhrani et al., 2012) betekent dit een vermindering van 0,32 kilogram CO₂ per vermeden stopmoment aan een kruispunt. Het verschil tussen stoppen en niet-stoppen betekent een besparing van 0,12 liter brandstof en 0,32 kilogram CO₂ (Van Ark et al., 2020). Ook Willekens (2018) concludeert in haar onderzoek 'Prioriteit Vrachtverkeer: Een Simulatiestudie naar het Effect van Prioriteitverlening aan Vrachtverkeer' op de N279 dat wanneer men prioriteit krijgt, men minder vaak moet stoppen. Het verminderen van acceleraties kan CO₂-uitstoot bij zwaar vrachtverkeer met maximaal 1,4 procent verlagen (Willekens, 2018).

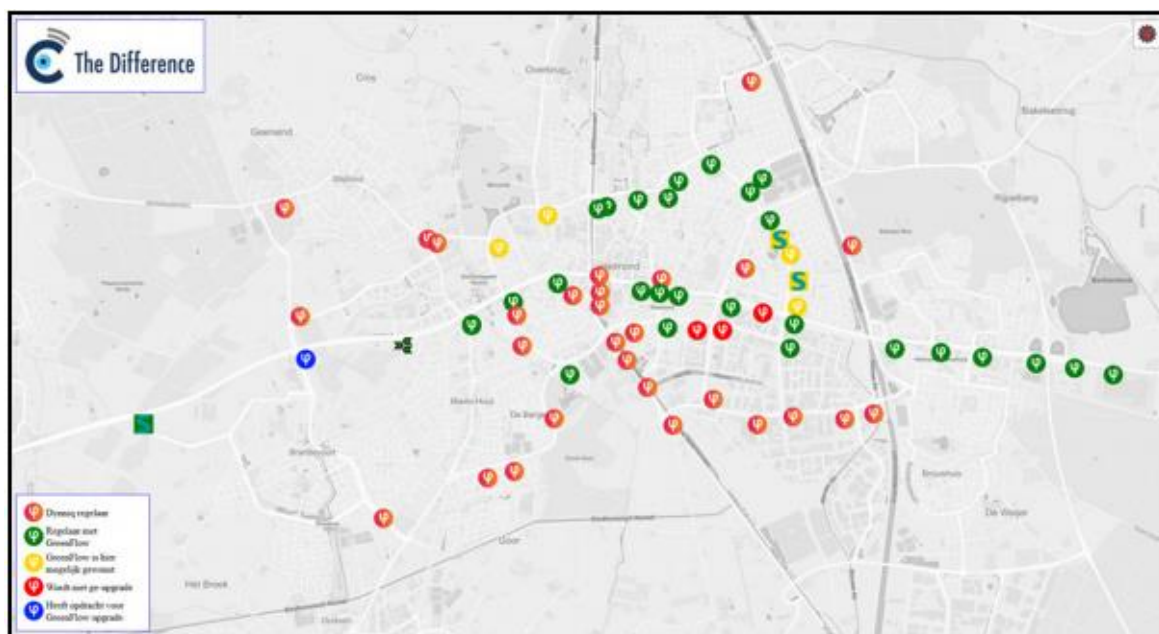
3.2. C-the-Difference project

Het project C-the-Difference is een gelijkaardig project als CITRUS met het verschil dat men hier als doel heeft om diverse C-ITS-subsystemen te implementeren in twee verschillende steden en hierbij een vergelijking van de resultaten maakt. Het gaat hier om één grote en één kleinere stad, met diverse verschillen: het technische aspect dat wordt gebruikt, de wegtypes, verschillende types van voertuigen, het aantal deelnemers (Europese Commissie, 2018). Bordeaux kampt al jaren met verkeersproblemen en congestie. De ring van Bordeaux is enerzijds een deel van de Atlantische corridor (Soriano et al., 2012) en anderzijds een onderdeel van de stedelijke mobiliteit (Pouyenne, 2010): tot 130 000 voertuigen per dag, waarvan 8 procent vrachtwagens, gecombineerd met zwaar woon-werkverkeer in de piekuren (Europese Commissie, 2018; Jones & Hervik, 1992). Hierdoor is de congestie op de ring een terugkerend probleem waardoor de gemiddelde reistijd stijgt met 31 procent ten opzichte van de *flee flow travel time* (Deymier & Gashet, 2018; Europese Commissie, 2018). In 2013 bedroeg het geschatte tijdverlies als gevolg van congestie 43,3 uren. De activiteiten op de ring van Bordeaux heeft een impact op 120 000 banen (36 procent van alle werknemers). Daarom heeft men in 2016 een mobiliteitsstrategie uitgewerkt waarbij er een betere coördinatie en

een optimaal gebruik van de huidige capaciteiten wordt ontwikkeld. Hierbij kan C-ITS gebruikt worden om de doelstellingen te behalen.

3.2.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie

Helmond heeft op de hoofdweg N270 een grote hoeveelheid vrachtwagens met een grote impact op de verkeersefficiëntie, de levenskwaliteit voor burgers en de luchtkwaliteit. Een indicator voor gezondheidseffecten van luchtverontreiniging als gevolg van verkeer is de roetconcentratie (Wesseling et al., 2014; Janssen et al., 2011). De roetconcentratie in de wachtrijen in Helmond is door het verkeer op weekdays tijdens piekperiodes 20 procent hoger in non-flow ten opzichte van flow (Brebba et al., 2011; Velders et al., 2012). Informatie over roetconcentraties helpt keuzes te maken voor verkeersmaatregelen die de luchtkwaliteit verbeteren (Wesseling et al., 2014). Hierom heeft Helmond ervoor gekozen om te opteren voor GLOSA (Green Light Optimized Speed Advisory) en te investeren in de prioritering van vrachtwagens op kruispunten (Seredynski et al., 2014; Hounsell et al., 2012), waardoor de impact van het vrachtverkeer wordt verzacht. Helmond ziet in het C-the-Difference project de mogelijkheid om voldoende gegevens en kwantificeerbaar bewijs te bekomen over de voordelen van diverse C-ITS-subsystemen op vlak van verkeersveiligheid, verkeersefficiëntie, de impact op het milieu en de efficiëntie in de logistieke activiteiten (Europese Commissie, 2018).



Figuur 14: De 62 kruispunten die in Helmond gemonitord worden (Europese Commissie, 2018, p. 20)

In Helmond installeerde men in 100 vrachtwagens en hulpverleningsvoertuigen een uitrusting en software en liep het project over 62 kruispunten. Alle deelnemers in de studie van Helmond zijn professionele bestuurders, terwijl dit voor Bordeaux anders is. Voor Bordeaux is het de bedoeling om zoveel mogelijk mensen te overtuigen om deel te nemen aan het project. Daarom heeft men de C-The-Difference-app gratis ter beschikking gesteld via Google Play Store (Europese Commissie, 2018).

Binnen dit project implementeert Helmond GLOSA (Green Light Optimum Speed Advisory), RLVW (Red Light Violation Warning), AEV (Approaching Emergency Vehicle) en TSP (Traffic Signal Priority). Bordeaux implementeert GLOSA (Green Light Optimum Speed Advisory), IVS (In-Vehicle Signage) en P+R (Park & Ride Information). Elke stad identificeert en selecteert deze C-ITS-subsystemen op basis van hun mobiliteitsstrategie. Het project loopt over 18 maanden, waarbij men in de resultaten ook rekening houdt met seizoenseffecten, de complexiteit van het kruispunt, de rijrichting (rijdt de bestuurder rechtdoor of moet hij afslaan), de dag van de week, enzovoorts (Europese Commissie, 2018). Deze masterthesis behandelt enkel de resultaten van GLOSA en TSP en een combinatie hiervan, gelet op de relevantie van het onderwerp van de masterthesis.

3.2.2. Technische toelichting

In Helmond heeft men de vier C-ITS-systemen (GLOSA, RLVW, AEV en TSP) in fases geïmplementeerd. Zo zijn er periodes waarin sommige C-ITS-subsystemen actief waren en andere weer niet, zodat men kon kijken naar de resultaten bij een combinatie van welbepaalde C-ITS-subsystemen. De fases hebben een interval van 30 dagen (Europese Commissie, 2018).



Figuur 15: De GLOSA app van Bordeaux (Europese Commissie, 2018, p. 35)

Daarnaast heeft men ook een enquête afgenomen bij de deelnemers om feedback te bekomen over het gebruik. 100 voertuigen werden uitgerust met een datalogger en 62 kruispunten kregen een G5 RSU (roadsite unit) die informatie sturen naar de voertuigen (I2V) en informatie ontvangen van de voertuigen (V2I), en bovendien de gegevens van de OBU's (on board units) downloaden.

Men heeft een tool ontwikkeld, die ruwe loggegevens (van GPS, app-gegevens, enzovoorts...) vertaalt in de diverse passages op een kruispunt. Deze data worden gefilterd, zodat de gegevens van voertuigen die buiten Helmond zijn geregistreerd worden verwijderd en worden gecontroleerd om de consistentie te garanderen. Deze tool geeft inzicht in datgene wat er gebeurt in de diverse fasen, en in datgene wat er gebeurt op elk kruispunt individueel.

In Bordeaux werden de verkeerslichten reeds gemanaged en beheerd door het GERTRUDE verkeersmanagementsysteem (Franceries, 1980; Faugere & Dufoir, 1991). Hierop wordt nu verder gebouwd. Het signal phase and timing (SPaT) bericht licht de huidige lichtfase aan een kruispunt toe

voor elke rijbaan, alsook een schatting van de resterende tijd van die fase. Hierdoor krijgen bestuurders een melding om trager te rijden, om zo groen licht te bekomen aan het verkeerslicht (Depraetere, 2018; Ibrahim et al., 2018). Deze SPaT-gegevens worden doorgestuurd naar een server om aan GLOSA beschikbaar te stellen. De GLOSA is beschikbaar via een openbare Android-applicatie die 4G gebruikt (Sharara et al., 2019).

Hiervoor is geen boordunit nodig. De smartphone van elke gebruiker die is uitgerust met de app komt continu overeen met zijn GPS-positie op de kaart om het volgende snijpunt te vinden en de SPaT-gegevens op te vragen. Op de proeflocatie van Bordeaux, worden voor elk C-ITS-subsysteem (GLOSA, RLVW, IVSL en P+R) de gegevens verzameld van 30 seconden voor tot 30 seconden na het kruispunt (Europese Commissie, 2018), in tegenstelling de 1000 meter voor en na het verkeerslicht bij het Catalyst-project (Van Ark et al., 2020) en de 30 seconden voor en 80 seconden na de waarschuwing op 3 kilometer verwijderd van het kruispunt bij het CITRUS-project (Maerivoet & Ons, 2020c). Als een voertuig een kruispunt nadert, haalt zijn app informatie binnen. Variabelen worden verzameld om elk traject te beschrijven: wie (bestuurdersidentificatie), waar (positie), wanneer (tijdsweergave), hoe (snelheid, rijrichting), waarom (intersection identifier, GLOSA advies, zone identifier) en context (berichtinhoud enzovoorts). Indicatoren worden berekend en ingevoerd in een synthesesetabel volgens het C-ITS-subsysteem (Europese Commissie, 2018).

Wanneer een voertuig een kruispunt nadert, haalt de app SPaT-gegevens op van de server en berekent een advies op basis van de huidige kleur van het verkeerslicht, de tijd vóór de verandering, de afstand tussen het voertuig en het einde van de rijstrook en de snelheid van het voertuig (Misener et al., 2010; Seredynski, 2015). De gebruiker ziet de huidige status van elk verkeerslicht en het berekende advies, weergegeven door een gekleurde pijl. Indien de pijl op de app groen is, is het stoplicht momenteel groen en kan de gebruiker het kruispunt passeren zonder van snelheid te veranderen. Bij een blauwe pijl op de app is het verkeerslicht momenteel rood, maar zal veranderen in groen voordat de bestuurder aan het verkeerslicht aankomt, op voorwaarde dat hij zich houdt aan de geadviseerde snelheid. Bij een rode pijl op de app zal het het verkeerslicht rood zijn wanneer de bestuurder arriveert, en hij zal moeten stoppen (Europese Commissie, 2018).



Figuur 16: De GLOSA-app van Helmond (Europese Commissie, 2018, p. 35)

3.2.3. De resultaten

GLOSA wordt geëvalueerd door de verkeerssituatie met en zonder GLOSA te vergelijken. Omdat elk kruispunt zijn eigen karakteristieken heeft, zijn de kruispunten in Bordeaux geclusterd in eenvoudige kruispunten, complexe kruispunten en kruispunten met een tram. Het onderscheid tussen de eenvoudige kruispunten en complexe kruispunten is gebaseerd op het aantal verkeerslichten en het aantal rijrichtingen. In Helmond worden enkel de kruispunten met meer dan 35 passages per fase weerhouden. Bovendien onderscheidt men in Helmond 3 situaties: TSP uit en GLOSA uit (de basissituatie), TSP uit en GLOSA aan (de onderzoekssituatie) en TSP aan en GLOSA aan (het onderzoek, doch met interactie van een ander systeem). Voor de evaluatie van dit laatste worden de resultaten vergeleken met TSP aan en GLOSA uit.

3.2.3.1. Het effect van GLOSA

De doorstroming (het aantal voertuigen dat een bepaald wegsegment, zoals een kruispunt, passeren) (Smith et al., 2019; Cheng et al., 2020) wordt gemeten aan de hand van het gemiddeld aantal stops per passage aan een uitgerust kruispunt en aan de hand van de reistijd en dit ten opzichte van de basisgegevens zonder C-ITS-subsystemen (Zhou et al., 2011). In Helmond bedraagt het gemiddeld aantal stops per passage in de basissituatie (GLOSA uit en TSP uit) 0,34. In de onderzoekssituatie (GLOSA aan en TSP uit) bedraagt dit ook 0,34. Er is geen verschil. In Bordeaux is tijdens piekuren het gemiddeld aantal stops per kruispunt met GLOSA 0,55 en zonder GLOSA is dit 0,50. In de daluren is dit respectievelijk 0,46 en 0,47. Tijdens piekuren is de gecumuleerde stopduur met GLOSA 11,22 en zonder GLOSA is dit 9,69. In de daluren is dit respectievelijk 9,09 en 9,17. Hieruit concludeert men dat de gebruikers van de app positief beïnvloed worden door de verstrekte informatie en eerder kiezen om te stoppen voor veiligheidsredenen. Dit gedrag verhoogt dan wel de reistijd en het aantal stops, doch op grotere schaal verhoogt dit ook de verkeersveiligheid (Zengqiang et al., 2008; Chu & Huang, 2012).

Bij de analyse van de reistijd in Helmond bedraagt de gemiddelde reistijd per passage 33,3 seconden in de basissituatie en 32,9 seconden in de onderzoekssituatie. Er is dus een lichte (verwaarloosbare) daling in de reistijd. In Bordeaux is tijdens piekuren de gemiddelde reistijd met GLOSA 26,35 en zonder GLOSA is dit 24,23. In de daluren is dit respectievelijk 22,84 en 22,51 (Europese Commissie, 2018).

Zowel in Bordeaux als in Helmond waren er geen significante veranderingen in het brandstofverbruik en snelheid en dit zowel in de situatie met als zonder GLOSA (Europese Commissie, 2018).

Voor Helmond en voor Bordeaux heeft GLOSA inzake de doorstroming geen significant effect. Een diepgaande analyse wijst bovendien uit dat de GLOSA-resultaten noch beïnvloed worden door seizoenseffecten, noch door piekuren. Men heeft de 30 meter afstand verlengd naar 50 meter en 100 meter, doch ook hier is er geen verschil in de resultaten. Wel komt naar voor dat de rijrichting een grote impact heeft, vooral voor de bestuurders die linksaf slaan. Ook ziet men in de resultaten het effect van de weekdag. Op vrijdag is de waarschijnlijkheid om te stoppen aanzienlijk hoger, en op zondag aanzienlijk lager ten opzichte van de andere weekdays (Europese Commissie, 2018).

In Bordeaux werd geen significant effect waargenomen op emissies als gevolg van de app. De reden hiervoor is dat emissies gecorreleerd zijn met de reistijd en stops, die beiden niet significant zijn. Tijdens de piekuren bedraagt het brandstofverbruik met GLOSA 9,44 en zonder GLOSA is dit 9,19. In de daluren is dit respectievelijk 8,50 en 8,45. Vergelijkbare resultaten werden gevonden in Helmond, zonder significante verandering in brandstofverbruik tussen de GLOSA-off- en GLOSA-on-situaties.

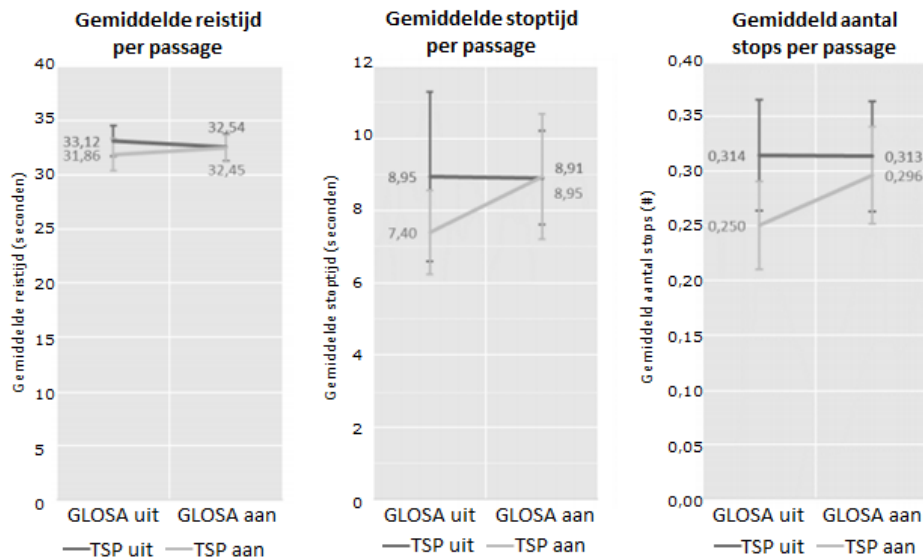
3.2.3.2. Het effect van TSP

TSP werd enkel in Helmond geïmplementeerd. Om als bestuurder gebruik te kunnen maken van TSP, bestaan er 2 mogelijkheden. Ten eerste, als een zware vrachtwagen nadert, en wordt gedetecteerd, wordt zijn prioriteitsverzoek verzonden naar het verkeerslicht via een cooperative awareness message (CAM) en wordt beëindigd wanneer de vrachtwagen de stoplijn passeert. Het systeem bepaalt via de V2I/I2V-communicatie of en hoeveel prioriteit deze vrachtwagen krijgt, en past de verkeerslichten aan. Ten tweede, een vrachtwagen kan expliciet prioriteit aanvragen via een single request message (SRM) aan het systeem. Hierbij verzendt hij een SRM waarin hij de verkeerslichttoestand omschrijft waarop hij prioriteit wenst. Het binnengekomen SRM-bericht wordt gecombineerd met de CAM van de truck en er wordt een prioriteitsverzoek naar het systeem gestuurd. Er wordt door het systeem al dan niet voorrang toegekend. Deze informeert vervolgens de vrachtwagen (Europese Commissie, 2018; Smith et al., 2005).

Belangrijk om weten is dat TSP op het eerste verkeerslicht voorrang aanvraagt, doch vanaf het volgende verkeerslicht de optimale route tracht te bepalen. Vanaf het tweede verkeerslicht zal het systeem dus automatisch prioriteit toekennen. Wanneer echter meerdere vrachtwagens tegelijkertijd op een kruispunt aankomen en om prioriteit verzoeken, kan er een contraproductief effect zijn.

In Helmond was er een aanzienlijke daling van het gemiddelde aantal stops per passage op een kruispunt van 0,34 in de basissituatie naar 0,25 in de onderzoekssituatie, of een daling van 20,4 procent. De gemiddelde reistijd is van 33,12 seconden naar 31,86 seconden gedaald met 3,80 procent of ongeveer 1,26 seconde per gepasseerd kruispunt. De effecten van TSP op het brandstofverbruik zijn in overeenstemming met het gemiddeld aantal stops per passage en de gemiddelde reistijd. Het gemiddeld brandstofverbruik voor een typische dieseltruck van 30 ton wordt verlaagd van 0,249 naar 0,231 liter per passage, een besparing van 7,23 procent. Volgens Shaaban & Ghanim (2018) betekent de implementatie van TSP een vermindering van de reistijd tot 43 procent voor vrachtvervoer. Het betekent ook een vermindering van de vertraging en dus een betrouwbaardere leveringsdienst. De resultaten tonen ook aan dat TSP een minimaal negatief effect heeft op het algemeen verkeer.

3.2.3.3. De interactie tussen TSP en GLOSA



Figuur 17: Analyse van de gemiddelde reistijd, stoptijd en aantal stops per passage (Europese Commissie, 2018)

Zoals blijkt uit bovenstaande figuur 17, is er een duidelijke interactie tussen GLOSA en TSP waarbij GLOSA in de drie prestatie-indicatoren (gemiddelde reistijd per passage, gemiddelde stoptijd per passage en gemiddeld aantal stops per passage) een verwaarloosbare verandering teweeg brengt ten opzichte van de basissituatie. TSP daarentegen leidt tot opmerkelijke verbeteringen. Maar door GLOSA en TSP te combineren, zullen de prestatie-indicatoren bij GLOSA ongeveer gelijk blijven, doch bij de TSP gedeeltelijk of volledig teniet gedaan worden. Met andere woorden, bij gebruik van TSP in combinatie met GLOSA, zullen de voordelen van TSP volledig of gedeeltelijk worden teniet gedaan (Europese Commissie, 2018).

Wat betreft de impact op het milieu, wordt geconcludeerd dat TSP het brandstofverbruik doet verminderen, doch niet in combinatie met GLOSA. Hiervoor zijn diverse verklaringen. Enerzijds zal TSP een actieve ingreep doen op de kleur van het verkeerslicht, als de vrachtwagenbestuurder een prioriteit krijgt toegekend, terwijl bij GLOSA de bestuurder louter geïnformeerd wordt over de stand van de verkeerslichten. Echter hangt dit ook af van het gedrag van de bestuurder. Als de bestuurder van een vrachtwagen via TSP prioriteit aanvraagt, en toegekend krijgt, krijgt hij daarvan geen melding. Bij GLOSA kan de bestuurder altijd op zijn app terugvallen. Indien hij de prioriteit toegekend krijgt, kan het zijn dat de bestuurder nog steeds het GLOSA-advies volgt in plaats van zijn toegewezen prioriteit op te nemen. Ook kan het zijn dat de implementatie van de twee services tot 'samensmelting' kan leiden. Er is nood aan een prioritisering van de C-ITS systemen, waarbij TSP voorrang krijgt op GLOSA. Met andere woorden van zodra een bestuurder prioriteit toegekend krijgt, dient het GLOSA algoritme anders te worden geïmplementeerd (Europese Commissie, 2018).

Bovendien is het belangrijk om een stapsgewijze aanpak te volgen alvorens te beslissen of C-ITS-diensten al dan niet een geschikte oplossing zijn voor een specifieke stad. Elke stad is anders, met een eigen verkeersmanagement en vervoerssystemen, daarom is het niet mogelijk om een

universeel scenario te schrijven, dat onder alle omstandigheden vol vertrouwen kan worden gebruikt (Europese commissie, 2018; Chrobok et al., 2004).

Het onderzoek van Lüssmann et al. (2014) in Impact Assessment for Cooperative Urban Traffic Management Applications based on Microscopic Traffic Flow Simulation treedt deze stelling bij. Hij heeft onderzoek gevoerd in München en Helmond waaruit hij concludeert dat de combinatie van Approach Advice (een applicatie die de rijbaan met de kortste wachttijd aanbeveelt) en Balanced Priority (Prioritering van trucks) minder succesvol is. In Helmond zorgt de Approach Advice voor een CO₂-vermindering van 2,8 procent, het aantal stops vermindert met 22,7 procent en het aantal vertragingen vermindert met 7,6 procent. De Balanced Priority zorgt voor een CO₂-vermindering van 8,7 procent, het aantal stops vermindert met 18,8 procent en het aantal vertragingen stijgt met 7,6 procent. Echter als deze twee C-ITS-subsystemen gecombineerd worden is er slechts een CO₂-vermindering van 1,1 procent, een vermindering van het aantal stops met 10,6 procent en het aantal vertragingen stijgt met 9,9 procent.

Sharara et al (2019) pakken dit omgekeerd aan, zij bestuderen de inzet van GLOSA afhankelijk van welke doelstellingen men wenst te behalen, enerzijds met de bedoeling de reistijd te verminderen en anderzijds het brandstofverbruik te verminderen. Afhankelijk welke doelstelling men wenst te bereiken, wordt GLOSA op een andere manier ingezet.

3.3. Kritische noot

Ondanks de positieve resultaten dewelke voortvloeien uit de diverse studies over de implementatie van C-ITS-subsystemen, en die ook in deze masterthesis zijn besproken, zijn er ook kritische bemerkingen, waarmee moet rekening gehouden worden.

De diverse projecten dewelke werden toegelicht zijn steeds onderbouwd met een app. Echter kan de app technologisch zo goed zijn ontwikkeld, alsnog zijn er afhankelijke variabelen, die bepalen of deze technologie ervoor gaat zorgen dat het veiliger is op de weg. Deze zijn onder andere de beslissingen, het gedrag en de manoeuvres die door de bestuurder worden uitgevoerd. Er zijn in het verleden al diverse onderzoeken gevoerd betreffende de mogelijke afleidingen achter het stuur en de gevolgen hiervan. Zo spreekt de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV over de diverse afleidingen zoals omgaan met apparatuur zoals sms'en, een nummer intoetsen, een lied opzoeken, een bestemming invoeren in een navigatiesysteem, eten en drinken, enzovoorts (Stelling & Hagenzieker, 2012). Er is onder andere een invloed op de snelheid, de laterale positie, de reactietijd en de volgafstand. Zo beginnen als reactie op een snelheidswijziging (Bellinger et al., 2009; Horrey & Wickens, 2006; Strayer, Watson & Drews, 2011; Caird et al., 2008; McCartt, Hellinga & Braitman, 2006) telefonerende bestuurders 0,5 seconden later met remmen (Alm & Nilsson, 1995). Studies wijzen zelfs uit dat er een toename van 20 procent tot 40 procent is in de reactietijd bij bellen achter het stuur (Collet, Guillot & Petit, 2010; Consiglio et al., 2003; Hancock, Lesch & Simmons, 2003; Irwin, Fitzgerald & Berg, 2000; Morel et al., 2005; Strayer, Drews & Johnston, 2003). Bovendien remmen ze krachtiger (Hancock, Lesch & Simmons, 2003). Een rijnsimulatorstudie van Strayer, Watson & Drews (2011) demonstreert dat bellende automobilisten ook meer tijd nodig hebben om na het remmen weer op snelheid te komen.

Dankzij de app worden bestuurders geïnformeerd, zelfs gewaarschuwd, waardoor de veiligheid op de weg verhoogt. Echter bij een onderzoek in het CITRUS-project blijkt dat van alle deelnemers 63,2 procent aangeeft de informatie bijna altijd te hebben gezien, doch 20,7 procent geeft aan de waarschuwingen een paar keer per week te hebben gezien en 16 procent geeft aan de informatie 2 tot 3 keer gedurende de gehele testperiode gezien te hebben. Opmerkelijk genoeg beweert 27,5 procent dat de app nooit van pas is gekomen (Maerivoet & Ons, 2020a). In het C-the-Difference project gaf 28 procent van de ondervraagden in Helmond aan soms naar de app te kijken, 18 procent keek maar een paar keer en 10 procent keek nooit naar de app, ook al staat deze wel op (Europese Commissie, 2018). Volgens Starkey et al. (2020) is het een uitdaging om de bestuurders aan te moedigen om de app op een juiste en consistente manier te gebruiken. Er moet een goed evenwicht zijn tussen enerzijds het gebruik van de app, die moet resulteren in verbeteringen in de veiligheid op de weg en anderzijds de negatieve effecten van smartphonegebruik achter het stuur en de afleiding tijdens het rijden (Starkey et al., 2020). Apple et al. (2011) en Ekeila et al. (2009) stellen zelfs voor om te werken met gesproken routeverzoeken.

Naast het gedrag van de bestuurder zijn er nog andere afhankelijke variabelen (Aramrattana et al., 2017), die we terugvinden in het CATALYST-project, en waarvan is gesteld dat ze niet altijd (direct) controleerbaar of meetbaar zijn. Het gaat om de weersomstandigheden, de hoeveelheid verkeer op de weg, de windkracht, de reactiesnelheid van de bestuurder, maar ook andere bestuurdersbehoudigheden en de lading van de vrachtwagen (Van Ark et al., 2020).

Wat het gebruik van technologie in het voertuig betreft, kan worden aangenomen dat de kenmerken van individuele bestuurders erg belangrijk zijn en ook verschillende soorten interacties kunnen veroorzaken, wat verschillende gevolgen kan hebben voor het gedrag. Één van de groepen individuele bestuurders waar studies zich op hebben gericht, zijn de 'ouderen' omdat ze een steeds belangrijkere cluster zijn (Baumann et al., 2008). Volgens Statbel telt België 1 374 739 ouderen op 1 januari 2020 of anders uitgedrukt het aandeel 65-plussers bedraagt 20,8 procent in de gehele Belgische bevolking. In 2030 zijn dit 1 677 655 ouderen of een aandeel van 24,7 procent 65-plussers. Studies hebben aangetoond dat het verouderingsproces enkele 'deuken' in hun rijvaardigheid kan veroorzaken, namelijk een vermindering van de visuele, cognitieve en motorische vaardigheden; moeite met het selecteren van relevante informatie en een langere tijd die zij nodig hebben om deze te verwerken, een afname van selectieve aandacht en een sterke aandachtswisseling (Baumann et al., 2008). Ouderen worden ook gekenmerkt door zeer afleidend te zijn en kunnen ook gemakkelijk worden verward door concurrerende informatiebronnen. Om hun motorische degradatie te compenseren, hebben ze echter de neiging om hun rijgedrag aan te passen: tijdens het rijden proberen ouderen de stressvolle mentale belasting die ze ervaren te verminderen en als gevolg daarvan rijden ze langzaam en proberen ze hun acties te beheersen (Van Hout & Brijs, 2009). Bij een interactie met C-ITS-informatiesystemen kunnen deze oudere bestuurders moeilijkheden ervaren omdat deze interactie een extra belasting legt op hun cognitieve vaardigheden, ze zijn tijdelijk niet in staat om adequaat te reageren op een gebeurtenis of zelfs de rijtaak in complexe situaties te beheren (Baumann et al., 2008). Liu (2001) voerde een onderzoek over de interactie van C-ITS-subsystemen en de rijprestaties en dit op vlak van de reactietijd. Hierbij worden diverse displaymodaliteiten en diverse moeilijkheden in de berichtgeving toegepast. Het resultaat van zijn onderzoek toont aan dat bij oudere mensen de reactietijd hoger ligt, dat zij meer navigatiefouten

maken en dat hun rijprestaties afnemen in complexe en kritieke situaties. Dingus et al. (1997) stellen vast dat oudere mensen een vermindering van hun cognitieve en perceptuele vaardigheden ervaren, waardoor zij niet bekwaam zijn om de extra informatie, aangeboden door C-ITS-subsystemen te verwerken. Uiteindelijk is het zo dat dit een taak betreft die interpretatie vergt en waarbij er een beslissing moet genomen worden. Simoes et al. (2006) menen dat ouderen om deze reden een stabiele en gebruiksvriendelijke wegomgeving nodig hebben met C-ITS-subsystemen die op zulke wijze ontworpen zijn dat zij mentaal niet overbelast worden. Ook volgens Brouwer (1996) heersen er twee soorten problemen voor de oudere bestuurder: ten eerste heeft de oudere bestuurder moeite met besluitvorming onder tijdsdruk, en ten tweede heeft de oudere bestuurder problemen met de vereisten van gelijktijdige activiteiten (Brouwer et al., 1991; Brouwer, 1996). In een onderzoek van De Waard (1999) is het voor ouderen, tussen 60 en 75 jaar, moeilijker om de aandacht te verdelen tussen de basistaak van autorijden en reageren op ingesproken berichten. Tijdsdruk kan ook een belangrijke rol spelen; oudere bestuurders kunnen problemen ondervinden als een ingesproken bericht wordt uitgegeven tijdens het rijden in een complexe verkeerssituatie. Anderzijds hebben oudere bestuurders wel de neiging om deze veiligheidssystemen te verwelkomen, omdat ze beseffen dat dit hun veiligheid verhoogt. Een risico zou echter kunnen zijn dat in de toekomst sommige bestuurders volledig zullen vertrouwen op het systeem (De Waard, 1999). Als de communicatie met de weginfrastructuur uitvalt, of als het systeem uitvalt, kan dit leiden tot een toename van het aantal stuurfouten. De gevolgen zijn enorm, aangezien ouderen kwetsbaarder zijn dan jongeren. In ongevallen van dezelfde impact is de kans dan groter dat ouderen zwaarder gewond raken in vergelijking met jongeren (Davidse, 2000). De verhoogde ongevallenbetrokkenheid van ouderen in kruispuntongevallen werd reeds vaker onderzocht (Zhang et al., 1998; SWOV, 2008a; Keskinen et al., 1998; Bao & Ng Boyle, 2007; Boufous et al., 2008; Ryan et al., 1998; Fildes et al., 1994; Preusser et al., 1998). Ouderen hebben, meer dan jongeren, problemen met grote complexe kruispunten omwille van hun cognitieve beperkingen. Boufous et al. (2008) beweren dat oudere bestuurders niet alleen oververtegenwoordigd zijn in kruispuntongevallen, maar dat ze ook nog eens een grotere kans op een ernstig letsel lopen op complexe, veeleisende kruispunten. Volgens Fildes et al. (1994) zijn oudere bestuurders in het algemeen oververtegenwoordigd op vierarmige en niet-lichtengeregelde kruispunten. Volgens Langford en Koppel (2006) hebben bestuurders ouder dan 75 meer kans om een ongeval te hebben op kruispunten waar de voorrang enkel geregeld is door borden. Jongere bestuurders vertrouwen niet op het systeem, maar passen alleen hun gedrag aan zolang het functioneert. Tijdens testritten in een onderzoek van Naujoks & Totzke (2014) kwamen de volgende negatieve gedragsaanpassingen bij jongeren naar voren: verhoging van de maximumsnelheid, afname van de minimale tijd tot botsing bij het volgen van een ander voertuig in het vrije verkeer en verhoogde intensiteit van het uitvoeren van een secundaire taak in vergelijking met rijden zonder hulp.

Vooraf bij jongeren kwam naar voor dat zij tijdens het rijden met hulp eerder bezig waren met andere secundaire taken. Jongeren vinden het gebruik van een mobiele telefoon tijdens het rijden minder gevaarlijk dan oudere bestuurders (Slootmans, 2015). De resultaten geven aan dat het beoogde veiligheidseffect van voorspellende waarschuwingssystemen kunnen beperkt worden door deze gedragsmatige aanpassingen door zowel de jongere bestuurders als de oudere bestuurders (Naujoks & Totzke, 2014).

Echter bij professionele bestuurders, zoals vrachtwagen- en busbestuurders ligt dit anders. Er zijn wel studies die aantonen dat vrachtauto- en busbestuurders vaker afleidende gedragingen stellen, omdat zij vaak verschillende en concurrerende taken tegelijk moeten uitvoeren (Barr et al., 2003; Hanowski et al., 2005; Olson et al., 2009; WHO, 2011). Maar men concludeert wel dat professionele bestuurders minder gevoelig zijn voor de gevolgen van deze afleiding, en bovendien zelfs minder in afleidingsgerelateerde ongelukken betrokken zijn dan bestuurders van personenwagens (Slootmans, 2015). Het feit dat professionele bestuurders afgeleid rijden, concentreert zich echter in een kleine groep 'high-risk' bestuurders (WHO, 2011; Teasdale, 2014). Bij dit type bestuurders spelen visuele en manuele afleiding een belangrijkere rol dan cognitieve afleiding (Meesmann & Opendakker, 2013).

Echter moet er ook gekeken worden naar de toekomst. Vrachtwagenchauffeurs zitten dagelijks op de weg en ervaren de evolutie in onder andere de rijtaakondersteunende functies. Echter oude(re) mensen, mensen met weinig rijervaring en jonge bestuurders dienen te worden opgeleid en ingelicht over de huidige technologische vooruitgang en over het veilig gebruik van de smartphonefuncties en in-car systemen. De ongevalskans van jonge, onervaren automobilisten (18 tot 24 jaar) is vijf maal zo groot als die van meer ervaren automobilisten (30 tot 59 jaar) (SWOV, 2012). Vooral jonge mannen lopen meer risico. Hun ongevalskans is zelfs zeven maal zo groot. Een belangrijke oorzaak is dat jongeren meer risico's nemen doordat ze hun eigen capaciteiten overschatten. Ook zijn ze gevoeliger voor groepsdruk en hebben ze een sterke voorkeur voor directe beloning (De Goede & Sluijsmans, 2015). Beginnende bestuurders moeten tijdens de rijopleiding gesensibiliseerd worden over het gevaar van afleiding tijdens het rijden (ETSC, 2010; DaCoTa, 2012; SWOV, 2013), over de factoren die jongeren vatbaarder maken voor de gevolgen van afleiding en over praktische strategieën om de gevolgen van afleiding te verminderen (WHO, 2011; Slootmans, 2015).

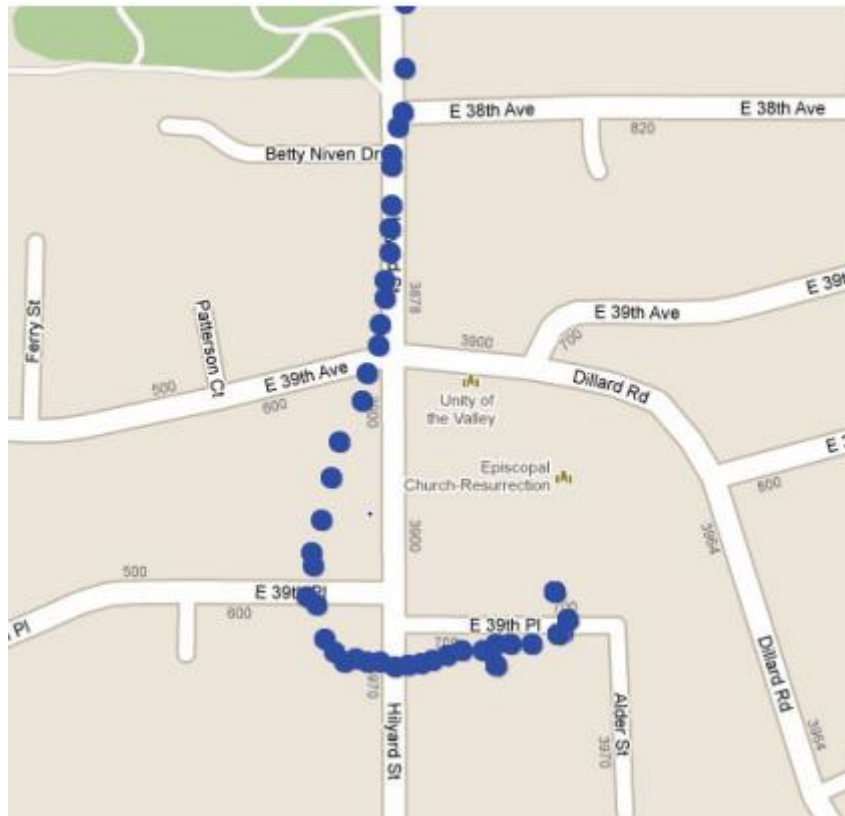
Een kleine taak ligt hierbij bij de verkopers van voertuigen, die hun klanten kunnen inlichten en bij de verzekeraars, doch anderzijds ook in de rij scholen, rijexamencentra en in een mogelijkheid tot een extra (facultatieve) opleiding voor oude(re) bestuurders en bestuurders die enkel 'rond de kerktoren' rijden (Van Nieuwenhuizen, 2020). Elke bestuurder moet immers de mogelijkheden en de beperkingen kennen van deze rijhulpsystemen. Als men niet weet hoe deze veiligheidsbevorderende functionaliteiten werken, of hoe men ermee moet omgaan, dan zal dit ook niet aangekocht worden, waardoor men mogelijk minder veilig rijdt. Zo bestaat er ook de mogelijkheid om een online community voor weggebruikers op te richten, waarbij alle mogelijkheden van rijtaakondersteunende functies worden toegelicht. Er kan hierbij een groep 'ambassadeurs' die de rijervaring met de nieuwe technologieën hebben, ingezet worden (Van Nieuwenhuizen, 2018). Anderzijds is de inzet en kennis van diverse experts op vlak van voertuigen, verkeer en menselijk rijgedrag een meerwaarde (Europese Commissie, 2018). Tegelijkertijd bestaat de mogelijkheid om voldoende demo's, filmpjes, video's te ontwikkelen en deze te delen op diverse kanalen en het sociale netwerk. Ook de game Gridlock Buster helpt om ingewikkelde verkeerssituaties onder de aandacht te brengen, alsook de mensen te informeren over het gebruik van ITS-technologie, met als doel de wegen veiliger en efficiënter te maken (Liao et al., 2010). Kortom, er dient aandacht te worden geschonken aan een integratie in de maatschappij aan de hand van diverse middelen om ook deze mensen bewust te maken.

Volgens de resultaten van het CITRUS-project zullen de belangrijkste gevolgen voor de verkeersveiligheid echter waarschijnlijk niet het gevolg zijn van snelheidsverlaging, maar van een verhoogde alertheid. Zo is er in het CITRUS-project een verwaarloosbare impact op de vermindering van de snelheid (slechts 0,6 meter per seconde), maar er is een verhoogde alertheid (Maerivoet & Ons, 2020a). Een groot aantal ongevallen worden veroorzaakt door menselijke fouten en veel menselijke fouten worden veroorzaakt door onoplettendheid. In het Nationaal Verkeerskundecongres 2020 wordt geciteerd: "Wanneer men aan het kijken is welke snelheid er op de app staat, zouden ze eigenlijk naar buiten moeten kijken." (Taale et al., 2020, p. 3; Scholliers et al., 2017). Ook Hamers et al. (2019) beklemtonen dat het zeer belangrijk is dat de HMI de minimale doch voldoende informatie bevat en vooral de bestuurder niet afleidt van de weg. Volgens Montanari et al. (2019) moet de interactie tussen mens en machine zodanig ontworpen zijn dat elke bestuurder op een effectieve en veilige manier gebruik kan maken van de C-ITS-subsystemen. In een final report van de EU-commissie van september 2017 is opgenomen dat de app consequent moet zijn in de vorm van zijn pictogrammen, de kleur, de positie, de waarschuwingssignalen en de touch-screen-handelingen en dit in alle voertuigen. Echter is er in het huidige stadium nog geen significante standaardisatie.

Een ander kritisch punt betreft de technologie zelf, namelijk de werking van de app. In het CITRUS-project is er enerzijds het probleem met de timing, en anderzijds met de precisie van de waarschuwingen van de app. Wat betreft de timing, blijkt uit onderzoek bij CITRUS dat de chauffeurs ervaren dat wanneer ze de verkeersinformatie ontvangen, ze al te dicht bij het gevaar zijn en dit gevaar zelfs visueel kunnen zien, alvorens ze door de app gewaarschuwd worden. Dan is het beter om alert te zijn op de weg en niet afgeleid te worden. Met betrekking tot de precisie van de app bij CITRUS bleek dat er verschillende gebeurtenissen worden gemeld, die er niet zijn. Bovendien mist de applicatie veel wegniswerken, stilstaande voertuigen en files dewelke de chauffeur wel passeerden. (Maerivoet & Ons, 2020a; Maerivoet & Ons, 2020b). Ook in Helmond geeft men kritiek op de weergave van de informatie op de app. Zo blijkt het snelheidsadvies vaak niet te kloppen (De Vries, 2020). Eén van de oorzaken van dit probleem is volgens C-the-Difference het feit dat als de link tussen de smartphone en het centrale ITS-station is onderbroken, de smartphone niet kan werken. Dit gebeurt als het centrale ITS-station uit ligt of als het 4G-netwerk niet beschikbaar is of overbeladen is (Europese Commissie, 2018). Nochtans hebben Hamers et al. (2019) de effecten op doorstroming sterk afhankelijk bevonden van de timing van de waarschuwing. Volgens de experts moet de timing zodanig zijn dat voertuigen op het juiste moment snelheid gaan minderen. Indien de waarschuwing te vroeg op de app verschijnt, bestaat het risico dat de bestuurder te vroeg zal remmen of de waarschuwing zal negeren. Bovendien bestaat er in het CITRUS-project niet de mogelijkheid om de app uit te zetten, waar sommige bestuurders, volgens de resultaten van de enquête, soms wel behoefte aan hebben.

De vraag rijst waarom er gebruik moet gemaakt worden van een aparte app op een smartphone, terwijl de integratie in een GPS-toestel ook mogelijk is. Door het gebruik van een aparte app geraken bestuurders afgeleid (Starkey et al., 2020). In Helmond loopt er sinds oktober 2019 een project waarbij 7 IVRI's-kruispunten zijn betrokken, waarvan er één relatief dichtbij een spoorwegovergang ligt. De betrokken doelgroep is de ambulancedienst, de brandweer, de politie en de logistieke sector.

De hulpverleningsvoertuigen zijn voorzien van een absoluut prioriteitssysteem, de vrachtwagens hebben een conditionele prioriteit, doch bestaat hierbij de mogelijkheid een hoge(re) prioriteit toe te kennen als de bestuurder aangeeft dat hij gevaarlijke stoffen transporteert (Van Dijk, 2019). Om prioriteit aan te vragen, moet de bestuurder zijn route invullen in de app. Een verhoogde prioriteitsaanvraag moet door de bestuurder ook extra aangevraagd worden. Het betreft allemaal handelingen op de app, die in realiteit niet of amper worden uitgevoerd, wegens te belastend (De Vries, 2020). Bestuurders van de hulpverlening laten ook weten tijdens het onderzoek in Helmond dat bij een spoedinterventie de aandacht volledig op de weg ligt en er dus nauwelijks op het scherm van de app wordt gekeken. Zij stellen voor dat het systeem bijvoorbeeld moet gekoppeld worden aan de blauwe zwaailichten, met andere woorden zonder extra handelingen in het voertuig (De Vries, 2020). Ook bij het CITRUS-project bij het aanvaardbaarheidsonderzoek blijkt dat vrachtwagenchauffeurs als voorwaarde stellen niet extra tijd te moeten steken in de app. Slechts 20,2 procent van de deelnemers melden dat de app hun aandacht op de weg niet verstoort (Logghe et al., 2020). Om die reden is de integratie in het GPS-systeem een volwaardige oplossing. Volgens Apple et al. (2011) nemen deze GPS-data volwaardig informatie op uit het routenetwerk: de positie, datum en tijd, snelheid, richting, zelfs de foutmeldingen. Bovendien zijn ook hier alle gegevens geanonimiseerd en opgeslagen voor analyse. De gegenereerde data worden teruggestuurd naar de centrale om de toekomstige routing te verbeteren. Op dezelfde wijze kunnen tendensen worden vastgesteld: hoe lang blijft men op deze weg, waar rijdt men naartoe, hoe lang blijft men daar, wanneer en waar ontstaat er een file, enzovoorts Apple et al. (2011) beweren namelijk dat een GPS-systeem in het voertuig veel nauwkeuriger is dan een GPS op een smartphone. Het is net die accuraatheid die een bestuurder nodig heeft op het moment dat hij aan het rijden is. De accuraatheid van de GPS is zeer belangrijk voor GLOSA, want dit C-ITS subsysteem vereist een precieze afstand tot aan de stopstreep (Europese Commissie, 2018). Doch de GPS-chips in smartphones baseren zich op de Kalman-filtering, een rekenmethode waarbij getracht wordt storingen in meetgegevens te reduceren. Bij de Kalmanfilter moeten niet alle waardes vooraf bekend te zijn, waardoor de uitkomst steeds de best-passende benadering is (Li et al., 2015). In deze context betekent dit dat de GPS in smartphones gaat filteren op onder andere huidige positie, snelheid,... en dit in combinatie met een corrigerend. Dit heeft een invloed op de accuraatheid van het systeem. Indien een voertuig bijvoorbeeld rechtdoor rijdt aan een constante snelheid maar plots vertraagt en 90° van rijpositie verandert, zal de GPS van de smartphone door de "voorspellende filter" een grote boog maken in plaats van een hoek van 90 graden (zie figuur 18). Echter, bestuurders zijn niet volledig voorspelbaar (Europese Commissie, 2018; Aramrattana et al., 2017). En bovendien kunnen de gegevens die worden binnengehaald ook gegevens zijn van een bestuurder die een onwettig of verrassend manoeuvre heeft gemaakt, zoals extreem versnellen, een U-bocht maken, achteruit rijden, heel kort stoppen om een passagier op te pikken, enzovoorts. Ondanks al deze problemen moeten de gebruikers nauwkeurig gelokaliseerd worden als er realtime verkeersinformatie wordt gegenereerd op basis van gerapporteerde posities (Europese Commissie, 2018).



Figuur 18: Plaatsingsfouten in de GPS-signalen
(Apple et al., 2011, p. 1314)

Volgens Macfarlane (2019) bezorgen online navigatie apps ook meer problemen dan oplossingen. Deze apps zijn meestal geoptimaliseerd om de reistijd van een individuele bestuurder zo kort mogelijk te houden. Echter zijn ze niet ontwikkeld om te evalueren of woonstraten het verkeer kunnen absorberen of dat automobilisten de veiligheid in gevaar zouden brengen. Bovendien zijn er altijd wel realtime omleidingen in steden door middel van bijvoorbeeld knipperende omleidingswaarschuwingen of tijdelijke verkeerslichten. Het probleem is dat deze apps deze informatie niet ondersteunen en het verkeer niet op de meest efficiënte wijze sturen.

Eén van de kritische bemerkingen in verband met de veiligheid gaat over de reactie van de vrachtwagenbestuurder met een app in vergelijking met de andere weggebruikers die geen app hebben. Als een vrachtwagenbestuurder op zijn app ziet dat hij nog 15 seconden groen heeft, kan hij de intentie hebben zijn snelheid te verhogen om dat groene licht nog te halen. Anderzijds kan hij vertragen als de app aanduidt dat het verkeerslicht binnen 15 seconden groen wordt. Andere weggebruikers die deze app niet hebben gaan hun snelheid niet verhogen of verlagen. Dit kan leiden tot snelheidsverschillen tussen de voertuigen met en zonder app en dus tot onveilige beslissingen en verkeerssituaties. Uit het Priopilot Helmond blijkt dat vrachtwagensbestuurders met app gemiddeld 6,6 procent sneller reden dan vrachtwagenbestuurders zonder app op 250 meter voor de stopstreep. Het effect is nog groter op 100 meter voor de stopstreep, waarbij 15,2 procent van de vrachtwagenbestuurders met app sneller reden dan vrachtwagenbestuurders zonder app (De Vries, 2020). Rooijers (1997) haalt aan dat grote snelheidsverschillen tussen de weggebruikers een prominente rol zijn in de kans tot ongevallen en de ernst van de ongevallen. Hoe groter de snelheidsverschillen, hoe ernstiger de ongevallen (Janssen, 1997). In het CITRUS-project wordt door

één van de respondenten in de enquête meegedeeld dat de app wel handig is als er weinig verkeer is, doch van zodra er meer tot veel verkeer is, leidt de app tot gevaarlijke situaties. Andere bestuurders, die de app niet hebben en dus de informatie niet ontvangen, twijfelen aan een verkeerslicht of ze zouden versnellen of niet. Om die gevaarlijke situaties uit te sluiten is het beter dat er een aftelklok op de verkeerslichten staat, die iedereen kan zien. (Maerivoet & Ons, 2020a). Apple et al. (2011) en Ekeila et al. (2009) stellen daarom voor om proactieve maatregelen te integreren om veiliger rijden aan te moedigen, namelijk door enerzijds te werken met gesproken routeverzoeken van de weggebruikers, maar anderzijds kunnen ook (één van) deze maatregelen ingevoerd worden:

- Op de app wordt de route voor de groene golf enkel gepresenteerd als de bestuurder dit ook behaalt aan de vastgelegde snelheidslimiet op deze route. Er wordt dus op de app enkel informatie gepresenteerd waarbij veilig rijden wordt aangemoedigd. Bijvoorbeeld: rode lichten worden enkel weergegeven met het aantal seconden totdat het groen is, als de bestuurder dit haalt zonder harder te moeten rijden. Dit zal chauffeurs aanmoedigen om het groene licht comfortabel te behalen in plaats van ernaartoe te racen. En bovendien worden dan de snelheidsverschillen van de voertuigen met app ten opzichte van de voertuigen zonder app weggewerkt.
- Op de app staat een snelheidsmeter die de huidige snelheidslimiet aangeeft, doch ook de huidige snelheid, die van kleur verandert als de snelheidslimiet wordt overschreden (Apple et al., 2011).

Verder werd al reeds de vraag gesteld hoe het zit met de privacy van de data van iedereen (Verordening EU 2016/679). Op de website van Talking Traffic meldt Jonkers (2020), lid van het Talking Traffic-team bij I en W dat de gegevens van hun onderzoek gebaseerd zijn op data van ongeveer 1,8 miljoen weggebruikers. De technologische ontwikkeling evolueert enorm. In 2020 zijn ongeveer 37 procent van de nieuwe voertuigen in Europa voorzien van een ingebouwde internetverbinding, in 2022 verwacht men dat alle nieuwe auto's hiervan zullen voorzien zijn (Van Nieuwenhuizen, 2020). Anderzijds is de informatie over een onveilige verkeerssituatie zo waardevol, dat deze best naar zoveel mogelijk weggebruikers gecommuniceerd wordt. Dus als deze informatie als persoonlijke informatie gaat beschouwd worden, die niet zou mogen gebruikt worden, zou dit een ernstige inbreuk zijn op de verkeerveiligheidswinst (Van Nieuwenhuizen, 2020). Daarom dat er voldoende voorzorgsmaatregelen en beschermingsregels moeten ingevoerd worden. Zo heeft de Europese Commissie in 2017 een eindrapport gepubliceerd over het definiëren van de aanpak, de methodologie, het juridische en organisatorische kader met betrekking tot de bescherming van persoonsgegevens in het kader van C-ITS (Europese Commissie, 2017).

Ook moet er opgelet worden voor mogelijke cyperaantallen. Owens et al. (2009) omschrijft dit als het proberen 'computersystemen te veranderen, te verstoren, te misleiden, in waarde te verminderen of te vernietigen, doch niet enkel de computersystemen zelf maar ook de netwerken of de informatie en de programma's die zich in die systemen bevinden' (Owens et al., 2009, p. 186). Er zijn drie verschillende vormen van cyberaanvallen tegen operationele systemen: aanvallen die een systeem proberen te sluiten of het gebruik ervan weigeren; aanvallen die gericht zijn op het extraheren van informatie en aanvallen die een systeem proberen in te voeren om informatie en instellingen te wijzigen (zoals het wijzigen van instellingen of input van virussen) zonder opgemerkt

te worden door de legitieme operator (Singer & Friedman, 2014). Volgens Kitchin en Dodge (2017) ligt de zwakte bij lokale dataopslag in de niet ge-encrypteerde data, gegevens met *discovered keys* en een tekort aan integriteitscontrole van de gegevens. Voor mobiele applicaties ligt de zwakte in het kennen van de gebruikersnaam, geen accountvergrendeling, zwakke wachtwoorden, onveilige gegevensopslag, een onveilig wachtwoordherstel enzovoorts. Een oplossing volgens Singer en Friedman (2014) hierin is dat de meerderheid van cyperaantvallen kunnen vermeden worden dankzij cybersecurity software tools (Handa et al., 2019). Kitchin en Dodge (2017) halen aan dat, ondanks het systeem slechts een zeer korte periode uit ligt, dit alsnog mogelijk kan leiden tot levensbedreigende situaties. Daarnaast geldt ook, dat de C-ITS-subsystemen alleen serieus genomen wordt als het betrouwbaar is. Wanneer men een waarschuwing krijgt zonder dat de wegwakantsystemen iets doen, dan is het voor de bestuurder een verwarrende situatie. Dit hoeft maar éénmaal voor te komen en bestuurders zullen er niet of nooit meer gebruik van maken. Dit benadrukt ook hoe belangrijk cybersecurity van wegwakant-informatiesystemen, of road ITS-systemen, is (Hamers et al., 2019).

3.4. Samenvatting

C-ITS-subsystemen hebben werkelijk een invloed op de doorstroming, de CO₂-emissies en de verkeersveiligheid. Dat is bewezen aan de hand van de toegelichte proefprojecten in deze masterthesis. Wel is ook gebleken dat wanneer diverse C-ITS-subsystemen worden gecombineerd, deze C-ITS-subsystemen elkaar kunnen benadelen, waardoor de resultaten minder interessant zijn. Beleidsmakers hebben hierin een belangrijke taak om de juiste C-ITS-subsystemen met elkaar te combineren. Belangrijk is ook dat bij de keuze van C-ITS-subsystemen, beleidsvoerders de doelstellingen, die ze willen bereiken, voor ogen houden.

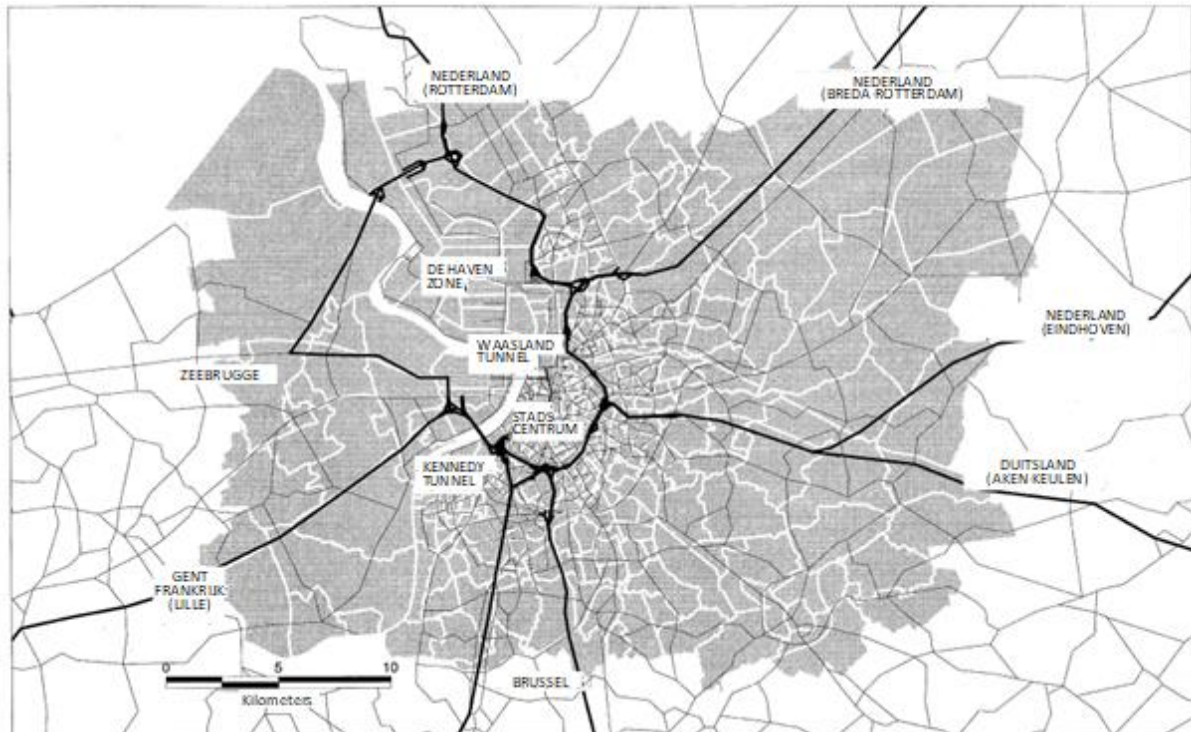
Naast het feit dat deze C-ITS-subsystemen wel degelijk voordelen bieden, zijn hieraan echter ook nadelen verbonden. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat C-ITS-subsystemen dan wel een invloed hebben, doch zijn er nog diverse andere variabelen die de verkeersveiligheid en de doorstroming bepalen. Anderzijds moet de bestuurder ook kunnen omgaan met deze nieuwe technologie. Oudere, jongere en nieuwe bestuurders dienen hierin opgeleid te worden. Bovendien staat of valt alles met de kwaliteit van de app: deze moet onder andere just in time functioneren, handig zijn in gebruik, doch zijn hierin nog elementen voor verbetering vatbaar zoals de integratie van de app in het navigatiesysteem of het gebruik van een spraakmodule. Het is noodzakelijk dat er voldoende aandacht besteed wordt aan voldoende bescherming van de persoonlijke data (privacy) enerzijds en aan voldoende bescherming tegen mogelijke cyberaanvallen anderzijds.

3.5. VLCC

Ondanks de voordelen inzake doorstroming, emissie en verkeersveiligheid draagt het project CITRUS en C-the-Difference ook diverse knelpunten, dewelke werden toegelicht in de kritische noot. Om deze reden wordt getracht een beeld te scheppen van een andere wijze waarop het verkeer geregeld wordt om de veiligheid en de doorstroming te verbeteren, met name de verkeerslichtencoördinatiecomputer van Antwerpen.

3.5.1. Plaatsgesteldheid en verkeerssituatie

Antwerpen heeft een ingewikkeld mobiliteitssysteem met factoren die elkaar dwarsbomen, namelijk de stad, de rand, de haven, het doorgaande verkeer (Het Vlaams Gewest, 2010). De bereikbaarheid van en naar de haven is van economisch belang, niet alleen voor Antwerpen zelf, maar voor geheel België (Verhetsel, 2001).



Figuur 19: Plaatsgesteldheid en bereikbaarheid Antwerpen (Verhetsel, 2001)

Zoals aangeduid op de kaart (zie figuur 19), ligt de haven in het noord/noord-westen van de stad Antwerpen. In het noordoosten van de stad ligt een uitgestrekt gebied met voornamelijk woonwijken, en van daaruit vertrekken ook twee belangrijke autowegen, naar Nederland (Breda/Rotterdam) en naar Genk/Aken. In het zuidoosten liggen naast de residentiële woonwijken ook uitgangswegen naar Brussel, met daarbij ook de Kennedytunnel (Verhetsel, 2001). Bovendien heeft Antwerpen ook de drukbezochte Waaslandtunnel en liggen in het westen van de stad uitvalswegen naar Zeebrugge en Gent/Lille, waarbij verkeersmanagement zeker noodzakelijk is. Antwerpen is bovendien een stad van een steeds stijgende hoeveelheid bewoners, werkgevers en dus ook werknemers (Verhetsel, 2001). Antwerpen wordt gekenmerkt door heel wat vrachtverkeer, alsook de E17 tot aan de Franse grens (Statistiek Vlaanderen, 2016). Volgens Van Brusselen et al. (2016) gebruiken 300 000 voertuigen elke dag de Antwerpse Ring, waarvan 27 procent bestaat uit vrachtverkeer. De grote regio om Antwerpen alsook de E17 tot aan de Franse grens worden gekenmerkt door een hoog aandeel vracht omwille van het grote aantal vrachtwagens en een laag aantal personenwagens nabij de landsgrens. Daarbij snijdt deze Antwerpse Ring zeer dichtbevolkte woongebieden van meer dan 11 000 inwoners per km². Binnen een straal van 1 500 meter van deze ring wonen 352 000 mensen. Binnen een omtrek van 500 meter zijn 55 scholen en ziekenhuizen, waarbij 12 scholen en 75 kinderdagverblijven zich bevinden in een gebied waar de

dagelijkse gemiddelde fijnstofconcentraties de Europese limieten overschrijden (Van Poppel, 2012). De universiteit van Antwerpen onderzocht in de studie *The Impact of Planning and Infrastructure measures on Rush Hour Congestion in Antwerp, Belgium* de impact van diverse beleidsmaatregelen om de verkeersproblemen in de stad te verminderen. Daaruit kwam naar voren dat de grote investeringen in de infrastructuur, kostelijke en politiek-moeilijke projecten enkel deels en slechts lokaal resultaten zullen halen (Verhetsel, 2001). Nadeel is dat bij de ontwikkeling van de infrastructuur men altijd gebonden is, vermits dat 90 procent van het netwerk al vastligt (Van Nes, 2002). Volgens Verhoeven (2006) zorgen de files in en rond de stad Antwerpen voor 30 procent van de totale verliesuren op het hoofdwegennet in Vlaanderen (Vlaamse Overheid, 2011). De toegangswegen van en naar Antwerpen en de Antwerpse Ring kunnen echter de verkeersstromen tijdens de spitsuren nauwelijks verwerken. Bovendien zorgen de beperkte capaciteit en het feit dat er weinig of geen alternatieve wegen zijn, dat Antwerpen extra gevoelig is voor ongevallen. (Vlaamse Overheid, 2011; Verhoeven 2006). In 2015 wordt er een nieuw mobiliteitsplan opgesteld: "Antwerpen Actief en Bereikbaar" (Verhaert & De Pooter, 2015). In 2016 werd het project met de VLCC of verkeerslichtencoördinatiecentrale gestart, die ervoor moet zorgen dat de doorstroming en de verkeersveiligheid verhoogt en waarbij het accent ligt op de voetgangers, de fietsers, het openbaar vervoer en het autoverkeer. Dit project wordt toegepast op enerzijds de gehele regio en anderzijds ook op elk kruispunt en dit aan de hand van dynamische lichtenregeling. De verkeerslichtencoördinatiecentrale (VLCC) komt tot stand (Palmer, 2019; Agentschap Wegen en Verkeer, 2018; Corthout, 2016).

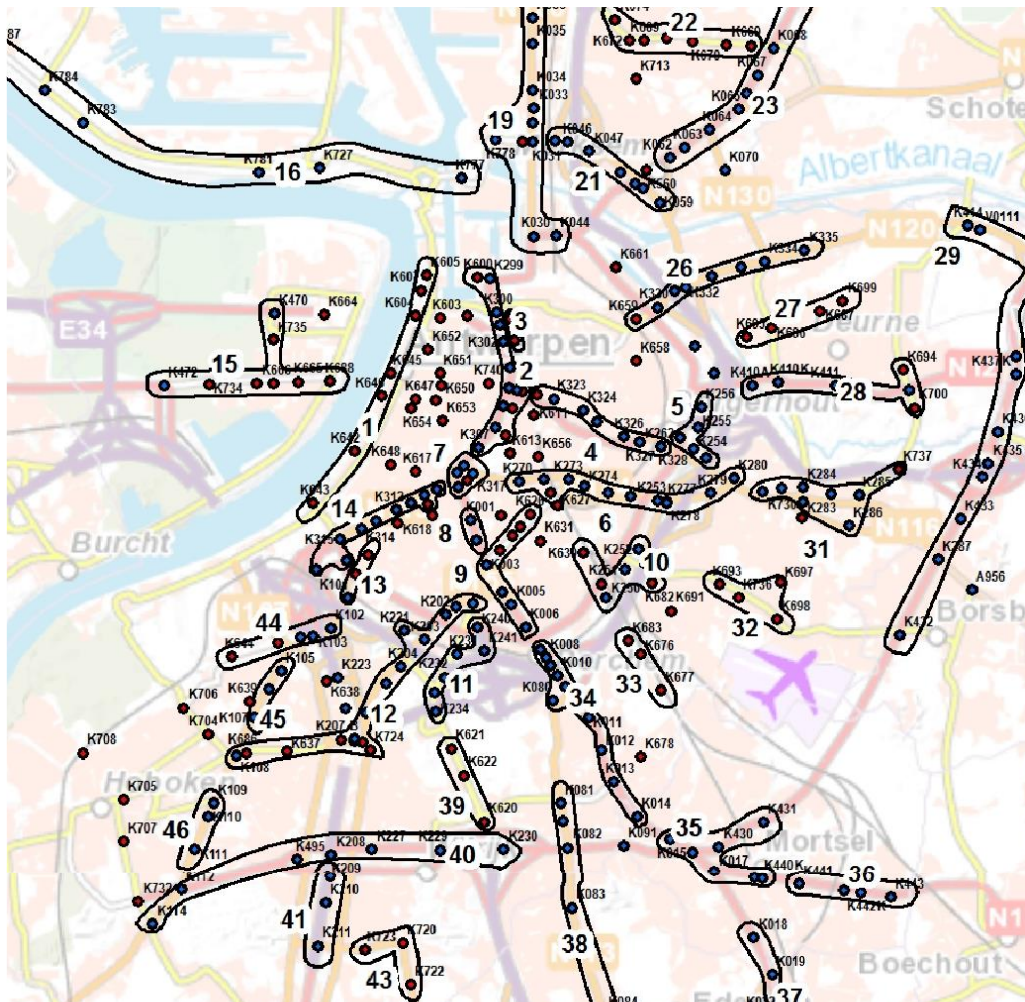
3.5.2. Wat is VLCC?

De VLCC is een technologisch up-to-date en dynamische lichtregeling, die anticipeert op het verkeersaanbod, doch dit vanuit een andere invalshoek dan de projecten CITRUS en C-the-Difference. De VLCC maakt zelf een snelle en veilige beslissing op basis van real-time gegevens, die komen van de diverse kruispunten. De intelligentie van de VLCC zit volgens expert verkeerslichten en verkeersmodellen Rodric Frederix eigenlijk in de intelligentie per kruispunt (volledige interviewtranscripten zijn opgenomen in Bijlage 3). Er is met andere woorden een overkoepelende intelligentie dankzij de eigen lokale intelligentie. Alvorens de verkeerscentrale geïnstalleerd werd, zijn alle verkeerslichten opnieuw bekeken of ontworpen en werd er aan deze verkeerslichten een hele hoop extra intelligentie gegeven. De VLCC ontvangt dus enorm veel data over wat er zich op de weg afspeelt, waardoor deze alsmaar intelligenter wordt en dus alsmaar meer correcte beslissingen kan geven. Kortom hoe meer de verkeerscomputer gevoed wordt met data, hoe intelligenter deze wordt (Stassijns, 2018), ook wel machine learning genoemd. Zhang (2020) en Mohri et al. (2018) omschrijft machine learning als een geheel van artificiële intelligentie, waarbij een wiskundig model wordt opgezet op basis van data om voorspellingen of beslissingen te maken. Doordat de verkeerscomputer tal van voorgeprogrammeerde lichtenregelingen heeft, speelt deze in op de diverse verkeerssituaties afhankelijk van de gemeten verkeersdrukke (Stassijns, 2018). Deze voorprogrammeringen worden telkens opnieuw gemonitord, en verbeterpunten worden door de VLCC aangehaald. Zo worden er reguliere-, slecht weer-, en lokale scenario's uitgeschreven. Met de reguliere scenario's bedoelt men de verkeersdrukke tijdens de ochtend- en avondspits, tijdens de nacht en tijdens dalperiodes. Met slecht-weer-scenario's tracht men de doorstroming te garanderen

bij extreme weersomstandigheden, die de situatie op de weg beïnvloeden. Met lokale scenario's past men de verkeersregeling aan aan lokale situaties, zoals de verkeersdrukte tijdens een ongeval of op een zaterdagmiddag, of speelt men in op een lokaal evenement zoals de 10-miles of een evenement in het Sportpaleis (TMLeuven, 2016). Antwerpen wordt voor dit project ingedeeld in regelgebieden, waarbij de kruispunten, die verkeerskundig samenhangen, op elkaar worden afgestemd (Agentschap Wegen en Verkeer, 2018). Geïsoleerde kruispunten worden verzameld in clusters (TMLeuven, 2016).

3.5.3. Hoe werkt VLCC?

Er dienen fundamentele afwegingen te worden gemaakt bij het ontwerpen van deze verkeerslichtenregeling. De afwegingen zorgen ervoor dat alles op een dynamische manier kan afgesteld worden. Met de diverse afwegingen wordt er rekening gehouden met de doelgroep, namelijk de fietser, de auto, de voetganger en het openbaar vervoer (TMLeuven, 2019). De voornaamste afweging is het vermijden van de fileterugslag (TMLeuven, 2018). Met fileterugslag wordt bedoeld dat door de omvang van een huidige file op een bepaald wegvak ook op andere wegvakken van dezelfde weg of andere wegen de doorstroming kunnen worden geblokkeerd (Miete, 2011; Willekens, 2020). Hiervoor wordt in de stroomopwaartse richting gekeken welke snelwegen worden beïnvloed (Snelder et al., 2011). De volgende afweging zijn de minimale kwaliteitsvereisten, waarbij er een minimale wachttijd per vervoersmodi wordt vooropgesteld, en dit inzake de wensnelheid en de vrije snelheid, binnen en buiten de singel, rekening houdend met een al dan niet prioritaire as (TMLeuven 2020). Dit verwijst onmiddellijk naar een volgende afweging. Met de prioritaire as wordt bedoeld de categorisering van het routenetwerk, waarbij elke vervoersmodi ingedeeld wordt in categorieën van de wegen. Zo is er voor de auto en de fietser de verbindende hoofdas, de verzamelende as en de lokale ontsluitende as. Ook voor het openbaar vervoer en de voetganger is er een hiërarchie in het wegennet. Daarnaast worden bepaalde wegen ook bestempeld als prioritaire routes, dewelke een andere voorrangregeling krijgen afhankelijk van hun functie en ligging. Zo zal de Singel een prioritaire route zijn, omdat zij dient als verdeelstructuur van de verschillende invalswegen in en uit het stadscentrum en zo zullen deze invalswegen prioritaire assen zijn (TMLeuven, 2016). Een andere afweging is de indeling in de regelgebieden (zie figuur 20). Dit is een geheel van kruispunten die onderling samenwerken en elkaar beïnvloeden. Dit betekent dat de regelstrategie kan toegepast worden op niveau van elk kruispunt of op niveau van een gehele regio (Corthout, 2016). Naast deze regelgebieden zijn er ook nog losstaande kruispunten, die bewust niet opgenomen zijn in de regelgebieden, aangezien deze geen belangrijke rol spelen binnen de prioritaire routes. Zij horen ook niet samen met kruispunten in de nabijheid, het zijn dus geïsoleerde kruispunten, mede omdat zij geen impact ervaren van en op de andere verkeerslichten van de nabije regelgebieden (Bourgeois, 2016). Deze geïsoleerde kruispunten vertonen ook onderling geen samenhang, doch worden soms wel gegroepeerd in clusters op basis van hun ligging nabij een kruispunt, opdat deze door onderzoekers op hetzelfde moment worden geëvalueerd (TMLeuven, 2016).



Figuur 20: Indeling van de regelgebieden in Antwerpen (TMLeuven, 2016, p. 41-42)

Een belangrijk criterium in deze categorisering is dat er geen absolute prioriteit is in de hiërarchie; lokale belangen kunnen bijvoorbeeld zorgen voor andere beslissingen binnen de prioritisering van het wegennet en ook de prioriteit van de verkeersmodi is niet eindeloos doorgedreven (TMLeuven, 2016).

Binnen de regelprincipes, die worden gebruikt voor het ontwerp van de verkeersregelingen, blijven veiligheid en doorstroming de beoogde doelstellingen (Statistiek Vlaanderen, 2016). Voor een zo efficiënt mogelijke kwalitatieve en veilige afwikkeling is flexibiliteit en coördinatie belangrijk. Met flexibiliteit wordt bedoeld dat signaalgroepen binnen één of meerdere regelgebieden kunnen gesplitst worden over meerdere fasen, kan de cyclustijd ruimer gezet worden of kunnen er meer groenfasen per cyclus ingezet worden. Anderzijds kunnen groenfasen ingekort, verlengd of overgeslagen worden, kunnen fasen absoluut prioritair of conditioneel aangevraagd worden, enzovoorts. Volgens expert verkeerslichten en verkeersmodellen Rodric Frederix is het ook belangrijk om enkel groen te geven aan verkeersdeelnemers die er effectief zijn. Echter dient deze flexibiliteit op een intelligente manier ingezet te worden. Voor de coördinatie wordt er rekening gehouden met de reistijd tussen de twee kruispunten en de snelheid van het voertuig opdat het voertuig bij het volgende kruispunt aankomt wanneer het verkeerslicht juist groen wordt en dus niet

nodeloos moet stoppen (TMLeuven, 2016; TMLeuven, 2019). Dankzij de VLCC is de regeling telkens opnieuw maatwerk.

Bij de doelstelling om verkeersveiligheid te creëren, mikt men op het ontwerp van conflictvrije verkeerspunten. Zo dienen de verschillende richtingen apart groen te krijgen, en dus moet de tijd verdeeld worden over de verschillende richtingen. Er dient dus de afweging te worden gemaakt of de groene verkeersstroom wordt behouden of dat deze net doorbroken wordt. Echter verkiest expert verkeerslichten en verkeersmodellen Rodrick Frederix in het VLCC project zelden voor een groene golf, doch eerder voor een flexibele regeling. Dit omdat een groene golf voordelig is voor de verkeersdeelnemers voor wie de groene golf bestemd is, doch nadelig voor de andere verkeersdeelnemers. Bij een groene golf worden de zijtakken benadeeld, in tegenstelling tot bij een flexibele regeling van de verkeerslichten. Bij de flexibele gaan de zijtakken er zelfs op vooruit, aangezien deze nu op basis van verkeersaanbod mee worden opgenomen in de flexibele regeling. Ook focust een groene golf zich vooral op het autoverkeer, wat voor de onderzoekers en het beleid niet meer bovenaan staat. Het gevolg van een groene golf is ook dat de wachttijd aan het verkeerslicht toeneemt. Doordat een groene golf verkeerslichten met elkaar 'verbindt' zonder te communiceren, betekent dit volgens expert Frederix dat er één kruispunt maatgevend is. Dit betekent dat andere kruispunten met een te kleine bufferruimte (namelijk 100 tot 150 meter), ook wel saswerking genoemd, dezelfde cyclustijd dienen over te nemen. Deze maatgevende lichten worden bepaald op basis van voorafgaande metingen omtrent verzadiging, alsook voorontwerpen. Echter probeert in Antwerpen de groene golf zo weinig mogelijk te gebruiken en verkeerslichten met elkaar te laten communiceren. VLCC tracht hierop in te spelen door aan de hand van lussen in het wegdek te detecteren wanneer auto's meer of minder groentijd nodig hebben (Igbinosun & Omosigho, 2016; Zhang & Wang, 2011). Zo tracht men groen licht te geven wanneer dit nodig is en nodeloos groen licht uit te sluiten (Palmer, 2019; expert verkeerslichten en verkeersmodellen Rodric Frederix).

Al deze diverse afwegingen zorgen ervoor dat de regeling van de verkeerslichten zeer dynamisch zijn. De vooropgestelde doelstellingen, veiligheid en doorstroming (Richtlijn 2010/40/EU), dienen behaald te worden en dit op basis van vooraf opgelegde streefwaardes. Doch door de verschillende mogelijkheden van afweging kunnen er ook verschillende scenario's ontwikkeld worden. De resultaten van deze diverse scenario's worden, na proef, met elkaar vergeleken en krijgen een quotatie. Eén jaar nadat de regelingen zijn geïmplementeerd worden deze opnieuw geëvalueerd op basis van metingen ter plaatse. Indien de voorop vastgelegde waardes niet gehaald worden, en de oorzaak is niet te vinden bij een verandering van de verkeersvraag ten opzichte van het vooronderzoek, betekent dit een herontwerp van deze regelingen. Indien er wel een verandering is ontstaan in de verkeersvraag, kan een tekortkoming op vlak van de doelstellingen hiervan de oorzaak zijn. Indien er bijvoorbeeld een groot concert plaatsvindt dat niet was opgenomen in de doelstellingen bij het vooronderzoek, maar waardoor de verkeersvraag wel verandert, dan zullen de regelingen niet herontworpen worden, doch wel de doelstellingen (TMLeuven, 2019). Anderzijds wordt in bijvoorbeeld regelgebied 11 de doelstelling wel behaald, namelijk het verhogen van de verkeersveiligheid aan hand van de implementatie van conflictvrije verkeerslichten, doch is dit ten koste van de voetgangers, waar hun minimale kwaliteitseis niet wordt behaald (TMLeuven, 2020).

3.5.4. De resultaten

Volgens Ruben Corthout, onderzoeker bij TMLeuven, zijn er op dit moment nog geen overkoepelende analyses gebeurd van VLCC, enkel ontwerpstudies en slechts een 5-tal ex-post evaluaties van de afzonderlijke regelgebieden. Bovendien hebben de COVID-maatregelen een vertekend beeld op de vergelijking voor en na, waardoor algemene conclusies trekken nog niet echt mogelijk is.

Van regelgebied 11 is er reeds een ex-post evaluatie opgesteld, en dit na 1 jaar implementatie. Het regelgebied 11 omvat de Desguinlei in beide richtingen, de Binnensingel in beide richtingen, de Vogelzanglaan in beide richtingen, de Beukenlaan in beide richtingen, de Oprit A12 en de afrit R1. Eerst wordt er een vergelijking gemaakt van de tellingen voor en na de implementatie, zodat men kan vaststellen of de verkeersvraag ongeveer dezelfde is gebleven. Nadien worden de doelstellingen bekeken en de minimale kwaliteitsvereisten. Daarna volgt de conclusie (TMLeuven, 2020).

De hoeveelheid verkeer op alle meetpunten in het regelgebied 11 is tijdens de ochtendspits en de avondspits gedaald. Dit is deels te wijten aan de geldende COVID-maatregelen. Ook de geïsoleerde kruispunten worden geëvalueerd, en ook hier stelt men vast dat er opmerkelijk minder verkeer aanwezig is, zowel in de ochtendspits als in de avondspits. Op één van de geïsoleerde kruispunten is deze daling echter beperkt. Deze beperkte daling is er gekomen omdat men bewust een kortere groentijd had ingesteld op dit verkeerslicht, waardoor de wachtrijen ook groter worden (Anastasiadou & Vougiaris, 2019). Echter kan algemeen geconcludeerd worden dat de verkeersvraag dezelfde is gebleven. Voor het fietsverkeer zijn de doelstellingen bereikt: de fietsroutes zijn performanter en de snelheid van de fietser is beduidend gestegen. Dit wordt per route bekeken, zowel in de ochtendspits als in de avondspits, en dit wordt vergeleken met de voormeting en de simulaties. Ook de gemiddelde snelheden van het autoverkeer zowel tijdens de ochtendspits als de avondspits komen overeen met de voorspellingen. Er is geen fileterugslag vastgesteld, al kan dit ook wel te wijten zijn aan de COVID-maatregelen. Het openbaar vervoer komt in dit regelgebied niet voor. Voor de voetgangers wordt de minimale kwaliteitseis (TMLeuven, 2016) nipt of net niet gehaald op sommige kruispunten. Zij dienen langer te wachten voor een verkeerslicht. Dit komt omdat de groenfase voor het autoverkeer in een cyclus vroeger opkomt dan aanvankelijk is vastgelegd, en in een volgende cyclus extra lang wordt verlengd. De prioritaire doelstelling in regelgebied 11 is de verkeersveiligheid te verhogen door de implementatie van meer conflictvrije verkeerslichten. Ondanks deze implementatie is er alsnog een verbetering van de doorstroming gemeten. Cijfermatig wordt dit op elk aspect uitgebreid uitgewerkt en gestaafd in de ex-post evaluatie van regelgebied 11 (TMLeuven, 2020).

3.5.5. Het vrachtverkeer en VLCC

In Antwerpen mikt het VLCC niet op het vrachtverkeer. Jean-Pierre Blocken, Eerste commissaris, gepensioneerd diensthoofd Centrex, alsook zaakvoerder van het bedrijf Legevia, meent dat het prioriteit geven aan vrachtverkeer zeer ineffectief is (volledige interviewtranscripten zijn opgenomen in Bijlage 2). Expert Frederix staat Blocken bij. Hij meent dat het prioriteit geven voor vrachtwagens aan de hand van de huidige magnetische, ondergrondse detectielussen zeer moeilijk is, aangezien het vrachtverkeer moeilijk te herkennen is. De Lijn hanteert wel een systeem dat aan de

verkeerslichten prioriteit geeft voor naderende De Lijn-voertuigen, en dit draadloos of aan de hand van aparte busstroken. Dit is mogelijk omdat De Lijn-voertuigen telkens opnieuw eenzelfde traject afleggen. Echter is dit bij prioritaire voertuigen, zoals brandweerwagens en bezoldigd vrachtverkeer niet het geval. Hun route is onvoorspelbaar. Anderzijds kan men draadloos gaan werken, doch voor de buitenlandse vrachtwagens zit men dan met een technisch, alsook praktisch probleem. Eerste commissaris Blocken heeft vastgesteld dat op de ring van Antwerpen er slechts 20 procent verkeer naar of van de haven komt. De reden hiervan is terug te vinden in het mobiliteitsplan van Antwerpen: 'Een goed georganiseerd vrachtvervoer over het spoor is een belangrijke schakel in een goed functionerend bovenlokaal vrachtroutenetwerk' (Verhaert & De Pooter, 2015, p. 28). In de haven zelf, meent expert Frederix dat er een regelgebied zal opgestart worden in de toekomst. Hierbij kan wel met groene golven worden gewerkt, aangezien er niet veel andere verkeersdeelnemers aanwezig zullen zijn die van belang zijn. Het overige transitverkeer rijdt naar Zeebrugge en maakt daar de oversteek naar Engeland. Transitverkeer is volgens Eerste commissaris Blocken moeilijk te voorspellen. Immers Antwerpen krijgt zowel verkeer vanuit bijvoorbeeld Breda/Rotterdam via de E313 als van Genk/Aken. Bovendien bepaalt het mobiliteitsplan van Antwerpen dat de ontsluiting van de stad en de haven voor auto- en vrachtvervoer niet binnen hun stedelijke bevoegdheden valt, ondanks deze ontsluiting vitaal is voor de stad (Verhaert & De Pooter, 2015). Blocken meent echter dat de betreding van vrachtverkeer beperkt is in woonwijken, om de bewoners niet te hinderen, doch met uitzondering van het bestemmingsverkeer. Het moet natuurlijk wel nog mogelijk blijven dat er mazout wordt geleverd, of een verhuishwagen zijn diensten levert. Ook worden er nog andere beperkingen opgelegd om het vrachtverkeer uit bepaalde regio's van de stad te bedwingen zoals verboden doorgang, het parkeren binnen een bebouwde kom, kilometerheffing, verboden te parkeren op pechstroken, beperkingen op vlak van lengte, massa, hoogte (Artikel 27 quater, wet betreffende de politie over het wegverkeer; Koninklijk besluit; Wegcode).

Hoewel het vrachtverkeer dus niet de focus is in de VLCC te Antwerpen door de zonet aangehaalde redenen, kunnen andere steden, die wel de focus willen leggen op het vrachtverkeer hier wel de mosterd halen. De nadelen van het CITRUS-project en C-the-Difference lag voornamelijk in de app, terwijl het gehele VLCC-project zonder app-gebruik werkt.

3.5.6. Conclusie

C-ITS zal nu en in de toekomst een waaier van mogelijkheden bieden om de veiligheid en het rijcomfort van de weggebruiker te verbeteren. Echter een innovatieve oplossing is nooit het enige middel om de verkeersveiligheid en de doorstroming aan te pakken. Er moet met diverse factoren rekening gehouden worden bij de implementatie van een C-ITS-subsysteem, zowel met de omgeving als met de weggebruikers zelf. Indien men C-ITS wenst toe te passen, moet men eerst bepalen op welk gedrag het C-ITS-subsysteem moet ingrijpen, en hoe het C-ITS-subsysteem zal moeten gaan inspelen op de gegeven verkeerssituatie. Op basis van deze kennis wordt bepaald of en welk C-ITS-subsysteem effectief kan zijn en aan welke specifieke voorwaarden deze moet voldoen. Verkeersomgevingen zijn complexe omgevingen, waarbij er altijd beïnvloedende factoren zullen zijn. Daarom is het opstarten van pilots een must, alvorens C-ITS grootschalig toe te passen. Op basis van resultaten van andere pilots, kan er een pilot op maatwerk doorgevoerd worden. Immers, de

winst op vlak van doorstroming en luchtkwaliteit is specifiek afhankelijk van stad tot stad. Zo willen Helmond en Bordeaux met de resultaten van hun studie, ervaringsgericht advies en praktische begeleiding aan andere steden geven over het plannen en implementeren van C-ITS. 20 steden deden nadien mee aan workshops in oktober 2017 in Helmond en in november 2017 en juni 2018 in Bordeaux om de stedelijke mobiliteit te promoten en dialoog aan te gaan tussen de lokale overheden en de steden.

3.5.7. Samenvatting

Omwille van het ingewikkeld mobiliteitssysteem wordt Antwerpen geconfronteerd met steeds meer verkeersproblemen in de stad. Uit onderzoek door de Universiteit Antwerpen blijkt dat grote investeringen in de infrastructuur zeer kostelijk zouden zijn, zouden leiden tot politiek-moeilijke projecten en erger nog, slechts lokaal resultaten zullen behalen. Aan de hand van het ontwerp van een nieuw mobiliteitsplan en de opstart in 2016 van het project met de verkeerslichtencoördinatiecentrale, wilt men de doorstroming en de verkeersveiligheid in Antwerpen verhogen. De doelgroep zijn de voetgangers, de fietsers, het openbare vervoer en het autoverkeer. Deze verkeerscomputer is enorm dynamisch, want deze kan inspelen op diverse verkeerssituaties, afhankelijk van de gemeten verkeersdrukke. Het dynamische aspect is gestoeld op diverse afwegingen binnen de regelprincipes. Telkens opnieuw zullen de verkeerslichten in regelgebieden geëvalueerd, en desnoods bijgestuurd worden. Binnen elk regelgebied worden de resultaten jaarlijks cijfermatig uitgebreid onderzocht, uitgewerkt en nadien gestaafd. Binnen het VLCC project, wordt het vrachtverkeer niet opgenomen in de doelgroep, echter is dit hoogtechnologisch project een realistisch uitgewerkt idee om ook vrachtverkeer te betrekken in andere toekomstige projecten.

4. Implementatie van slimme verkeerslichten: een pad naar de toekomst

De vraag die moet gesteld worden is, wat deze innovaties brengen naar de toekomst. Aan de hand van deze masterthesis is er een inzicht gegeven dat met behulp van innovatieve informatie- en communicatiesystemen dagelijks een grote hoeveelheid real-time gegevens worden verzameld, verwerkt en gebruikt.

De verkeerslichten moeten net zo goed reageren op de chauffeurs als de chauffeurs op de verkeerslichten, doch de sensoren staan nu dicht bij de verkeerslichten, alleen omdat er historisch gezien geen andere manier is geweest (Apple et al. 2011). Apple et al. (2011) halen aan dat als de bestuurders nauwkeurige informatie krijgen met betrekking tot hun beoogde route, er geen enkele reden bestaat waarom de informatie dan niet minuten eerder kan gegeven worden. Vrachtwagenbestuurders die meer dan 3 kilometer op voorhand voor de gebeurtenis gewaarschuwd worden, en dus meer tijd hebben, kunnen dan opteren voor een alternatieve route. Beter nog zou zijn, dat de applicatie opgenomen wordt in het navigatiesysteem, waarbij als gevolg van de waarschuwing tegelijkertijd een alternatieve route wordt voorgesteld. Idealiter zou zijn dat de vrachtwagenbestuurder zicht heeft vanuit zijn vertrekpunt waar de eventuele file zich situeert. Op die manier kan de vrachtwagenbestuurder inschatten of hij al dan niet vanuit het warehouse vertrekt met zijn vrachtwagen, of beter ter plaatse blijft (en eventueel andere opdrachten uitvoert). Op deze manier kan er beter ingespeeld worden op de fileproblematiek, want uiteindelijk zijn we allemaal eindgebruikers die het liefst zo weinig mogelijk tijd besteden aan een rit over de weg (Apple et al., 2011; Biswal et al., 2020).

Ook kan het V2V en het V2I nog beter ge-up-dated worden. In India managet men het verkeer aan de hand van VCST (voice-controlled smart traffic), waarbij de 'gewone' verkeerslichten gemonitord worden aan de hand van specifieke stemcommando's en slimme verkeerslichten. In dit systeem wordt gebruikt gemaakt van eenvoudige spraakopdrachten zoals rood, groen, geel en stop, die worden gebruikt om het systeem te bedienen. De spraakopdracht wordt doorgestuurd met behulp van een Android-applicatie naar de Bluetooth-module, die met succes onderscheid maakt tussen vooraf opgeslagen opdrachten en ze precies identificeert om het verkeerslichtensysteem te bedienen. Het onderzoek van Ekeila et al. (2009) toont aan dat een dynamisch TSP-systeem zelfs nog betere prestaties neerzet dan het conventioneel TSP-systeem, dat momenteel in veel steden wordt gebruikt. Door gebruik te maken van een aankomst-voorspellingsmodel, controleert het algoritme de voorspelde aankomsttijd van de bus. Op basis hiervan wordt een geschikte TSP-oplossing geselecteerd en toegepast op de verkeersregeling. Ekeila et al. (2009) tonen aan de hand van twee simulaties aan dat het dynamische TSP-algoritme beter presteert dan het conventioneel TSP-algoritme. Het dynamische TSP-algoritme kan naar de toekomst nog uitgebreid worden, met een groter gamma van TSP-oplossingen waarbij het compensatieherstel wordt bepaald op basis van de wegging van de bussen. Op basis van het gewicht krijgen ze prioriteit. Verder onderzoek met een volgeladen vrachtwagen (Ekeila et al., 2009), of een vrachtwagen met een gevaarlijke lading

(mobilidata, n.d.), dewelke wel prioriteit krijgt ten opzichte van een lege vrachtwagen is een mogelijkheid.

Ondertussen is er in België ook een project in ontwikkeling waarbij gebruik wordt gemaakt van artificiële intelligentie, waarbij de vele data die in de cloud zitten, verrijkt met camera's, zoals ANPR, de verkeersstromen kunnen voorspellen. De verschillende voertuigen worden van elkaar onderscheiden op basis van de kentekenplaten. Op deze manier kan de doorstroming van onder andere vrachtverkeer beter gemanaged worden. Files in Vlaanderen kunnen worden voorspeld op basis van de situatie in bijvoorbeeld Frankrijk, zodat bijvoorbeeld de Vlaamse vrachtwagenchauffeurs kunnen worden geïnformeerd. Zo kunnen vrachtwagenbestuurders hun tijd beter benutten en wachten totdat de situatie op de weg is opgeklaard. De bestuurder op de weg kan geïnformeerd worden aan de hand van dynamische rijstrooksignalisatie. Op deze manier kan men economisch een enorme sprong vooruit maken: enerzijds op verkeerskundig vlak verbeterd de doorstroming en de verkeersveiligheid, doch anderzijds kan op deze manier de planning voor de aanrijtijden voor de vrachtwagens optimaal opgesteld worden. Want een vrachtwagen die stilstaat, kost geld (Commissaris Gerry Peeters).

Als er gesproken wordt over capaciteit en files in de stad, kan er ook nagedacht worden over het creëren van bijkomende ruimte, namelijk het luchtruim. Zo spreken depré et al. (2018) in 'Slimme mobiliteit: Multimodale en geconnecteerde mobiliteitsoplossingen voor de steden van vandaag en morgen' over Pop.UP Next, een auto die op de grond maar ook in de lucht kan bewegen (Depré et al., 2018). Audi heeft in 2018 zijn prototype ontwikkeld. Agoria spreekt ook van de Octocopter, een passagiersdrone die één individu kan transporteren voor een duur van 23 minuten aan 100 km per uur, of grootser nog, van een hyperloop. Hierbij worden mensen in capsules vervoerd. Eén capsule kan 10 tot 20 personen vervoeren met een maximumsnelheid van 1 200 km per uur (Ahmed et al., 2021). Elon Musk ontwikkelt tezamen met zijn bedrijven Tesla, SpaceX en The Boring Company het transportsysteem dat gebaseerd is op een luchtdrukbus, waardoor goederen en zelfs mensen vervoerd kunnen worden (Vance, 2016).

Ook Foina et al. (2015) richten zich op de drones, die door de Amerikaanse Federal Aviation Agency (FAA) zijn omgedoopt tot Unmanned Aerial Systems (UAS). Deze robotvluchten zouden het meest waardevol zijn voor de economie van het land, doch kan niet worden gerealiseerd zonder een nieuwe generatie luchtverkeersleidings- en beheersdiensten. Foina et al. (2015) bespreken een cloudgebaseerd systeem voor kleine UAS-vluchten op lage hoogte in dichtbevolkte steden, waarbij drones in de openbare ruimte vliegen om goederen en informatie te leveren. Dit vereist een onbemand luchtverkeersbeheer in de hele stad, prototype sensorsystemen die door de stadspolitie nodig zijn om de stad veilig te houden en een analyse van controlesystemen voor het vermijden van botsingen.

Het geeft stof tot nadenken.

5. Conclusie

Het aantal vrachtwagens, bestelwagens, tankwagens en landbouwtrekkers is tussen 2007 en 2020 gestegen met 37,6 procent. De wegendrukke en de verkeersintensiteit op de autowegen zijn eveneens sterk gestegen doorheen de jaren. In 2014 was 83 procent van de gereden kilometers van vrachtwagens en personenwagens, wat eveneens een impact heeft op de filezwaarte. Ook de bezettingsgraad per voertuig daalt sinds het jaar 2000. In 2017 legden de Belgische bestelwagens en de opleggetrekkers opvallend meer kilometers af. Ook de buitenlandse vrachtwagens en opleggetrekkers vormen een groot aandeel in het Belgisch wegverkeer. Onderzoek van Depré et al. (2018) argumenteert dat het aantal tonkilometers in België tegen 2030 met 44 procent zal toenemen. Omwille van bovenstaande problematiek is het duidelijk dat het verkeer op de Belgische wegen dient gemanaged te worden. Één van de mogelijkheden is de implementatie van de slimme verkeerslichten.

De voordelen van de inzet van slimme verkeerslichten in andere landen zoals Nederland, Zweden, India, Saoedi-Arabië, Spanje, Griekenland, Brazilië, enzovoorts, komen steeds in dezelfde vorm terug, namelijk een stijging van de doorrijks, het aantal rodelichtovertredingen vermindert, het rijcomfort neemt toe, minder schadelijke uitstoot, het aantal gevallen van dilemmazone en rodelichtnegatie vermindert sterk, het aantal ongevallen vermindert en de kosten voor vertraging en de exploitatiekosten van het voertuig liggen lager. De inzet van slimme verkeerslichten levert ook informatie op voor toekomstig wegontwerp en -aanleg en zelfs voor noodzakelijke of dringende verbeteringen op knooppunten. Echter is in andere landen één van de grootste bekommernissen de dekking van het internet en een gebrek aan universele standaarden. De data flow, gerelateerd aan de slimme verkeerslichten, brengt een aantal uitdagingen met zich mee met betrekking tot de opslag van zware databestanden, veilige toegangen en het gebruik en exploitatie van de gegevens, doch hierbij verwijst men als oplossing al onmiddellijk naar de cloudtechnologie. Een nadeel van de slimme verkeerslichten op een kruispunt is dat ingevolge een langere groentijd voor de ene rijrichting, de wachttijden op de conflicterende richtingen toeneemt.

Gelet op alle voor- en nadelen van deze slimme verkeerslichten in de andere landen, wordt gekeken op welke plaatsen in België de slimme verkeerslichten het best geïmplementeerd worden. De wettelijke bepalingen, de invloed van de stakeholders en het belang van de bestaande verkeerssituatie zijn de drie bepalende criteria. Project CITRUS in Halle, C-The-Difference in Helmond en Bordeaux en de VLCC te Antwerpen worden gebruikt als casestudies in deze masterthesis om te onderzoeken of de implementatie een invloed op de weg heeft op vlak van verkeersveiligheid, de CO₂-uitstoot en de doorstroming. In het project CITRUS kwam naar voor dat door het gebruik van een app de bestuurder alerter is en daardoor veiliger rijdt. Een nadeel van de applicatie is echter dat deze de bestuurder kan afleiden. Ervan uitgaand dat 50 procent van de bestuurders alerter zijn dankzij de waarschuwingsberichten, betekent dit een vermindering van 5,5 procent op het aantal ongevallen met vrachtwagens. Dit betekent dat er jaarlijks 3,2 levens gered kunnen worden (Logghe et al., 2020). Anderzijds wordt de verkeersveiligheid ook gemeten op basis van de snelheid aan de hand van de snelheidsaanpassing na de waarschuwingsberichten voor een naderende file en voor de mobiele wegenwerken. Uit analyse blijkt dat er wel degelijk een vertraging

in snelheid is als het waarschuwingsbericht wordt ontvangen en dit met gemiddeld 0,6 meter per seconde. Echter concludeert men dat er geen verbetering in de verkeersveiligheid is hierdoor, noch in de doorstroming. De testgroep met de applicatie stoot 37 gram minder uitlaatgassen uit.

Het project C-the-Difference is een gelijkaardig project als CITRUS met het verschil dat men hier als doel heeft om diverse C-ITS-subsystemen te implementeren in twee verschillende steden en hierbij een vergelijking van de resultaten maakt. Ook hier concludeert men dat de gebruikers van GLOSA positief beïnvloed worden door de verstrekte informatie en eerder kiezen om te stoppen voor veiligheidsredenen. Dit verhoogt echter zowel de reistijd als het aantal stops, doch op grotere schaal stijgt hierbij wel de verkeersveiligheid. Zowel in Bordeaux als in Helmond is er geen significante verandering in het brandstofverbruik en de doorstroming.

TSP wordt enkel in Helmond toegepast. Er is een aanzienlijke daling van 20,4 procent van het aantal stops per passage op een kruispunt. De gemiddelde reistijd daalt met 3,8 procent en een typische dieseltruck spaart 7,23 procent brandstofverbruik uit. Een vermindering van het aantal vertragingen betekent voor het vrachtvervoer een betrouwbaardere leveringsdienst. Opmerkelijk is dat de voordelen na een simultane implementatie van GLOSA en TSP elkaar teniet doen.

Naast het feit dat C-ITS-subsystemen wel degelijk voordelen bieden, zijn hieraan echter ook nadelen verbonden. Er moet rekening gehouden worden met het feit dat C-ITS-subsystemen dan wel een invloed hebben, doch zijn er nog diverse andere variabelen die de verkeersveiligheid en de doorstroming bepalen. Anderzijds moet de bestuurder ook kunnen omgaan met deze nieuwe technologie. Oudere, jongere en nieuwe bestuurders dienen hierin opgeleid te worden. Bovendien staat of valt alles met de kwaliteit van de app: deze moet onder andere juist in time functioneren, handig zijn in gebruik, doch zijn hierin nog elementen voor verbetering vatbaar zoals de integratie van de app in het navigatiesysteem of het gebruik van een spraakmodule. Het is noodzakelijk dat er voldoende aandacht besteed wordt aan voldoende bescherming van de persoonlijke data (privacy) enerzijds en aan voldoende bescherming tegen mogelijke cyberaanvallen anderzijds.

Met deze nadelen in het achterhoofd wordt in deze masterthesis gekeken naar een technologisch up-to-date en dynamische verkeerslichtenregeling die telkens opnieuw inspeelt op het verkeersaanbod, namelijk het VLCC te Antwerpen. Ondanks dat VLCC niet mikt op het vrachtverkeer lijkt deze toepassing dankzij zijn dynamiek een realistisch uitgewerkt idee dat kan toegepast worden in andere toekomstige projecten. Immers moet er ook rekening gehouden worden met de potentiële innovaties in de toekomst. Voorbeelden zijn het gebruik van artificiële intelligentie in combinatie met ANPR om de verkeersstromen te voorspellen, het prioriteit geven aan vrachtverkeer op basis van hun gewicht, robotvluchten die goederen en informatie aanleveren, enzovoorts.

Het geeft stof tot nadenken.

Bijlagen

3 december 2020

Bijlage 1 Interview met Commissaris Gerry Peeters, Sectiechef Operationele coördinatie en Diensthoofd Interne werking van de Federale politie

CARO GAETHOFS: Hoi, mijn naam is Caro Gaethofs en ik ben student aan de UHasselt. Zoals besproken via mail, onderzoek ik in mijn masterthesis wat de impact van slimme verkeerslichten in België is voor vrachtverkeer op de weg. Zou ik u eerst mogen vragen of ik dit gesprek mag opnemen?

GERRY PEETERS: Ja prima, geen probleem.

CARO GAETHOFS: Oké bedankt. Dan zullen we eraan beginnen. Mijn eerste vraag klinkt als volgt: Kan u mij in het algemeen wat meer vertellen over de keuze en plaatsgesteldheid van het CITRUS-project?

GERRY PEETERS: In 2017-2018 was er al sprake van het implementeren van die slimme verkeerslichten in Halle. De regeling draait behoorlijk op dit moment. Er zijn 2 verkeerslichtengeregelde kruispunten in de nabijheid van de Colruyt depots. Dat is de verbinding tussen de RO en de E19 en dan de E429 richting Henegouwen. Dat is zo een stukje wat je kan vergelijken met de ring rond Hasselt. Dat was een gewone weg (geen auto snelweg), 2 rijstroken in elke rijrichting, en daar waren nog heel wat kruispunten met verkeerslichten. Dat is heel onveilig, dus heeft men gezegd van 'in plaats van er een expresweg en een semi-ring van te maken, gaan we zoveel mogelijk van die kruispunten wegwerken en gaan we proberen om op- en afrittencomplexen te maken alsof het een autosnelweg is. Voor een aantal kruispunten lukte dat niet, en was dat ook niet wenselijk. Onder andere de kruispunten in de onmiddellijke nabijheid van de industrieparken, want als je op- en afritten maakt, maak je ook bochten. Die bochten moeten dan ruim genoeg zijn, want anders gaat je vrachtverkeer daar moeilijkheden krijgen.

CARO GAETHOFS: Dus voor het implementeren van de slimme verkeerslichten wordt er gekeken naar een aantal criteria... Bestaat er in België hierover ook wetgeving of richtlijnen? Want in het paper wat u had aangereikt (handboek ontwerp verkeerslichtregelingen) heb ik gezien dat er een koninklijk besluit, een ministerieel besluit en dienstorders bestaan voor de gewone verkeerslichten.

GERRY PEETERS: De handboeken van Vlaanderen zijn de enige richtsnoeren dat er zijn. Er bestaat wettelijk nergens iets van 'hier moet het aan voldoen', buiten je plaatsingsvoorwaarden (verkeerslicht moet vanonder groen zijn, midden oranje, boven rood). Maar er ligt nergens vast hoe je die moet gaan berekenen. Er zijn alleen die handboeken/ vademeca waarop we ons kunnen baseren. Wat wel goed is, in die handboeken staan een aantal schema's. Als we echt moeten berekenen of de verkeerslichtenregeling nuttig is, heb je verschillende schema's van 'ik heb mijn hoofdas-intensiteiten en mijn zijas-intensiteiten'. Als er geen bijzondere omstandigheden zijn (geen moeilijk zichtbaarheid, niet gelegen in moeilijke bochten,...) dan moet ik me toch gaan richten van 'zijn die zij-intensiteiten van mijn zijtakken voldoende om mijn lichten/ rondpunt te gaan rechtvaardigen?'. Want in sommige gevallen kan het nog steeds beter zijn om een rond punt in te

richten. Dat impliceert wel dat we op 4 assen wachttijden gaan creëren, terwijl bij een doorsnee voorrangregeling ga je slechts in je zijtakken een wachttijd gaan creëren. Daar zijn wel een aantal schema's/ richtschema's voor waarbij je kan gaan zoeken. Maar dat ligt niet zwart op wit vast.

CARO GAETHOFS: Oké bedankt. Dus eigenlijk kunt u zich volledig baseren op de wetgeving, om een slim verkeerslicht NIET ergens te implementeren? Want ik ben ervan overtuigd dat dat ook wel eens gebeurt.

GERRY PEETERS: Op de grens van Scherpenheuvel-Aarschot, dus tussen Demerdal-Aarschot de PZ en tussen Scherpenheuvel stad- Aarschot stad, hebben wij ooit verkeerslichten tegengehouden. Naar aanleiding van een aantal zware verkeersongevallen was er buurtprotest, en de politici, steekvlampolitiek, de actievoerders vroegen een rond punt, en de politici gingen gaan voor verkeerslichten. Maar dat is totaal van de pot gerukt, want die verkeersintensiteit van de zijas gaat niet rechtvaardigen dat ik mijn hoofdas-doorstroming ga verkleinen/ verminderen, gewoon omwille van verkeersongevallen. Ik moet hier misschien wel andere maatregelen treffen. Bvb snelheidsmatigende maatregelen, mijn zijassen misschien gaan inzetten daar waar ze voor voorzien waren, namelijk bestemmingsverkeer, dat naar de wijken moest, en niet het sluipverkeer verder in de hand werken. (dus eerder iets aan het sluipverkeer doen). Dus daar hebben we dan met andere maatregelen hetzelfde bekomen en hebben we sinds 2011 geen noemenswaardige ongevallen meer gehad. Dus daar moet je altijd dat evenwicht tussen de doorstroming en dergelijke zien.

In Halle zijn ze een stap verder gegaan. Want in Vlaanderen in de jaren 2000 hadden wij voor als ons verkeerslicht-ingerichte kruispunten 3 regelingenieurs. In Nederland had je per 15 kruispunten 1 regelingenieur. Dat is de discrepantie. We hadden heel weinig mensen. We hadden dezelfde installaties als in Nederland, alleen konden we ze niet berekenen zoals in Nederland, omdat we gewoon te weinig regelingenieurs hadden. Ondertussen is dat wat verbeterd.

CARO GAETHOFS: En op basis van deze 'minderheid', waar in België zouden we het slimme verkeerslicht-project nog kunnen implementeren om het wegennetwerk te kunnen boosten en waarom?

GERRY PEETERS: Één van de voorbeelden wat er nu staat, zijn voorlopige verkeerslichten vlak bij Diest. Tussen Diest centrum en de opricht van de E314 inde richting van Leuven, de N2. Dus niet het stukje tussen Hasselt en Diest, maar tussen Diest en Leuven. Afrit Diest-Assent is men aan het werken op de baan tussen Diest en Tienen, dat ligt op afrit op 1 van die afslagen van de E314. Maar dan in de richting van Diest heeft men een omleiding voorzien en daar verkeerslichten geplaatst. En die zijn volledig adaptief aan de verkeersstroom. Dus daar houdt men rekening en monitort men met camera's de verkeersstromen om te zorgen dat de zijtak (komende vanuit Assent centrum) onnodig groen krijgen als er geen verkeer is. Ook omgekeerd, als het verkeer begint op te bouwen richting Leuven en Diest, kunnen de lichten onmiddellijk van cyclus aanpassen zodanig dat die verkeerslichten beter afgestemd zijn op de verkeersstroom. Dus nu zelfs bij voorlopige verkeerslichten. Gaan we aftelklokjes plaatsen bij de verkeerslichten aan werken? Nee we gaan maximaal voor de adaptieve regeling, dat is vorige week nog beslist in de werkgroep van AVV.

CARO GAETHOFS: En dat is dus de bedoeling om zo bij de verkeerslichten van het project te Halle te doen?

GERRY PEETERS: In Halle heeft men dat bij de definitieve verkeerslichten gedaan. Daar houdt men niet alleen rekening met de vrachtwagens die vertrekken bij Colruyt of toekomen, maar ook de mensen die de CITRUS-app hebben, zij krijgen een melding van 'als je nu 2 kilometer per uur minder snel gaat rijden, ga je groen hebben op het kruispunt waar je nu gaat toekomen.'

CARO GAETHOFS: En hoe ver staan jullie nu in het project van Halle en waar staan jullie in maart ergens?

GERRY PEETERS: Ze beginnen nu de eerste gesprekken te voeren, want dat was een hele moeilijke. Burgemeesters en schepenen vinden 'waarom zou je voorrang claimen aan camions?' dus we hebben daar heel wat lokale besturen moeten overtuigen dat het ook gaat over de doorstroming van het ander verkeer. Want hoe minder vrachtwagens er in de file staan, is dat telkens 15 meter minder file dat we kunnen vrijmaken. Het gaat dus niet alleen over de economische winst, maar het gaat ook over het ander verkeer. We hebben er heel lang moeten over doen en nu begin oktober heeft men met dit project willen uitpakken.

CARO GAETHOFS: En u bent ervan overtuigd dat dit project positief zal uitpakken?

GERRY PEETERS: Niet alle projecten leveren zomaar win-win op nee, bijvoorbeeld het LZV-project. We zijn beginnen experimenteren met langere zwaardere voertuigen. In België mogen vrachtwagens maximum 44 ton wegen, dat heeft men opgetrokken tot 50 ton. En bovendien heeft men de vrachtwagens langer gemaakt, in plaats van 16 meter heeft men toegelaten dat vrachtwagens 18,75 meter lang mochten zijn. Nu, wat is gebleken? Dat die bijkomende capaciteit onderbenut blijft, omdat we in België met een asbelasting zitten namelijk 10 ton voor een as die niet getrokken is en 12 ton voor een as die wel getrokken is. En wat bleek nu? Dat geen enkele combinatie de ideale mix gaf van meer te kunnen vervoeren en toch niet over die asbelasting te kunnen gaan, waardoor we dan ook voor het milieu heel weinig, heel miniem winsten boeken. Technisch zaten we buiten de toleranties van de asbelastingen. Wat zeiden ze me vandaag: duid de dode hoek aan op de weg om reflecteren op de baan. Vanaf het moment dat die vrachtwagen zijn richtingaanwijzers opzet, heeft die bijkomende lichten die op de baan schijnen om zwakke of niet beschermde weggebruikers te gaan verwittigen van 'pas op ge zit in mijne dode hoek'. En met dat project was ik met Koen Vandevelde van de innovatiecel, en die zeggen we kunnen nu, buiten onze normale capaciteit, dus buiten de capaciteit wat we van bier zouden laden bij INbev, wat promotiemateriaal meegeven. Dat is eigenlijk de enige winst die ze hadden. Dus voor hen is dat LZV-project niet zo goed. Waar ze ook mee bezig zijn en daar zien ze wel voordelen in, dat zijn de stadsmagazijnen. Dat is om de vrachtwagens naar de stadsmagazijnen te laten komen en dat ge vanuit de stadsmagazijnen voor de verschillende bestemmingen op een kleinere vrachtwagen herlaadt. Dat is wel iets waarmee Ninatrans nu mee bezig is om naar de toekomst toe verder te ontwikkelen. Maar verkeerslichten, dat is in Halle, dat is een project dat het meeste bijdraagt in de studie, als ik ervoor zorg dat mijn vrachtwagens groen krijgen op het moment dat ze vertrekken en groen krijgen aan het volgende licht en ze weten hoe snel ze moeten rijden of mogen rijden om die groene fase te hebben, dan wilt

dat zeggen dat ik 1) een stukje onder mijn maximale toegelaten snelheid zal zitten, maar waar ik ook een stukje ervoor ga zorgen dat mijn Co₂-uitstoot gaat verkleinen, omdat ik ervoor ga zorgen dat ik niet op maximum gas ga moeten rijden om door de volgende groene fase te geraken. Dus dat is wat CITRUS nu bezig is.

CARO GAETHOFS: CITRUS staat voor Coöperative Intelligent Transportsystem for Trucks. En heeft u ook reeds gevoerde onderzoeken, notules van vergaderingen enzovoorts omtrent dit project ter beschikking, zodat ik mij kan staven op basis van wetenschappelijke artikels? Met andere woorden, is er ondertussen al veel bekend rond het CITRUS-project qua resultaten, of eventueel een tussenevaluatie?

GERRY PEETERS: Ik denk dat je geluk hebt dat er in dit project een goede voorstudie geweest is. Zo kan je als studente in kwestie een aantal van die voorfases leren kennen van die studie. Want de conclusies zijn ook nog niet getrokken. Er is tot op heden nog geen echte conclusie getrokken. Er is alleen een artikel dat verschenen is, 8 oktober, terug te vinden op de site van Lydia Peeters, namelijk: "CITRUS-proefproject geeft voorsmaakje van slimme mobiliteit". Dus dat is eigenlijk een tussenevaluatie.

CARO GAETHOFS: Ik vind het persoonlijk wel een heel interessant project, en zeker omdat het het vrachtverkeer aanbelangt.

GERRY PEETERS: Ja, dat is het ook. Anderzijds zit men ondertussen niet stil. We zijn nu bezig met een project op te zetten van Trafview. Dit gebeurt met ondersteuning van mensen van Securoad, de Vlaamse Regering, een heel deel sponsors. Het gaat eigenlijk om die big data, die in de cloud hangen, verrijkt met camera's zoals ANPR. En de bedoeling is om de verkeersstromen te voorspellen met een app die men aan het ontwikkelen is. De huidige situatie is: op mijn wachtlijsten zit veel te veel verkeer, ik moet mijn cycli gaan aanpassen, waarbij we rekening kunnen houden met het kruispunt ervoor of een paar kruispunten ervoor. Maar hier gaat men een stap verder, op basis van alle camera's, zoals ANPR, met artificiële intelligentie gaat men de verschillende soorten voertuigen onderscheiden. En dat op basis van de nummerplaten (ANPR) en dat zijn de verkeersstromen die momenteel op de weg zijn en ik moet nu gaan ingrijpen. En dit kan voor gans Vlaanderen, voor alle camera's. De testen gebeuren nu op kleine schaal, maar de analyse kan op macro-, meso- en microgebied.

CARO GAETHOFS: Dat is nog meer toekomstgericht dan, en zeker ook ideaal voor het vrachtverkeer. Denkt u dat er in de toekomst gevolgen van zullen zijn?

GERRY PEETERS: Inderdaad, want in de toekomst moeten we beter inspelen op doorstroming van openbaar vervoer ,en vrachtverkeer. Kijk nu, de Brexit die eraan komt. We zitten nu met het mobiliteitsplan BREXIT. We verwachten een aantal moeilijkheden in de Franse havens, eventueel ook in Zeebrugge. Maar de grootste nood is: de meeste vrachtwagens die daar toekomen, voldoen niet aan de douanerichtlijnen voor de nieuwe regeling met Groot-Brittannië. Het resultaat is dat we files gaan creëren. Maar als we files kunnen gaan voorspellen in West-Vlaanderen op basis van de situatie in Frankrijk en we kunnen dan de vrachtwagens van Limburg, met bestemming groot

britannie gaan verwittigen, wacht tot de situatie wat opklaart, zet u ergens op een parking, zorg eerst dat uw douaneformaliteiten in orde zijn. Dan ga je de verkeersstromen kunnen aanpassen.

Dan kunnen we de informatie duidelijk maken via portieken, via verkeersborden zelfs. Wij hebben zelfs een doemscenario, dat we verkeersborden voor vrachtverkeer gaan instellen op het moment dat het dreigt vast te lopen met de Brexit. Dat mobiliteitsplan ligt op tafel. En dat heeft ook met doorstroming te maken en slimme verkeerslichten zijn niet meer en niet minder dan een voortvloeisel daaruit. Enerzijds is dat om de files te vermijden, maar ook om de kopstaartaanrijdingen eruit te halen. Maar ook voor de economische spelers: om de planning optimaal te maken: een vrachtwagen mag niet stilstaan, want stilstaan kost geld.

CARO GAETHOFS: Ik vind het een super-interessant project. Maar de resultaten hiervan zullen nog niet voor morgen zijn, vrees ik. Daarom dat ik me best toch wel focus op het CITRUS-project in Halle. Want ik heb ook vernomen dat er slimme verkeerslichten staan in Diepenbeek en in Genk.

GERRY PEETERS: De slimme verkeerslichten in Halle zijn nog een stap verder dan Diepenbeek en Genk. Je kan nu gaan kijken naar Diest, dat zijn ook slimme verkeerslichten, maar die van Halle, de Colruyt groep sponsort daar ook een stuk in, zij hebben daar een stuk in bijgedragen. En dat was hun doelstelling: het vrachtverkeer op groen krijgen, dus we gaan die cycli afstemmen op elkaar, en de vrachtwagen een minimum aan tijd laten verliezen. Want slow makes you faster, dus door een klein beetje langzamer te rijden, win je tijd en dat gecombineerd met de app is wel een meerwaarde.

Want, Caro, je weet, bij slimme verkeerslichten gaat het om de sturing van de verkeerslichten op basis van het verkeer dat zich aanbiedt. Maar men kan nog een stapje verder gaan naar de artificiële intelligentie dat die camera dan nog eens herkent wel type van voertuig er komt aangereden. Zo heb je bij De Lijn ook een beïnvloeding van verkeerslichten: transponders die onder de bus staan, met een code die uitgezonden wordt, die opgevangen wordt door het verkeerslicht. Dan gaat het verkeerslicht langer groen aanhouden of sneller groen worden. Dit gaat nog een stap verder dan de slimme technologie die we al hadden.

CARO GAETHOFS: Ik krijg meer en meer het gevoel dat slimme verkeerslichten echt wel dé toekomst gaan zijn. Dat we niet meer nodeloos voor een rood licht moeten wachten, terwijl er geen enkel voertuig passeert. En dat vind ik wel een heel interessant gegeven. Want uiteindelijk hebben wel allemaal wel eens nodeloos voor een rood verkeerslicht staan wachten.

GERRY PEETERS: Ja dat klopt ook. En we hebben nu de ANPR, dat is het netwerk dat zorgt voor veiligheid en dat hebben we nodig om vaststellingen te doen in het criminele milieu, zelfs voor verkeersovertredingen gebruiken we het. Maar langs de andere kant gaan we die data kunnen recupereren, we hebben de smart regions, de smart cities van professor Ballon, de voorvechter van de slimme cities, ook wel s-Lim (Smart Region Limburg). We moeten gaan nadenken wat de voordelen zijn van al die bewakingscamera's en alle andere camera's die we plaatsen.

CARO GAETHOFS: Ja inderdaad, maar anderzijds ook kijken naar de plaatsen waar ze moeten geïnstalleerd worden, veronderstel ik?

GERRY PEETERS: Ja, voor de slimme verkeerslichten moet je vooral gaan kijken naar de plaatsen, zoals de Ring in Hasselt, de nabijheid van industrieterreinen. We moeten kijken naar de verkeersstromen. Ik denk ook aan het Spartacusplan dat erbij gaat komen, waarbij ik zeker ben dat er aantal beveiligde overwegen moeten gecreëerd worden, en ook daar gaan slimme oplossingen moeten komen.

CARO GAETHOFS: Ik heb gelezen dat er toch heel wat bij komt kijken alvorens zo'n project eindelijk tot stand kan komen. Er zijn de diverse stakeholders, die allemaal mee moeten zijn in het verhaal, alle neuzen moeten in dezelfde richting wijzen.

GERRY PEETERS: Inderdaad, dat is ook zo. In Zaventem rond de luchthaven, daar wilden we slimme verkeerslichten zetten omwille van het project van de zelfrijdende shuttles, die dit voorjaar normaal zouden rijden. Die zijn er niet gekomen, want dat is een veiligheidsissue geworden. En daar heeft men dus voor sector 8 voor de luchthaven (dat is de sector tussen de passagiersluchthaven en Brucargo) daar had je vroeger een verbindingsweg, die is nu afgesloten, daar is nu een personeelsparking gemaakt, dat noemen we daar nog altijd sector 8. Daar zouden die shuttles doorrijden, maar daar rijden ook heel veel bussen van de Lijn door en ook heel wat luchthaventransportjes, die van de passagiersluchthaven naar de brucargo moeten gaan. En daar heb je een aantal wegen bv. een gemeenteweg naar Machelen en daar was het de bedoeling om die shuttle te beveiligen en dus met die smart verkeerslichten te gaan werken.

Echter is dat er niet doorgelopen. Enerzijds omwille van corona, maar ook omdat de firma die de shuttles zou voorzien niet kon opkomen met de veiligheidsvoorschriften die we in de werkgroep hadden opgelegd. Daardoor is dat project een stukje opgeschoven.

Anderzijds in Halle was het omdat het te moeilijk en te ingrijpend was en te kostelijk en te veel onteigeningen om daar een private op- en afrit voor de Colruyt te creëren. Want dat wilde men aanvankelijk eerst doen. Maar dan blijven er maar een aantal zaken over en dan moet je gaan kijken, hoe het probleem aan te pakken, en dat bleken dus de slimme verkeerslichten te zijn, en zo ontstond het project CITRUS.

CARO GAETHOFS: Inderdaad. Zo, dit waren al mijn vragen eigenlijk.

GERRY PEETERS: Goed, dan ben ik blij dat ik ze allemaal heb kunnen beantwoorden.

CARO GAETHOFS: Heel erg bedankt voor uw tijd en moeite om mij verder te helpen met mijn thesis. U heeft mij zeer handige informatie bijgebracht. Ontzettend bedankt.

GERRY PEETERS: Geen probleem, Caro. Veel succes met je thesis.

CARO GAETHOFS: Bedankt!

Bijlage 2 Interview met Jean-Pierre Blocken, Eerste Commissaris, gepensioneerd diensthoofd Centrex, alsook zaakvoerder van het bedrijf Legevia

CARO GAETHOFS: Hallo, ik ben Caro Gaethofs, student aan de UHasselt. Zoals u reeds weet door mijn vorige emails, onderzoek ik in mijn masterthesis wat de impact van slimme verkeerslichten is in België voor vrachtverkeer op de weg. Ik wil eerst vragen of het oké is dat ik het interview mag opnemen.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ja natuurlijk, doe maar.

CARO GAETHOFS: Mijn eerste vraag is, of u zichzelf even kan voorstellen in je functie als politiecommissaris bij Centrex.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ja, sinds 2011 beschikte de geïntegreerde politie over een kenniscentrum Centrex Wegverkeer, en tot 2017 was ik door de vaste commissie van de lokale politie gemandateerd en diensthoofd van dat kenniscentrum. Dat is een back-office dienst, zij zitten helemaal apart en werken in principe alleen maar voor een aantal gepreviligerde partners als ik dat zo mag zeggen, dus de gewone burger kon bij ons niet terecht. Wat doen wij bij Centrex, dat is het formuleren van allerlei operationele instructies met inbegrip van de dienstnota's voor de politieman op straat, dus al het operationeel personeel. Wij verlenen advies aan overheden, zoals de FOD Mobiliteit, Binnenlandse Zaken, Justitie, Vlaamse Overheid en noem maar op. Wij werken nauw samen met externe partners zoals het VIAS, dat is het vroegere BIVV dat beter gekend is bij de mensen en het VSV, dat is de Vlaamse tegenhanger, de Vlaamse Stichting Verkeerskunde. En dan hebben we nauwe relaties met onder meer, ik noem er maar een paar, Ouders voor Verongelukte Kinderen, Boerenbond, Fegarbel, Febetra, Febiac enz. Bij Febetra, de Vereniging Van Transportondernemingen, daar hadden we contacten mee toen een groot deel van de verkeerswetgeving van de federale overheid overging naar de deelregeringen, dat is een aantal jaren geleden, ik dacht in 2014 als ik me niet vergis, door de 6^{de} staatshervorming. Wij hebben ook binnen Centrex een tiental expertisenetwerken van medewerkers die zich gespecialiseerd hebben in materies, zoals en dan in het kader van jouw studie: bezoldigd vrachttransport, lading, ladingzekering, rij- en rusttijden, dus allemaal dingen die te maken hebben met bezoldigd wegtransport. En dan doet Centrex een aantal aanbevelingen met betrekking tot verkeershandhaving met inbegrip van nieuwe technologieën, die beschikbaar worden, bv. Niet zo relevant voor jouw werk, maar de introductie van de snelle ademtest, de sampler, dat hebben we meegebracht uit Finland. Nu hoe komen wij in Finland? Wij waren als Centrex ook lid van TISPOL, dat heet nu ondertussen ROADPOL en dat werkt ondertussen onder auspiciën van de Europese Gemeenschap. Wij werden ook heel nauw betrokken voor het verlenen van advies namens de politie bij wetsontwerpen en ontwerpen van uitvoeringsbesluiten, het opstellen van 'ontwerp van antwoorden' van parlementaire vragen en punctuele vragen die gesteld worden door politiemensen of overheden, bijvoorbeeld Provincie, gemeentes, daar werkten wij samen mee. Ook Colleges van Procureurs Generaal waarbinnen we omzendbrieven hielpen opstellen, waarbij we proberen een kleine insteek van de politie te geven, zodanig dat dat ook werkbaar blijft. Je kan vanalles voorstellen

en je kan vanalles proberen, maar het moet ook handhaafbaar zijn, en dat was onze insteek. Dat is zo'n beetje wat Centrex betreft.

CARO GAETHOFS: En welke functie bekleedde u daar?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ik was diensthoofd daar, als eerste commissaris, en sinds 2017 ben ik met pensioen, maar ik blijf niet stilzitten. Ik heb nog een bedrijf dat Legevia heet, 'Lege' van wet en 'Via' van weg en ik geef advies aan een aantal diensten die erachter vragen, bijvoorbeeld SLIM-Limburg is bezig op dit ogenblik met toepassingen van ANPR, dat is het scannen van voertuigen aan de hand van de kentekenplaat en daar vanalles mee gaan doen. Zoals we seffens misschien ook kunnen bespreken, als je vragen zou hebben over het controleren van vrachtvervoer.

CARO GAETHOFS: Een stevig takenpakket dus. Een tweede vraagje, en dat is al wat dieper in de materie. Is er vanuit uw functie behoefte of vraag om op bepaalde wegen vrachtverkeer prioriteit te geven. Momenteel heb ik het CITRUS-project in Halle opgenomen in mijn thesis, waar de vrachtwagens van de Colruyt in Halle prioriteit krijgen aan de verkeerslichten.

Anderzijds heb ik vernomen dat in België de voertuigen van De Lijn al een systeem hebben, waarmee zij bepaalde verkeerslichten kunnen beïnvloeden. En zouden bepaalde prioritaire voertuigen dit systeem ook gaan krijgen?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: gedurende de periode dat ik diensthoofd was van Centrex, of ervoren zelfs nog, als ik nog diensthoofd was de operationele verkeersdienst van politie Hasselt en nadien van de politiezone HAZODI, is daar nooit een vraag rond geweest. Nu, ik weet 1 speciaal geval in Hasselt waarbij er speciaal verkeerslichten gezet zijn om verkeer vanuit een bedrijf toe te laten, in te voegen en dat ook dat kruispunt speciaal is aangepast. En dat is het kruispunt vanaf de afrit 28 van de E313 met de Sint-Truidersteenweg. Daar heb je het bedrijf Record, wat nu spijtig genoeg er niet meer is, wat dat betreft, die kregen daar verkeerslichten die zij konden regelen. Nu hoe geschiedde die regeling, dat waren detectoren op het bedrijfsterrein. En vanaf het ogenblik dat een voertuig, want men kon moeilijk een onderscheid maken tussen vrachtvervoer en gewoon vervoer, maar zoveel kwam er niet van Record. Er was een lus, die een impuls gaf aan het verkeersregelsysteem, zodanig dat die lichten voor het verkeer van de Record, op zeker ogenblik een groenfase gaf. Dat is het enige waar ik van weet. Dan hoor dat er ook in Halle, nabij de Colruyt dat voorzien is, en ik kan dat begrijpen dat er op plaatsen waar bijna uniek vrachtvervoer en veel vrachtvervoer is, dat men een regeling gaat treffen, maar daar is specifiek nooit een vraag naar geweest. Nu De Lijn heeft daar wel een vraag naar gesteld, zoals je terecht opmerkt, zij hebben een systeem waarbij men prioriteit geeft aan de verkeerslichten voor naderende voertuigen van De Lijn. Maar dat past een beetje, voor wat De Lijn betreft, in de groene golf die ze daardoor veroorzaken. Nu wat is een groene golf? Vroeger heeft men dat ook op de Noord-Zuid toegepast, als je richting Zonhoven rijdt, maar door de verschillende snelheidslimieten die op verschillende plaatsen wordt gegeven, is dat niet meer te doen. Toen had men dat zodanig geregeld dat je bij een constante snelheid van 70 km per uur een groenfase had van in Zonhoven tot in Houthalen. Maar intussen natuurlijk is dat 90 - 70 - 90 - 70 en wordt dat moeilijk.

CARO GAETHOFS: En dat wilde men dus ook voor de voertuigen van De Lijn toepassen, bedoelt u?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ja, klopt. Nu dat is vrij eenvoudig toe te passen, hetzij draadloos zoals dat in Nederland gebeurt hetzij met lussen in de busstroken, zoals we die nu kennen.

CARO GAETHOFS: En is dat hetzelfde voor het vrachtverkeer?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Voor vrachtvervoer is dat natuurlijk niet evident. Je zou zeggen, we gaan draadloos werken maar wat doe je dan met buitenlandse vrachtauto's. Dus daar zit je met een effectief technisch praktisch probleem. Voor wat prioritaire voertuigen betreft, ken ik bij mijn weten, geen enkele dienst die daar gebruik van maakt. Het zou kunnen zijn dat ze daar bepaalde brandweerkorpsen mee uitgerust heeft maar ik betwijfel dat. Want dat principe van die groene golf, dat gaat in dit geval niet op. Het traject van gemeenschappelijk vervoer is een vast traject. Die rijdt een bepaalde weg en dat is altijd diezelfde weg. Terwijl prioritaire voertuigen, ja dat is onvoorspelbaar waar die naartoe rijden en dat is precies exact hetzelfde met bezoldigd vrachtvervoer: je weet niet waar ze naartoe rijden. Dus niet echt in praktijk realiseerbaar. Je kan bv. In Antwerpen, kan je één en ander gaan aanpassen als je weet binnen welke tijdstippen je bepaalde verkeersstromen hebt en je kan die ook gaan meten en dat doet men ook in Antwerpen, men gaat die meten, vanuit de haven. Men weet op dat ogenblik is er veel wegrijdend verkeer uit de haven of is er veel toekomstend verkeer. Maar ik heb de cijfers erop nagekeken. Ik heb vastgesteld dat op de ring van Antwerpen er slechts 20% verkeer naar of van de haven komt, de rest is allemaal transitverkeer dat naar Zeebrugge rijdt en daar de oversteek maakt naar Engeland. Havenverkeer is echt cargo, dus laden en lossen, terwijl we in Zeebrugge echt een oversteek hebben naar Engeland van de complete vrachtauto inclusief zijn lading of zijn container. Er komen er ook van de haven van Antwerpen, die zo naar Groot-Brittannië rijden.

CARO GAETHOFS: Dat is eigenlijk wel een hele goede reden waarom dat Antwerpen dus met VLCC niet op het vrachtverkeer mikt.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ja natuurlijk, want transitverkeer, hoe ga je dat voorspellen, dat is heel moeilijk, want je krijgt zowel verkeer vanuit Breda via de E313. Kijk 's morgens maar eens op de E313 hier in Limburg en je ziet die trein van vrachtwagens op de rechterrijstrook. Je moet bijna constant links gaan rijden. Daarom ook dat men naar een verbreding van het aantal rijstroken, of die spitsstroken gaat doen. Dat is speciaal om die treintjes van vrachtvervoer te kunnen zetten en dat het gewone reizigersverkeer, de pendelaars, dat die de mogelijkheid hebben om te geraken waar ze moeten zijn en niet vastzitten in die 90 km-per-uur-beperking. Alhoewel dat niet slecht zou zijn voor het geluid en de emissie, maar goed daar moet een politieke consensus voor bestaan en die is er tot nu toe nog niet.

CARO GAETHOFS: ik heb ook vernomen dat zwaar wegverkeer op diverse wegen wordt beperkt aan de hand van bijvoorbeeld kilometerheffing of andere maatregelen. Ook zou vrachtverkeer op bepaalde wegen verboden zijn, zoals bijvoorbeeld woonwijken. Begrijp ik het dan goed dat in Antwerpen het vrachtverkeer niet toegelaten is in het centrum?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Antwerpen is een heel speciaal probleem, omdat zij ook gebruik maken van LEZ, lage emissie zone, dat wil dus zeggen dat ook jij met een oudere personenauto Antwerpen niet meer binnenkomt als dat een diesel is. Je kan tot een bepaalde euronorm nog Antwerpen binnen, doch mits betaling van een bepaald bedrag. Hetzij dagelijks, hetzij voor een langere termijn. Daar gaan dus ook wel een aantal van die zware uitstoten, zoals de vrachtauto's, en zeker het hele zware vervoer, die in feite zoals containertransport, die hebben in het centrum niets verloren hé. Het centrum is eigenlijk puur toerisme voor wat de chauffeurs betreft, dus die houden we daar liefst buiten. Of dat uitdrukkelijk verboden is in Antwerpen, dat kan ik u niet zeggen. Ik heb er zelfs opzoekingen op zitten doen, naar aanleiding van dit interview dat we dan zouden hebben, dus ik ben eens gaan zoeken wat Antwerpen zelf betreft, maar ik vind in het mobiliteitsplan er niets van terug.

Wat ik wel terug gevonden heb is, dat men in 2017 een experiment heeft gedaan met vrachtvervoer en is men dat zwaar vervoer gaan verbieden in de schoolomgeving tijdens de openings- en sluitingsuren van de school, dus het begin en einde van de schooltijd. Nu dat proefproject is niet erg meegevallen omdat er nogal wat vrachtverkeer tussen zat, dat er toch reed, omdat er een aantal werven waren in de buurt van die scholen, en dus die scholen toch voorbij reed, om die werven te kunnen bevoorraden. Want als je moet wachten tot als de school terug open is, dan gaat die werf 3x zolang duren als voorzien en dat kost natuurlijk een heel pak geld. Nu die gingen dan vergunningen aanvragen en die kregen dan vergunningen van de stad, dus dat was niet evident om dat toe te passen.

CARO GAETHOFS: Dus de kilometerheffing is niet...

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Wat die kilometerheffing betreft, daar wil ik toch wel iets recht zetten. Het is zeker niet de bedoeling om het verkeer van zware voertuigen te verhinderen of te ontmoedigen, integendeel. Het vervangt voor wat betreft toch een deel van die voertuigen, alles tussen 3,5 ton en 12 ton, die betalen geen normale taks niet meer. Spijtig genoeg moeten wij dat met onze gewone personenauto wel nog. Maar die zijn dus vrijgesteld en moeten dus die kilometerheffing betalen. Alles wat daarboven zit ook. En dat geldt dus niet alleen voor de voertuigen die ingeschreven zijn in België maar ook voor voertuigen vanuit het buitenland, dus die Tsjechische camion en die Russische camion, die gaat dus mee betalen voor het onderhoud van onze Vlaamse wegen. En dat aan de hand van een onboard-unit. Dat is zo een unit die moeten zij aan de voorruit kleven en die gaat aan de hand van de gps-data bepalen waar dat die camion gereden heeft. Je kan ook regelmatig zien dat de Vlaamse overheid controles doet. In concreto ga je dat heel vaak zien bijvoorbeeld tegenover het Esso-staion op de Genkersteenweg in Hasselt. En die gaat aan de hand van ANPR vaststellen of vrachtauto's, ook de buitenlandse, aan de verplichting van die belasting meedoen. Het is in feite een belasting die een beetje socialer is dan de gewone verkeersbelasting, die opgelegd is aan de Belgen.

CARO GAETHOFS: En wat in verband met de woonwijken? Want dit moet toch worden beperkt?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ja de woonwijken, dat is een plaatselijk probleem natuurlijk. Men gaat daar vermijden dat de woon... je zegt het zelf "woon"wijken, dat die overlast hebben van zwaar vervoer. In de Banneuxwijk in Hasselt is een hele cluster waar het verboden is voor voertuigen van meer dan

3,5 ton die geen bestemmingsverkeer zijn, want je moet natuurlijk nog toelaten dat er iemand mazout komt leveren, of dat er een verhuiswagen kan komen om iemand te verhuizen, dus dat bestemmingsverkeer is nog toegelaten, dat dan naar de industriezone rijdt, verder gelegen in Kiewit, dat dat uit die woonwijk blijft.

CARO GAETHOFS: Welke middelen zet de overheid dan nog in, om vrachtverkeer te vermijden?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Er is, ook in het kader van die overlast, is er voorzien dat het parkeren van voertuigen van meer dan 7,5 ton binnen de bebouwde kom, niet langer dan 8 uren mag. Dat was aanvankelijk vastgelegd op 3 uur, maar dat is gewijzigd omwille van de rij- en rusttijden. Die mannen moeten op zeker ogenblik 8 uren rust nemen. Ook kan men bepaalde parkings, en dat gebeurt vrij veel, verbieden om te parkeren met vrachtauto's omdat men, zeker in het weekend, heel wat chauffeurs krijgen hun truck mee naar huis, dat is interessant voor de werkgever, want daar besparen die parking mee, en dan gaan die die parkeren in de bebouwde kom. Vaak zijn dat dan ook frigowagens die dag en nacht draaien, en wel erg hinderlijk zijn voor de nachtrust van de bewoners.

Nog zo'n probleem: op autosnelwegen, verboden om te parkeren op de pechstroken. Het is een probleem, omdat er gemerkt wordt, zeker op de drukkere wegen, bijvoorbeeld richting Zeebrugge, dat in het kader van de rij- en rusttijden, dat die parkings gewoon helemaal vol staan, dat die mannen hun vrachtwagens niet kwijt geraken. En dan gaan die beginnen te parkeren op de uitwijkstroken op de autosnelwegen en dat kan dus niet. Regelmatig kan je dat zien op een bepaald programma van Luc Alloo die de wegpolitie volgt, dat die mannen hun rust nemen waar het niet kan.

CARO GAETHOFS: Hoe herkent die Tsjechische vrachtwagenchauffeur dan die cluster van verboden toegangen ?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Dat wordt opgelegd dmv verkeersborden, nl. de C9. Dat is een bord verboden inrij en daarbinnen kan het verkeer beperkt worden, hetzij voor een maximum tonnenmaat, of hetzij voor een maximum lengte of hoogte of breedte. Nu, hoogte of breedte heeft meestal te maken met de weg zelf, bijvoorbeeld een brug die te laag is. Hoe vaak gebeurt het niet dat er iemand tegen de onderkant van een brug hangt en daarmee eerst en vooral zelf een hoop schade heeft, en economisch is dat zeker niet voordelig een ongeval hebben. En ten tweede, je veroorzaakt er heel wat verkeershinder bij.

De lengte beperken, in stadscentra bijvoorbeeld, ik neem dan weer als voorbeeld, in Diepenbeek, daar mag je met voertuigen langer dan 10 meter de stad niet binnen. Heeft men dat gedaan om de chauffeurs een beetje te pesten? Neen, dat is omdat de straat op sommige plaatsen zo smal zijn, kruispunten op sommige plaatsen zo eng zijn, dat je met een sleep van 10 meter en langer niet rond kan. Je rijdt jezelf gewoon vast. Dat gebeurt met de verkeersborden en dan staat erbij "maximum 10 meter".

Dus het is niet evident om met grote vrachtauto's bepaalde wegen gaan prioritair te stellen, het is zelfs niet simpel om hen toe te laten op sommige wegen om daar te rijden.

CARO GAETHOFS: Ik wou eigenlijk vragen of dit voor alle centrumsteden zo is. Maar als ik jou uitleg hoor, en begrijp, dan ga ik ervan uit dat dit voor geheel België geldt.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ik weet nu bijvoorbeeld ook heel zeker, Diepenbeek heeft een doorrijverbod voor vrachtwagens, dat is omwille van de hinder die ze veroorzaken omwille van dat centrum. Maar Brugge bijvoorbeeld, ge kunt u dat inbeelden, die klein straatjes daar, als ge daar een 40-tonner binnenlaat, die zit hopeloos vast. En of die daar uitgeraakt, waarschijnlijk wel, maar ik denk dat ge dan daar toch heel wat verkeerspolitie moeten bijhalen, om die er terug uit te halen.

CARO GAETHOFS: En dat gaat in Antwerpen ook zo zijn.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: In elke centrumstad, zeker waar er een oude stadskern is, daar gaat ge dat zeker hebben hé.

CARO GAETHOFS: Dit klinkt nu allemaal heel logisch, maar staat dit ook ergens opgeschreven, bestaat hier ook wetgeving over?

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Dat vindt je allemaal terug in de wegverkeerswet, en in het wegverkeersreglement, het koninklijk besluit van 01 december 1975. Dat vindt ge ook op wegcode.be en daar kunt ge bijvoorbeeld eens een control F op loslaten op bijvoorbeeld vrachtauto's, dan vindt ge daar alle artikels over terug: parkeren, verboden doorgang. Maar zoek ook op bezoldigd vervoer of lading, want soms bijvoorbeeld wat betreft de maximum toegelaten massa, dan spreekt men van voertuigen die in beladen toestand een massa van zoveel of zoveel hebben. Maar daar gaat ge alles over vinden.

CARO GAETHOFS: Oké, alles is heel duidelijk. Dank je wel.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Ik heb hier en daar wat opzoeken gedaan gisteravond ter voorbereiding van dit interview. Ik heb dat dan ook neergeschreven. Als je wil, dan zal ik u dat doormailen, dan heb je die notities al. Maar je gaat wel merken dat ik tijdens het interview toch wel heel wat stukken letterlijk heb overgenomen ervan. Verkeer is mijn ding, ik doe het graag.

CARO GAETHOFS: Dat zou heel fijn zijn. Heel fijn om u erover te horen vertellen. U brengt het zeer duidelijk, waarvoor dank.

JEAN-PIERRE BLOCKEN: Graag gedaan, Caro.

Bijlage 3 Interview met Rodric Frederix, expert in projecten omtrent verkeerslichten en verkeersmodellen

CARO GAETHOFS: Hoi, zullen we er dan maar meteen aan beginnen?

RODRIC FREDERIX: Ja, prima!

CARO GAETHOFS: Oké top, allereerst, kan u zich een beetje voorstellen? En of u uw functie enzovoorts even kan toelichten?

RODRIC FREDERIX: Ja tuurlijk, dus ik werk bij TML ook, en binnen TML werk ik aan verschillende projecten. Voornamelijk twee domeinen: verkeerslichten en verkeersmodellen. Dat zijn de twee voornaamste thema's. De laatste jaren voornamelijk op verkeerslichten en binnen TML ben ik de expert binnen ons bedrijf en binnen de verkeerscentrale ook een beetje, om niet bescheiden te zijn. Wat verkeerslichten betreft, waar houden wij ons mee bezig? We zijn bezig met de verkeerscentrale, dat houdt concreet in: procesvoorontwerp maken, een ontwerp maken en uiteindelijk het leukste gedeelte, de logica/ de intelligentie achter wat er in een verkeerslicht zit, om die te ontwerpen. En dat is eigenlijk allemaal heel geval per geval. Dat is onze benadering toch heel vaak.

CARO GAETHOFS: Dat had ik gezien in de onderzoeken die ik van Ruben Corthout heb ontvangen. Dat was echt uitgewerkt van regelgebied tot regelgebied.

RODRIC FREDERIX: Ja en per verkeerslicht ook. We hebben een aantal, ik weet niet of dat je een idee hebt wat zo een logica/ intelligentie juist inhoudt. Dat is eigenlijk een hele beslissingsboom. Ik weet niet of Ruben u daar al een voorbeeld van heeft laten zien.

CARO GAETHOFS: Nee, ik heb zo de kaart gezien met alle regelgebieden dat het wel allemaal van elkaar afhangt.

RODRIC FREDERIX: Awel, ik bedoel binnen één verkeerslicht. Als je wilt kan ik mijn scherm even delen, ik was hier nu toch nog mee bezig. Dus dit is wat die intelligentie inhoudt: er zijn een hele hoop vragen dat de regeling stelt, van 'zit ik in deze fase?', en dat zijn telkens ja-nee-vragen. Is er openbaar aangemeld?, is er een aanvraag voor die signaalgroep?. Zo ja..., zo nee,.... En als je uitzoomt, dan zie je dat dat best, en dit is nog niet eens zo een ingewikkeld kruispunt, dat dat is hoe dat we werken. En daar worden dus telkens vragen in gesteld, en functies in gebruikt, bijvoorbeeld past het openbaar vervoer in de volgende fase? Ja, nee. Past er een andere fase voor de openbaar vervoer-fase?. Dat soort zaken gebruiken wij om te kunnen... dat vormt de intelligentie binnen één verkeerslicht. Binnen de verkeerscentrale, ik weet opnieuw naar buiten toe komt dat heel anders over, dat is wat meer het PR-verhaaltje, het lijkt alsof de intelligentie binnen de verkeerscentrale zit in het feit dat die verkeerslichten met elkaar communiceren. Dat is niet het geval. De intelligentie zit eigenlijk in de intelligentie per kruispunt. Er zal nog een klein beetje overkoepelende intelligentie zijn, maar laten we zeggen, als een regeling flexibel/dynamisch goed werkt, dan zal dat voor 90-95% komen door zijn eigen lokale intelligentie en misschien nog een heel klein beetje door het overige. Maar in de media komt dat heel anders, dan heb je een slimme

verkeerscentrale. Dan moet die slimme verkeerscentrale, een overkoepelend iets, intelligent zijn. Want ze zeggen dat het de verkeerscentrale is die de intelligentie brengt, maar dat is uiteindelijk niet het geval. Met het feit dat die verkeerscentrale geïnstalleerd is, zijn alle verkeerslichten opnieuw bekeken/ontworpen en is er een hele hoop extra intelligentie aan gegeven, en dat maakt eigenlijk het verschil.

CARO GAETHOFS: Ah, dat is eigenlijk de finishing touch...

RODRIC FREDERIX: Ja...

CARO GAETHOFS: Oké, en hoe kan de groencyclus worden behouden, terwijl de lichten toch dynamisch zijn? Met andere woorden: Is het belangrijker dat de verkeerslichten aan elkaar gekoppeld zijn, of dat de verkeerslichten dynamisch inspelen op het verkeersaanbod?

RODRIC FREDERIX: Ik ga een beetje vertellen en onderbreek mij gerust als ik te ver ga of afwijk. Eerst en vooral proberen we altijd zo efficiënt mogelijk groen te geven. Dat is een belangrijk aspect, dat komt ook bij AWV voor: nooit voor niets rood. Dus we proberen voor zover dat er detectie is dat dat toelaat, enkel groen te geven aan verkeersdeelnemer die er effectief zijn. Dat is een zekere vorm van flexibiliteit. We hebben niet altijd onze vaste fases/ signaalgroepen die we groen moeten geven, alleen maar wanneer dat die er dan ook effectief zijn. Dus in die zin zou ik dat ook onder flexibiliteit steken. In die is niet in tegenspraak met...

CARO GAETHOFS: In één lijn groen worden, dat er lichten aan elkaar geschakeld worden

RODRIC FREDERIX: Een groene golf bedoel je.

CARO GAETHOFS: Ja, inderdaad.

RODRIC FREDERIX: Daar zit wel degelijk een tegenspraak in. Een groene golf en een flexibele regeling, daar zit een tegenspraak in, en misschien verbaast u dat in zekere zin, maar dat is bij ons ook de reden waarom we eigenlijk geen grote fan zijn van groene golven. Ik zou niet zeggen dat we dat nooit gaan toepassen. Ik weet ook dat mensen die niet echt met verkeerslichten bezig zijn, dat een groene golf ongeveer het enige is wat dat ze zich kunnen voorstellen bij een slimme regeling, want dat is heel visueel. Je hebt aan dit licht groen en aan het volgende ook. Maar het nadeel eraan is, zoals je terecht zegt, je verliest aan flexibiliteit. Want je hebt ook nog twee soorten groene golven. Je hebt de harde groene golven, waarbij je ziet dat je cyclustijden gelijk zijn, en dat is de klassieke manier waarbij je zegt 'je spreekt allebei af van ik geef van dan tot dan groen, en een beetje verder geef ik van dan tot dan groen. Het nadeel is dat er geen tot heel weinig flexibiliteit is, en dat is goed voor de verkeersdeelnemers voor wie de groene golf is, maar slecht voor de rest. Ook voor je fietsers of openbaar vervoer, want die hebben typisch niet dezelfde snelheid als je autoverkeer. Dus in de verkeerscentrale in Antwerpen is het niet dat we dat nooit toepassen, maar (je hebt ook iets over uw doelpubliek gevraagd) in Antwerpen hebben we voor de verschillende verkeersdeelnemers assen gedefinieerd: fietsassen van eerste en tweede prioriteit, openbaar vervoersassen van eerste en tweede prioriteit, autoassen van eerste en tweede prioriteit en op basis daarvan... Fietsers zijn het

hoogste, dan openbaar vervoer van eerste prioriteit, auto, maar misschien heeft Ruben u die documenten al bezorgd.

CARO GAETHOFS: Ja die heb ik al gelezen, ja.

RODRIC FREDERIX: Ja, oké. Dus er kunnen wel degelijk assen zijn waarvan je zegt 'hier is het echt puur de auto waardat we naar kijken'. Dat kan, maar dat komt niet zo vaak voor omdat we meestal de nadelen te groot vinden. Voor de auto's uit de zijtakken is het ook nadelig, als er openbaar vervoer is, is het nadelig, als er fietsers zijn is het nadelig, voetgangers die oversteken,... Dus... Nu ben ik misschien aan het afdwalen...

CARO GAETHOFS: Nee dat is heel interessant! Maar ik vroeg me vooral af: het lichtensysteem is toch ingedeeld in regelgebieden, dus eigenlijk ja... een paar wormpjes zal ik maar zeggen, ik dacht dat die dan allemaal verbonden waren, dat die dan allemaal tegelijk groen hadden.

RODRIC FREDERIX: Wel, ik denk dat dat naar buiten toe ook een beetje de perceptie zal zijn. Vroeger was dat misschien meer het geval. Er was meer het idee van 'dit is een regelgebied, dus die verkeerslichten draaien altijd op een cyclustijd van 120 seconden. Wat er hier meer gebeurt is, is dat er regelgebieden meer gedefinieerd zijn als 'dit zijn kruispunten, dit is een as, en we willen heel die as tezamen gaan bekijken'. Maar het is niet doordat we die samen gaan bekijken, dat de beste oplossing hiervoor is om er coördinatie in te steken. Ik ben nu toevallig bezig met de Belgiëlei. Daar zijn een hoop kruispunten achter elkaar met openbaar vervoer in het centrum van Antwerpen, waar dat er ervoor een coördinatie was, maar waar mijn inschatting was dat dit niet de beste oplossing was. We kunnen beter heel dynamisch zijn. Want dat is ook een heel typisch nadeel aan coördinatie. Het gaat hier over heel veel verschillende kruispunten, waarbij één kruispunt maatgevend is (die bijvoorbeeld een hoge cyclustijd nodig heeft), maar dat betekent dat de andere kruispunten ook op die veel te hoge cyclustijd moet steken. Dus.. En je kan dus vaak veel beter door flexibiliteit te voorzien veel verder geraken.

CARO GAETHOFS: En is er een..., ja waarschijnlijk drukke kruispunten waardat veel verkeer op één punt komt gaat dat zijn, maar is er een regel/ maatstaf waardat ge uw bepalend kruispunt inzet? Waardat de rest een beetje op volgt...

RODRIC FREDERIX: Ja, dus wat we typisch doen is op voorhand meten we voor alle kruispunten hoeveel verkeer dat er zit, en voor elk van die kruispunten wordt eerst een voorontwerp gemaakt. Op basis van dat voorontwerp zien we dat we toch zeker 'zo' een grote cyclustijd nodig hebben en we zien hier veel verzadigingen en dergelijke. Dus op basis daarvan wordt direct al duidelijk welk kruispunt hier regelbepalend is, en dit hier enzovoorts. Dus dat wordt al vrij vlug duidelijk. Een volgende stap is vaak 'moeten mijn andere kruispunten daar rekening mee houden?'. Het kan ook zijn dat het een druk kruispunt is en het volgende kruispunt 500 meter verder ligt, dan moet ik daar eigenlijk geen rekening mee houden. Maar er zijn andere plaatsen, bijvoorbeeld op de Grote Steenweg heb je ergens een afrit van de ring van Antwerpen en 100 meter verder heb je het kruispunt met de Singel. Daar heb je niet veel ruimte tussen. Dat is een plaats waardat we wel coördineren. Niet zo zeer vanwege de groene golf. Dat is een andere reden waarom we die niet zo

vaak toepassen, dat is omdat die toch vooral gericht zijn op het autoverkeer. En vanuit het beleid staat het autoverkeer typisch niet meer bovenaan. Je kan ook proberen een groene golf voor fietsers proberen in te stellen, dat gaat ook, maar vaak zijn fietsers meer geholpen met kortere cyclustijden, niet te lang wachten enzovoort.

CARO GAETHOFS: Ja, dus eigenlijk omdat die twee lichten zo dicht bij elkaar staan van wat u net zei van met de Singel, zijn ze daarom verbonden? Dus als ze dicht bij elkaar staan, verbind je ze wel?

RODRIC FREDERIX: Ja inderdaad, verbinden is misschien het woord. Dan ga je zien dat ze rekening met elkaar houden. Dat kan ook op verschillende manieren. Ofwel kunnen ze communiceren met elkaar, ofwel kunnen ze dat niet. Als ze niet kunnen communiceren met elkaar, is de enige manier om ze toch te laten samenwerken te gaan naar een soort van groene golf, waarbij we zeggen 'we zetten ons horloge op hetzelfde uur, ik ga van seconde 5 tot 25 groen geven, zie dat jij van seconde 20 tot 40 groen geeft' bijvoorbeeld. Dat is wanneer je niet kan communiceren met elkaar. Zo werken de meeste groene golven in Vlaanderen. Het nadeel eraan is dat, stel dat er geen verkeer aankomt, dat kruispunt stroomafwaarts weet dat het moet blijven wachten omdat er verkeer kan afkomen van het vorige kruispunt. Dus het is heel goed mogelijk dat dat verkeerslicht dan 20-25 seconden groen licht zit te geven voor niks. Wat is er slimmer, wat kan je doen als ze wel communiceren? Dan kunnen die twee kruispunten vragen aan elkaar beginnen stellen. Zoals 'dat licht dat mij hier voedt, staat dat nog wel op groen? Als dat is afgebroken omdat er toch geen verkeer is, dan weet ik dat ik zoveel tijd later ook mag afbreken'. Dus communicatie maakt dat je veel slimmer op elkaar kan inspelen.

CARO GAETHOFS: Eigenlijk is het het beste als de lichten met elkaar communiceren. Een groene golf is geen goede optie.

RODRIC FREDERIX: Een groene golf is specifiek voor het autoverkeer waarop je gaat coördineren goed, maar je hebt dan ook groene golven in beide richtingen en dat is niet echt mogelijk. Dat is eigenlijk puur geluk of ongeluk hebben. Als dan die afstanden juist goed liggen, dan kan het zijn, maar in de praktijk ga je dat typisch niet of een heel klein stukje hebben. Dus is uw coördinatie goed voor één verkeersdeelnemer en slecht voor al de rest, daarom vind ik dat meestal niet zo goed. Die coördinatie, wanneer we dat eigenlijk het meeste gebruiken is niet zozeer omdat we het autoverkeer zo vlot mogelijk willen doorkrijgen, want dat interesseert ons meestal niet genoeg. Waarom dat we het meestal wel doen, is als kruispunten te dicht op elkaar liggen. Als er 100-150 meter, misschien 200 meter, daar zit ergens de grens, als het minder dan die afstand is, dan is het natuurlijk niet goed als dit [het eerste kruispunt] groen is, maar er staat nog een wachtrij [bij het tweede kruispunt] van de vorige, dan zit die maar groen te geven groen te geven, terwijl er geen enkele auto door kan. Dat wil je vermijden. Vanaf dat je meer dan 200-300 meter tussen kruispunten hebt, is er genoeg bufferruimte om te zeggen van 'kom, stuur er maar op af, ik kijk niet naar het volgende kruispunt, ik stuur maar af en dat volgende kruispunt moet zelf maar zien hoe dat het er het slimst mee omgaat.

CARO GAETHOFS: Oké dat is heel duidelijk. En dat is dan ook ongeveer hetzelfde principe voor de zijwegen. Als je dan je verkeerslicht bijvoorbeeld dynamisch maakt, en het tweede dan bijvoorbeeld daaraan koppelt, dan gaan uw zijstraten hetzelfde effect hebben... Die kunnen daar dan ook niet bij omdat het tussen de twee kruispunten dan vol met auto's zit.

RODRIC FREDERIX: Ja dat heeft er ook mee te maken inderdaad, daar moet je ook rekening mee houden. Als kruispunten te dicht bij elkaar staan, noemen wij dat de saswerking. Van het sas tussen de twee kruispunten. Daar zijn verschillende aspecten waarnaar dat je moet kijken. Ten eerste dat dat niet volloopt zodat het autoverkeer geblokkeerd geraakt, zij het van de zijstraten die dat er bijvoorbeeld niet meer opgeraken, zij het van de hoofdrichting. En twee, saswerking is ook belangrijk bij het moment dat je je stroomafwaartse kruispunt groen geeft, dan wil je dat daar al wat autoverkeer klaarstaat, zodat die al efficiënt kan beginnen afwikkelen. Dus dat hangt daar wel een beetje samen.

CARO GAETHOFS: Oké, want ik nam dan eigenlijk vooral aan dat als je je hoofdwegen gaat efficiënt maken, dat je zijwegen daar dan een beetje de dupe van gaan zijn. Want die moeten zich dan eigenlijk gaan aanpassen aan uw hoofdwegen, en die gaan dan misschien rood krijgen als er een hoofdweg doormoet.

RODRIC FREDERIX: Ik zie dat zelf niet zo. Dit is dus wel het geval bij groene golven, maar wanneer je naar flexibele regelingen gaat... Flexibiliteit komt er voornamelijk op neer dat je zo efficiënt mogelijke groenrealisaties met bepaalde prioriteit voor bepaalde doelgroepen realiseert. Maar je zijwegen hebben daar ook een plaats in, en soms wel van lagere prioriteit, die zullen wel eens voor openbaar vervoer opgeofferd worden... Van 'normaal ging jij nu aan de beurt komen, maar nu komt er een bus of een tram aan, ik ga die eerst even extra groen geven en dan pas kom jij.

CARO GAETHOFS: Dat weegt niet echt door dan..

RODRIC FREDERIX: Nee want omgekeerd, zou ik zelfs denken dat zijstraten er zelfs eerder op vooruit gaan, omdat wij typisch ook voor de hoofdrichtingen... Vroeger was er niet zo veel detectie aanwezig. Pak een dikke 5 jaar geleden is daar verandering in gekomen, waardat we nu veel beter en efficiënter kunnen zeggen dat het nu tijd is om af te breken. Er komt geen verkeer aan, breek maar af. Vroeger werd er gewoon gezegd 'geef die hoofdweg gewoon maar 60-70 seconden groen' en nu wordt er ook veel meer beredeneerd of er voldoende verkeer aankomt of dat er zo nu en dan een enkeling aankomt om de 5 seconden. Breek dat dan maar af en geef je zijrichtingen groen. Dus ik zie niet direct de tegenspraak van de zijrichtingen en flexibiliteit.

CARO GAETHOFS: Oké, dat is heel goed. Dan had ik nog de vraag van welk doelpubliek eerder voorrang krijgt, maar dat heeft u eigenlijk al gezegd he...

RODRIC FREDERIX: Het hangt typisch af van de prioriteiten die op het beleidsniveau zijn gesteld, en dat heeft Ruben waarschijnlijk ook allemaal doorgestuurd, er is een heel filosofie daarbij van elk heeft een bepaalde wensnelheid. Die proberen we te halen. Het kan zijn dat een verkeersdeelnemer

met een hogere prioriteit toch op één specifiek kruispunt minder prioriteit krijgt, omdat we meer minder moeite hebben om de doelstellingen van een ander te halen.

CARO GAETHOFS: Maar dat is echt puur afhankelijk van de situatie zelf. Er is niet echt een ranking, er is geen nummer één, nummer twee, nummer drie,... Dat is echt puur de situatie waardat iedereen zijn doelstellingen kan halen?

RODRIC FREDERIX: Ja dat is echt puur op de situatie zelf. Er is wel een ranking in die zin, eerst alle fietsassen van de hoogste prioriteit, dan alle openbaar vervoersassen van de hoogste prioriteit, dan alle autoassen van de hoogste prioriteit, dan alle fietsassen van de tweede hoogste prioriteit, enzovoort. Dat is de ranking die we hebben. Binnen die ranking proberen we alle doelstellingen te behalen, maar als dat niet mogelijk is, dan zeggen we 'oké, het belangrijkste is dat de eerste behaald wordt, en als er dan nog ruimte over is, proberen we de tweede te halen, enzovoort. Dat is wel het idee.

CARO GAETHOFS: Oké, dan had ik eigenlijk nog een vraag. In het doorzoeken van al die papers had ik nooit echt een focus gezien op het vrachtverkeer, en dat zag ik wel bij de projecten CITRUS en C-The-Difference.

RODRIC FREDERIX: Ik ben zelf met het CITRUS-project minder betrokken geweest, maar ik denk dat ik wel min of meer weet wat de insteek daarvan is.

CARO GAETHOFS: Wilt u dat ik het even toelicht?

RODRIC FREDERIX: Ik denk, het CITRUS-project is meer dat je via een GPS-systeem of een app ze kunt volgen en zo dus een groene golf kunt creëren voor vrachtwagens denk ik, he?

CARO GAETHOFS: Prioriteit kunnen aanvragen enzovoorts.

RODRIC FREDERIX: Ja, dat is een heel ander detectiesysteem dan wat er vandaag de dag wordt gebruikt. Vandaag de dag zitten er lussen in het wegdek onder de grond. Dus wij weten niet van individuele voertuigen, die zien wij niet rijden. Op heel specifieke punten zien wij 'hier passeert iemand, hier passeert iemand'. Dat maakt dat prioriteit voor vrachtwagens met die klassieke detectiemiddelen (ik wou zeggen onmogelijk... misschien is dat te kort door de bocht, maar alleszins) heel moeilijk, omdat je moet kunnen herkennen dat het een vrachtwagen is. Je kan misschien met een lus. Je kan dan misschien zien dat de lus lang bezet is, dan zal dat wel een vrachtwagen zijn.

CARO GAETHOFS: Op het gewicht misschien?

RODRIC FREDERIX: Ja, maar de meeste lussen werken daar niet mee. Die werken puur magnetisch. Maar eigenlijk is het heel moeilijk om volgens die methodiek te werken, dat is één zaak. Ook het feit dat er niet zo veel plaatsen in Antwerpen zijn dat het vrachtverkeer heel belangrijk is.

CARO GAETHOFS: Ik dacht ook aan het feit dat je in het centrum van een stad zit. Dat ze daar eigenlijk beter uitblijven, aangezien het daar al druk genoeg is.

RODRIC FREDERIX: Inderdaad. De enige plaats waarvan ik wel van denk, daar zijn we nog niet aan begonnen, is in de haven. In de haven weet ik dat we binnenkort een regelgebied zullen opstarten. En dat is dus nu bijvoorbeeld een plaats waarvan ik denk dat er wel met groene golven/ met coördinatie gewerkt zal worden. Waar bij mijn weten niet veel openbaar vervoer zit, ik denk dat er niet veel andere verkeersdeelnemers zijn die van belang zijn. En uiteraard, daar wil je wel hebben dat die goed kunnen doorrijden. Het CITRUS-project is dan eigenlijk een 'verkenning' project om te achterhalen of het lukt om die informatie mee te pakken. Het is een verkenning en daar zijn ze ook wel in geslaagd gok ik.

CARO GAETHOFS: Ja, daar komen wel enkele positieve resultaten uit voort.

RODRIC FREDERIX: In Nederland zijn ze daar wel al wat verder mee.

CARO GAETHOFS: Dat gaat dus eerder toepasbaar zijn richting de haven... Oké, dat waren eigenlijk al mijn vragen, en die waren ontzettend duidelijk beantwoord.

RODRIC FREDERIX: Oké, super!

CARO GAETHOFS: Dus daar wil ik u heel fel voor bedanken.

RODRIC FREDERIX: Ja, awel.. Ik ben trouwens altijd wel geïnteresseerd, want ik vind het zelf natuurlijk een super interessant onderwerp, mocht dat mogelijk zijn, ik denk dat dat wel in digitale vorm dan zal zijn, ben ik altijd wel geïnteresseerd om eventueel een kopie te kunnen krijgen?

CARO GAETHOFS: Ja, tuurlijk! Als ik het inlever voor de unief, zal ik het ook naar u doorsturen.

RODRIC FREDERIX: Dat is heel vriendelijk.

CARO GAETHOFS: Dat is heel fijn voor de interesse, dankuwel.

RODRIC FREDERIX: Dat is goed, dan nog heel veel succes gewenst.

CARO GAETHOFS: Dankuwel, tot ziens!

RODRIC FREDERIX: Dag.

Bronvermelding

- Agentschap Wegen en Verkeer (2009, mei). Vademecum veilige wegen en kruispunten.
- Agentschap Wegen En Verkeer (2018, 13 april). Verkeerslichten: Verkeerscomputer Antwerpen. *Agentschap Wegen En Verkeer*. <https://wegenenverkeer.be/wegen/signalisatie/verkeerslichten/verkeerscomputer-antwerpen>
- Ahmed, S. S., Fountas, G., Eker, U., Still, S. E., & Anastasopoulos, P. C. (2021). *An exploratory empirical analysis of willingness to hire and pay for flying taxis and shared flying car services*. *Journal of Air Transport Management*, 90, 101963. doi:10.1016/j.jairtraman.2020.101963
- Alm, H. & Nilsson, L. (1995). The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. In: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 27, p. 707-715.
- Almuraykhi, K. M., Akhlaq, M. (2019). *STLS: Smart Traffic Lights System for Emergency Response Vehicles*. *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*. doi:10.1109/iccisci.2019.8716429
- Al-Turki, M., Jamal, A., Al-Ahmadi, H. M., Al-Sughaiyer, M. A., Zahid, M. (2020). *On the Potential Impacts of Smart Traffic Control for Delay, Fuel Energy Consumption, and Emissions: An NSGA-II-Based Optimization Case Study from Dhahran, Saudi Arabia*. *Sustainability*, 12(18), 7394. doi:10.3390/su12187394
- Anastasiadou, K., Vougiar, S. (2019). "Smart" or "sustainably smart" urban road networks? The most important commercial street in Thessaloniki as a case study, *Transport Policy*. doi:10.1016/j.tranpol.2019.07.009
- Annex to the Commission Delegated Regulation supplementing Directive 2010/40/EU of The European Parliament and of the Council with regard to the deployment and operational use of cooperative intelligent transport systems (2019, 13 maart). Geraadpleegd via <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2019/EN/C-2019-1789-F1-EN-ANNEX-2-PART-1.PDF>
- Apple, J., Chang, P., Clauson, A., Dixon, H., Fakhoury, H., Ginsberg, M., Keenan, E., Leighton, A., Scavezze, K., Smith, B. (2011). Green Driver: AI in a Microcosm. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 25(1).
- Aramrattana, M., Larsson, T., Jansson, J., & Nåbo, A. (2017). *A simulation framework for cooperative intelligent transport systems testing and evaluation*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. doi:10.1016/j.trf.2017.08.004
- Archer, J. (2004): *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modeling: A study of urban and suburban intersections*. Ph. D. Thesis. Department of Infrastructure, Royal Institute of Technology, ISBN 91-7323-119-3, Stockholm, Sweden, 2004, 152pp.
- Bao, S. en Ng Boyle, L. (2007). Braking Behavior at Rural Expressway Intersections for Younger, Middle-Aged, and Older Drivers. In: *Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa, August 2007. Iowa State University.
- Barr, L.C.; Yang, D.C.Y. & Ranney, T.A. (2003). Exploratory analysis of truck driver distraction using naturalistic driving data. In *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C.

Bauer, T., Jintao Ma, P., Offerman, F. (2015). An Online Prediction System of Traffic Signal Status for Assisted Driving on Urban Streets: Pilot experiences in the United States, China and Germany

Baumann, M., Petzoldt, T., Groenewoud, C. L., Hogema, J., Krems, J. (2008). The effect of cognitive tasks on predicting events in traffic.

Bedi, P., Mediratta, N., Dhand, S., Sharma, R., Singhal, A. (2007). Avoiding Traffic Jam Using Ant Colony Optimization - A Novel Approach. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4426554#sec1>

Belgisch Staatsblad (1975, 9 december). Koninklijk besluit houdende algemeen regelement op de politie van het wegverkeer.

Belgisch Staatsblad (1976, 11 oktober). Ministerieel besluit tot bepaling van de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens.

Bellinger, D.B., Budde, B.M., Machida, M., Richardson, G.B., et al. (2009). The effect of cellular telephone conversation and music listening on response time in braking. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 12, nr. 6, p. 441-451.

Bieker, L. (2015). Traffic safety evaluations for emergency vehicles. In *Young Researchers Seminar*.

Bieker-Walz, L., Behrisch, M. (2019). Modelling green waves for emergency vehicles using connected traffic data

Biem, A., Bouillet, E., Feng, H., Ranganathan, A., Riabov, A., Verscheure, O. (2010). Real-Time Traffic Information Management using Stream Computing

Biswal A. K., Singh D., Pattanayak B. K. (2021). IoT-Based Voice-Controlled Energy-Efficient Intelligent Traffic and Street Light Monitoring System. In: Sharma R., Mishra M., Nayak J., Naik B., Pelusi D. (eds) *Green Technology for Smart City and Society. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 151. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8218-9_4

Bonneson, J.A., and McCoy, P.T. *Manual of Traffic Detector Design*. Civil Engineering Department, University of Nebraska-Lincoln, 1994.

Boufous, S., Finch, C., Hayen, A. en Williamson, A. (2008). The impact of environmental, vehicle and driver characteristics on injury severity in older drivers hospitalized as a result of a traffic crash. In: *Journal of Safety Research* 39, pp. 65-72. Elsevier

Bourgeois, D. (2016). Voetgangersdetectie voor dynamische verkeerslichtenregeling: Een analyse van voertuig doorstromingsefficiëntie en voetgangersveiligheid

Bravo, Y., Ferrer, J., Luque, G., & Alba, E. (2016). *Smart Mobility by Optimizing the Traffic Lights: A New Tool for Traffic Control Centers. Lecture Notes in Computer Science*, 147-156. doi:10.1007/978-3-319-39595-1_15

Brebbia, C.A., Longhurst, J.W.S., Popov, V., (2011). *Air pollution XIX*. (1e ed.) Southampton, Verenigd Koninkrijk: WIT Press.

Brooks, R.M. (2012). Acceleration Characteristics of Vehicles in Rural Pennsylvania, *International Journal of Recent Research and Applied Studies* 12 (3), pp. 449-453 https://www.idm.ugent.be/wp-content/uploads/2018/12/IDM_studiedag2018_PechaKucha_JW.pdf

Brouwer 1991 : Brouwer, W.H., Waterink, W., Van Wolffelaar, P.C., Rothengatter, J.A., (1991). Divided attention in experienced young and older drivers: lane tracking and visual analysis in a dynamic driving simulator. *Human Factors* 33, 573–582.

Brouwer, W.H., 1996. Older drivers and attentional demands: consequences for human factors research. In: Brookhuis, K.A., Weikert, C., Moraal, J., De Waard, D. (Eds.), *Aging and Human Factors*. Proc. Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 1993. Traffic Research Centre, University of Groningen, Haren, The Netherlands, pp. 93–106.

Brouwers, K. (2016). *Schriftelijke vraag Vlaams Parlement Proefproject slimme verkeerslichten N3 Leuven - Evaluatiestudie*

Caird, J.K., Willness, C.R., Steel, P. & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 40, nr. 4, p. 1282-1293.

Cardwell, D. (2014). *Copenhagen Lighting the Way to Greener, More Efficient Cities*

Celesti, A., Galletta, A., Carnevale, L., Fazio, M., Lay-Ekuakille, A., & Villari, M. (2018). An IoT Cloud System for Traffic Monitoring and Vehicular Accidents Prevention Based on Mobile Sensor Data Processing. *IEEE Sensors Journal*, 18(12), 4795–4802. doi:10.1109/jсен.2017.2777786

Cheng, Q., Zhao, X., Wen, M., Shen, J., Tang, M., & Zhang, C. (2020). SAPTM: Towards High-Throughput Per-Flow Traffic Measurement with a Systolic Array-Like Architecture on FPGA. *Electronics*, 9(7), 1160. doi:10.3390/electronics9071160

Chrobok, R., Kaumann, O., Wahle, J., & Schreckenber, M. (2004). Different methods of traffic forecast based on real data. *European Journal of Operational Research*, 155(3), 558–568. doi:10.1016/j.ejor.2003.08.005

Chu, D., Li, Z., Wang, J., Wu, C., & Hu, Z. (2018). Rollover speed prediction on curves for heavy vehicles using mobile smartphone. *Measurement*. doi:10.1016/j.measurement.2018.07.054

Chu, Y.-C., & Huang, N.-F. (2012). *An Efficient Traffic Information Forwarding Solution for Vehicle Safety Communications on Highways*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(2), 631–643. doi:10.1109/tits.2011.2177456

CITRUS (2017, 10 maart). *About Citrus*. Geraadpleegd via <https://www.citrus-project.eu/category/about/about-citrus/>

Citrus-project.eu (2017, 10 maart). Test region. Geraadpleegd van <https://www.citrus-project.eu/category/app/fieldtest/>

Collet, C., Guillot, A. & Petit, C. (2010). Phoning while driving I: A review of epidemiological, psychological, behavioural and physiological studies. In: *Ergonomics*, vol. 53, nr. 5, p. 589-601.

Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M. & Berg, W.P. (2003). Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, nr. 4, p. 495-500.

Corthout, R. (2016). *Projectfiche Verkeerslichtencoördinatiecentrale Antwerpen*

Crevits, H. (2012, 23 oktober). *Beleidsbrief Mobiliteit en Openbare Werken Beleidsprioriteiten 2012-2013*

DaCoTA (2012). *Driver distraction, Deliverable 4.8f of the EC FP7 project DaCoTA*

Davidse, R.J. (2000). *Ouderen achter het stuur. Identificatie van aandachtspunten voor onderzoek*. SWOV-rapport D-2000-5. Leidschendam, Nederland: SWOV. en Langford, J. en Koppel,

S. (2006). Epidemiology of older driver crashes – Identifying older driver risk factors and exposure patterns. In: *Transportation Research Part F* 9, pp. 309-321. Elsevier.

De Coster, A. (2011, 5 mei). *Voorontwerp Herinrichting A8 (N203A) in Halle: een tunnel, voor meer veiligheid en leefbaarheid*. Geraadpleegd van <https://www.vlaanderen.be/fr/nbwa/nbwa-news-message/103723>

De Goede, M., Sluijsmans, G. (2015). Technologische kansen voor verkeersveiligheid

De Mol, J., Vandenberghe, W., Vlassenroot, S., & De Baets, K. (2009). ITS-technieken om verkeersveiligheid te verhogen op kruispunten met verkeerslichten (VRI's): Onderzoek naar de mogelijkheden van dynamisch snelheidsadvies op VRI's. Diepenbeek: Steunpunt Mobiliteit en Openbare Werken. Spoor Verkeersveiligheid.

De Vries, M. (2020) Priopilot Helmond Evaluatie 9 september 2020 [Powerpoint].

De Weerd, P. (2018). Platooning en ander slim transport: dit zijn de gevolgen voor de logistiek. Geraadpleegd van <https://www.logistiek.nl/distributie/artikel/2018/11/platooning-en-ander-slim-transport-dit-zijn-de-gevolgen-voor-de-logistiek-101165788>

Depratere, I. (2018, 13 maart). Nieuwe Vlaamse technologie moet verkeer vlotter krijgen en fijn stof verminderen. Testcase met slimme verkeerslichten op N203. Geraadpleegd van https://www.standaard.be/cnt/dmf20180312_03405985?&articlehash=65E07FA8B67454CFBB086112B1DD3808ACEFFD8B026DB57F3AC51FA12AE653621370D7D40C3FCB3BFCDE41EAF6753633C1498F60F1A4DBA5A33AEA06FAB7C9AF

Depré, B., Reynaert, I., Timmermans, J., Cardyn, A. (2018). Multimodale en geconnecteerde mobiliteitsoplossingen voor de steden van vandaag en morgen

Deymier, G., Gaschet, F. (2018). Urban congestion and households' vulnerability within the Bordeaux Metropolitan Area

Dingus, T. A., Hulse, M. C., Mollenhauer, M. A., Fleischman, R. N., McGehee, D. V., Manakkal, N. (1997). Effects of age, system experience, and navigation technique on driving with an advanced traveler information system, *Hum. Factors*, 39, (2), pp.177-199.

Donkers, H. (1990). De Bijdrage van het Autoverkeer aan de Luchtvervuiling: Stank na Tank. <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/179880/179880.pdf>

Downs, A. (1992). *Still stuck in traffic: coping with peak-hour traffic congestion* (1e ed.) Washington D.C., Amerika: Brookings Institution Press.

Elhenawy, M., Bond, A., Rakotonirainy, A. (2018). C-ITS Safety Evaluation methodology based on Cooperative Awareness Messages

Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., & Nashar, D. (2010). *Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation*. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 101–111. doi:10.1016/j.aap.2009.07.007

Engstrom, A. (1994). 10 years with LHOVRA-what are the experiences?, *Seventh International Conference on Road Traffic Monitoring and Control, 1994.*, Londen, VK, 1994, pp. 97-100, doi: 10.1049/cp:19940433.

ERSO (2018). Annual Accident Report 2018, European Road Safety Observatory (ERSO), 2018. Retrieved from

https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf

- ETSC (2010). Minimising In-Vehicle Distraction. PRAISE Thematic Report 5. Brussel, België: European Transport Safety Council
- Europese Commissie (2017). C-ITS Platform Final report Phase II September 2017. Geraadpleegd van 2017-09-c-its-platform-final-report.pdf (europa.eu)
- Europese Commissie (2018). Cooperative ITS: Making a difference in Europe's cities C-The Difference Project Final Study Report Version 3.0 – 30.09.2018
- Extensions of Green Periods for Freight Vehicles at Signalized Intersections: a Stochastic Analysis, Proceedings of the QTNA2018, (Tsukuba, July 25-27, 2018), pp. 69-73
- Faugere, J. G., Dufour, J. (1991). Urban traffic adjustment by application of the GERTRUDE system. Influence of the regulation of the traffic on the carbon monoxide air levels on the city of Bordeaux.
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer Directoraat-generaal Duurzame Mobiliteit en Spoorbeleid Directie Mobiliteit. (2018). Kilometers afgelegd door Belgische voertuigen in 2017. https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/rapport_kilometers_2017_nl.pdf
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, het Directoraat-generaal Duurzame Mobiliteit en Spoorbeleid en de Directie Mobiliteit - Dienst Studies en Enquêtes. (2019). Federale diagnostiek woon-werkverkeer 2017.
- Festag, A. (2014). *Cooperative intelligent transport systems standards in europe*. *IEEE Communications Magazine*, 52(12), 166–172. doi:10.1109/mcom.2014.6979970
- Fildes, B., Corben, B., Kent, S., Oxley, J., Minh Le, T. en Ryan, P. (1994). Older road user crashes. Clayton, Victoria, Australia: Monash University Accident Research Centre.
- Foina, A. G., Krainer, C., & Sengupta, R. (2015). An Unmanned Aerial Traffic Management solution for cities using an air parcel model. 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). doi:10.1109/icuas.2015.7152423
- Formisano, C. *et al.* (2015) The Advantages of IoT and Cloud Applied to Smart Cities. *3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, Rome, 2015, pp. 325-332, doi: 10.1109/FiCloud.2015.85.
- Francieries, M. (1980). Traffic planning and air pollution - The Bordeaux example. I - The GERTRUDE traffic plan. France.
- Ghazal, B., Elkhatib, K., Chahine, K., & Kherfan, M. (2016). *Smart traffic light control system*. *2016 Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and Their Applications (EECEA)*. doi:10.1109/eecea.2016.7470780
- Hamers, P., Soekroella, A., Taale, H. (2019). TrafficQuest rapport: Impact van C-ITS use cases
- Hancock, P., Lesch, M.F. & Simmons, L. (2003). The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, p. 501-514.
- Handa, A., Sharma, A., & Shukla, S. K. (2019). *Machine learning in cybersecurity: A review*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, e1306. doi:10.1002/widm.1306
- Hanowski, R.J.; Perez, M.A. & Dingus, T.A. (2005). Driver distraction in long-haul truck drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8 (6), 441-458

Het Vlaams Gewest (2010). Masterplan 2020: Bouwstenen voor de uitbreiding van het Masterplan Mobiliteit Antwerpen.

Horrey, W.J. & Wickens, C.D. (2006). Examining the impact of cell phone conversations on driving using a meta-analytic techniques. In: *Human Factors*, vol. 48, nr. 1, p. 196-205.

Hounsell, N., & Shrestha, B. (2012). *A New Approach for Co-Operative Bus Priority at Traffic Signals*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), 6–14. doi:10.1109/tits.2011.2172869

Hughes, P. Guidelines for the Installation of Advance warning Flashers. Technical Memorandum, Engineering Services Divisions, Minnesota Department of Transportation. August 28, 2000.

IBO (2011, 26 april). *Gevaarlijk kruispunt dan toch aangepakt*. Geraadpleegd van <https://www.nieuwsblad.be/cnt/mo3b0ivv>

Ibrahim, S., Kalathil, D., Sanchez, R. O., & Varaiya, P. (2018). *Estimating Phase Duration for SPaT Messages*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–9. doi:10.1109/tits.2018.2873150

Igbinosun, L. I., Omosigho, S. E. (2016). *Traffic flow model at fixed control signals with discrete service time distribution*. *Croatian Operational Research Review*, 7(1), 19–32. doi:10.17535/corr.2016.0002

Irwin, M., Fitzgerald, C. & Berg, W.P. (2000). Effect of the intensity of wireless telephone conversations on reaction time in a braking response. In: *Perceptual and Motor Skills*, vol. 90, p. 1130-1134.

Jakhrani, A. Q., Othman, A.-K., Rigit, A. R. H., & Samo, S. R. (2012). Estimation of carbon footprints from diesel generator emissions. 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology. doi:10.1109/gut.2012.6344193

Jamroz, K., & Smolarek, L. (2013). *Driver Fatigue and Road Safety on Poland's National Roads*. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), 297–309. doi:10.1080/10803548.2013.11076987

Janssen, N.A.H., Hoek, G., Lawson-Simic, M., Fischer, P., Bree van, L., Brink ten, H., Keuken, M., Atkinson, R., Anderson, H.R., Brunekreef, B., Cassee, F., 2011. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared to PM10 and PM2.5. *Environmental Health Perspectives* 119, 1691-1699.

Janssen, S .T. (1997). Presentatie handboek 'Categorisering wegen': Verslag van het onderdeel 'duurzaam-veilig' van de PAO-cursus 'De bakens verzetten in het verkeersveiligheidsbeleid.

Jones, P., & Hervik, A. (1992). Restraining car traffic in European cities: An emerging role for road pricing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 26(2), 133–145. doi:10.1016/0965-8564(92)90008-u

Jonkers, E. (2020, september) Publieke verkeers- en transportdata: actuele data, ontsloten volgens internationale standaarden, landelijke dekking. [powerpoint].

Kanungo, A., Sharma, A., Singla, C. (2014). Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing, *2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)*, Chandigarh, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/RAECS.2014.6799542.

Keskinen, E., Ota, H. en Katila, A. (1998). Older drivers fail in intersections: Speed discrepancies between older and younger male drivers. In: *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30, No. 3, pp. 323-330. Pergamon.

Kitchin, R., Dodge, M. (2017). The (In)Security of Smart Cities: Vulnerabilities, Risks, Mitigation, and Prevention. *Journal of Urban Technology*, 1–19. doi:10.1080/10630732.2017.1408002

Konings, R. (2019, 15 mei). Agoria: Slimme verkeerslichten kunnen de Brusselse files met 30 procent laten dalen. Geraadpleegd via <https://www.agoria.be/nl/Agoria-Slimme-verkeerslichten-kunnen-de-Brusselse-files-met-30-laten-dalen>

Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer [en van het gebruik van de openbare weg] (WEGCODE). (1975, 1 december). Geraadpleegd van <https://www.wegcode.be/wetteksten/secties/kb/wegcode>

Langford, J. en Koppel, S. (2006). Epidemiology of older driver crashes – Identifying older driver risk factors and exposure patterns. In: *Transportation Research Part F* 9, pp. 309-321. Elsevier.

Laurila, J. K., Gatica-Perez, D., Aad, I., Blom, J., Bornet, O., Do, T. M. T., ... Miettinen, M. (2013). *From big smartphone data to worldwide research: The Mobile Data Challenge. Pervasive and Mobile Computing*, 9(6), 752–771. doi:10.1016/j.pmcj.2013.07.014

Lee, W.-H., Tseng, S.-S., & Shieh, W.-Y. (2010). *Collaborative real-time traffic information generation and sharing framework for the intelligent transportation system. Information Sciences*, 180(1), 62–70. doi:10.1016/j.ins.2009.09.004

Levelt, P.B.M. (2003). Praktijkstudie naar emoties in het verkeer: Vragenlijststudie naar kenmerken zoals frequentie, aanleiding en gevolgen voor de veiligheid.

Li, Q., Li, R., Ji, K., Dai, W. (2015). Kalman Filter and Its Application. 2015 8th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS). doi:10.1109/icinis.2015.35

Liao, C. F., Glick, D. B., Haag, S., Baas, G. (2010). *Development and Deployment of Traffic Control Game. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2199(1), 28–36. doi:10.3141/2199-04

Liu, Y-C. (2001). Comparative study of the effects of auditory, visual and multimodality displays on drivers performance in advanced traveller information systems. 44,(4),pp.425-442.

Logghe et al. (2020). *CITRUS best practices and recommendations on policy making deliverable 6.4*

Lübmann, J., Vreeswijk, J., van Katwijk, R., Blokpoel, R., Fullerton, M. (2014). Impact assessment for cooperative urban traffic management applications based on microscopic traffic flow simulation.

Macfarlane, J. (2019). When apps rule the road: The proliferation of navigation apps is causing traffic chaos. It's time to restore order. *IEEE Spectrum*, 56(10), 22–27. doi:10.1109/mspec.2019.8847586

Maerivoet, S. (2001). Het gebruik van microscopische verkeerssimulatie bij een onderzoek naar de fileproblematiek op de Antwerpse ring

Maerivoet, S., Ons, B. (2020a). CITRUS: first monitoring and evaluation report.

Maerivoet, S., Ons, B. (2020b, 4 december). CITRUS. [Powerpoint].

- Maerivoet, S., Ons, B. (2020c). CITRUS: second monitoring and evaluation report.
- Mahmud, K., Gope, K., Chowdhury, S. M. (2012). Possible Causes & Solutions of Traffic Jam and Their Impact on the Economy of Dhaka City. *Journal of management and sustainability*, 2(2), 112. <http://dx.doi.org/10.5539/jms.v2n2p112>
- McCartt, A.T., Hellinga, L.A. & Braitman, K.A. (2006). Cell phones and driving: Review of research. In: *Traffic Injury Prevention*, vol. 7, nr. 2, p. 89- 106.
- McGill, J., and Jacobson, K. "A Review of Advance Warning and Detection Devices for Traffic Signals on Ontario Highways." Volume 1–Final Report. Contract 9790-4202- 9565 for Ministry of Transportation, Ontario. Synetics Transportation Consultants. October 1998.
- Meesmann, U. & Opdenakker, E. (2013). Aandachtsafleidend gedrag bij professionele bestuurders. Brussel, België – Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid – Kenniscentrum Verkeersveiligheid
- Menkveld, M. (2001). Verification of the CO₂-meter for the FACE Foundation; Verificatie CO₂-meter voor de Stichting FACE. Netherlands.
- Mhatre, S., Patil, S., Shinde, P., Bhosale, R. (2020). Priority based traffic light automation using IR sensor through IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. (7)3
- Miete, O. (2011). Nieuwe inzichten door expliciete beschouwing van de variabiliteit in het verkeer (Rijkswaterstaat – Dienst Verkeer en Scheepvaart)
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2005). Mobiliteitscel Quickscan - Wegenvignet Finaal rapport April 2005
- Misener, J., Shladover, S., Dickey, S. (2010). Investigating the Potential Benefits of Broadcasted Signal Phase and Timing (SPAT) Data under IntelliDrive. California PATH Program, University of California, Berkeley, Tech. Rep., 2011.
- Miz V., Hahanov V. (2014) Smart traffic light in terms of the cognitive road traffic management system (CTMS) based on the Internet of Things, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2014)*, Kiev, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2014.7027102.
- Mobilidata (n.d.). De voordelen voor vrachtwagens Geraadpleegd van <https://mobilidata.be/nl/voordelen/vrachtwagens>
- Mobiliteitsbrief Vlaanderen (2018). Vrachtwagenchauffeurs krijgen via app realtime advies over optimale snelheid en beste route (Mobiliteitsbrief Vlaanderen, nr. 192)
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., Talwalkar, A. (2018). *Foundations of Machine Learning*. (2e ed.) Cambridge, Amerika: The MIT Press
- Morel, M., Petit, C., Bruyas, M., Chapon, A., et al. (2005). Physiological and behavioural evaluation of mental load in shared attention tasks. In: *The IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. p. 5526-5527.
- N.n. (2020, 16 juli). Kruispunt Zwarte Ring wordt rotonde met vrijliggende fietspaden. Geraadpleegd van <https://holahageland.net/2020/06/16/kruispunt-zwarte-ring-wordt-rotonde-met-vrijliggende-fietspaden/>
- Naujoks, F., & Totzke, I. (2014). Behavioral adaptation caused by predictive warning systems – The case of congestion tail warnings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 49–61. doi:10.1016/j.trf.2014.06.010

- Neesen, H. (2020, 16 juni). Kruispunt zwarte ring wordt rotonde met vrijliggende fietspaden.
- Novaco, R. W., Stokols, D., Campbell, J., Stokols, J. (1979). Transportation, Stress, and Community Psychology. *American journal of Community Psychology*, 7, 361-380. <https://doi.org/10.1007/BF00894380>
- Oliveira L. F. P., Manera L. T., Luz P. D. G., (2019). Smart Traffic Light Controller System, Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS), Granada, Spain, 2019, pp. 155-160, doi: 10.1109/IOTSMS48152.2019.8939239.
- Olson, R.L.; Hanowski, R.J.; Hickman, J.S. & Bocanegra, J. (2009). Driver distraction in commercial vehicle operations. Washington D.C., Verenigde Staten: Federal Motor Carrier Safety Administration, U.S. Department of Transportation
- Owens, W.A., Dam, K.W., Lin, H.S. (2009). Technology, Policy, Law, and Ethics Regarding US Acquisition and Use of Cyberattack Capabilities (Washington DC: Committee on Offensive Information Warfare; National Research Council, National Academic Press, 2009).
- Palmers, N. (2019, 25 juni). Slimme verkeersregeling in Antwerpen. Geraadpleegd van <https://www.antwerpen.be/nl/overzicht/parkeren-en-mobiliteit/detail/slimmelichten>
- Palmers, N. (2019, 25 juni). Slimme verkeersregeling in Antwerpen. *Antwerpen*. <https://www.antwerpen.be/info/5d122aa93adb8edb0e78e796/senioren>
- Palsa, J., Vokorokos, L., Chovancova, E., & Chovanec, M. (2019). *Smart Cities and the Importance of Smart Traffic Lights. 2019 17th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*. doi:10.1109/iceta48886.2019.9040086
- Parella, J.M. (2019). Design and Development of a Green Light Optimized Speed Advisory System.
- Peeters, K. (2014). Weg van mobiliteit: over mobiliteit en geluk (1ste ed.) Vrijdag Uitgevers
- Pouyane, G. (2010). Urban form and daily mobility: methodological aspects and empirical study in the case of Bordeaux
- Preusser, D.F., Williams, A.F., Ferguson, S.A., Ulmer, R.G. en Weinstein, H.B. (1998). Fatal crash risk for older drivers at intersections. In: Accident Analysis and Prevention, Vol. 30, No. 2, pp. 151-159. Pergamon.
- Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad van 7 juli 2010 betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen, (2010, 7 juli). Geraadpleegd via <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0040&from=EN>
- Rondinone, M., Correa, A. (2018). Definition of V2X message sets.
- Rooijers, A. J. (1997). Rijsnelheid en attitudes jegens overschrijding van de limiet van verschillende groepen autogebruikers. s.n.
- Rooms, B. (2020, 25 juni). Slimme verkeerslichten sturen het verkeer in Hasselt: "Boeiende inkijk in verkeersmanagement van de toekomst" Geraadpleegd van <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/06/25/slimme-verkeerslichten-moeten-verkeer-in-hasselt-mee-sturen/>
- Rooms, B. (2020, 25 juni). Slimme verkeerslichten sturen het verkeer in Hasselt: "Boeiende inkijk in verkeersmanagement van de toekomst". Geraadpleegd via

<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/06/25/slimme-verkeerslichten-moeten-verkeer-in-hasselt-mee-sturen/>

Rufino, J., Silva, L., Fernandes, B. (2018). Empowering vulnerable road users in C-ITS.

Ryan, G.A., Legge, M. en Rosman, D. (1998). Age related changes in drivers' crash risk and crash type. In: *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30, No. 3, pp. 379-387. Pergamon.

Scholliers, J., van Sambeek, M., & Moerman, K. (2017). *Integration of vulnerable road users in cooperative ITS systems. European Transport Research Review*, 9(2). doi:10.1007/s12544-017-0230-3

Seghers, B. (2006). Stedelijk rekeningrijden naar Londens model: een haalbaarheidsstudie voor Antwerpen en Brussel

Seredynski, M., Khadraoui, D., Viti, F., (2015). Signal Phase and Timing (SPaT) for Cooperative Public Transport Priority Measures.

Seredynski, M., Ruiz, P., Szczypiorski, K., & Khadraoui, D. (2014). *Improving Bus Ride Comfort Using GLOSA-Based Dynamic Speed Optimisation. 2014 IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium Workshops*. doi:10.1109/ipdpsw.2014.58

Sharara, M., Ibrahim, M., & Chalhoub, G. (2019). *Impact of Network Performance on GLOSA. 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. doi:10.1109/ccnc.2019.8651787

Simoes, A., Nikolaou, S. (2006). Deliverable F.2 Inventory of drivers' needs for training regarding ITS according to driving tasks affected. Report of Task Force F, HUMANIST Network of excellence, January 2006.

Singer, P.W., Friedman, A., *Cybersecurity and Cyberwar* (Oxford: Oxford University Press, 2014).

S-LIM (2020). Hasselt zet als eerste slimme camera's in tegen sluipverkeer. Geraadpleegd van Hasselt zet als eerste slimme camera's in tegen sluipverkeer | s-Lim

Slootmans, F. (2015). Themadossier Verkeersveiligheid nr. 5: Afleiding in het verkeer.

Smith, H. R., Hemily, B., Ivanovic, M. (2005). *Transit Signal Priority (TSP): A Planning and Implementation Handbook* (1ste ed.). Washington, Amerika: ITS America.

Smith, S. W., Kim, Y., Guanetti, J., Kurzhanskiy, A. A., Arcak, M., & Borrelli, F. (2019). *Balancing Safety and Traffic Throughput in Cooperative Vehicle Platooning. 2019 18th European Control Conference (ECC)*. doi:10.23919/ecc.2019.8795628

Snelder, M., Drolenga, H., Mulder, M. (2011). Hoe kwetsbaar is het Nederlandse wegennetwerk? Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 24 en 25 november 2011, Antwerpen

Soriano, F. R., Tomás, V. R., & Pla-Castells, M. (2012). *Deploying harmonized ITS services in the framework of EasyWay project. Proceedings of the 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems - EATIS '12*. doi:10.1145/2261605.2261651

Starkey, N. J., Charlton, S. G., Malhotra, N., & Lehtonen, E. (2020). *Drivers' response to speed warnings provided by a smartphone app. Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 110, 209–221. doi:10.1016/j.trc.2019.11.020

Stassijns, J. (25/05/2018). De supercomputer begint eraan. *De Standaard*. Geraadpleegd van <https://www.standaard.be/plus/20180525/ochtend/optimized/71>

Statistiek Vlaanderen (2016). Omgeving 5: Ruimte, wonen, milieu en natuur, energie, landbouw, mobiliteit.

Stelling, A., Hagenzieker, M.P. (2012). Afleiding in het verkeer: Een overzicht van de literatuur

Strayer, D.L., Drews, F.A. & Johnston, W.A. (2003). Cell phone induced failures of visual attention during simulated driving. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied*, vol. 9, nr. 1, p. 23-32.

Strayer, D.L., Watson, J.M. & Drews, F.A. (2011). Cognitive distraction while multi-tasking in the automobile. In: *Psychology of Learning and Motivation* vol. Volume 54, p. 29-58.

SWOV (2008a): Factsheet Ouderen en infrastructuur. http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/NL/Factsheet_Ouderen_en_infrastructuur.pdf, geraadpleegd op 10/12/2008

SWOV (2013). SWOV-Factsheet. Afleiding in het verkeer. Leidschendam, Nederland: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Taale, H., Hamers, P., Soekroella, A. (2021). Nationaal verkeerskundecongres 2020: Impact van C-ITS use cases

Tavasszy, L., De Jong, G. (2014). *Modelling Freight Transport*. (1e ed.) Londen, Engeland: Elsevier.

Teasdale, N. (2014). Distractions et conduite d'un véhicule lourd. Paper presented at the conference 'Les distractions au volant', Québec, 7-8 October 2014

TMLLeuven (2016). DOD1 Verkeerskundige studies - Fase 1: Globale studie: Netwerkvisie en Regelstrategie.

TMLLeuven (2018). DOD1 Verkeerskundige studies - fase 3-4: Detailstudie regelgebied 11.

TMLLeuven (2019). DOD1 Verkeerskundige studies - fase 3-4: Detailstudie regelgebied 02.

TMLLeuven (2020). DOD1 Verkeerskundige studies - Fase 3: Ex-post evaluatie regelgebied 11

Unibas, G., Del Ser, J., Gil-Lopez, S., & Molinete, B. (2010). *A novel CAM-based traffic light preemption algorithm for efficient guidance of emergency vehicles*. *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. doi:10.1109/itsc.2010.5625210

Van Ark, E. J., Delschle, N., Janssen, R., De Ruyter, J. (2020, 30 september). Catalyst Heavy-Duty Transport Living Lab: Fuel consumption and pollutant emissions of heavy-duty trucks traversing signalized intersections: An exploration using real-world data [Powerpoint].

Van Brusselen, D., Arrazola de Oñate, W., Maiheu, B., Vranckx, S., Lefebvre, W., Janssen, S., Avonts, D. (2016). *Health Impact Assessment of a Predicted Air Quality Change by Moving Traffic from an Urban Ring Road into a Tunnel. The Case of Antwerp, Belgium*. *PLOS ONE*, 11(5), e0154052. doi:10.1371/journal.pone.0154052

Van Dijk, T. M. (2019). Aanleiding 'Pilot Prioriteitsfacilitering' Gemeente Helmond

Van Driel, C. J. G., Hoedemaeker, M., & van Arem, B. (2007). Impacts of a Congestion Assistant on driving behaviour and acceptance using a driving simulator. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(2), 139-152. doi:10.1016/j.trf.2006.08.003

Van Hout, K., Brijs, T. (2010). *Ouderen en verkeersveiligheid: Een probleemanalyse*. Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken - Spoor Verkeersveiligheid. UHasselt.

Van Nes R. 'Design of multimodal transport networks, a hierarchical approach', Delft, Delft University Press 2002

Van Nieuwenhuizen, C. W. (2020). Kamerbrief Smart mobility in beweging.

Van Poppel M. D. E., Peters, J., Brabers, R., Damen, E., Daems, J. (2012). Metingen van ultrafijn stof in Vlaanderen op hotspot(s) voor de blootstelling aan verkeerspolluenten: VITO.

Vance, A. (2016). *Elon Musk: How the Billionaire CEO of SpaceX and Tesla is Shaping our Future*. (1e ed.) Londen, Engeland: Ebury Publishing.

Vandenbroucke, J. (2016, 8 maart). Schriftelijke vraag Slimme verkeerslichten - Stand van zaken implementatie (2)

Velders, G.J.M., Aben, J.M.M., Jimmink, B.A., Geilenkirchen, G.P., van der Swaluw, E., de Vries, W.J., Wesseling, J., van Zanten, M.C., 2012. Largescale Air Quality Concentration and Deposition Maps of the Netherlands. RIVM, Bilthoven, The Netherlands. Report 680362002.

Verhaert, J., De Pooter, B. (2015). Antwerpen actief en bereikbaar: Mobiliteitsplan 2020 | 2025 | 2030: richtinggevend deel

Verhetsel, A. (2001). *The impact of planning and infrastructure measures on rush hour congestion in Antwerp, Belgium*. *Journal of Transport Geography*, 9(2), 111-123. doi:10.1016/s0966-6923(00)00041-7

Verhoeven, F. (2006). Ontwerp van een multimodaal netwerk rond Antwerpen.

Verordening (EU) 2016/679 van het Europees Parlement en de Raad van 27 april 2016 betreffende de bescherming van natuurlijke personen in verband met de verwerking van persoonsgegevens en betreffende het vrije verkeer van die gegevens en tot intrekking van Richtlijn 95/46/EG (Algemene Verordening Gegevensbescherming)

Vlaams Verkeerscentrum. (2020, 31 maart). Rapport Verkeersindicatoren Snelwegen Vlaanderen 2019. Geraadpleegd van <https://www.verkeerscentrum.be/studies/rapport-verkeersindicatoren-snelwegen-vlaanderen-2019>

Vlaamse Overheid (2011). Ruimtelijk structuurplan Vlaanderen: Gecoördineerde versie 2011.

Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken, Agentschap Wegen en Verkeer, Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Sectie Verkeersparameters. (2010). Verkeerstellingen 2010 Op gewestwegen in Vlaanderen met automatische telapparaten. <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/Verkeerstellingen%202010.pdf>

Vlaamsparlement.be (2017). Visie op slimmere verkeerslichten. Geraadpleegd via <https://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1416628>

Vlaanderen.be (2009, 6 november). Werkzaamheden in Diest: Gewijzigde verkeerssituaties op de Citadellaan (R26) en in de Leuvensesteenweg (N2). Geraadpleegd van <https://www.vlaanderen.be/fr/nbwa/nbwa-news-message/103327>

Vojvodic, H., Vujic, M., & Skorput, P. (2017). Cooperative architecture of data acquisition for emission reduction in traffic. 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR). doi:10.1109/telfor.2017.8249341

Walraevens, J. (2018, n.d.). *Waarom prioriteit geven aan trucks een goed idee kan zijn*. [Powerpoint]. Geraadpleegd van https://www.idm.ugent.be/wp-content/uploads/2018/12/IDM_studiedag2018_PechaKucha_JW.pdf

Wee, B. V., & Banister, D. (2015). *How to Write a Literature Review Paper? Transport Reviews*, 36(2), 278–288. doi:10.1080/01441647.2015.1065456

Wegenenverkeer.be (2020, 1 december). N76 Genk - Slimme verkeerslichten tussen Westerring en Hoevenzavellaan. Geraadpleegd via <https://wegenenverkeer.be/nieuws/n76-genk-slimme-verkeerslichten-tussen-westerring-en-hoevenzavellaan>

Wegenenverkeer.be (2020, 12 november) Kruispunt Kiezelstraat: veilige oversteeek en slimme verkeerslichten. Geraadpleegd van <https://wegenenverkeer.be/werken/kruispunt-kiezelstraat-veilige-oversteek-en-slimme-verkeerslichten>

Wegenenverkeer.be (n.d.). Verkeerscomputer Antwerpen. Geraadpleegd via <https://wegenenverkeer.be/wegen/signalisatie/verkeerslichten/verkeerscomputer-antwerpen>

Wegenenverkeer.be (n.d.). Verkeerslichten: Waar en wanneer worden verkeerslichten geplaatst?. Geraadpleegd van <https://wegenenverkeer.be/wegen/signalisatie/verkeerslichten>

Wen, W. (2008). A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem. *Expert systems with applications*, 34(4), 2370. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.03.007>

Wesseling, J., Van Der Swaluw, E., Hoogerbrugge, R., Velders, G., De Vries, W., Van Den Elshout, S., Ameling, M. (2014). Elemental Carbon (EC) concentrations in the Netherlands.

Wet betreffende de politie over het wegverkeer, artikel 27 quater. (1968, 16 maart). Geraadpleegd van http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg_2.pl?language=nl&nm=1968031601&la=N

WHO (2011). Mobile phone use: a growing problem of driver distraction. Genève, Zwitserland: World Health Organisation

Willekens, M. (2018). Prioriteit vrachtverkeer - Een simulatiestudie naar het effect van prioriteit verlening aan vrachtverkeer op de N279, rapport DTV Consultants, 2018.

Willekens, M. (2020). Rapport imflow op N201: Verkeerskundige evaluatie deel 2: vergelijking 1- met 2 situatie.

Wu, G., Boriboonsomsin, K., Zhang, W.-B., Li, M., & Barth, M. (2010). *Energy and Emission Benefit Comparison of Stationary and In-Vehicle Advanced Driving Alert Systems. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2189(1), 98–106. doi:10.3141/2189-11

Zengqiang, M., Cunzhi, P., Yongqiang, W. (2008). *Road Safety Evaluation from Traffic Information Based on ANFIS. 2008 27th Chinese Control Conference*. doi:10.1109/chicc.2008.4605560

Zhang X. D. (2020) Machine Learning. In: A Matrix Algebra Approach to Artificial Intelligence. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2770-8_6

Zhang, G., Wang, Y. (2011). *Optimizing Minimum and Maximum Green Time Settings for Traffic Actuated Control at Isolated Intersections. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(1), 164–173. doi:10.1109/tits.2010.2070795

Zhang, J., Fraser, S., Lindsay, J., Clarke, K. en Mao, Y. (1998). Age-specific patterns of factors related to fatal motor vehicle traffic crashes: focus on young and elderly drivers. In: *Public Health* 112, pp. 289-295. R.I.P.H.H.

Zhang, K., Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of the total environment*, 450-451, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>

Zhou, B., Cao, J., & Wu, H. (2011). *Adaptive Traffic Light Control of Multiple Intersections in WSN-Based ITS*. *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. doi:10.1109/vetecs.2011.5956434